
Кичигин А.Ф., Егер Д.А., Ивченко А.Г.

Глобальная энергия в энергосбережении добычи и обработки материалов

Київ

КОНДОР



2006

УДК 621.311.004.18:62-83

ББК 31.291

Г 52

Рецензенти:

Зорін В.В. — д-р техн. наук. проф. НТУУ(КПІ)

Самедов А.М. — д-р техн. наук. проф. НТУУ(КПІ)

Кічігін А.Ф., Єгер Д.А., Івченко А.Г.

Г 52 Глобальна енергія в енергозбереженні видобутку і обробці матеріалів. — К:
Кондор, 2006. — 402 с. — Рос. мовою.

ISBN 966-351-135-4

У монографії підсумовані результати фундаментальних еволюційних досліджень енергозберігаючої глобальної оборотної внутрішньої енергії (ГОВЕ) в промисловості. Парадигма праці складається з розкриття закономірностей керування цією енергією концентруючими магнітними полями для одержання запланованих промислових результатів запуском ланцюгових реакцій в рівнях енергії гармонічних осциляторів та молекулярних електронів матеріалу, що обробляється. Знайдено нове знаряддя, яке дозволяє створити когнітивні заходи інноваційних наукових напрямків малоенергоємких промислових виробництв. Прикладами їх реалізації є мінізавод холодного крекінгу, фонотонні внутрішні й поверхневі генератори для активізації добутку та переробки нафти, двигун — генератор на постійних магнітах, а також інші пристрої, що працюють на ГОВЕ. При цьому навантаження матеріалів відбувається синергетично керуючою модуляцією.

Науковою основою цих пристроїв є розроблені когнетивний енергозберігаючий метод створення канонічних ансамблів теорії контурів, теорія квантово-механічних контурів (КМК), інтерпретаційне модулювання і структура енергозберігаючої комірки життєдіяльності людини у часі та в просторі (ЕКЖЛ) для екологічно чистих матеріалів. Вони аналогічно описали основні елементи

гомологічних рядів Н.І. Вавілова. Наявність в законі Д.І. Менделєєва аналога показника фундаментальної характеристики речовини — ГОВЕ, також підтверджує правильність виробу результатів роботи, узгоджується з науковим напрямком “Глобальне інформаційно-енергетичне резонювання матерії”.

Монографія призначена для наукових працівників, як навчальний посібник для студентів технічних університетів.

Табл.26, іл.150 , 402 с.

В монографии обобщены результаты фундаментальных исследований энерго-сберегающей глобальной обратимой внутренней энергии (ГОВЭ) в промышленности. Парадигма работы состоит в раскрытии закономерностей управления этой энергией концентрированными магнитными полями для получения запланированных производственных результатов запуском цепных реакций в уровнях энергии гармоничных осцилляторов и молекулярных электронов обрабатываемого материала. Найден новый инструмент, позволяющий создавать когнитивные методы инновационных научных направлений малоэнергоемких промышленных производств. Примерами их реализации являются мини завод холодного крекинга, глубинные и поверхностные фотонные генераторы для активизации добычи и переработки нефти, двигатель-генератор на постоянных магнитах, а также другие устройства работающие на ГОВЭ. При этом нагружение материалов осуществляется синергетически управляемой модуляцией.

Научной основой этих приборов являются разработанные полнокритериальный энергосберегающий метод создания канонических ансамблей, теории контуров, теория квантово-механических контуров (КМК), интерпретационное моделирование и структура энергосберегающей ячейки жизнедеятельности человека во времени и пространстве (ЯЖЧ) экологически чистых материалов. Они аналитически описали основные элементы закона гомологических рядов Н.И. Вавилова. Наличие в законе Д.И. Менделеева аналога показателя фундаментальной характеристики вещества — ГОВЭ, подтверждает правильность результатов работы и согласуется с научным направлением “Глобальное информационно-энергетическое резонирование материи”.

Монография предназначена для научных работников, может использоваться как учебное пособие для студентов технических университетов.

Табл. 26, рис. 150, 402 с.

ББК 31.291

ISBN 966-351-135-4

© Кичигин А.Ф., Егер Д.А., Ивченко А.Г., 2005.

© “Кондор”, 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ I. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ	
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ.....	9
Глава 1. Парадигма энергетического функционирования канонических ансамблей в промышленности.....	9
1.1. Энергетическая взаимосвязь теорий обработки материалов.....	9
1.2. Обратимая внутренняя энергия материалов.....	17
1.3. Состояние использования энергии в промышленности.....	24
Глава 2. Системное функционирование энергии канонических ансамблей.....	46
2.1. Альтернативная глобальная энергия.....	46
2.2. Преобразование массы электрона в глобальную энергию.....	55
2.3. Статистические процессы глобальной энергии.....	61
2.4. Управляемая система “вход-состояние-выход”.....	65
Глава 3. Когнитивный полнокритериальный метод создания энергосберегающих канонических ансамблей.....	75
3.1. Физическая основа полнокритериального метода.....	75
3.2. Когнитивный полнокритериальный энергосберегающий метод..	85
3.3. Функционирование глобальной энергии в производственных граничных условиях.....	92
Глава 4. Эволюционная теория квантово-механических контуров.....	95
4.1. Элементарная ячейка материала с вероятной дефектностью.....	95
4.2. Классическая теория контуров.....	107
4.3. Интерпретационное моделирование трещины.....	135
4.4. Квантово-механическая теория контуров.....	153
Глава 5. Парадигма энергии систем.....	166
5.1. Энергосберегающая ячейка жизнедеятельности человека.....	166
5.2. Глобальная энергия элементарной ячейки фазового пространства.	169
5.3. Применимость теории М.И. Вавилова к неорганической материи.	170
РАЗДЕЛ II. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ДОБЫЧА МАТЕРИАЛОВ.....	174
Глава 6. Энергосберегающая добыча твердых материалов.....	174
6.1. Энергосберегающий инструмент.....	174
6.2. Глобальная энергия в раскрытии трещины.....	188
6.3. Динамическое нагружение твердых материалов.....	195
6.4. Трансформирование удара в потоки глобальной энергии.....	201

6.5. Энергосберегающая добыча блочного камня концентрированной ГОВЭ.....	212
6.6. Структурообразование способов обработки материалов.....	232
Глава 7. Энергосберегающая добыча жидких материалов.....	247
7.1. Первичные источники энергии интенсификации добычи нефти...	247
7.2. Математическое моделирование ударных установок.....	252
7.3. Устьевые генераторы.....	259
7.4. Глубинные генераторы.....	287
7.5. Гироскопическая стабилизация добычи.....	296
7.6. Очистка жидкостей.....	305
Глава 8. Энергосберегающая добыча газообразных материалов.....	332
8.1. Моделирование установки для обработки газовых скважин и пластов.....	332
8.2. Состояние добычи метана из угольных пластов.....	342
8.3. Добыча метана из угольных месторождений.....	352
8.4. Самоорганизованные метановые реакторы.....	358
 РАЗДЕЛ III. СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ДОБЫЧИ	
МАТЕРИАЛОВ.....	362
Глава 9. Бурение скважин.....	369
9.1. Буровые головки.....	369
9.2. Глобальная обратимая энергия в синергетическом бурении.....	372
9.3. Вихревой излучатель СКМБ	374
9.4. Кавитатор СКМБ	377
9.5. Пьезокерамический излучатель СКМБ.....	379
Глава 10. Глобальная энергия лазерного упрочнения деталей машин.....	383
10.1. Условия применения лазерного упрочнения деталей горных машин.	383
10.2. Выбор и обоснование способа повышения надежности гидропривода лазерным излучением.....	386
10.3. Промышленная апробация повышения надежности очистных комбайнов.....	392
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	396
 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	398

В связи с непродолжительностью жизни мы не можем позволить себе роскоши тратить время на задачи, которые не ведут к новым результатам.

Л.Д. Ландау.

ВВЕДЕНИЕ

В промышленности существуют совокупности частиц, определяющих элементарные формы характерные всем ее отраслям. Такой формой является энергия. Несмотря на различие представлений энергий — кинетической, потенциальной, химической, биологической и других, они состоят из единственно общей для всех видов — ГОВЭ системы «машина — обрабатываемый материал» (МОМ). Она представляет собой изменение массы при ее излучении и поглощении уровнями энергии гармонических осцилляторов материи.

Парадигма работы состоит в раскрытии закономерностей энергосберегающего управления потоками этой энергии концентрированными магнитными полями для получения запланированных производственных результатов запуском резонансных цепных реакций ГОВЭ. Найден инструмент, который позволяет создавать когнитивные методы новых научных направлений и малоэнергоемкие промышленные производства. Примерами их реализации являются: мини завод холодного крекинга, двигатель-генератор на постоянных магнитах, глубинные и поверхностные генераторы для активизации добычи и переработки нефти и другие приборы, использующие в основном ГОВЭ. При этом нагружение материалов осуществляется синергетически с управляемой модуляцией в концентрированном магнитном поле.

Научной основой этих устройств являются разработанные теория контуров, теория квантово-механических контуров (КМК), интерпретационное моделирование и структура энергосберегающей ячейки жизнедеятельности человека (ЭЯЖЧ) для экологически чистых МОМ. Они позволили аналитически описать основные элементы закона гомологических рядов Н.И. Вавилова. Наличие в законе Д.И. Менделеева аналога показателя фундаментальной характеристики вещества — ГОВЭ, также подтверждает правильность результатов работы. Энергоемкость и энергозатраты производства, в основном, определяют экономику любой страны. Ее техническое совершенство характеризуется энергосбережением и использованием дешевых альтернативных видов энергии. Пятьдесят процентов средней стоимости товаров в Украине — это стоимость энергоносителей. Добыча

угля на английских шахтах составляет 3600 тонн в год на одного работающего, а в Украине 294 тонны. Часть нетрадиционных видов источников топлива в топливно-энергетическом балансе Украины не превысило в 2001 году 0,5 %, а в Дании — 10 %, в Швеции — 27 %. Попытки улучшить энергоемкость ВВП в 2001 году позволили снизить его на 0,2 %. При таких темпах уровень энергоемкости 1990 года будет достигнут лет через 200 [В. Дмитриев. Намерения и результаты. Вечерние вести. № 097, 23 июня 2002 г.].

Механизация в промышленности характеризуется одним из наиболее представленных показателей — КПД, который не превышает 2 %, из-за спонтанного рассеивания энергий излучения и поглощения системой МОМ и цикличности ее нагружения. Энергия обработки материалов тратится на движение машины и обработку материалов. В первом случае она берется из первичного источника — двигателя. Современные двигатели практически не используют обратимую энергию его конструкции. В последние годы проводятся работы по созданию двигателей на постоянных магнитах, которые открывают возможность значительного повышения мощности и КПД за счет их ГОВЭ.

Наличие ГОВЭ в любом материале получило понятие аксиоматической истины. Но оно не доведено до практической деятельности человека по использованию ее в своем жизнеобеспечении. Существует большой теоретический материал, состоящий из множества разных частей, которые изолируются друг от друга детализацией отдельных явлений. Попытки обобщить их пока не дали нужных результатов. Поэтому актуальной остается задача выбора наиболее обоснованных решений объединения единой теорией, способной уже сегодня дать возможность в производственных условиях решать неотложные вопросы полезного использования ГОВЭ системы МОМ. Определено местонахождение ГОВЭ, ее количественное значение, что обосновало содержательность научных методов и способов ее практического использования. В связи с этим используется понятие энергосберегающая ячейка фазового пространства — абстрактного представления, которое вводится для отражения перемен состояния энергетических уровней вещества, его ГОВЭ. Разработана теория КМК, позволившая определить местонахождение, добычу и полезное использование ГОВЭ. Реализован метод трансформации спонтанного потока излучений внутренней энергии осцилляторов и молекулярных электронов квантово-механических контуров.

Первые инновационные работы в этом направлении проведены в лабораторных и производственных условиях с существенным повышением производительности, удельной энергоемкости, качества и коэффициента полезного действия на машинах с комбинированными исполнительными органами крупного скола, алмазного резания, отрыва, удара больших энергий, непрерывными и импульсными струями больших давлений, а также квантовыми потоками ГОВЭ при бурении шпуров с концентраторами энергий для температурных невзрывааемых смесей в концентрированном магнитном поле (ТНРСМ) и глубоких скважин синергети-

ческой нагрузкой КМК массивов камня и продуктивного нефтяного пласта. Квантово-механическая теория контуров и метод ее реализации не ограничивается разрушением твердых тел, она нашла применение в обработке жидких и газообразных материалов. Получены падежные результаты по холодному крекингу, добычи и преобразованию метана в жидкое топливо. Большие возможности открыты и для легкой промышленности, где существует потребность в обновлении оборудования и технологий по обработке льна, конопли, кожи и других материалов с использованием ГОВЭ.

Разработана энергосберегающая система, объединяющая человека, информатику и экологию во времени и пространстве с обоснованием ее гомологических свойств. Единственным и общим в ней является ГОВЭ, она функционирует между звеньями ЭЯЖЧ применительно ко всем видам энергий в соответствии с информатикой, представленной математическими аналогами микросинтезных производственных математическими аналогами микросинтезных производственных граничных условий (ПГУ) — производительности, удельной энергоемкости, качества и коэффициента полезного действия. Структура ЭЯЖЧ раскрыла механизм воздействия человека посредством ГОВЭ, ячейки фазового пространства, информатики и энергетики на стандартизацию проектирования, изготовления и внедрения новых технологий и машин в экологически чистое производство.

Материал монографии излагается в соответствии с эволюционно-энергетической парадигмой проделанной авторами благодаря развитию новых физических идей. Переносчики сильных взаимодействий - глюоны связывают в единую систему два — три кварка. Все переносчики взаимодействий действуют на очень малых расстояниях в короткие, нерегистрируемые промежутки времени. Благодаря этому большие их энергии не могут полезно использоваться в обработке материалов или в других производственных процессах. Они — кварки, лептоны и переносчики фундаментальных взаимодействий не все на сегодняшний день пригодны для полезного использования громадных резервов обратимой внутренней энергии материалов.

Из всех рассмотренных элементарных частиц наиболее реальных по условиям строения, функционирования и изученности является электрон, способный изменять свою массу в движении, излучать энергию на электромагнитные связи обрабатываемого вещества, он присутствует и активно участвует в энергосберегающих обменах всех веществ; под нагрузками существующего оборудования совместно с другими электронами, принимающими участие в технологическом процессе, способен обеспечивать по-настоящему даровой обратимой внутренней энергией машин и обрабатываемого материала все отрасли промышленности. Это дало право назвать энергию изменения массы электрона с его переходом на соседний УЭГО «глобальной энергией» и открыло возможность авторам эволюционно приступить к когнитивному изучению научно-технического направления «Глобальная электронно-магнитная робототехника».

Авторы благодарны: д.т.н. проф. К.К. Ткачуку, к.т.н. О.М. Терентьеву, к.т.н. А.Н. Башлаку, проф. к.т.н. Н.П. Гарницькому за совместное участие в разработке материалов монографии.

Наука — это непрерывная многовековая работа мысли свести вместе с помощью систем все познаваемые явления нашего мира.

А. Эйнштейн.

Раздел I.

Эволюционные научные разработки энергосберегающих процессов

Глава 1.

Парадигма энергетического функционирования канонических ансамблей в промышленности

1.1. Энергетическая взаимосвязь теорий обработки материалов

Технологические процессы в промышленности осуществляются с помощью разнообразных агрегатов и машин, обрабатывающих твердые, жидкие и газообразные материалы с целью получения конечного продукта и поставки его потребителям. Применяемые для этого агрегаты можно классифицировать как систему канонического ансамбля, включающую в себя три основных элемента: привод, рабочий орган, обрабатываемую среду. До настоящего времени изучение канонических ансамблей осуществляется, как правило, с использованием теорий, в которых строение и состав исследуемых элементов ансамблей не играли существенной роли в расчете и анализе эффективности их применения. Особенности используемых теорий являются их направленность на изучение макросистем и обобщение экспериментальных данных в определенных областях рабочих параметров канонических ансамблей. Это позволяет проектировать и создавать достаточно на-

дежное необходимое оборудование для производственных процессов, однако нередко эффективность его применения в течении десятилетий остается на низком уровне. Например, КПД бурения нефтяных скважин не превышает 2 %, а удельная энергоемкость переработки нефти составляет от 5 до 20 кВт ч/м³. Можно констатировать устойчиво низкую эффективность канонических ансамблей (КА) в нефтяной промышленности, горной и других.

Канонические ансамбли изучаются и создаются, в основном, с использованием теории, не обладающих универсальной применимостью. Они рассматривают явления, где тип исследуемых элементов ансамбля не играет существенной роли в технологии добычи и переработки материала. Примерами таких ансамблей являются горные машины, транспортирующие, нефтеперерабатывающие и другие агрегаты. Их работа чаще всего осуществляется силами внешнего возмущающего нагружения, упругости узлов машины и их инерционности. Пока исследователей больше интересует движение деталей машин как целого без учета частиц, из которых они состоят, без детализации поведения тех микрочастиц, которые оказывают существенное влияние на весь процесс. Для решения этих проблем необходимо комплексное привлечение нескольких теорий: феноменологической, классической, фундаментальной, нерелятивистской, релятивистской, вероятностей и других. Сочетание выбираемых теорий зависит от требуемой точности решений и возможностей их реализаций.

В 70 - е г. XX в. усилился интерес к изучению микропроцессов, происходящих в КА, в частности, к возможности использования обратимой внутренней энергии обрабатываемой среды и механизмов выравнивания энергии излучения и поглощения, а также к резонансным процессам в системе рабочий орган — обрабатываемая среда. При изучении микропроцессов понадобилось применение фундаментальных теорий. Поэтому наряду с другими особое внимание было уделено использованию классических и фундаментальных теорий. Это позволило открыть особенности управления интенсивностью «отклика» обрабатываемого материала на внешнее возмущение с заданной частотой и тем самым предложить новые эффективные устройства и технологии для процессов добычи угля, нефти, газа и других материалов. Например, классические теории описывают движения деталей машин, располагая такими параметрами, как плотность, модуль упругости, обмен энергиями, вязкость и другими, характеризующими детали машин и обрабатываемую среду. Но они не могут объяснить, почему плотность, модуль упругости или вязкость имеют именно такие значения; как полезно использовать обратимую внутреннюю энергию обрабатываемого материала; механизм взаимодействия энергии излучения и поглощения. Существуют и иные, еще нерешенные вопросы. Классические теории отвечают на них частично или вообще не могут их раскрыть. Объединение известных теорий для решений сложных производственных задач выполнено с учетом существования в системах характерных для них последова-

тельностью уровней энергии стационарных состояний с учетом влияния гравитационных, электромагнитных, сильного и слабого воздействий между частицами обрабатываемого материала.

Имеются различные методы увеличения производительности. В основе их лежат механическое, физическое и химическое воздействия на материал. Реализация этих методов осуществляется применением различных устройств, механизмов, химических реагентов. Важность реализации методов увеличения продуктивности и производительности для народного хозяйства очень существенна, так как при разработке месторождения без их применения, например, нефтеотдача составляет от 20 до 45 %, а остальная часть нефти остается в недрах, аналогичное состояние в других отраслях промышленности.

Потребителями энергии являются промышленные предприятия, коммунальное и сельское хозяйства, военные и другие объекты. Каждое из них отличается своими особенностями, но все они потребляют энергию на выполнение свойственных им функций. В странах бывшего СНГ энергетические затраты превышают почти в 5 раз затраты энергии в развитых странах для равного обеспечения одного человека, что вызвано низким уровнем механизации и применением отсталых технологий в народном хозяйстве. Устранение этих недостатков сводится, в основном, к учету поступающей энергии и управлению ее расходами, а также, в меньшей мере, к созданию малоэнергоемких технологий. Первое направление внедряется в хозяйствах установкой счетчиков расхода горючих материалов, горячей воды, электроэнергии. Их показания позволяют осуществлять управление расходом поступающей энергии, сберегать ее от излишних расходов. Результаты этих работ подтвердили их эффективность и необходимость дальнейшего продолжения.

Промышленные предприятия работают, как правило, с использованием технологий большой энергоемкости, при применении которых значительная часть энергии расходуется на добычу полезных ископаемых и получение их товарной продукции, а также на ее обработку. Обработка материалов, в свою очередь, является одним из распространенных видов производственной деятельности. К ней относятся: добыча, переработка нефти и газа, разрушение полезных ископаемых, резание, шлифование металлов и декоративных горных пород, а также другие технологические процессы. На их выполнение расходуется значительная часть энергии, вырабатываемой человечеством. Поэтому сбережение энергии и нахождение новых ее видов является актуальной задачей. Тем не менее работы по созданию технологий с низкими удельными затратами энергии в производстве ведутся недостаточно. Примером этому может быть и нефтяная промышленность. Основная часть энергии, потребляемая ею, расходуется на бурение скважин, добычу, транспортировку и переработку. В этих технологических цепочках происходят основные потери энергии. Потери энергии на осуществление основных процессов нефтяных промыслов значительно превосходят энергетические затраты на полу-

чение конечного продукта в других отраслях промышленности, использующих нефтяные энергоносители. Компенсация этого недостатка достигается полезным использованием обратимой внутренней энергии материалов, снижением энтропии, удельной энергоемкости процесса, устранением энергетической перенасыщенности системы, достижением необходимой вероятности энергетических потоков на электромагнитные связи между частицами обрабатываемого материала. Внести ясность в эти вопросы пытались исследователи с помощью различных теорий. Среди ученых этих направлений сложилась особая ситуация, вызывающая сомнения в направленности их деятельности по разработке новых оригинальных технических решений. Инертность сложившихся школ продолжает формировать поисковые научные направления на основах феноменологических или классических теорий без необходимых попыток привлечения фундаментальных и других теорий, а также их объединения для выяснения явлений, еще скрытых от нашего понимания.

Классические теории по обработке материалов достаточно полно изложены в работах [26,27,38] и признаны предельными квантовой электродинамики с ограниченными возможностями глубинных познаний сложных процессов обработки материалов. Поэтому, не останавливаясь на их анализе, отправим читателя к названной литературе. Менее изученными остаются попытки применения фундаментальных теорий к промышленной обработке материалов. Понимая важность феноменологических, классических и других теорий в применении их при изучении обработки материалов, проанализируем состояние фундаментальных теорий в этой области. Несмотря на большие достижения фундаментальной теории в физике элементарных частиц, работ, посвященных их взаимодействию в обрабатываемом материале, крайне мало. Обобщить их не представилось возможным.

Рассмотрим гипотезу обработки нефти адронами [2]. Такая обработка связана с названием частиц, сильно взаимодействующих на очень малых расстояниях. Благодаря такому свойству ядерных сил, они не играют практически никакой роли в молекулах и твердых телах. На расстояниях 10^{-13} см ядерные силы значительно превышают электромагнитные, и роль последних становится второстепенной [14]. Энергия связи ядер имеет порядок 8 Мэ/Кл. В молекулах твердых и жидких веществ расстояние между нуклонами не превышает 10^{-10} см, поэтому между ними действуют связи, нарушить которые фотонными потоками энергии невозможно. Здесь применима адронная обработка, но она вызывает большие энергетические затраты и изменение свойств обрабатываемого материала. Частицы, взаимодействующие при обработке материала, разделяются на четыре группы по их свойствам взаимодействия (табл. 1.1). Фотон представляет первую группу. Остальные группы составляют лептоны, главный октет мезонов и главный барионный октет. Известны четыре вида взаимодействий элементарных частиц: электромагнитное, сильное, слабое и гравитационное. Фотон и лептоны участвуют в слабых и электромагнитных взаимодействиях, но не участвует в сильных. Группа сильновзаимо-

действующих частиц — адронов — наиболее многочисленна (их известно несколько сотен). Адроны участвуют также в слабых и электромагнитных взаимодействиях. Существует стремление использовать общую для них теорию. Уровень знаний в этой области обосновал адронные взаимодействия в «больших объединениях», согласно которым для образования струй адронов необходимы мощные источники энергии, значительно превышающие 10 МэВ.

Естественно, возникает вопрос: «Зачем применять столь мощное излучение для добычи и обработки нефти?». Ведь оно может превратить ее в другое вещество, отличное от углеводородов! Энергия должна передаваться обрабатываемому материалу в таком количестве, которое способно полезно поглотить обрабатываемое вещество. В этом случае становятся ненужными адронные первичные источники энергии. Для осуществления, например, дилатансии пласта энергия расходуется на разрыв связей между его молекулами. Проникать внутрь молекул и проводить в них адронные преобразования нет необходимости. Излучаемая энергия должна поглощаться главным образом теми связями, которые нужно обрабатывать. В результате материал не перегружается излишней энергией. Приведенные рассуждения убеждают в нецелесообразности применения адронной гипотезы обработки для добычи нефти и получения нефтепродуктов. Такое заключение стимулирует на решение задачи оптимального воздействия только на те связи между молекулами обрабатываемого материала, разрыв которых не вызывает изменения его свойств. Такими связями являются электромагнитные связи. Поэтому в новых технологиях подбирается вид энергии, способный наиболее эффективно, с наименьшими ее затратами и наибольшей производительностью, разрушить их. Это реализуется направленным облучением электромагнитных связей пакетами энергии.

Совместное воздействие фотонных и фононных (фонотонных) пакетов энергии на электромагнитные связи отлично от адронного. Оно обеспечивает сохранение молекулярных свойств, получаемых продуктов с малыми затратами энергии. Фонотонная обработка материалов по своим энергетическим характеристикам составляет основу энергосберегающих технологий получения различных материалов, как жидких, газообразных и твердых. Такая закономерность объективно существует. Например, нефть разделяется на ее составляющие — воду, газ, бензин и другие элементы с сохранением их молекулярных свойств. Имеется аналогия и при разделении горных пород на их составляющие элементы, различные по своим свойствам. При разрушении породы бурением происходит разрыв электромагнитных связей между этими элементами и отделение их друг от друга с сохранением первоначальных свойств. Для осуществления этих процессов созданы устройства, которые трансформируют инерционные нагрузки движущихся масс в волновые потоки внутренней энергии излучателя на обрабатываемую среду. Расчет и проектирование трансформирующих устройств сопровождался применением, в основном, классических теорий, а изучение излучения волновых потоков энергии и

Таблица 1.1.

Состав обрабатываемых материалов

Фотон		Лептоны		Главный октет мезонов		Главный барионный октет	
Частица	Масса, МэВ	Частица	Масса МэВ	Частица	Масса, МэВ	Частица	Масса, МэВ
Фотон γ	0	Электрон e^-	0,511	Заряженные пионы π^+	139,6	Протон p	938,256
		Позитрон e^+	0,511	π^-	139,6	Нейтрон n	939,550
		Мюоны μ^-	105,7	Нейтральные пионы π^0	134,9	Ламбда-гиперон λ^0	1115,58
		μ^+	105,7	Заряженные К-мезоны K^+	493,8	Сигма-гипероны Σ^+	1189,47
		Электронное нейтрино ν_e	0	K^-	496,3	Σ^0	1192,56
		Электронное анти-нейтрино $\bar{\nu}_e$	0	Нейтральные К-мезоны K^0	439,8	Σ^-	1197,44
		Мюонное нейтрино ν_μ	0	$\bar{K}^0$	497,9	Каскадные частицы Ξ^0	1314,7
		Мюонное анти-нейтрино $\bar{\nu}_\mu$	0	Эта-мезоны η	548,6	Ξ^+	1321,2
			0				
			0				

поглощение ее обрабатываемым материалом – фундаментальными теориями. Внешние нагрузки алмазного долота оцениваются классическими теориями, а взаимодействие алмазных инструментов с породой – фундаментальными. Объективность доводов и работоспособность этих машин построена частично на феноменологических и классических, частично – на фундаментальных теориях. Правомерность такого подхода к решению новых, сложных технических задач обоснуем на примере созданных машин, конструктивные особенности которых и расчеты приведены в разделе III.

Обработка забоя скважин алмазными инструментами или кавитационными гидродинамическими струями, связана с качественно отличными явлениями, объяснить которые только феноменологическими и классическими теориями не представляется возможным. Особенно это проявляется в накачке активного вещества вершины трещины обратимой внутренней энергией материала и

резонансным ее поглощением. Деформирование породы алмазным зерном или кавитационным потоком жидкости связано со взаимодействием ее элементарных частиц. Оно фундаментально по своему значению во множестве нерешенных проблем, которые нельзя объяснить теориями, суммирующими и обобщающими экспериментальные факты без достижения ясности содержания обработки материалов. В этом случае необходимо раскрытие не только сущности явлений, но и их количественная оценка с привлечением различных теорий.

Там, где классическая теория не в состоянии вскрыть основные параметры новых процессов, определяют в первую очередь их качество фундаментальными теориями взаимодействия частиц обрабатываемого материала. Совместное использование классических и фундаментальных теорий дает единый метод описания состояния уровней энергии, рождение и исчезновение новых частиц, единым образом описывают частицы, волны и силы. От понимания этих процессов во многом зависит определение их количественных значений и возможность усовершенствования добычи и переработки материалов. Недостаточное познание взаимосвязи теорий обработки является одним из основных препятствий в качественном совершенствовании технологий в промышленности. Поэтому в последние годы много внимания уделяется фундаментальным наукам. Однако, это не означает, что только фундаментальными решениями можно существенно улучшить состояние промышленности и снизить затраты энергии на основных ее операциях. Такое понимание производственных задач нельзя признать правильным. Обособление фундаментальных наук от феноменологических, классических и от других для решения сложных задач в промышленности ошибочно. Правильным научным направлением отыскания истины следует считать их системную взаимосвязь. Установление ее между всеми теориями является задачей дальнейших исследований на современном уровне познаний. Начало таких исследований целесообразно в установлении системной взаимосвязи между классическими и фундаментальными науками. В настоящее время они получают наибольшее распространение среди существующих наук и дают новые эффективные результаты. Взаимосвязь между классической и фундаментальной теориями можно представить в виде структурной схемы (рис. 1.1).

К особенностям структуры относится единство объекта, подлежащего изучению с помощью различных теорий. Таким объектом являются внутренние связи обрабатываемых материалов: гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия (блок 4). Классические и фундаментальные теории помогают познавать общие закономерности изменения в материале уровней энергии в процессе его обработки (блок 3). При этом оценивается изменение свойств обрабатываемого материала его уровнями энергии как классическими, так и фундаментальными теориями. Блоки 3 и 4 отражают общность взаимосвязей процессов при

обработке материалов в различных технологических условиях. Основные части и составляющие блоков 1 и 2 отражают главные отличия между классическими и фундаментальными теориями. По ним характеризуются явления, свойственные определенному этапу обработки и выбираются теории для раскрытия этого явления. При этом учитывается необходимость применять в теориях вероятностные закономерности для обоснования отличия свойств членов изучаемых статистических ансамблей.

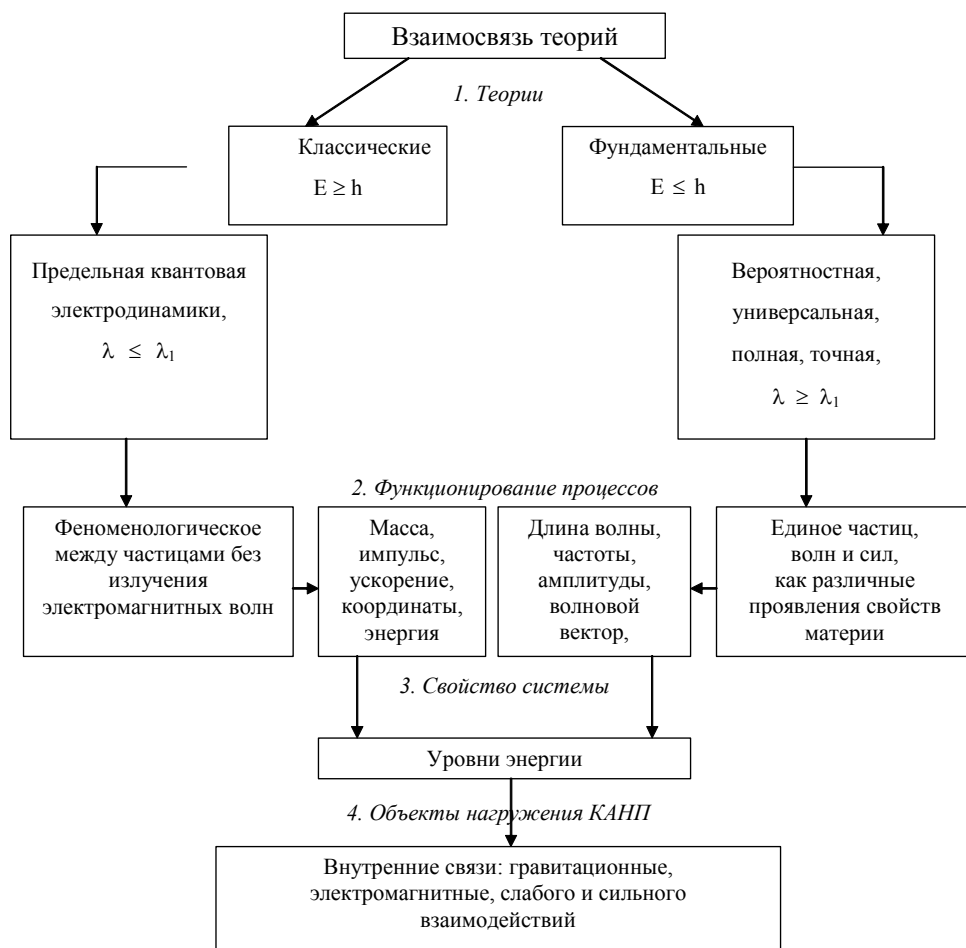


Рис. 1.1. Структура взаимосвязей теорий обработки КА

Если в системе теорий, раскрывающих сущность явлений в КА машина-обрабатываемый материал, численные значения вероятностных динамических переменных (таких, например, как импульс, ускорение и полная энергия) сравнимы или меньше размерности действия постоянной Планка h , то описание такой системы следует осуществлять фундаментальной теорией. В случае больших значений размерностей переменной по сравнению с постоянной Планка при выборе теории, оперирующей такими величинами, отдается предпочтение классической.

При выборе теории (классической или фундаментальной) учитываются значения длины волны элементов обрабатываемого материала λ_1 . Если это значение меньше или равно значению длины волны λ де Бройля целесообразно применять классические теории, а когда λ_1 больше или равно λ де Бройля — прибегают к использованию фундаментальной теории. Канонические ансамбли функционируют с различными параметрами элементов обрабатываемого материала. Их значения бывают большими и меньшими по сравнению с h и λ , что необходимо учитывать в теоретическом обосновании технологических процессов в промышленности.

Блоки 1 и 2 структуры разделяются на две ветви: левая ветвь отражает основные особенности классических теории, а правая — фундаментальных. Эти особенности проявляются в последовательности функционирования процессов (блок 1, 2), обозначенных на рис. 1.1. стрелками. Каждая из теорий различными способами оценивает воздействие энергии на обрабатываемый материал. В зависимости от ее качества осуществляется изменение уровней энергии (блок 3) материала. Оценка этих изменений достигается решением научных и технических задач во взаимосвязи классических и фундаментальных теорий.

Структура на рис. 1.1, не обеспечивает однозначных решений, полученных с использованием классических или фундаментальных теорий. Она может давать различные количественные результаты. Отыскание причин этих отличий раскрывает новые явления, помогает усовершенствовать как теории, так и технологии. В этом заключается необходимость изучать и создавать технологический процесс с помощью различных теорий. Их взаимосвязь обогащает науку и практику. Такому исследованию КА не подвергались, его осуществление открывает новые возможности улучшения технологий производства.

1.2. Обратимая внутренняя энергия материалов

Поверхностная энергия является одним из физико-технических свойств обрабатываемого материала. Твердые тела ограничены внешней поверхностью, по которой они соприкасаются с фазами другого свойства и структуры. Свойства вещества в этой межфазной поверхности отличаются от свойств внутри объема фазы.

Внутри обрабатываемого материала любая молекула окружена себе подобными. В пограничном слое они находятся во взаимодействии или с разным числом молекул, или различной химической природы. Чем больше различие в напряженности молекулярных сил, действующих в каждой из фаз, тем больше потенциальная энергия межфазовой поверхности, кратко называемая – поверхностной энергией. Она характеризует внутреннюю энергию E_e буримого материала, позволяет оценить ее экспериментально. Необходимость энергетической интерпретации процесса бурения и его математического моделирования потребовали разработки специального метода, содержание которого способствует пониманию полезного использования обратимой внутренней энергии при бурении, которое представлено выражением [26]:

$$E_e = 7.93 \cdot 10^{-16} \cdot T^4 \cdot b \cdot D, \quad (1.1)$$

где: T – абсолютная температура; b – ширина инструмента; D – постоянная ЛПД.

Как видно в (1.1) переменные параметры, трудно измеряемые в условиях производства и эксперимента. Необходимость их определения потребовала разработки специальной методики приборного нахождения обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала в лабораторных условиях. Прямой замер E_e непосредственно в материале не реализован из-за отсутствия нужных приборов и оборудования. Поэтому использован замер энергии, по значениям которой находится E_e . К ней относится поверхностная энергия обрабатываемого материала.

Энергетическую оценку обрабатываемого материала обоснуем следующим представлением бурения. Буровой инструмент последовательно снимает с поверхности забоя слой породы (стружки). На вновь образуемой его поверхности сосредоточены молекулы, имеющие связь с соседними молекулами массива. На другой их стороне такие связи отсутствуют. Чтобы перевести молекулу изнутри на поверхность требуется совершить работу. Частное работы обработки поверхности на ее площадь определяет удельную поверхностную энергию. Она имеет непосредственную связь с квантово-механическим контуром материала и позволяет раскрыть физические особенности полезного использования его обратимой внутренней энергии. При этом принимается во внимание, что все обратимые процессы характеризуются следующими признаками: они изменяют на обратный ход направления пути; не требуют никакого подвода энергии и не оставляют на участвующих телах (частицах) остаточных деформаций. Такие условия вызывают особые трудности в разработке стенда для изучения процессов, снижающих потребление энергии с учетом квантово-механических взаимодействий между энергетическими уровнями системы «буровая машина-забой» (БЗ). Особенностью энергетической интер-

претации работы на таком стенде является раздельное нахождение составляющих частей общей энергии обработки материалов, которая находится из уравнения:

$$A = \frac{1}{2} \cdot l \cdot F, \quad (1.2)$$

которая состоит из вновь образованной поверхностной энергии:

$$A_n = \frac{h \cdot V \cdot H \cdot S}{\pi \cdot d^2}, \quad (1.3)$$

где: l — ход нагружающего пуансона, h — постоянная Планка, V — скорость молекулы на поверхности трещины, d — диаметр молекулы, H — глубина трещин на образце материала, S — площадь вновь образованной поверхности обрабатываемого материала. При этом энтропия

$$\frac{Q_{обр(1)}}{T_{абс(1)}} = \frac{Q_{обр(2)}}{T_{абс(2)}} = M \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (1.4)$$

где: $Q_{обр(1)}$ и $Q_{обр(2)}$ — начальная и конечная энергии обработки материала, $T_{абс(1)}$ и $T_{абс(2)}$ — начальная и конечная его абсолютные температуры, M — масса количества вещества, заключенного в объемах V_1 и V_2 , R — газовая постоянная.

Все действительные процессы обратимы только частично, они всегда содержат необратимую часть, которая учитывается энтропией. Сложность энергетической интерпретации потоков энергий в обрабатываемом материале до настоящего времени не позволила однозначно определить долю полезного участия обратимой внутренней энергии $A_{вп}$ в обработке материала. Подобных аналогов в технической литературе не найдено. Объективные трудности научной и технической реализации приборной оценки функционирования потоков энергий привели к необходимости использовать три математические модели в работе на одной экспериментальной установке. При ее эксплуатации обобщающим математическим отражением изученных процессов является уравнение:

$$A_{en} = A - A_n - M \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (1.5)$$

Первое слагаемое (1.5) находится из опыта, а два других — известными физическими методами. Нетрадиционность и трудоемкость в обработке полученных результатов исследований окупается первым внедрением в изучение новой энергосберегающей технологии. Для этого изготовлена на базе станка МТГ-10Т установка для определения обратимой внутренней энергии материала, методические особенности эксплуатации которой приводятся в последующем изложенной монографии.

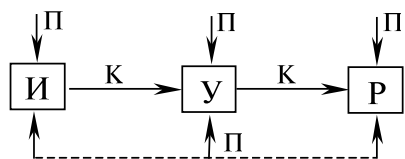


Рис.1.2. Блок-схема прибора для измерения неэлектрических величин:

И – измерительный преобразователь;

У – усилитель; Р – регистр;

К – канал связи; П – источник питания

Средства измерения неэлектрических величин состоят из трех основных функциональных узлов: измерительного преобразователя (И), усилителя (У) и регистра (Р). Между узлами имеются каналы связи, а для нормального функционирования узлов – источники питания (П) (рис.1.2). Измерительный преобразователь обеспечивает восприятие измеряемой входной величины (дав-

ления, перемещения, силы) и ее преобразование в сигнал для дальнейшего усиления и регистрации. Усилитель включает в себя входное устройство согласования и собственно усилитель. При выборе датчиков-преобразователей учитывается влияние динамических нагрузок на точность измерения. Они обеспечивают линейную зависимость между входной и выходной величинами в изучаемом диапазоне измерений, высокую чувствительность для регистрации измеряемой величины на светочувствительных материалах, имеют малые габариты, просты в изготовлении, а также стабильные характеристики во времени при действии ударных нагрузок. Этим требованием удовлетворяют тензометрические сопротивления КФ-5-50. Их собственное сопротивление находится в пределах 400 Ом, что позволяет избежать дополнительных согласующих устройств, их погрешность не более 0,2% от крутизны характеристики, что обеспечивает высокую точность измерений. Диапазон частоты измеряемой величины при использовании тензодатчиков может достигать $3 \cdot 10^4$ Гц. Фольговые тензодатчики имеют решетку из тонких полосок фольги разного профиля толщиной 4-12 мкм, нанесенных на лаковую основу. Сжатие или растяжение исследуемой породы вызывает пропорциональное сжатие или растяжение фольги, вследствие чего изменяется длина сечения, а значит и удельное электрическое сопротивление. В общем случае сопротивление фольги определяется по формуле:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (1.6)$$

где: ρ – удельное сопротивление материала фольги, Ом·м; l – начальная длина рабочего участка фольги, м; S – площадь сечения фольги, м².

При растяжении фольги ее сопротивление изменяется на величину ΔR и будет равно $R + \Delta R$. Относительное изменение сопротивления определяется:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} \cdot (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (1.7)$$

где: Δl — изменение длины, м; $\Delta \rho$ — изменение удельного электрического сопротивления, Ом; μ — коэффициент Пуассона.

Коэффициент тензочувствительности равен:

$$k = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}, \quad (1.8)$$

где: ε — относительная деформация преобразователя.

Коэффициент тензочувствительности зависит от свойств материала, из которого изготовлен тензорезистор, и технологии изготовления. В работе используются тензодатчики КФ-7. Их основными параметрами являются: коэффициент усиления k_y и максимальная относительная деформация $E_{\max}$. Для тензодатчиков КФ-7: $k_y = 2,1$; $E_{\max} = 3000 \cdot 10^{-6}$. Для того, чтобы знать смогут ли записать датчики необходимые показания, надо рассчитать относительную деформацию $E_{\max}$:

$$E_{\max} = \Delta l / l, \quad (1.9)$$

где: Δl — изменение длины образца, l — начальная длина образца.

Но из-за того, что в данном эксперименте l и Δl настолько малы и измеряются в мкм, то их практически невозможно определить, поэтому используем равенство:

$$E_{\max} = \sigma_{\max} / E, \quad (1.10)$$

где: $E = 18 \cdot 10^6$, Н/см² — модуль Юнга для стали, из которой сделан пуансон; $\sigma_{\max}$ — максимальное напряжение сжатия пуансона, которое определяется по формуле:

$$\sigma_{\max} = P_{\max} / I, \quad (1.11)$$

где: $P_{\max} = 40$ кгс/см² — максимальное давление, развиваемое пуансоном; I — момент инерции пуансона.

В проводимом эксперименте момент инерции для пуансона, на который наклеены датчики, находится следующим образом. Сечение пуансона представляет собой простую геометрическую форму (рис. 1.3), для которой момент инерции ра-

вен $I=ld_2^4$. Пользуясь вышеприведенными формулами, видно, что деформация пуансона попадает в диапазон, который может зафиксировать датчик КФ-7, это свидетельствует о его пригодности для предусмотренных испытаний.

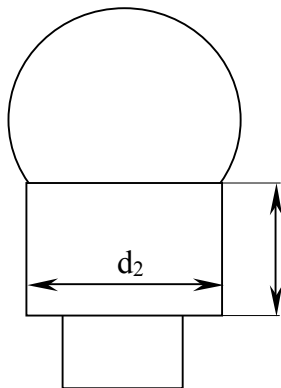


Рис.1.3.
Пуансон
экспериментального
стенда

На практике определения прочностных свойств пород широко используется их контактная прочность R_k , которая находится в следующих соответствиях с $\sigma_{\max}$ и $E_{\max}$:

$$\sigma_{\max} = 1.2 R_k; \quad E_{\max} = 3 \cdot 10^3 R_k. \quad (1.12)$$

Сходство способов нагружения для изучения физико-механических свойств горных пород при определении контактной прочности R_k и обратимой внутренней энергии с учетом (1.12) позволяет применять для экспресс методов с использованием классических теорий характеристику R_k . В случае необходимости более глубокого изучения механизма разрушения на микроуровне и вскрытия явлений, которые не могут быть достигнуты с помощью R_k , следует использовать

предложенный метод определения физико-механических свойств пород по их обратимой внутренней энергии.

Для определения удельной поверхностной энергии обрабатываемого материала воспользуемся формулой:

$$\gamma = A/S, \quad (1.13)$$

где: A , Дж – работа, затрачиваемая пуансоном; S, m^2 – площадь вновь образовавшейся поверхности.

Или можно воспользоваться энергетическим условием Гриффитса - Червина, согласно которому трещина начинает увеличиваться при:

$$U = U_r, \quad (1.14)$$

где: U , Дж – упругая энергия, запасаемая образцом; U_r , Дж – поверхностная энергия или энергия, затрачиваемая на образование новых поверхностей. Ее можно представить в следующем виде:

$$U_r = \gamma \cdot S = b \cdot l_c \cdot \gamma, \quad (1.15)$$

где: b , м – длина образца; l_c , м – длина возникшей трещины.

Площадь вновь образованной поверхности (рис.1.4.):

$$S = H \cdot b, \quad (1.16)$$

где: H , m — высота образца до вершины концентратора.

Так как все образцы имеют одинаковые линейные размеры, то площади вновь образованных поверхностей также будут одинаковыми.

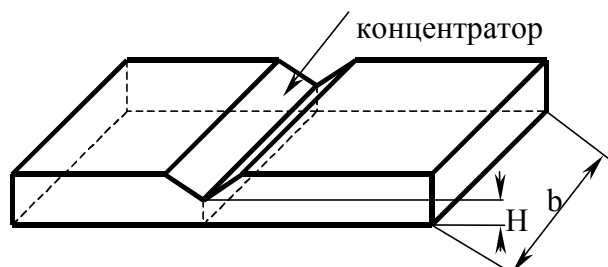


Рис.1.4.
Форма испытываемого образца

$$S = H \cdot b = 18 \cdot 50 = 900 \text{ мм}^2.$$

В качестве тарировочного материала использовалась стальная пластина. При давлении на нее в 35 кгс/см^2 получен отпечаток пуансона диаметром 8 мм. Перемещение пуансона составило 7 мм.

$$F = P \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) = 3.5 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{3.14 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2}{4} \right] = 175.9 \text{ , Н}$$

где: F — сила воздействия пуансона на пластину; P — давление пуансона; d — диаметр отпечатка.

Площадь треугольника на тарированной диаграмме равна работе, выполненной пуансоном при данном нагружении пластины с учетом его перемещения.

$$A = \int_0^l F \cdot dl = F \cdot l, \quad (1.17)$$

где: A — работа деформации тарировочной пластины при нагружении пуансоном; l — перемещение пуансона.

Подставив в (1.17) численные значения, получим:

$$A = 175,9 \cdot 7 \cdot 10^3 = 1,231 \text{ (Дж)}.$$

Масштаб X измерений определяем из пропорции:

$$\begin{cases} 28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{---} 1.231, \text{ Дж}; \\ 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{---} X, \text{ Дж}; \end{cases}$$

$$X = 1,231 \cdot 1 \cdot 10^{-4} / 28 \cdot 10^{-4} = 0.044, \text{ Дж.} \quad (1.18)$$

где: $28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ — площадь отпечатка на тарифовочной пластине при нагружении ее $A = 1,231 \text{ Дж}$; $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ — единичная площадь контакта пуансона с образцом породы в момент ее разрыва в вершине концентратора напряжений.

Из (1.18) находится энергия X , необходимая для разрыва материала сечением в $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. По площади разрушения образца $S = H \cdot b$ (рис. 1.3) находится энергия $A = H \cdot b \cdot X, \text{ Дж}$. С учетом ее значения по (1.1) находится обратимая внутренняя энергия обрабатываемого материала. Подсчет энергии на обработку материала производится перемножением показаний прибора на масштаб X .

Эксплуатация стенда позволила объективно расширить познания в функционировании внутренней энергии и подтвердила теорию квантово-механического контура, способного полезно излучать хранящуюся в материале глобальную обратимую внутреннюю энергию.

1.3. Состояние использования энергии в промышленности

В монографии излагаются обобщенные сведения по результатам научных, лабораторных и промышленных исследований полезного использования ГОВЭ системы «машина — исполнительный орган — обрабатываемый материал» (МОМ) полученных за длительный период работы. Для ознакомления с аналитическими выкладками и методическими особенностями выполненных работ можно обратиться к их печатным первоисточникам [2, 15, 26, 27, 32, 36, 42].

Энергия для обработки материалов затрачивается на движение машины и обработку материалов. В первом случае она потребляется из первичного источника — двигателя. Современные двигатели практически не используют обратимую внутреннюю энергию его конструкции. В последние годы ведутся работы по созданию двигателей — генераторов на постоянных магнитах, открывающих возможность значительного повышения их КПД за счет использования глобальной обратимой внутренней энергии магнитов. В случае их подпитки электромагнитным полем соленоида, пересекающего поле постоянного магнита, реален двигатель — генератор с энергией достаточной для промышленной эксплуатации. Среди новых типов двигателей важное место занимают бесконтактные вентильные двигатели, в которых коммутация обмоток осуществляется полупроводниковыми ключами по

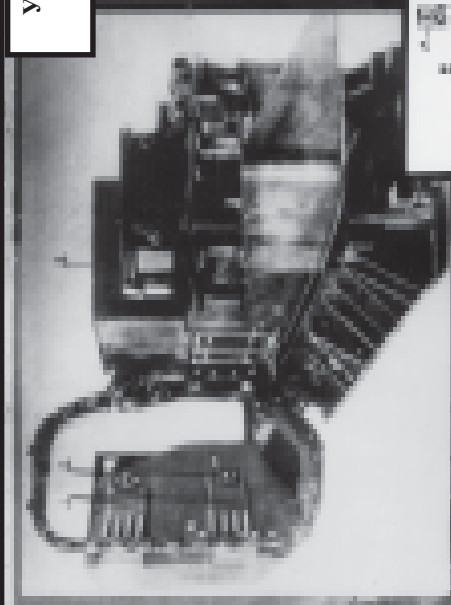
сигналам датчика положения ротора, возбуждение располагается на роторе постоянными магнитами. За короткий срок они стали основными двигателями регулируемого электропривода. Уже реализован в Китае поезд на магнитной подушке, проезжающий 30 км. за 8 минут. В создании поезда принимали участие немецкие предприятия, канцлер Шредер осматривал его в Шанхае.

Редукторы машин, манипуляторы, циклические машины являются основным сопротивлением продвижению энергии от двигателя к исполнительному органу. Только на отдачу в ударных машинах теряется до 50 % энергии. Модуляция энергии исполнительных органов не обеспечивает необходимых производственных граничных условий (ПГУ). Так только КПД разрушения составляет около 2 %. Совершенствование разрушения осуществлялось внедрением силового и алмазного резания, непрерывными и импульсными струями высоких давлений, термическими горелками, ударами больших энергий, отрывом и комбинированными исполнительными органами, трансформирующими энергию на обрабатываемый материал сочетанием различных перечисленных способов разрушения. Так специально разработаны и прошли промышленное испытание комбинации совместного силового и алмазного резания с отделением междущелевого целика отрывом или ударом, статико-динамические струи, активные рыхлители и бутобои, механическо-гидравлическое нагружение ударами больших энергий и импульсными струями с давлениями около 2000 атм. В этих способах разрушения предпринимались попытки существенно повысить КПД снижением сопротивления молекулярным каркасом массива и передачей нагрузки на междумолекулярные связи обрабатываемого материала.

Сочетание силового резания с отрывом целиков угля в комбайне УКО-2 (рис. 1.5.) при глубине стружки 0,4-0,5 м и шаге отрыва 0,2-0,3 м. дало удельную энергоемкость разрушения 0,001-0,036 квт·ч/м³, сортность угля класса от 25 до 300 мм составила 61,2%, а выход класса 0-6 мм снизился в 1,3 раза по сравнению с комбайном К-52М, КПД разрушения составил около 2 %. Силовые энергетические показатели работы комбайна УКО-2 приведены на (рис. 1.5 а.).

Низкие показатели удельной энергоемкости разрушения пород отрывом дало возможность использовать их на породах крепостью свыше 4 по шкале М. М. Протодьяконова. Так с учетом повышения КПД отделения пород типа аргелиты, алевролиты и песчаники малой крепости создан породопроходческий комбайн ПКЭ-1 (рис. 1.6.), с помощью которого предпринята попытка более эффективного использования глобальной обратимой внутренней энергии разрушаемого забоя. Он прорезает щели в породе крепостью 4 по шкале проф. М. М. Протодьякона на глубине до 400 мм и отрывает щелки размером до 500 мм. Содержание фракций более 100 мм превышает 60 %, тогда как при работе комбайна ПК-3 около 2% от общего объема отделенной горной массы. Результат работы комбайна по хронометражным наблюдениям приведен на (рис. 1.6 а.), он содержит осциллограмм-

УЗКОЗАХВАТНЫЙ КОМБАЙН, РАБОТАЮЩИЙ НА ПРИНЦИПЕ ОТРЫВА



Комбайн, перемещаясь по изгибающемуся конвейеру, цепным баром охватывает целик угля. К бару комбайна гибко крепится грузчик отвального типа, в овал которого встроены отрывник 1 с гидродомкратами 2, питаемые от масляных насосов, встроены в гидробак 3. При движении комбайна передние щеки отрывников заходят в вертикальную часть врубной щели и поочередным расклиниванием производят отрыв околнуренного целика угля от массива. В процессе отрыва угля грузчик осатанавливается, сжимая пружины, а при возвращении отрывника в исходное положение подается на забой, что обеспечивает непрерывное движение комбайна по лаве. Потрузка угля на конвейер осуществляется за задними щеками отрывников и отвалом. После рабочего прохода по лаве спуск комбайна осуществляется по тому же пути и одновременно производится передвижка конвейера. Гидросистема комбайна предназначена для приведения в действие гидромеханических отрывников и состоит из масляка 3, масляных насосов 4, распределителя 5, гидродвигателя 6, редуктора 7, гидроаккумулятора 8, гидродомкратов 2 с отрывниками 1. Регулирование числа оборотов гидродвигателя специальным краном позволяет менять частоту срабатывания отрывников и крупность отрываемых кусков угля.



ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Производительность	т/час — 150
Вынимаемая мощность	М — 1,6
Ширина захвата	М — 0,6
Рабочая скорость подачи	М/мин — 0-3
Маневровая скорость подачи	М/мин — 10
Сила тяги на канате	кг — 12000
— рабочая	кг — 5000
Частота срабатывания	
отрыва	отрывов/мин — 10-20
Ход отрывников, мм	мм — 75
Максимальное усилие отрывника	кг — 15000
Давление масла в гидросистеме	атм — 50
Мощность двигателя	квт — 90

Рис. 1.5. Очистный комбайн УКО-2

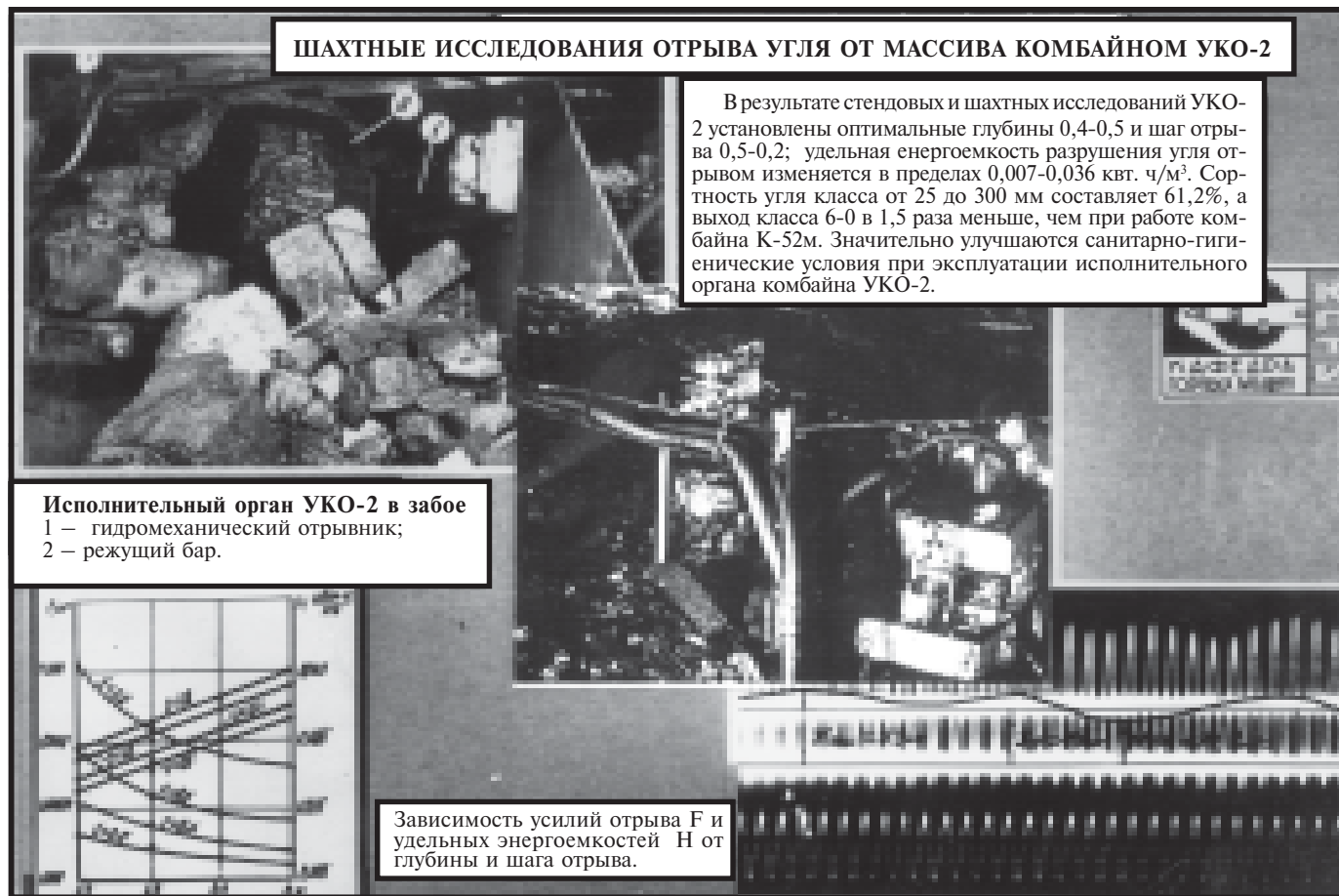


Рис. 1.5 а. Энергетические характеристики работы комбайна УКО-2



Рис. 1.6. Породопроходческий комбайн ПКЭ-1



Рис. 1.6а. Характеристики работ комбайна ПКЭ-1

ный замер мощности, силовые, энергетические показатели и размеры отделяемой породы. Несмотря на полученные преимущества по сравнению с ПГУ комбайна ПКЭ, — основной его показатель — КПД разрушения находится в пределах 3%.

Поскольку аргелиты и алевролиты обладают малой прочностью и большой вязкостью, то потребовалось определение ПГУ на менее вязких, но более прочных породах. К таким породам относятся песчаники крепостью около 10 по шкале проф. М. М. Протодяконова.

Для этого созданы и испытаны комбайны «Алмаз-1», «Алмаз-УД» и «Алмаз-5ПП». На рис. 1.7. показан исполнительный орган породопроходческого комбайна «Алмаз-1» с его рабочими инструментами, а на рис. 1.7а. оборудование для изу-

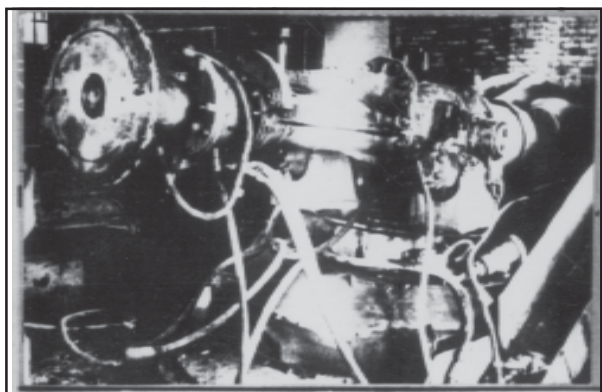


Рис. 1.7.
Исполнительный орган
породопроходческого комбайна Алмаз-1

чения механизма разрушения и энергетического взаимодействия исполнительного органа с породным массивом. Размещение алмазного диска и отрывника в одной щели вызвало увеличение объема последней. В ней нарушается режим работы алмазных дисков при нагружении отрывниками породных целиков. Исполнительный орган выжимался из щели, заклинивался в ней. В результате КПД алмазных исполнительных органов с

отрывниками составил около 3%. Причиной такого низкого КПД является неустойчивая работа отрывника и большая ширина щели, равная 4 см.

Расход энергии на алмазное резание составил 20 — 30 кВт·ч/м³, большие объемы щелей вызывают большие затраты энергии. Несмотря на меньшую вязкость песчаника по сравнению с аргелитами и алевролитами, КПД разрушения песчаника алмазным исполнительным органом с отрывниками остался низким. Устранить этот недостаток предусматривалось уменьшением ширины щели и отделением породного целика ударом, что было достигнуто в породопроходческом комбайне Алмаз-УД (рис. 1.8.). Объем измельченной породы при прорезании щелей алмазными дисками породопроходческим комбайном «Алмаз-УД» достиг 10-25% от общего объема.

Остальные 45-90% горной породы отделялись отрывом. Общие удельные затраты энергии составили 8-10 кВт·ч/м³, а месячные проходки — 300 м. Энергия в



Рис. 1.7а. Оборудования для изучения механизма разрушения и энергетического взаимодействия исполнительного органа с породным массивом

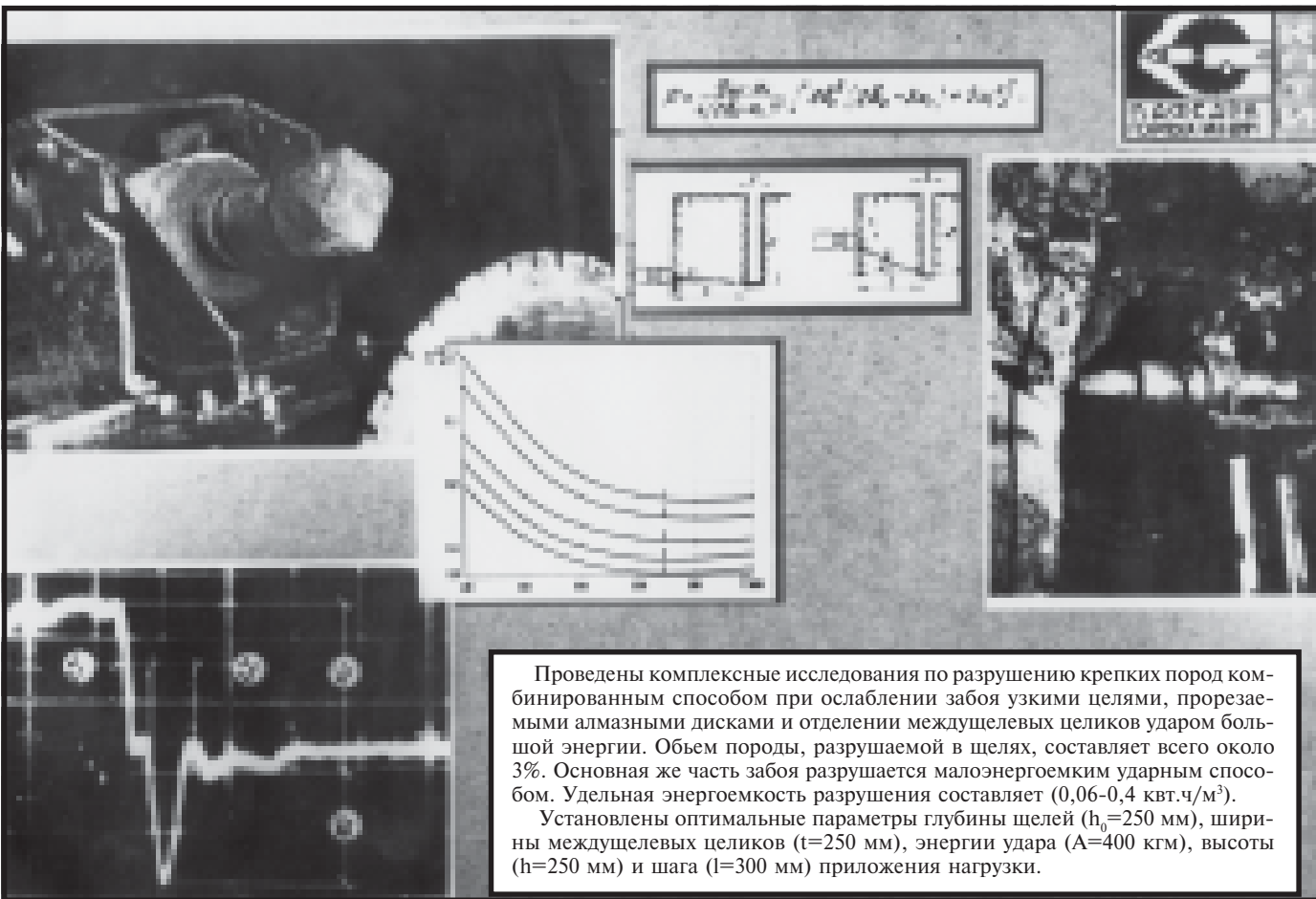


Рис. 1.8. Породопроходческий комбайн «Алмаз-УД» и его энергетические показатели работы



Рис. 1.8а. Фотоупругое моделирование концентрации энергии при отделении надщелевого целика

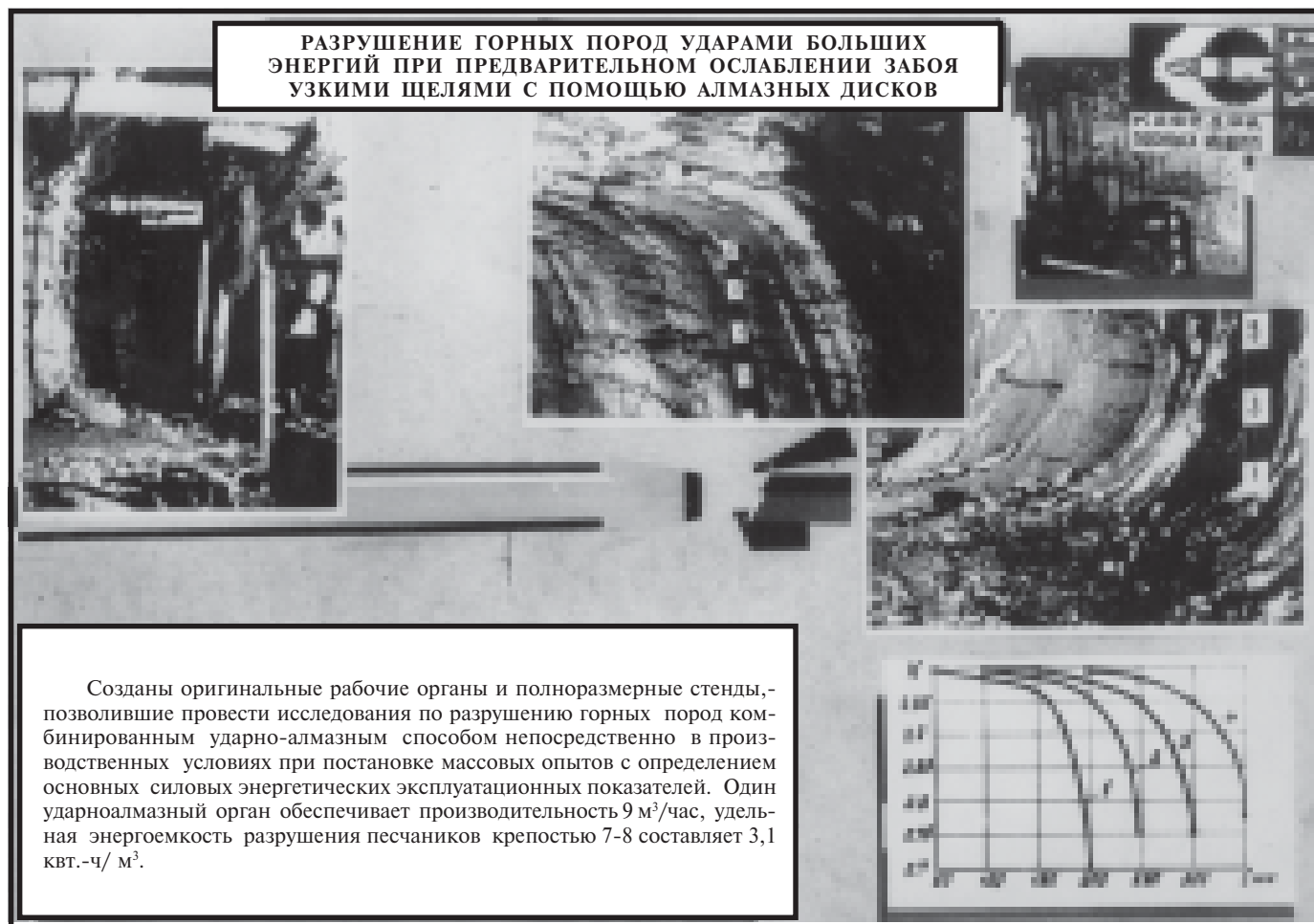


Рис. 1.86. Результаты промышленных испытаний комбайна «Алмаз-УД»

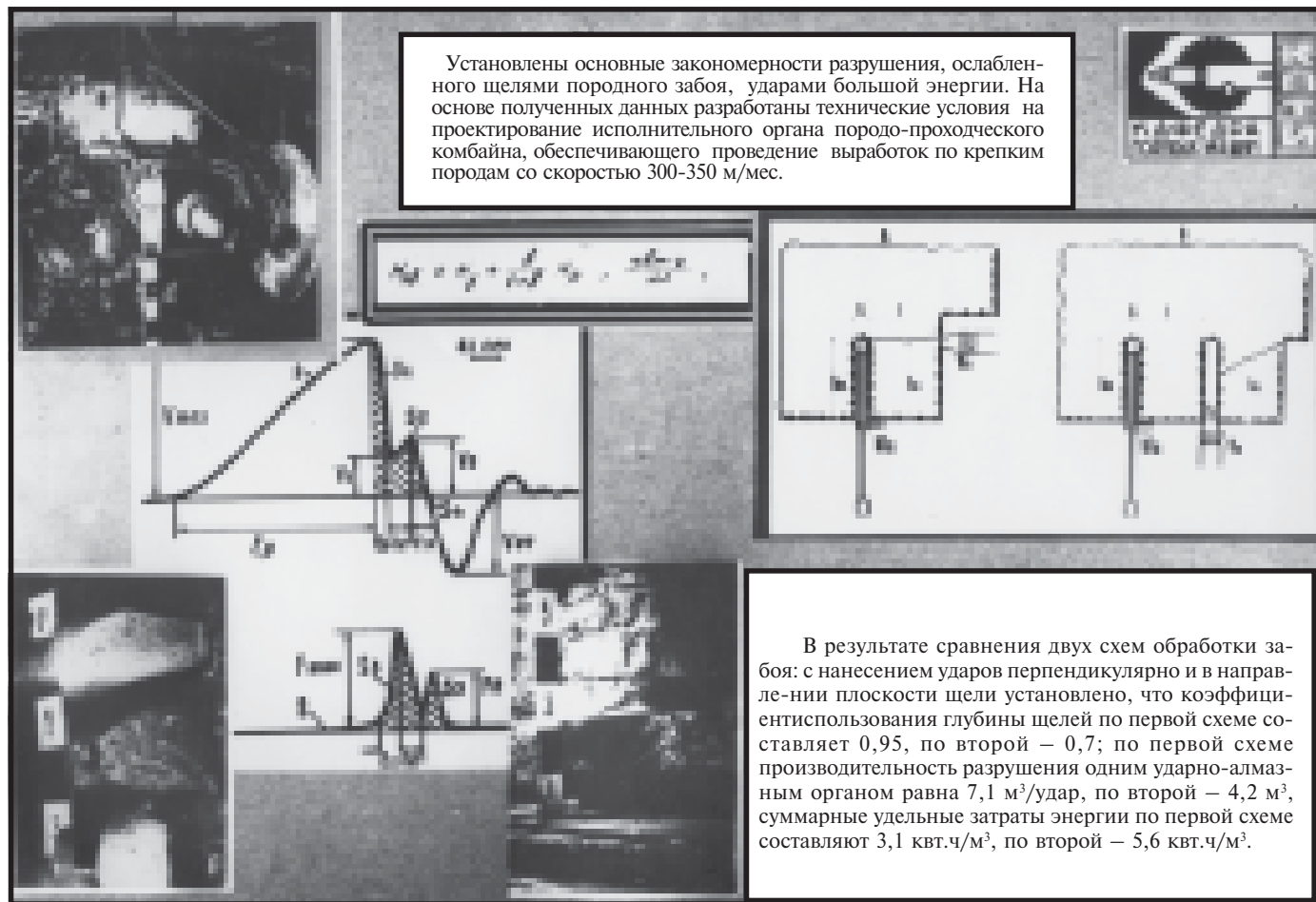


Рис. 1.8в. Энергетические показатели разрыва электромагнитных связей между молекулами песчаника

этом способе разрушения в основном затрачивалась на образование щелей в массиве, а междущелевые целики в период их отрыва трансформировали свою энергию в зону концентрации в вершине щели. Здесь скапливается основной поток полевых электронов, которые формируют критическую массу энергии, излучаемую и поглощаемую уровнями энергий гармонических осцилляторов породы, при раскрытии трещины отрыва междущелевого целика. Таким образом, значительно уменьшается нагрузка на молекулы целиков и породного массива. Это отчетливо прослеживается на фотоупругих моделях, где область, охватывающая концентратор и вершину трещины, уменьшает пропускную способность света из-за уменьшения ее эффективного сечения (рис. 1.8а.).

Статическое приложение нагрузок к междущелевому целику создавали в массиве полевые потоки фотонов с малыми частотами колебаний, что снижает количество излучения за единицу времени на единичную амплитуду согласно резонансной формулы Брейта-Вигнера для одного уровня. Поэтому качественного улучшения ПГУ не достигнуто, КПД разрушения не превысил 3%. Замена статического отрывника на динамический дало возможность разрабатывать крепкие песчаники с КПД разрушения $3 \div 4\%$, что указало на необходимость совершенствования способов и средств динамического нагружения.

Обработка материалов в производственных условиях высокочастотными импульсными нагрузками реализована алмазно-ударным комбайном «Алмаз УД» (рис. 1.8б.). В нем статический отрыв междущелевого целика заменен на отрыв ударом.

Пика гидромолота трансформировала одиночные удары бойка в высокочастотные фотонные потоки энергии в щелевые концентраторы, что повысило «интенсивность отклика» на внешние излучения пики. Здесь квазистабильный уровень энергии квантово-механической системы «забойщика» существует именно в том смысле, что система имеет резонансный отклик. Фотоупругое моделирование ударного нагружателя (рис. 1.8а.) между щелевого целика зафиксировало увеличение эффективного сечения в целике и особенно в концентраторе напряжений у его основания, что свидетельствует о росте эффективного сечения, а следовательно и интенсивности движения в этих местах полевых потоков фотонов, разрушающих междумолекулярные связи массива.

Результаты промышленных испытаний (рис. 1.8б.) подтвердили лабораторные исследования фотоупругого моделирования концентрации энергии в щелях, где функционируют междумолекулярные связи обрабатываемого материала. В этих местах сосредотачивается и альтернативная глобальная обратимая внутренняя энергия материала, которая в данном случае оказывает, в основном, сопротивление разрыву междумолекулярных связей. Наличие такой энергии целесообразно использовать полезно для разрыва уровней энергии гармонических осцилляторов и

молекулярных электронов, т.е. трансформировать ее на самообработку материала.

Для изучения такой задачи гидромолот «Алмаз-УД» оснащен самопишущими приборами, оценивающими энергетические показатели отделения целика. Результаты исследований приведены на рис. 1.8в., где приведены осциллограммы описывающие значение обратимой внутренней энергии разрушения. Эффективность приближения частот излучения пики ударных машин к собственным частотам колебаний электромагнитных связей молекул обрабатываемого материала проверено и обосновано на машинах с энергиями “больших ударов”. К ним относятся статико-динамические ковши экскаваторов, бутобои, струги, рыхлители. Конструктивные отличия и различные предназначения этих машин отражают специфические особенности взаимодействия глобальных внутренних энергий внешних излучений исполнительными органами машин с глобальными внутренними энергиями обрабатываемого материала.

Форма пики гидромолота оценивалась протяженностью трещин при нанесении одного удара с энергией 280 кгм по выровненной поверхности забоя песчанника. Использовались конусная, долотчатая, параболическая и цилиндрическая пики. В каждую точку забоя наносилось по одному удару с углом атаки в 90°. Длина трещин, вызванная этими ударами характеризует изменение энергетического состояния внутренних связей обрабатываемого материала. Так как в раскрытии трещин принимает участие глобальная обратимая внутренняя энергия обрабатываемого материала, то их величина отражает значение этой энергии в разрушении. Чем она больше, тем лучше показатели ПГУ. Для испытанных пик получены соответственно следующие значения суммарной и средней протяженности одной трещины в см: 85,6-18,2; 32,4-9,5; 5,75-3,8 и 5,4-3,9. Такое отличие трещиноватости связано с интенсивностью излучения энергии пикой, которая зависит от величины поверхности инструмента и площади его контакта с массивом. Через поверхность внутренняя энергия инструмента рассеивается в окружающем пространстве и концентрируется в контакте с массивом. Конический инструмент концентрирует на малой площади контакта с забоем максимальную энергию и рассеивает через свою минимальную поверхность меньшие значения его глобальной обратимой внутренней энергии. По мере роста этих площадей у других форм инструментов передача их внутренних энергий в забой уменьшается в соответствии с постулатами Эйнштейна для спонтанного испускания вынужденных излучений и поглощении энергетическими уровнями материала.

Попытка промышленной реализации этих преимуществ разрушения ударом выполнена активизацией ковша экскаватора Э-625 (рис. 1.9.) гидроударниками. Она практически не снизила энергопотребления машиной. Дело в том, что масса груженого активного ковша на порядок меньше инерционности подвижных частей экскаватора. На их разгон, движение, реверс и торможение расходуется гораз-

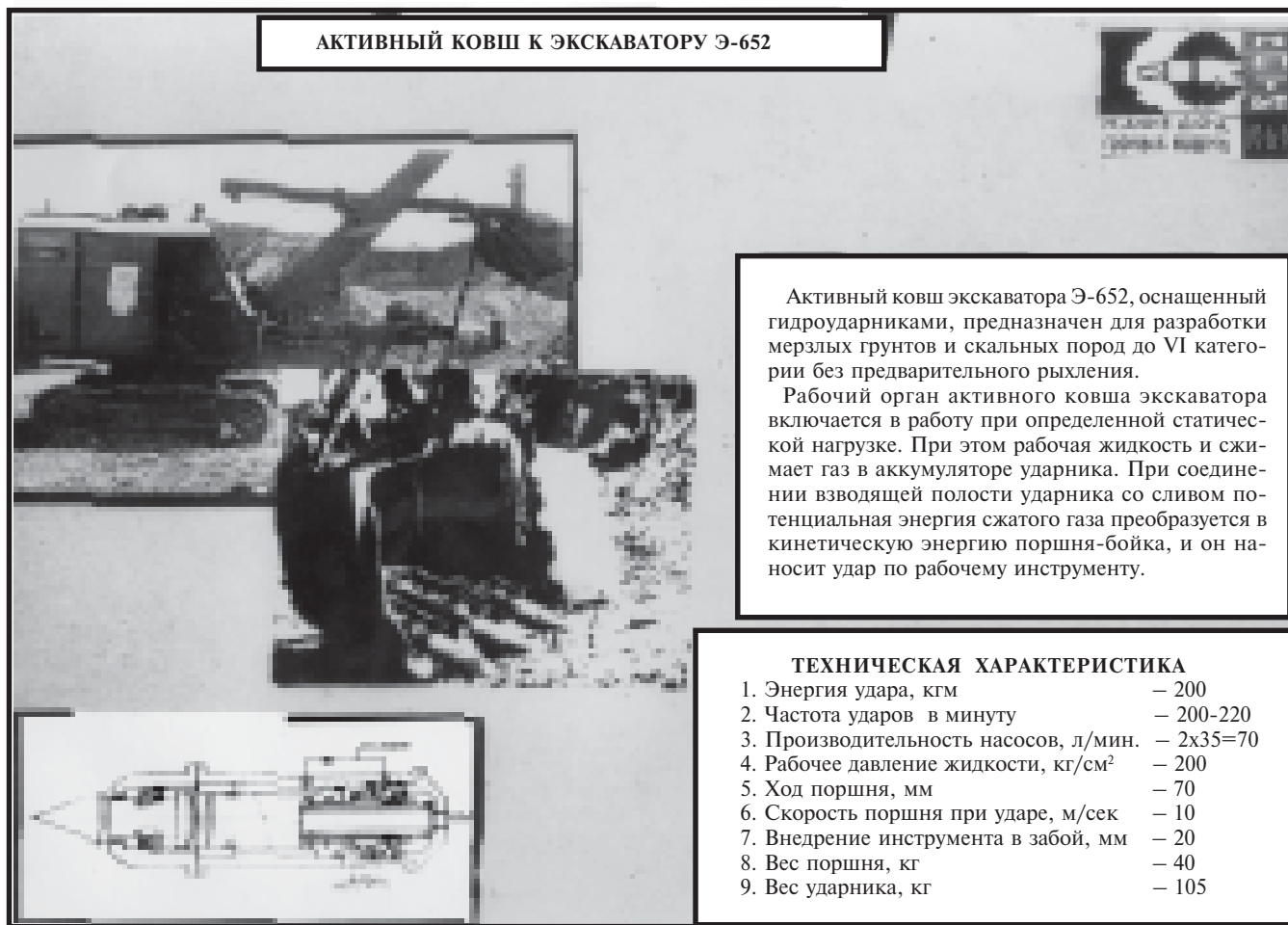


Рис. 1.9. Ковш экскаватора Э-652 с гидромолотами

до больше энергии, чем на разрушение забоя и движение груженого ковша. Цикличность процесса копания, транспортировки груза с разгоном, торможением и противовключением двигателей экскаваторов типа механическая лопата вызывают неоправданно большой расход энергии со значениями КПД меньше единицы. По аналогичным причинам нецелесообразно использовать гидромолота с манипуляторами, для выполнения земляных, проходческих в шахтах, метрополитенах, добычных и других вспомогательных работах. Наличие в них отдачи, периодического поджатия к массиву, малая масса и жесткость манипулятора приводят к неоправданным расходам энергии. ПГУ их эксплуатации нерентабельны, остается небольшой объем работ, на которых экономически выгодно применять мощные гидромолоты с манипуляторами. К таким работам, например, относится разрушение негабаритов на карьерах. Для таких условий необходимы маневренность всей машины и исполнительного органа с манипулятором.

Первый бутбой Д-1000 (рис. 1.8.) выполнен с привязкой к бульдозеру С-100ГП, его энергия удара достигла 1000кгм с частотой 50 ударов в минуту. Установка на ней конусной формы пики не обеспечила ее надежность при работе на породах крепостью больше 8 по проф. М. М. Протодяконову. КПД разрушения негабаритов не превышал 4%. Поэтому она заменена шарообразной для мелкого дробления и долотчатой для расклинивания негабарита на две — три части. В первом случае использовалась небольшая энергия удара, во втором энергия ударов или их частота повышались.

Суммарная энергия ударов для разрушения бутов куучекинских песчаников средним размером 900х120мм составила от 2000 до 12000 кгм. Повышение энергии одиночного удара до 3000кгм на бутбое «Д-3000» (рис. 1.10а.) не позволило превысить значение КПД, полученное при работе «Д-1000». Поэтому дальнейшие исследования с целью повышения КПД разрушения потребовало создание специальных исполнительных органов непрерывного действия с полезным использованием кинетической энергии всей массы машины. К одной из первых машин такого действия относится активный рыхлитель СДР-1000 на базе трактора ДЭТ-250, общий вид которого приведен на рис. 1.11., а результаты его промышленных испытаний на рис. 1.11а. Энергия удара гидромолота по конической пике рыхлителя составляла 1000 кгм.

Он осуществлял рыхление полезных ископаемых и мерзлых грунтов конусной пикой при поджатии в 5т с регулированием длительности ее внедрения от 0,005 до 0,1с для передачи энергии удара с частотами от 100 до 350 ударов в минуту. Эффективность его увеличена спонтанным излучением внутренней энергии пики потоками фотонов на электромагнитные связи гармонических осцилляторов рыхляемого вещества, благодаря чему возросло проникновение внешней энергии излучения машины в междумолекулярное пространство массива на их энергетическую

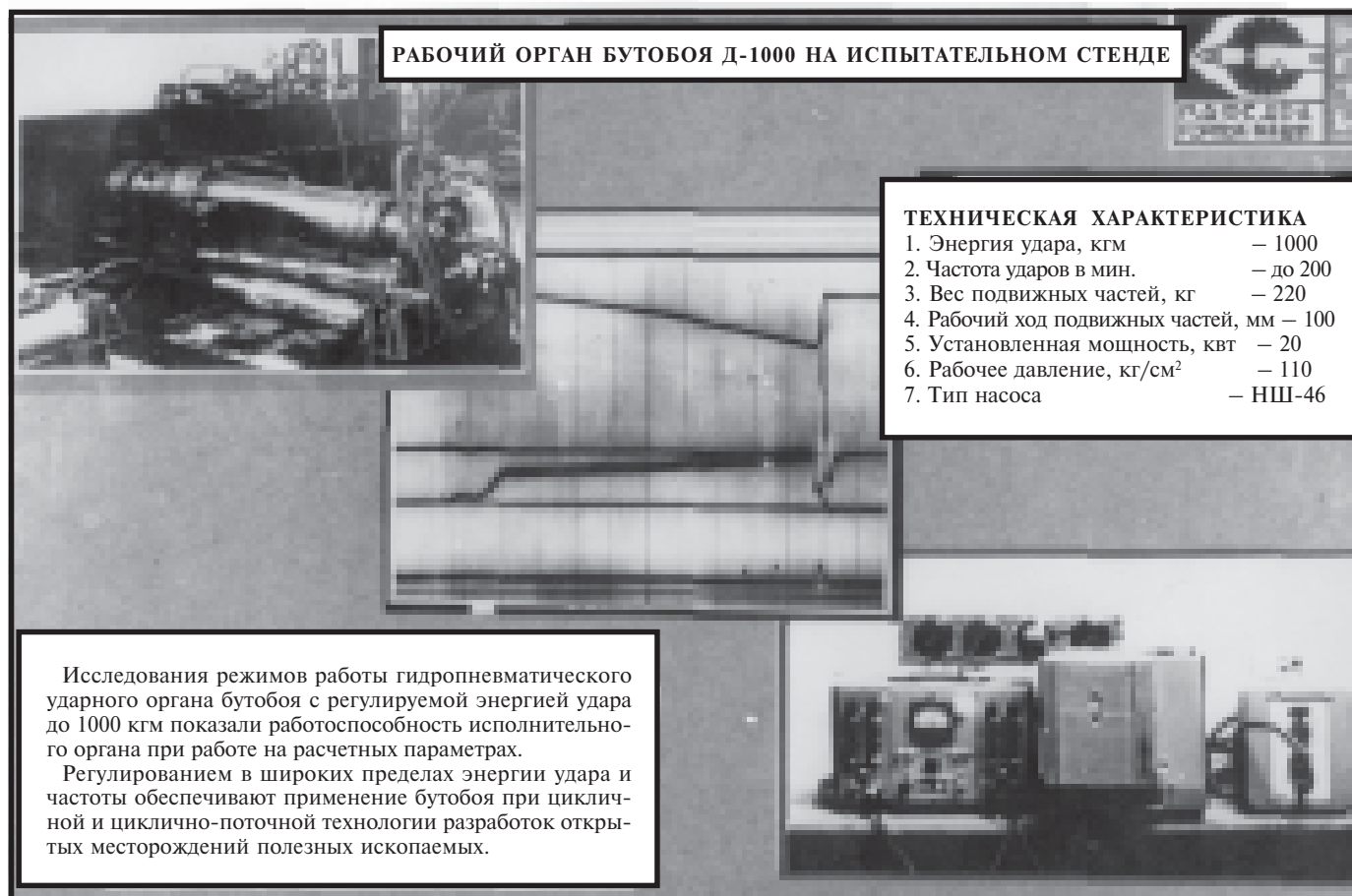


Рис. 1.10. Исполнительный орган бутобоя «Д-1000» и его техническая характеристика

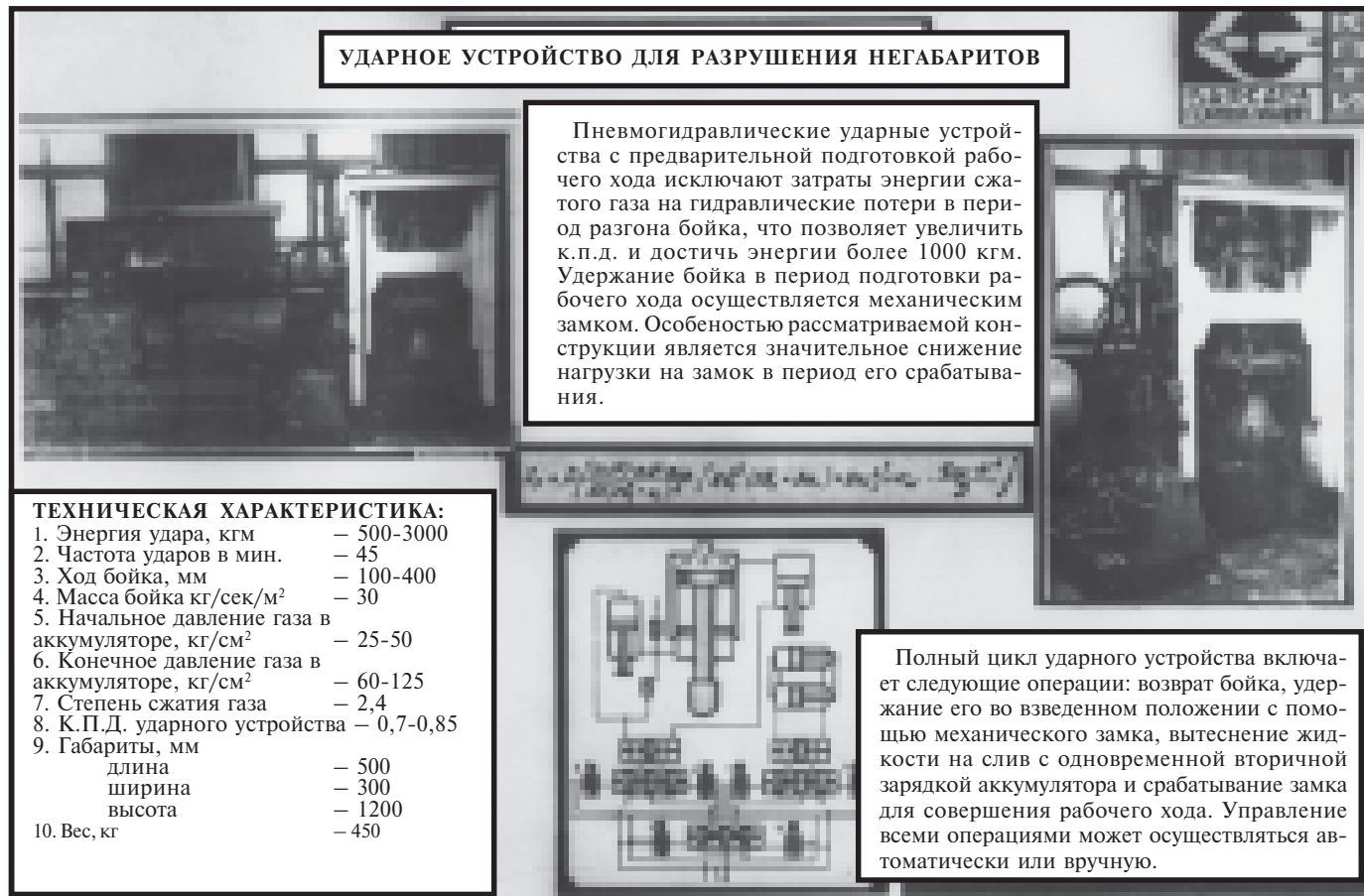


Рис. 1.10а. Бutoбой «Д-3000» и его технические характеристики



Рис. 1.11. Активный рыхлитель «СДР-1000» непрерывного действия с мощным ударным излучателем энергии на базе трактора ДЭТ-250

жестким соединением гидромолотов со всей массой машины. С усилием поджатия ожидалась лучшая передача энергии забою, меньшее ее рассеивание, особенно в период взвода бойков. Жесткое соединение корпусов ударников с массой машины в 4 т и заземление ее при отдаче в направляющих комплекса практически исключает отход корпусов ударника от забоя, что повышает эффективность излучения квантовой энергии в массив. Реализация такого предложения достигнута в модернизированном статико-динамическом струговом комплексе СДС-2 (рис. 1.12.), спроектированном по параметрам испытаний статико-динамического комплекса «СДС-1» в производственных условиях (рис. 1.12а.).

При работе комплекса содержание угля класса 0-6мм составило 21,9%, меньше, чем у комбайна К-52М в 2 раза, и в 1,3 раза, чем у комбайна ЛТД, выход крупных классов +50 мм больше, чем у комбайна К-52М в четыре раза, а содержание пыли в воздухе меньше в 16 раз. Как видно, производственные показатели работы «СДС-1» существенно превзошли технические данные серийных очистных комбайнов. Несмотря на улучшение большей части ПГУ, один из основных показателей — КПД разрушения угля остался на уровне около 5%.

Феномен низкого КПД механической обработки материалов и нахождение способов и средств его существенного повышения не объясняют существующие классические теории разрушения. Непонятное с позиций здравого смысла ограничение роста КПД разрушения с увеличением подводимой энергии на единицу объема разрушаемого материала должно вскрыть смысл устойчивого КПД в зависимости от взаимодействия внешних энергий излучения исполнительным органом ма-

ческие уровни. Непродуктивное рассеяние энергии происходило из-за отдачи гидромолота, которую воспринимала не вся масса рыхлителя. ПГУ возросли на 20-30% по сравнению с работой статических рыхлителей, при этом КПД машины составил 4%, несмотря на почти двукратное увеличение энергии, передаваемой забою, который в значительной мере ее рассеивал. Существенное повышение КПД предусматривалось получить десятикратным увеличением усилия поджатия и





Рис. 1.12. Статико-динамический струговой комплекс «СДС-2» в угольном забое

териалов, то понятна необходимость проведения работ для ее получения и использования в промышленности.

шины с внутренними уровнями энергий обрабатываемого материала. Устранение причин, сдерживающих рост КПД потребовал нахождения дополнительного источника энергии, полезное использование которой повышает КПД и показатели ПГУ. Так как на долю этого источника, в случае повышения КПД больше 90%, приходится около 90% дополнительной энергии, для обработки ма-



Рис. 1.12а. Результаты промышленных испытаний комплекса «СДС-1» при разработке крепких и вязких углей

Глава 2.

Системное функционирование энергии канонических ансамблей

2.1. Альтернативная глобальная энергия

Наличие обратимой внутренней энергии в любом материале обрело понятие аксиоматической истины. Но оно не доведено до практической деятельности человечества по использованию ее в своем жизнеобеспечении. Имеющийся обширный теоретический материал дифференцирован на множество различных частей, которые изолируются друг от друга детализацией отдаленных явлений. Попытки их объединения в единую теорию еще мало вероятны. Поэтому актуальной является задача выбора наиболее обоснованных решений, пригодная дать возможность решать неотложные вопросы полезного использования обратимой внутренней энергии СМОМ в производственных условиях. На первом этапе нужно установить местонахождение обратимой внутренней энергии, ее количественное значение, что обоснует целесообразность последующих научных поисков методов, способов и средств ее практического применения. Для этого воспользуемся понятием элементарной ячейки фазового пространства — абстрактного представления, которое вводится для изображения изменения состояния энергетических уровней вещества.

О том, что некоторые вещества являются источниками энергии (тепла) люди узнали еще в эпоху зарождения цивилизации. Постепенно с развитием техники, внедрением новых технологических процессов круг таких веществ расширился: дрова, каменный и бурый угли, торф, сланцы, а затем нефть и природный газ. Потенциальная энергия, заключенная в этих веществах, первоначально и довольно продолжительное время использовалась в виде тепла, получаемого при их сжигании. Поэтому такие вещества называли топливом, а одну из важнейших его характеристик — теплотворной способностью или теплотой сгорания. По определению Д. И. Менделеева, топливом называются горючие вещества, сжигаемые для производства тепла. Впоследствии топливо стали применять не только для получения тепла разного потенциала в энергетических и технологических установках, но и для прямого производства электрической энергии в специальных устройствах. И хотя в таких устройствах в общепринятом смысле не сжигаются никакие вещества, а потенциальная их энергия прямо, минуя стадию теплоты, преобразуется в электроэнергию, их по традиции называли топливными элементами. В инженерной и

научной практике продолжается также употребление понятий «топливо», «теплота сгорания» в их первоначальном смысле. В то же время совершенно очевидно, что понятие «теплота сгорания» недостаточно полно отражает существо потенциальной энергии топлива.

В различных отраслях народного хозяйства разработаны и внедрены процессы, в которых широко используются новые, нетрадиционные энергоносители (металлы, кислоты, щелочи и т. п.). В их числе так называемые автогенные процессы цветной и черной металлургии, например, восстановление титана из его тетрахлорида натрием или магнием, процессы выщелачивания в гидрометаллургии и т. п. Это означает, что не только топливо, но и другие вещества обладают потенциальной энергией, которая участвует в технологических процессах, преобразуясь в другие формы, минуя стадию теплоты. Следовательно, различные вещества (и не только относящиеся к топливу) несут в себе запас энергии, но, чтобы ее использовать, необходимо знать природу данного вида энергии и законы ее преобразования в другие формы при осуществлении технологических процессов, соблюдая законы природы.

Внутренней энергией называют запасенную телом энергию. В термодинамике обычно ограничиваются утверждением, что внутренняя энергия есть всякая энергия, заключенная внутри тела в какой-либо форме. С микроскопической точки зрения это означает, что внутренняя энергия равна сумме кинетических энергии отдельных частиц и энергии взаимодействия между ними. Если тепловой энергией называть, как это часто делают, среднюю кинетическую энергию, то она является лишь частью внутренней энергии. При увеличении внутренней энергии либо возрастает температура системы, либо изменяется агрегатное состояние (например, происходит плавление или испарение). Для ее вычисления воспользуемся законом распределения по энергии Гиббса и выполним суммирование по всем энергетическим состояниям [14]:

$$U = \int E dN .$$

Результат этого суммирования можно сформулировать следующим образом: каждая степень свободы вносит в энергию вклад, равный в среднем $kT/2$ (закон классической статистической физики о равномерном распределении энергии по степеням свободы, или просто закон равнораспределения):

$$U = \frac{fNkT}{2} = nf \frac{RT}{2} = \frac{skT}{2} .$$

Величина f есть число степеней свободы одной материальной точки. Вся термодинамическая система в целом обладает $s = Nf$ степенями свободы. Если к термодинамической системе подводится извне количество теплоты δQ , то последнее расходуется на увеличение внутренней энергии dU и на совершение системой ме-

ханической работы PdV против внешних сил. Этот опытный факт выражается первым законом термодинамики:

$$\delta Q = dU + PdV,$$

где: P — давление, V — объем.

Полное количество теплоты Q , подведенное к системе, в общем случае не удается представить в виде однозначной функции состояния, зависящей от температуры T , давления P или объема V . Изменение внутренней энергии можно записать в виде полного дифференциала dU , в то время как для обозначения подведенного количества теплоты используется знак S . Процесс называется обратимым, если его можно заставить протекать в обратном направлении путем простого изменения направления пути и при этом для восстановления исходного состояния всех участвующих в процессе тел не требуется подвода энергии.

Применение закона равномерного распределения энергии по степеням свободы, как и вообще при расчете физических функций состояния методами классической статистики, предполагает, что число степеней свободы остается неизменным вплоть до абсолютного нуля. В действительности же каждая степень свободы становится полностью эффективной лишь при достижении температуры, превышающей определенное значение. Удельная теплоемкость является при этом измеряемой величиной, по которой можно определить число эффективных степеней свободы. Следует отметить, что для очень многих физических процессов число степеней свободы в начальном и конечном состояниях одинаково. В особенности это относится к случаям, когда изменения температуры не очень велики. Поэтому применение классической статистики для расчета изменений энергии обычно приводит к хорошему согласию между теорией и экспериментом, если температура не выходит за пределы определенных границ.

Если учесть, что при уменьшении температуры степени свободы макроскопической системы „замораживаются”, то для определения внутренней энергии следует пользоваться не законом равнораспределения, а соотношением:

$$U = \int_0^T C_v(T) dT + U_0,$$

где: U_0 — энергия при абсолютном нуле.

На основании закона распределения Гиббса определим внутреннюю энергию асфальтосмолистого кислородного компонента нефти. Вычислим эту энергию для 1 кг данного вещества при 293 К. Обозначим через E и dN соответственно энергию и число заполнения определенного энергетического состояния. Рассмотрим сначала отдельно взятую частицу. Согласно закону распределения энергии, вероят-

ность того, что эта частица окажется в ячейке, которой соответствует энергия E , равна:

$$d\omega = \frac{dN}{N} = \frac{e^{-E/kT} dp_x dp_y dp_z dx dy dz}{\int e^{-E/kT} dp_x dp_y dp_z dx dy dz} . \quad (2.1)$$

Интегрирование в (2.1) распространяется на все состояния рассматриваемой частицы. Находим для средней энергии E отдельной частицы:

$$\bar{E} = \frac{\int E e^{-E/kT} dp_x dp_y dp_z dx dy dz}{\int e^{-E/kT} dp_x dp_y dp_z dx dy dz} . \quad (2.2)$$

В твердом теле отдельные атомы не могут существенно смещаться из положений равновесия. Когда такое расположение нарушается, возникают квазиупругие возвращающие силы. Таким образом, каждый структурный элемент твердого тела обладает потенциальной и кинетической энергией. Кинетическая энергия одного атома, имеющего массу μ , равна:

$$E_{кин} = \frac{\mu}{2} (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{2\mu} .$$

Для вычисления потенциальной энергии $E_{ном}$ рассмотрим каждую частицу как гармонический осциллятор, совершающий колебания под действием приложенных сил. Предположим, что частица смещена из своего положения равновесия на расстояние $r(x, y, z)$. Возвращающая сила F действует в направлении -г. Ее компоненты пропорциональны компонентам смещения, если только последние не слишком велики. Следовательно, для возвращающей силы можно написать:

$$F = -Dr ,$$

где: D — постоянная, зависящая от структуры твердого тела. Следовательно, потенциальная энергия сместившейся на величину $r(x, y, z)$ частицы равна:

$$E_{ном} = -\int F dr = D \left(\int_0^x x dx + \int_0^y y dy + \int_0^z z dz \right) .$$

Если ввести обозначения $x = x_1, y = x_2, z = x_3, p_x = x_4, p_z = x_6$, то энергию рассматриваемой частицы можно представить в виде квадратичной функции:

$$\bar{E} = \sum_{v=1}^f a_v x_v^2 ,$$

которая включает в себя как потенциальную, так и кинетическую энергию. В твер-

дом теле каждая частица обладает тремя степенями свободы, соответствующими потенциальной энергии, и тремя степенями свободы, соответствующими кинетической энергии. Следовательно, необходимо положить $f=6$. Внутренняя энергия системы $U=Ns$ на основании (2.2) равна:

$$U = \frac{N \int \sum_{v=1}^f a_v x_v^2 \exp(-\sum a_v x_v^2 / kT) dx_1 dx_2 \dots dx_f}{\int \exp(-\sum a_v x_v^2 / kT) dx_1 dx_2 \dots dx_f} = N \frac{J_0}{J_u}. \quad (2.3)$$

Интеграл J_u , стоящий в знаменателе (2.3) можно разложить:

$$J_u = \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{a_1 x_1^2}{kT}\right) dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{a_2 x_2^2}{kT}\right) dx_2 \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{a_f x_f^2}{kT}\right) dx_f;$$

Интеграл J_0 , стоящий в числителе (2.3) можно разложить:

$$J_0 = \int_{-\infty}^{\infty} a_1 x_1^2 \exp\left(-\frac{a_1 x_1^2 + \dots + a_f x_f^2}{kT}\right) dx_1 \dots dx_f + \dots + \int_{-\infty}^{\infty} a_f x_f^2 \exp\left(-\frac{a_1 x_1^2 + \dots + a_f x_f^2}{kT}\right) dx_1 \dots dx_f.$$

Дальнейшее разложение дает:

$$J_0 = \int_{-\infty}^{\infty} a_1 x_1^2 \exp\left(-\frac{a_1 x_1^2}{kT}\right) dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{a_2 x_2^2}{kT}\right) dx_2 \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{a_f x_f^2}{kT}\right) dx_f$$

Деля J_0 на J_u получаем:

$$\frac{J_0}{J_u} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a_1 x_1^2 \exp(-a_1 x_1^2 / kT) dx_1}{\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-a_1 x_1^2 / kT) dx_1} + \dots + \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a_f x_f^2 \exp(-a_f x_f^2 / kT) dx_f}{\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-a_f x_f^2 / kT) dx_f}.$$

Последнее выражение запишем в виде:

$$\frac{J_0}{J_u} = \sum_{v=1}^f \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a_v x_v^2 \exp(-a_v x_v^2 / kT) dx_v}{\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-a_v x_v^2 / kT) dx_v}. \quad (2.4)$$

Если учесть, что подынтегральные выражения содержат только четные функции, то интегрирование по бесконечному в обе стороны интервалу можно заме-

нить интегрированием от 0 до ∞ ; при этом в числителе и знаменателе выражения (2.4) появятся множители 2, которые в результате сокращаются.

Производя замену переменных

$$y_v = \frac{a_v}{kT} x_v^2,$$

получаем из (2.4) после преобразований

$$\frac{J_0}{J_u} = \frac{1}{2} f k T.$$

Принимая во внимание (2.3), получаем для полной энергии системы формулу

$$U = \frac{N f k T}{2}, \quad (2.5)$$

которая выражает закон классической статистической физики о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Согласно (2.5) внутренняя энергия в расчете на 1 кмоль равна:

$$U_m = \frac{N_A f k T}{2} = f \frac{RT}{2}.$$

Если относительная атомная масса рассматриваемого элемента равна A_r , то для внутренней энергии в расчете на 1 кг имеем:

$$U_{кг} = \frac{f R T}{2 A_r}.$$

Проведем расчет для основных составляющих асфальтосмолистых кислородных компонентов нефти, то есть для C(73-87%), H(6-9,5%), S(0,5-8%), N(0,5-2%), O(4-12%).

Для 1 кг углерода, водорода, серы, азота, кислорода соответственно получаем:

$$U_C = \frac{6 \cdot 1,986 \cdot 293}{2 \cdot 12,011} = 145,341 \text{ ккал / кг}$$

$$U_H = \frac{6 \cdot 1,986 \cdot 293}{2 \cdot 1,0079} = 1732,011 \text{ ккал / кг}$$

$$U_S = \frac{6 \cdot 1,986 \cdot 293}{2 \cdot 32,06} = 54,451 \text{ ккал / кг}$$

$$U_N = \frac{6 \cdot 1,986 \cdot 293}{2 \cdot 14,0067} = 124,633 \text{ ккал / кг}$$

$$U_O = \frac{6 \cdot 1,986 \cdot 293}{2 \cdot 15,999} = 109,113 \text{ ккал / кг}$$

Учитывая процентный элементный состав внутренняя энергия 1 кг асфальтос-молистого кислородного компонента нефти равна:

$$U_{\Sigma_{\kappa^2}} = 0,8 \cdot 145,341 + 0,1 \cdot 1732,011 + 0,04 \cdot 54,451 + 0,01 \cdot 124,633 + 0,05 \cdot 109,113 = 298,35392 \text{ ккал/кг.}$$

Принимая во внимание, что 1 Дж = 0,2388 кал будем иметь:

$$U_{\Sigma_{\kappa^2}} = \frac{298,35392 \cdot 10}{0,2388} = 12493,88275 \text{ Дж / кг.}$$

Для описания системы частиц вводится пространство шести измерений – фазовое пространство x, y, z, p_x, p_y, p_z . Первые три измерения являются координатами частицы, три последних – проекциями её импульса p по осям координат. Состоянию частицы в фазовом пространстве соответствует не точка, а ячейка фазового объёма (пространства) размером:

$$\Delta\omega = \Delta x \Delta y \Delta z \Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z = h^3.$$

Рассмотрим понятие “осциллятора”. Линейным осциллятором называется частица с массой m , которая движется вдоль некоторой оси под действием квазиупругой силы F , пропорциональной отклонению x частицы от положения равновесия:

$$F = -\alpha x,$$

где: α – коэффициент квазиупругой силы, связанный с массой частицы и собственной циклической частотой её колебаний.

Потенциальная энергия гармонического осциллятора:

$$U(x) = \frac{1}{2} \alpha x^2.$$

Для гармонического осциллятора уравнение энергии имеет вид:

$$\frac{p^2}{2m} + \frac{\alpha}{2} x^2 = E; \quad \frac{p^2}{2mE} + \frac{\alpha}{2E} x^2 = 1. \quad (2.6)$$

В фазовом пространстве траекторией гармонического осциллятора являются кривые равных энергий – эллипсы. Разным значениям постоянной E соответствуют разные эллипсы, а значению $E = 0$ соответствует точка начала координат – положение равновесия. Если в начальный момент точка лежала на одном из эллипсов, то далее при изменении времени она будет перемещаться по этому эллипсу.

Поскольку (2.6) есть уравнение эллипсоида с полуосями

$$a = \sqrt{2mE}; \quad b = \sqrt{\frac{2E}{\alpha}},$$

то площадь эллипса

$$\sigma = \pi ab = \pi \sqrt{\frac{4mE^2}{\alpha}} = \frac{2\pi E}{w} = \frac{E}{v} = 6,2 \text{ м}^2,$$

где: $\alpha = mw^2$.

Объем эллипсоида:

$$V_{эл} = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} S(x) dx = \int_{-\frac{\sqrt{2mE}}{2}}^{\frac{\sqrt{2mE}}{2}} \pi ab dx = 2\pi ab \left[\frac{\sqrt{2mE}}{2} - \left(-\frac{\sqrt{2mE}}{2} \right) \right] = 2\pi b \sqrt{2mE} \text{ м}^3$$

В случае квантового осциллятора существует множество эллипсов, соответствующих энергиям:

$$E = \left(n + \frac{1}{2} \right) h\nu.$$

Полная энергия квантового осциллятора и амплитуда его колебаний не могут быть равны нулю. Минимальное значение полной энергии гармонического осциллятора для бензолов и твердых тел соответственно:

$$W_0 = \frac{1}{2} h\nu_0 = \frac{1}{2} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 0,1 = 0,3 \cdot 10^{-34} \text{ Дж};$$

$$W_T = \frac{1}{2} h\nu_m = \frac{1}{2} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 0,1 = 0,3 \cdot 10^{-34} \text{ Дж},$$

где: ν_0 и ν_m соответственно число колебаний молекул бензола и твердого тела.

Нулевая энергия осциллятора определяется только его собственной частотой. Ее невозможно отнять у частицы никаким охлаждением, она сохранилась бы и при температуре 0 К^0 . Нулевой энергии соответствуют нулевые колебания квантового осциллятора. Существование нулевой энергии подтверждено экспериментально в явлении рассеяния света кристаллами при сверхнизких температурах. Рассеяние света в кристаллах происходит на тепловых колебаниях, которые совершают атомы, молекулы и ионы расположенные в узлах кристаллической решетки. С классической точки зрения интенсивность рассеянного света должна убывать до нуля с уменьшением температуры до 0 К^0 , так как должны прекратиться тепловые колебания узлов решетки, на которых происходит рассеяние света. С уменьшением температуры интенсивность света, рассеянного кристаллами, стремится к некоторому предельному значению, не убывающему при дальнейшем охлаждении кристалла. При T стремящейся к 0 К^0 у частиц, расположенных в узлах решетки, сохра-

няются нулевые колебания, на которых и происходит рассеяние света. Нулевым колебанием соответствует нулевая энергия атомных осцилляторов.

Фазовое пространство квантового осциллятора разделено на ряд областей, каждая из которых представляет одно состояние осциллятора с энергией. Минимальный объем фазового пространства, называется фазовой ячейкой или элементарной ячейкой. Объем фазовой ячейки с двумерным фазовым пространством равен постоянной Планка h .

$$\sigma_2 - \sigma_1 = \frac{E_2 - E_1}{\nu} = \frac{h\nu}{\nu} = h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ (для двумерного пространства).}$$

Фазовое пространство можно представить как множество осцилляторов и считать количество осцилляторов, входящих в объем эллипсоида:

$$N_{\text{оси}} = \frac{V_{\text{эл}}}{h^3}.$$

Гармонический осциллятор в трехмерном пространстве является совокупностью трех линейных гармонических осцилляторов с энергией, зависящей от трех квантовых чисел n_1, n_2, n_3 :

$$E_{n_1} + E_{n_2} + E_{n_3} = h(n_1 + n_2 + n_3 + \frac{3}{2}) = h(n + \frac{3}{2}),$$

где: $n = n_1 + n_2 + n_3$.

Поскольку есть несколько возможностей выбрать три целых числа n_1, n_2, n_3 так, чтобы получить данное целое число n , то уровни энергии трехмерного осциллятора вырождены. Например, для первого возбужденного состояния с $n=1$ можно выбрать три варианта: $n_1=1, n_2=n_3=0$, или $n_2=1, n_1=n_3=0$ или $n_3=1, n_1=n_2=0$. Эти три различных колебательных состояния отвечают движению вдоль направлений x, y, z и соответственно имеют одну и ту же энергию. Для более высоких возбужденных состояний имеется еще больше комбинаций из трех чисел, сумма которых определяет энергию данного уровня. Поэтому при суммировании по состояниям нужно вводить соответствующий весовой множитель g , который учитывает это обстоятельство и называется кратностью вырождения состояния. Можно найти всевозможные комбинации трех чисел, составляющие в сумме заданное число и в общем случае. Очевидно, имеется $n+1$ возможность выбора первого числа, скажем r (значения $0, 1, \dots, n$); второе число можно выбрать между 0 и nr , следовательно, для него имеется $nr+1$ возможность; третье квантовое число определится уже точно.

Поэтому степень вырождения g уровня с квантовым числом n равна:

$$g = \sum_{r=1}^n (n - r + 1) = \frac{1}{2} (n + 1)(n + 2).$$

Кристалл, содержащий s атомов в элементарной ячейке и имеющий N элементарных ячеек, можно рассматривать как совокупность $3sN$ линейных осцилляторов, а не как sN трехмерных осцилляторов, поскольку уравнения движения этих осцилляторов полностью разделяются. Для осцилляторов из двух атомов, энергия, заключённая в объёме эллипсоида для нефти:

$$W_{el} = 3 \cdot s \cdot N_{оси} \cdot W_0;$$

для твердых тел:

$$W_{el} = 3 \cdot s \cdot N_{оси} \cdot W_T.$$

Как видно из приведенных расчетов, элементарные ячейки элементарного пространства жидких и твердых тел обладают глобальной обратимой внутренней энергией, достаточной для удовлетворения потребностей промышленного производства. В следующем разделе раскрывается физическая сущность ГОВЭ, знание которой открывают возможности эффективного ее использования.

2.2. Преобразование массы электрона в глобальную энергию

Закон электромагнитного взаимодействия двух элементарных зарядов выражается в виде:

$$F = \frac{e \cdot e}{r^2},$$

а его потенциал определяется формулой:

$$\varphi = \frac{e \cdot e}{r}$$

и представляет дефект энергии взаимодействия, выражаемый энергией поля:

$$\frac{e \cdot e}{r} = (m_1 + m_2) - \sqrt{(m_1 + m_2)^2 - m_{ve}^2}.$$

Откуда полевая энергия взаимодействия масс m_1, m_2 с зарядами e :

$$m_{ve} = \sqrt{2(m_1 + m_2) \frac{e \cdot e}{r} - \left(\frac{e \cdot e}{r} \right)^2}.$$

Полученные соотношения по новому определяют физическую характеристику потенциала при взаимодействии частиц. Энергия взаимодействия частиц есть дефект масс взаимодействующих частиц. Разность потенциалов определяет изме-

нение дефекта массы при изменение расстояния между взаимодействующими частицами. Полевая энергия учитывается величинами m_{vg} , m_{ve} . Определим при каких условиях полевая энергия дает эквивалентность электромагнитного и гравитационного дефекта при взаимодействии. Если $m_{ve} = m_{vg}$, то получаем зависимость

$$\frac{e^2}{r_e} = \frac{Gm_l^2}{r_g},$$

где: r_e, r_g , соответственно, расстояния электромагнитного и гравитационного взаимодействий. Преобразования дают:

$$m_l = e \sqrt{\frac{1}{G} \cdot \frac{r_g}{r_e}}.$$

Если $\frac{r_g}{r_e} = 137$, то получим гравитационную массу частицы

$$m_l = 4,80298 \cdot 10^{-10} \cdot \sqrt{137} \cdot \sqrt{\frac{1}{6,67 \cdot 10^{-8}}} = 2,1767 \cdot 10^{-5} g.$$

Эквивалентность гравитационного и электромагнитного полей определено фундаментальной гравитационной массой $m_l = m_g$. Если $\frac{r_g}{r_e} = 1$, то масса частицы:

$$m_l = m_g / \sqrt{137},$$

В исследованиях Шварцшильда получено соотношение, которое отделяет пространство одной частицы от пространства другой. Другими словами, при переходе через поверхность гравитационного радиуса частицы попадаем в пространство другой частицы:

$$r_l m_l = r_g m_g,$$

В микромире нет евклидова пространства. Все пространство псевдоевклидово, поэтому не должно существовать различия в описании электромагнитных и гравитационных взаимодействий. На фундаментальном расстоянии для фундаментальных масс гравитационное поле адекватно электромагнитному.

В теоретической физике имеется ряд формул, вытекающих одна из другой и составленных из фундаментальных постоянных. Комптоновская длина волны

электрона $\lambda_e = \frac{h}{mc} = 3,86144 \cdot 10^{-11} \text{ см}$. Первый Боровский радиус

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = \alpha^{-1} \lambda_e = 5,29167 \cdot 10^{-9} \text{ см.} \quad \text{Классический радиус электрона}$$

$$\alpha_e = \frac{e^2}{mc^2} = \alpha \lambda_e = 2,81777 \cdot 10^{-13} \text{ см.} \quad \text{Ионизационный потенциал водорода при бесконечно большой массе протона}$$

$$R_\infty = \frac{1}{2} \alpha^2 mc^2 = 13,060535 \text{ эВ.}$$

Постоянная тонкой структуры $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = 7,29720 \cdot 10^{-3}$; $\frac{1}{\alpha} = 137,0388$. Естественно все формулы связаны между собой. Выражение для постоянной тонкой структуры $\frac{e^2}{\hbar c} = \alpha$ означает, что отношение гравитационного заряда фундаментальной массы к ее электрическому заряду равно обратной величине постоянной тонкой структуры:

$$\frac{Gm_g^2}{e^2} = \frac{r_g}{r_e} = \frac{1}{\alpha}.$$

Это выражение реализуется на изолированном гравитационно-электромагнитном луче взаимодействующих полей. Гравитационный заряд фундаментальных масс m_g на расстоянии комптоновской волны электрона λ_e^{komp} превосходит электромагнитный заряд в α^{-1} . Этот вывод справедлив для всех микрочастиц заряженных и не заряженных (протона, нейтрона). Теория Нильса Бора считает, что движение электрона в атоме водорода происходит по круговой орбите радиуса a_0 вокруг протона. Эта орбита определяется уравнением движения $m \frac{V^2}{a_0} = \frac{e^2}{a_0^2}$ и квантовым условием Бора $J = mVa_0 = \frac{h}{2\pi}$, где V — скорость электрона, J — его момент количества движения, который предполагается равным $\frac{h}{2\pi}$.

Преобразование уравнения движения, с использованием соотношения $mV^2 = \frac{e^2}{a_0}$, и заменой массы электрона на ее выражение через фундаментальную массу $G \frac{m_g^2}{\lambda_e} \frac{V^2}{c^2} = \frac{e^2}{a_0}$, при условии равенства $\frac{V^2}{c^2} = \alpha^2$, даёт:

$$G \frac{m_g^2}{\lambda_e} \alpha^2 = \frac{e^2}{a_0} \Rightarrow G \frac{m_g^2}{\lambda_e} \alpha = \frac{e^2}{a_0 \alpha} \Rightarrow \frac{\alpha}{\lambda_e} = \frac{1}{a_0},$$

где: $a_0 = \lambda_e \alpha^{-1}$ - боровский радиус.

Взаимодействие двух фундаментальных масс m_g на расстоянии комптоновской волны электрона λ_e^{komp} определяет энергию электрона, который находится на первом боровском радиусе. Гравитационное взаимодействие фундаментальных масс на расстоянии боровского радиуса равно энергии взаимодействия двух зарядов на расстоянии комптоновской длины волны электрона.

Можно провести выкладки и в другой последовательности:

$$mV^2 = \frac{e^2}{a_0} \Rightarrow mc^2 \frac{V^2}{c^2} = \frac{\alpha e^2}{\lambda_e^{komp}} \Rightarrow mc^2 \alpha^2 = \alpha \frac{e^2}{\lambda_e^{komp}} \Rightarrow \frac{Gm_g^2}{\lambda_e^{komp}} = \frac{e^2}{\lambda_e^{komp} \alpha} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_e^{komp}} = \frac{1}{\lambda_e^{komp}}. \quad (2.7)$$

При соблюдении соотношений $\frac{V}{c} = \alpha$, $\frac{\lambda_e^{komp}}{\alpha} = a_0$, предельное соотношение гравитационного луча даст уравнение динамического равновесия. Если элементы преобразования в (2.7) поделить на 2, то получим энергию ионизации электрона в атоме водорода:

$$\frac{1}{2} mc^2 \alpha^2 = \frac{1}{2} \frac{e^2}{a_0} \Rightarrow \frac{1}{2} mc^2 \alpha^2 = R_\infty.$$

Энергия основного состояния атома водорода равна $-R_\infty$. Эту энергию можно выразить через фундаментальные постоянные $m_g, G, \alpha, \lambda_e^{komp}$.

$$-R_\infty = -\frac{1}{2} \alpha^2 mc^2 = -\frac{1}{2} \alpha^2 G \frac{m_g^2}{\lambda_e^{komp}}.$$

Из этого соотношения выводятся основные формулы структуры атома водорода и энергетические соотношения. Динамическое условие равновесия электрона на орбите является модификацией этого соотношения.

Когнитивный метод анализа физических процессов добычи и переработки углеводородов позволил разработать теории контуров [27], квантово-механических контуров [28] интерпретационного моделирования ячейки энергосберегающей жизнедеятельности человека [29], обобщить поля материи и таким образом продолжить эйнштейновское направление по созданию единой теории поля. Для этого понадобилось раскрыть новые особенности глобальной энергии (ГЭ), как эволюционной синергетики парадигмы самонастраивающихся систем. Требования к единой теории поля выбраны: объединение гравитационных, электромагнитных, сильных, слабых и торсионных взаимодействий на основе функционирования в них единой глобальной энергии; объединение теории относительности и квантовой теории, т.е. построение совершенной (в соответствии с мнением Эйнштейна)

квантовой теории; дальнейшее развитие эволюционной синергетики парадигмы самонастраивающихся систем с учетом научного направления Ж.А.Алферова.

В движущейся системе релятивистская масса частицы (электрона):

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (2.8)$$

где: m_0 — масса тела в системе, относительно которой оно покоится. Соотношение (2.8) получается из закона сохранения количества движения.

В специальной теории относительности установлено, что масса тела, как и время (или размер и форма его), является величиной относительной, из (2.8) следует, что масса движущегося тела больше массы покоящегося. Если скорость тела приближается к скорости света, то масса тела стремится к бесконечно большому значению. Следовательно, если тело движется со скоростью света, то никакими конечными силами нельзя ее увеличить, т.е. из формулы (2.8) также следует, что скорость света является предельно возможной. Если скорость тела мала по сравнению со скоростью света, то увеличение массы также мало.

$$\Delta m = m - m_0 = m_0 \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right\}.$$

Релятивистский импульс (количество движения) определяется нелинейной (в отличие от классического случая) функцией скорости.

$$P = mV = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Из однородности пространства следует закон сохранения релятивистского импульса: $\frac{d}{dt}(p) = 0$, т.е. для замкнутой системы он не изменяется с течением времени. В силу этого закона в релятивистской механике справедлив закон сохранения релятивистской массы. В замкнутой системе все процессы происходят с сохранением полной релятивистской массы этой системы и глобальной энергии.

Основной закон релятивистской динамики материальной точки определяется уравнением:

$$m_0 \frac{d}{dt} \left(\frac{V}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) = F.$$

Под действием силы F материальная точка массой m приобретает ускорение

$a = \frac{F \sqrt{1 - \beta^2}}{m_0}$. Когда направление ускорения совпадают с направлениями силы,

его вызывающей, она действует на материальную точку на малом отрезке пути, совершая работу $\delta A = c^2 dm$ пропорционально изменению релятивистской массы материальной точки. Приращение кинетической энергии E материальной точки равно работе δA . Откуда ГОВЭ $E = (m - m_0)c^2$ для условий перехода электрона на соседний уровень энергии гармонического осциллятора (УЭГО), обрабатываемого материала. Вероятность является внутренним свойством возбужденного состояния, обрабатываемого материала, оно не зависит от того каким способом образовано данное возбужденное состояние. Теоретическому его обоснованию предстоит дальнейшее исследование.

Уравнение (2.8) не отражает конкретности его реализации для расчетов параметров проектирования машин обрабатывающих материалы. Масса электрона меняется при переходе с одного УЭГО на другой и интерпретируется как вероятностная. Следовательно, и ГОВЭ также вероятностна из-за переменного значения времени жизни электрона, тормозного излучения, спина и других, влияющих на него воздействий. Убедительнее воспринимается универсальная справедливость связи энергии с частотой колебаний. Она описывается как классическими теориями, так и фундаментальными. Аналогично сложились обстоятельства с ГОВЭ. Универсальной справедливости для практического ее использования в промышленности нет, она зависит от условий воздействия на обрабатываемый материал. Выход из отсутствия конкретного использования научных положений в практике будет найден, если понять изложенные Э. Вихманом [14] экспериментальные факты. Из них видно, что классическая плотность энергии равна произведению энергии фотона на вероятность его нахождения в этой области. Таким образом, в случае излучателя (рабочего инструмента), испускающего большое количество фотонов, средняя энергия в данной области равна энергии, вычисляемой по классической теории, смысл которой раскрыл Эйнштейн, на основе чего предложено уравнение ГОВЭ (2.8). Практическое его применение для проектирования способов и средств механизации обработки материалов затруднено выбором массы электрона, движущегося между УЭГО, которая по своей сути вероятностна из-за вероятности столкновения m с частицей УЭГО, которая выбирается через его вероятностно эффективное сечение.

Эти особенности изменения массы при движении в квантово-механическом контуре изучены и доведены до практической реализации в работе [28], в ней из уравнения (7.21) и аналогичного уравнения в настоящей монографии:

$$m = \sqrt{\frac{1344\varepsilon^4 \pi \hbar^3 v}{V_0^4 l^2}}, \quad (2.10)$$

где: ε — относительная деформация инструмента; $\hbar$ — постоянная Планка; v — частота колебаний волны деформации инструмента; V_0 — скорость инструмента; l — расстояние между молекулами обрабатываемого материала.

Учитывая (2.10), получим релятивистскую математическую модель ГЭ построенную с использованием классической и фундаментальной теорий:

$$E = \left(\sqrt{\frac{1344\sigma^4 \pi \hbar^3 v}{V_0^4 l}} - m_0 \right) c^2. \quad (2.11)$$

Управление технологическим процессом ГЭ осуществляется по (2.11.) скоростью синергетического взаимодействия инструмента материала V_0 с материалами и трансформированными до резонансной частоты колебаний v излучаемого из него потока фотонов с собственными частотами обрабатываемой среды. Выражение массы движущегося электрона между УЭГО присущи статистические свойства, состоящие в том, что в одних и тех же условиях возможны различные влияния ее параметров на искомую величину. Так V_0 не содержит классической связи с m , вызывая отличные от квантовых особенностей поведения системы с ньютоновским внешним ее нагружением инструментом. При этом достигнута гармония взаимодействий вероятностных микропроцессов, обрабатываемых внутренней энергией системы “машина-забой” с макропроцессами внешнего нагружения, объединяя релятивистскую динамику с классической. Такой подход к решению научных и производственных задач характерен для развивающейся эволюционно-синергетической парадигмы самоорганизующихся систем.

2.3. Статистические процессы глобальной энергии

Основы статистического подхода в теории квантово-механических контуров [28] отвечают научной направленности работы Т. Екобори [20] с учетом специфики функционирования глобальной энергии в элементарных ячейках фазового пространства статистических ансамблей. Известна [26] необходимость учета вероятностных закономерностей свойств членов изучаемых ансамблей, таким членом является ГЭ. В процессе ее функционирования она приобретает различное значение, от которых существенно зависит сам процесс. В случае достижения ГОВЭ значений ниже критических, электрон при переходе с одного УЭГО на другой не сможет разорвать последний и выделить из него необходимый квант энергии. Излучение ГОВЭ из обрабатываемого материала прекратится, что повлечет за собой остановку заданного технологического цикла. Поэтому при его проектировании необходимо рассчитывать статистический разброс значений излучения, обеспечивающий поглощение ее с разрывом других энергетических уровней. Колиман и др. [61] показали, что стохастическая формулировка включает в себя, как частный случай, метод предельных значений, или, как его можно иначе назвать, ве-

роятностную теорию минимальных значений прочности, предложенную Вейбуллом [62] и Фройденталем. Используя теорию [20], предложим, что на несколько совершенно идентичных образцов действует одно и то же постоянное излучение. Если оно достаточно высоко, то по прошествии некоторого времени с момента приложения нагрузки может наступить разрыв УЭГО, но он не будет одновременным для всех образцов. Появится некоторый интервал разброса значений времени резонанса УЭГО, причем среднее значение можно оценить следующим образом. Предположим, что ГОВЭ в каждом образце приводит к его неизбежному разрушению. Если в течение времени t , измеренного с момента приложения ГОВЭ разрушение не наступает, и вероятность зарождения трещины в течение последующего короткого интервала времени dt равна $m(t)$ и если к моменту t не разрушенными остались $N(t)$ образцов, тогда число образцов dN , разрушение которых наступило за промежуток времени от t до $t+dt$, равно:

$$-dN=N(t)m(t)dt. \quad (2.12)$$

Пусть число всех образцов равно N_0 , тогда:

$$-\frac{dN}{N_0} = \frac{N(t)}{N_0} m(t) dt. \quad (2.13)$$

где: член $\frac{N(t)}{N_0}$ можно интерпретировать как вероятность того, что до истечения периода t разрушения не произойдет. Заметим далее, что если $-dN/N_0=dP$, то величина $-dP$ выражает вероятность разрушения в интервале времени от t до $t+dt$. Введя такое определение, перепишем уравнение (2.13) в виде:

$$-dP=P(t)m(t)dt, \quad (2.14)$$

$$-\frac{d(\ln P)}{dt} = m(t). \quad (2.15)$$

Таким образом, в том случае, когда график зависимости $\ln P$ или $\ln N$ от t представляет гладкую кривую, ее можно продифференцировать и получить функцию $m(t)$, выражающую наклон этой кривой.

Пусть $g(t)dt$ есть вероятность разрыва УЭГО или наступление разрушения в интервале от t до $t+dt$, так что согласно данному выше определению $P(t)$ или $-P(t)$, имеем $g = -dP/dt$. После интегрирования в соответствующих пределах получим:

$$P(t) = \int_0^t g(t)dt. \quad (2.16)$$

Согласно определению

$$P(0) = 1. \quad (2.17)$$

Если m не зависит от t , то (2.16) можно проинтегрировать и получить выражение для P , а следовательно, и для g :

$$\begin{aligned} P dt &= e^{-m dt} dt; \\ g dt &= m e^{-m dt} dt, \end{aligned} \quad (2.18)$$

Среднее время до разрыва УЭГО при условии постоянства m равно

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t m e^{-m t} dt = \frac{1}{m}. \quad (2.19)$$

Другими словами, среднее время до разрыва УЭГО подчиняется распределению Пуассона. Это означает, что количество образцов, разрушенных за бесконечно малый промежуток времени dt , пропорционально числу образцов, не разрушавшихся до этого времени. Для более общего случая m , зависящего от времени, обобщенное выражение для разрыва УЭГО может быть выведено следующим образом. Если скорость изменения напряжения электромагнитных связей у приблизительно постоянна, тогда напряжение в каждый момент времени выразится:

$$\sigma = \sigma' t, \quad (2.20)$$

тогда m примет вид:

$$m = f(\sigma' t, t). \quad (2.21)$$

Для случая растяжения молекулярных связей пренебрегаем непосредственным влиянием продолжительности интервала времени t на m запишем:

$$m = f(\sigma' t). \quad (2.22)$$

Тогда интегрирование уравнения (2.18) дает:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t m dt\right); \quad (2.23)$$

или

$$g(t)dt = m \exp\left(-\int_0^t m dt\right) dt. \quad (2.24)$$

Последнее выражение с учетом (2.20) можно интерпретировать как частное распределение сопротивления разрыву УЭГО. Таким образом, исключив время в уравнении (2.24), получаем

$$g(\sigma)d\sigma = \frac{m}{\sigma} \exp\left(-\frac{1}{\sigma} \int_0^{\sigma} m d\sigma\right) d\sigma. \quad (2.25)$$

Если считать, что сопротивление этому разрыву УЭГО σ_m равно модулю или наиболее часто встречающемуся значению данного распределения, то его величину определим, положив $\partial g / \partial \sigma = 0$ (или $\partial g / \partial t = 0$), в соответствии с чем время t приобретает значение t_m . Из этого условия вытекает, что приращение вероятности разрыва УЭГО за единицу времени изменяется в квадратичной зависимости

$$\frac{dm}{dt} = m^2, \quad (2.26)$$

а значит, $\sigma_m = \sigma t_m$. Таким образом, σ_m определяется решением относительно t_m уравнения (2.16). В то же время уравнение (2.22) можно записать используя только напряжения.

$$\sigma \left| \frac{df(\sigma)}{d\sigma} \right|_{\sigma_m} = f^2(\sigma_m), \quad (2.27)$$

которое представляет критерий ГЭ, необходимый для разрыва УЭГО. Учитывая пропорциональность напряжений ГЭ УЭГО, (2.27) примет вид:

$$\sigma \left| \frac{df(\sigma)}{d\sigma} \right|_{\sigma_m} \geq f^2[h\nu(n+1/2)]. \quad (2.28)$$

где: h – постоянная Планка; ν – частота колебаний; n – номер УЭГО.

Из (2.28) видно, что статистический процесс ГЭ должен быть больше или равен квадрату УЭГО:

$$F = [h\nu(n+1/2)]^2, \quad (2.29)$$

Нижний критический уровень ГОВЭ регулируется внешним нагружением, управляемым по величине и направлению действия концентрированным магнитным полем, резонансным взаимодействием излучаемой и поглощаемой энергиями канонического ансамбля и их синергетикой. Они создают энергетическое поле, в котором самообработка материала протекает непрерывно, обеспечивая реализацию непрерывности производства.

Проверку обеспеченности такого состояния выполним с помощью неравенства Чебышева [53] на следующем примере. Сколько должен выделить внешний излучатель электронов на КМК, чтобы по крайней мере, 90 электронов из 100 обеспечили средний результат разрыва первых соседних 3-4 УЭГО КМК в преде-

лах между шестью молекулярными расстояниями по площади элемента КМК. Такое расстояние взято из условия надежности зарождения первоначальной трещины на поверхности материала, нагружаемого потоком энергии излучателя. В этом случае математическое ожидание $m=3,5$ и a находится заменой среднеквадратичного значения случайного столкновения электрона с УЭГО [53]:

$$\sigma = v - m = a = 0,5, \quad (2.30)$$

где: m - вероятность среднего случайного события.

$$\sigma^2 \leq (v - m)^2 \geq \int_{m-a}^{m+a} (v - m)^2 P(v) dv + \int_{m=a}^{\infty} (v - m)^2 P(v) dv. \quad (2.31)$$

Тогда

$$\sigma^2 = 1/5(0,5^2 + 1,5^2 + 2,5^2) = 2,923, \\ P(|v - m| > a) = 1 - 0,9 = 0,1$$

Число электронов, необходимых для облучения заданной поверхности КМК

$$N \left\langle \frac{0,495}{0,5^2 \cdot 0,1} \right\rangle = 19,8.$$

Такое количество электронов в энергетическом потоке обеспечивает внешним излучателем надежное нагружение энергетических уровней КМК энергиями 3-4 электронов. Их ГЭ суммируются с энергиями управляемого концентрированного магнитного поля, синергетизируют с другими источниками энергий канонического ансамбля, резонируют с ГЭ соседних контуров, создавая устойчивую обработку материала. Приведенный вероятностный анализ ГЭ открывает возможность создания на базе теории КМК теории поля с единым общим показателем его свойств ГОВЭ.

2.4. Управляемая система «вход-состояние-выход»

Теория систем является новой развивающейся наукой. Широко используются термины «система», «систематика», и другие, в которых сочетаются разнообразные механические, физические, химические свойства, взаимодействующие друг с другом и составляющие сложный комплекс. Теория систем входит в раздел прикладной математики и находится на стыке теорий имитационного моделирования, информатики и управления автоматов. Она отличается прикладной направленностью, глубиной результатов, а также ориентированностью на применение ЭВМ. Многообразие моделей КА зависит от эквивалентности действующей группы пре-

образований, которые определяют точность формулировок при разработке классификационных особенностей. Они значительно усложняются применительно к таким системам, как КА. Поэтому предлагаемая система должна классифицироваться по существенному свойству эквивалентности её составных частей. Таким свойством принят вид энергии (механический, физический или химический). В таком случае части ансамбля (привод, исполнительный орган и обрабатываемый материал), функционирующие с использованием этих видов энергий, проще систематизируются и становятся более понятными. Системные представления КА, как целое, составленное из частей с правильным их расположением в определённой связи, приведено в виде схемы интерактивной системы (рис. 2.1). Она состоит из статистически взаимодействующих элементов, не подчиняющихся какой-либо закономерности, и даёт общее представление о строении изучаемого объекта.

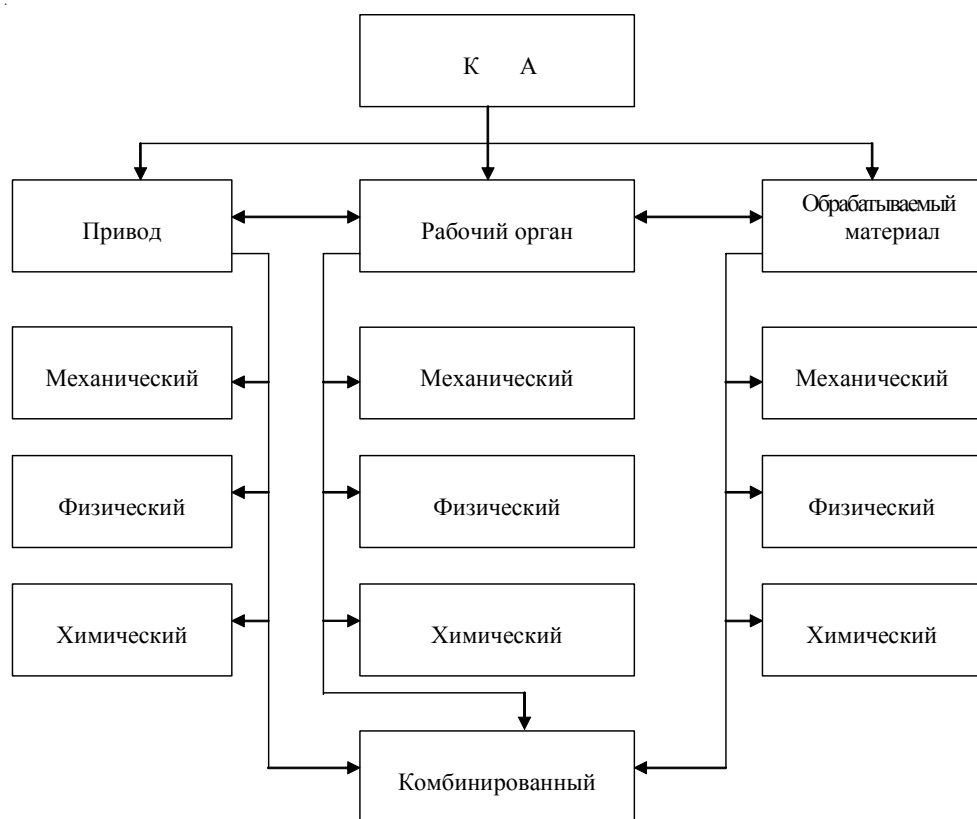


Рис.2.1. Структурная схема интерактивной системы КА

Изучение функционирования канонического ансамбля осуществляется фрактальными системами, отображающими изменения состояния его частей в пространстве и времени, подчиняясь определенному закону. В этом случае определённые части системы изображаются передаточными функциями в виде математических зависимостей, характеризующих их изменение. Для разработки метода исследования и создания новых КА предпочтительны системы, находящие значение регулируемой величины, которое нужно в данный момент выдержать, чтобы режим работы канонического ансамбля был оптимальным. Примерами такой системы являются, например: буровые установки с автоматическим поддержанием максимальной скорости проходки скважин при меняющихся свойствах грунта. Фрактальная система КА (рис. 2.2) включает в себя интерактивное взаимодей-

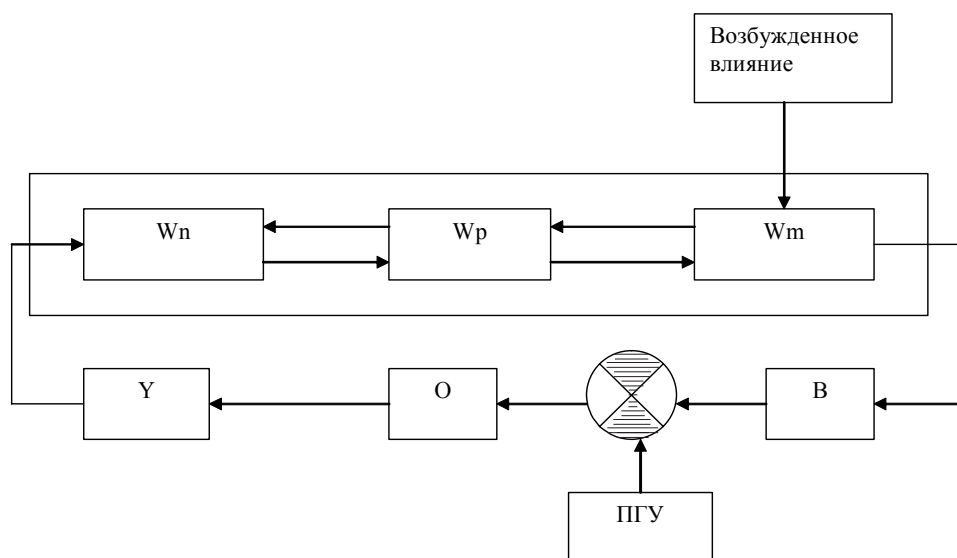


Рис. 2.2. Структурная схема фрактальной системы КА

ствие составных частей, расположенных в оконтуренном блоке передаточных функций привода W_n , рабочего органа W_p и обрабатываемого материала W_m . На изменение потока энергии между ними оказывает влияние обработка материала. Закон его изменения определяет случайные выходные показатели функционирования интерактивной части системы. Такими показателями выбраны производственные граничные условия (ПГУ); производительность P , удельная энергоёмкость H , качество K и КПД технологического процесса. Их обоснование даётся в разделе 3. Саморегулирование системы осуществляется сравнением выходных данных измерительным прибором B с показателями математических моделей ПГУ. Результаты

сравнения производственных и аналитических значений подаются на оптимизатор О, который оптимизирует их разницу. По её показаниям работает управляющее устройство У, выводящее режим работы привода на оптимальный. Структуризация КА по системе «вход-состояние-выход», является исходной частью представления полнокритериального метода разработки и создания новой технологии и механизации КА.

Энергоснабжение человечества настолько важно, что почти все технические задачи должны решаться поиском новых нетрадиционных источников, которые могли бы взять на себя хотя бы частично снабжение их энергией. Ранжирование системы по энергетическим уровням способствует разработке единого метода создания энергоуравновешенных КА. При этом выделяют полезно используемую обратимую энергию системы и необратимую внутреннюю энергию (рис. 2.3).

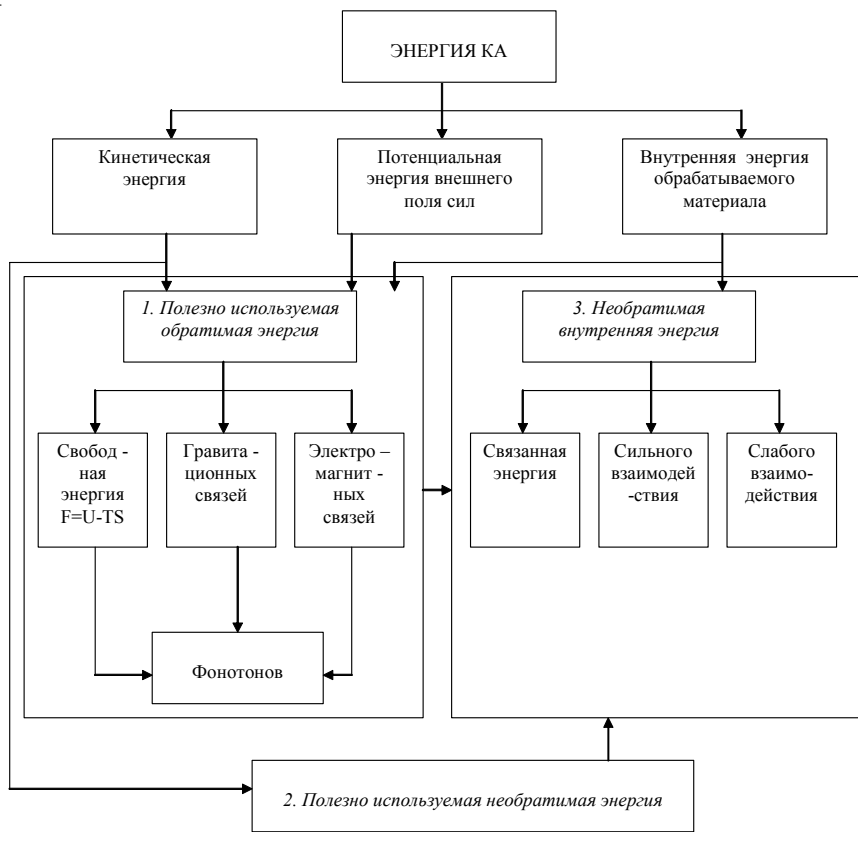


Рис.2.3. Структурная схема энергетической системы КА

Работа нефтеперерабатывающих, горных и других машин, основной процесс воздействия которых на обрабатываемую среду является механическим, характеризуется незначительными разностями температур. А как известно, все механические, электрические и магнитные процессы, при которых в идеализированном предельном случае отсутствуют какие-либо разности температур, обратимы [39]. Воздействие внешнего поля сил вызывает разрывы гравитационных и электромагнитных связей обрабатываемого материала сопровождающиеся трансформацией их потенциальной энергии в кинетическую. Связи сильного и слабого взаимодействия в этом случае не разрушаются, а полезно используется обратимая свободная энергия F :

$$F = U - TS, \quad (2.32)$$

где: U – внутренняя энергия системы; T – её температура; S – энтропия; TS – связанная энергия, которая не может быть полезно использована для совершения работы.

Схема изображенная на рис. 2.3 подтверждает участие обратимой энергии в технологических процессах. Так, кинетическая энергия механической части исполнительного органа может характеризоваться затухающими колебаниями, протекающими обратимо и периодически.

Важным для науки и практики является полезное использование свободной энергии F и энергий гравитационных и электромагнитных связей между частицами обрабатываемого материала, которые выделяются при их разрыве. Энергетические потоки фотонов и фононов воздействуют на связи между соседними частицами раздельно и совместно. Последнее, фотонное, воздействие обеспечивает повышение производительности и КПД обработки материала, сохраняет его качество, снижает удельную энергоёмкость. Все процессы в КА всегда содержат необратимую часть внутренней энергии обрабатываемого материала. Остаточная часть этой энергии TS не может быть полезно использована, а энергии сильного и слабого взаимодействий нецелесообразно реализовать в технологии добычи и переработки нефти, так как это повлечёт за собой изменение её свойств, из-за фазовых превращений.

Полезно используемая обратимая энергия (рис. 2.3, блок 1) проявляется от действий кинетической, потенциальной и внутренней энергии обрабатываемого материала и обладает свойствами, наиболее полно отражающими «интенсивность отклика» системы на внешние возмущения с какой-либо частотой. Последовательная трансформация внешней кинетической энергии до модуляций, близких к модуляциям внутренней энергии обрабатываемого материала, приводит к субрезонансным взаимодействиям внешних нагрузок с колебаниями внутренней сво-

бодной энергии и энергиями гравитационных и электромагнитных связей с участием излучаемых фотонов и фоонов обрабатываемого материала. К необрабатываем КА относятся энергии сильного и слабого взаимодействия, так как они не высвобождаются при существующих технологических процессах добычи и обработки углеводородов. К необратимым процессам относятся также диффузия, дроселирование, внешнее и внутреннее трение, пластические деформации тел, теплопроводность при малой разности температур, передача энергии посредством излучения и некоторых химических реакций. Необратимая кинетическая энергия системы (блок 2) используется полезно, а необратимая внутренняя энергия (блок 3) не участвует в разрыве КА.

Энергетическая система КА указывает на участие потоков энергии в обработке материалов, чего нельзя увидеть, например, в гуковской математической модели напряжения разрыва:

$$\sigma_p = \frac{P}{S},$$

где: P — усилие разрыва; S — площадь разрыва.

Энергия КА разделяется на две характерные группы: к первой относятся блоки 1 и 2, ко второй — блок 3. Мерные два блока содержат четыре потока энергии, которые принимают непосредственное участие в обработке материалов. В неё входит внутренняя, полезно используемая обратимая энергия, не зависящая от движения всей системы или присутствия внешних силовых полей, а также свободная, гравитационная и электромагнитная энергии связей. Полезно нагружает материал и внешняя необратимая энергия. Их проявления во внутренних процессах снижают напряжения разрыва. Правильное использование этих потоков улучшает показатели производственных граничных условий. Третий блок, содержит связанную энергию, энергии сильных и слабых взаимодействий, способствующих росту сопротивления разрыву. В гуковской модели *a* эти положения не учитываются, они же не принимаются во внимание при расчёте и проектировании машин. Поэтому их научный уровень уже длительное время не соответствует современным требованиям нефтяной промышленности.

Оценка сопротивляемости материалов разрыву с помощью феноменологической теории не дала необходимых улучшений в технологии и механизации нефтяного производства. В последнее время все больше усилий направляется на всестороннее раскрытие явлений обработки материалов. При этом применение всех необходимых теорий является особенностью проведенных исследований в этом направлении. В них устанавливается влияние обратимых внутренних энергетических потоков обрабатываемых материалов на сопротивляемость их разрыву без изменения свойств разделённых частей. Нефтеотдача пластов, бурение скважин, добыча угля определяются эффективностью образования трещин. Разрушение

материала сопровождается последовательным разрывом электромагнитных связей между её частицами (молекулами) по направлению движения вершины трещины на дискретные постоянные величины Леонтьева-Панасюка-Дагдейла (ЛПД). В продвижении трещины участвуют все активные составляющие энергии.

Участие в трещинообразовании различных видов энергий ещё мало изучено. Какие из них способствуют этому процессу, а какие тормозят? Где формируются, как излучаются и на что воздействуют потоки обратимой внутренних энергий в обрабатываемом материале? На эти и другие вопросы ещё нет общепризнанных ответов. Их решение потребует на первом этапе научных исследований установления механизма полезного использования обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала для выяснения таких, например, вопросов, как раскрытие трещин в горных породах при их бурении, повышение продуктивности пластов полезных ископаемых. Познание строения обрабатываемого материала способствует пониманию действия связей между его частицами с учётом амплитудно-частотных характеристик. Свойства макроскопических тел объясняются взаимодействием молекул, из которых они состоят. Тепловое движение молекул характеризуется средней кинетической энергией одной молекулы, а взаимодействие между молекулами — потенциальной энергией молекулы. При этом каждая частица (молекула) движется и колеблется по определённом закону и создаёт своё электромагнитное поле, которое взаимодействует с остальными молекулами и влияет на их движение. Сложность КА не позволяет точно определить уравнения их движения, поэтому они принимаются совокупностью событий, подлежащих статистическому рассмотрению, как статистический ансамбль. Последний состоит из большого числа взаимодействующих систем, находящихся в одинаковых макроскопических, но разных микроскопических состояниях. Если точно известно микроскопическое состояние канонических ансамблей в фиксированный момент времени, то с использованием законов механики вычисляется её положение в любой последующий момент времени.

Для описания канонических систем необходимо иметь единый интегральный показатель, который характеризует системы в целом и каждый структурный элемент отдельно. В действительности точно не известны микроскопические состояния в технологических процессах добычи и переработки материалов. Поэтому необходимая точность их описания достигается при условии выбора объективного показателя, полно отражающего свойства производства. Для этого воспользуемся современными достижениями науки в квантовой физике. Известно [14] важное свойство любой сложной системы, к которой относится и выбранная нами для исследования: в каждой из них существует характерная последовательность уровней энергий или стационарных состояний. Это свойство неотъемлемо как для больших систем, собранных из узлов машин, так и веществ, состоящих из атомов и молекул, к которым относятся, например, углеводороды. Оно — как основной на-

учный аксиоматический факт. Учёт его в промышленности позволяет рассматривать переходы между уровнями энергии излучения и поглощения. Важным условием при этом остаётся описание функционирования КА единым интегральным показателем энергетических уровней различных веществ.

Перспективным видом энергии, которую можно полезно использовать является энергия, высвобожденная из обрабатываемого вещества. Она пропорциональна его массе, что указывает на наличие её резервов, скрытых в обрабатываемом материале. Даже без учёта ее внутримолекулярной составляющей, энергия электромагнитных связей между молекулами и макрочастицами вещества может пополнить недостающий человечеству объём энергии. Полезное её использование в технологических процессах нефтяной, горной и других отраслях промышленности реализуется недостаточно. В лучшем случае она признаётся необходимой, но её реализация не достигает нужного уровня. Высвобожденная энергия обрабатываемого материала не преобразуется целенаправленно для существенного улучшения качества и повышения производительности труда. В связи с этим актуальным становится полезное использование и управление этой энергией в существующих технологиях промышленности. Новое и важное значение приобретают дозировка и локализация вводимой в вещество энергии, её модуляция в субрезонансных колебаниях с обрабатываемой средой.

Движение основных частей ансамблей осуществляется в фазовом пространстве. Их состояние в этом пространстве в каждый момент времени фиксируется указанием трёх геометрических координат — x, y, z и трёх динамических координат — составляющих импульса P_x, P_y, P_z . Каждой точке фазового пространства соответствует определённая энергия. Структурная схема КА в фазовом пространстве показана на рис. 2.4. Исполнительный орган его машины состоит из узлов привода и рабочего органа, кинетическая энергия которых:

$$E = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} = \dots = \frac{m_i v_i^2}{2}, \quad (2.33)$$

где: $m_1 \dots m_i$; $v_1 \dots v_i$ — соответственно массы и скорости движения узлов ансамбля.

Энергетические уровни нагружения этих узлов остаются практически постоянными в технологии добычи и обработки углеводородов. Они объединяются в исполнительные органы машин и в обрабатываемый материал, состоящий из тождественных элементарных ячеек с практически равными удельными поверхностными энергиями. В случае обработки однородного материала их энергетическая оценка свойств проводится по теории гармонического осциллятора. При этом распределение энергии между частицами обрабатываемого материала записывается выражением:

$$E_n = (n + 0,5) \hbar \omega_0, \quad (2.34)$$

где: $n = 0, 1, 2, \dots$ любое целое неотрицательное число; h – постоянная Планка; ω_0 – частота колебаний молекул обрабатываемого материала.

Структура КА с учётом взаимодействия блоков 1 и 2 упрощается по показателям энергетических уровней и объединяется в квазизамкнутую систему со свойствами ансамблей, характеризующихся распределением энергии между его составными частями. Таким образом, интегральным свойством каждого из этих ансамблей выбрана его энергетическая характеристика. Характеристикой первоначального воздействия является энергия, распределённая между узлами исполнительного органа машины. Примем, что значение этих энергий равна между собой. Это позволяет считать узлы машины энергетически равнонагруженными (блок 1). Обрабатываемый материал, (блок 2), характеризуется энергией сопротивления его обработке. Он состоит из определенного числа элементарных ячеек и молекул с

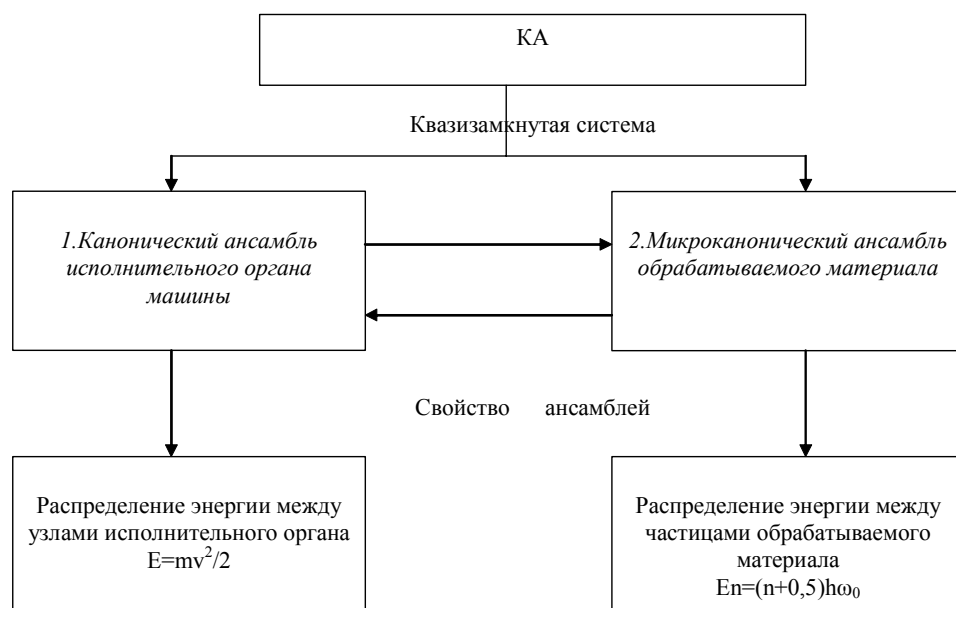


Рис. 2.4. Структурная схема КА в фазовом пространстве

одинаковыми энергетическими показателями сопротивляемости разрыву электромагнитных связей между его молекулами. Энергетическая обобщенность свойств исполнительного органа и обрабатываемого материала упрощает методику моделирования, анализа и синтеза канонических ансамблей.

В промышленности существует большое разнообразие излучателей энергии для обработки материала. Совершенствование их в направлении повышения силового

возмущения материала снижает удельную энергоемкость процесса на 20...30%. Повышение энерговооруженности локальных нагрузок на материал остается актуальным направлением, способным улучшить технологии ведения процесса добычи и переработки материалов. Однако при этом недостаточно учитываются существенные отрицательные проявления передачи энергии в каноническом ансамбле. К таким проявлениям относятся:

- ограниченная возможность полезного использования основной части подводимой к материалу энергии;
- энергетическая перенасыщенность неосновных процессов, нарушающих экологию окружающей среды;
- несоответствие внешних ньютоновских нагрузок внутренним сопротивлениям электромагнитных связей между частицами обрабатываемого материала;
- нарушение второго начала термодинамики, проявляющегося в возникновении менее вероятностных состояний канонического ансамбля;
- сложность анализа распределения энергии между частицами;
- малая надежность конструкций исполнительного органа машин, обрабатывающих материалы сосредоточенными нагрузками больших энергий, с коэффициентом полезного действия обработки материалов, не превышающим 10%.

Неполный перечень вскрытых недостатков так называемой силовой обработки материалов указывает на необходимость их устранения. Успех решения этой задачи в значительной мере зависит от научной направленности работ по выработке новых концепций, идей, методов и средств совершенствования функционирования сложных ансамблей. Для их описания важным становится раскрытие событий статистического ансамбля, которые подчиняются законам распределения между ними какого-либо свойства. Множество этих средств — одна из причин недостаточного понимания явлений и практически невозможность их моделирования. Устранение этого недостатка достигается особенностью нашего подхода к решению задачи использования единой энергетической характеристики КА-ГЭ с его интегральными энергетическими свойствами для создания методики анализа, синтеза и оптимизации технологических процессов в промышленности.

Создание новых машин и технологий их функционирования потребовали разработки нового полнокритериального метода, адекватно отражающего процессы, происходящие в системе обрабатываемая среда — источник внешнего нагружения. Основу его должны составлять обоснованные, подтвержденные постулаты и принципы. Полнокритериальность обеспечивается постоянным совершенствованием системы реализаций комплексного подхода в различных условиях исследований. Их проведение потребовало разработки специального отбора параметров по степени их изученности, практическому применению и познавательному значению, что осуществлено в следующем разделе.

Глава 3.

Когнетивный полнокритериальный метод создания энергосберегающих канонических ансамблей

3.1. Физическая основа полнокритериального метода

Для КА выбран интегральный показатель, характеризующий всю систему в целом, а также каждый ее элемент в частности. В качестве такого показателя используется энергия. Последовательность уровней энергии дает возможность рассматривать переходы между ними с учетом интенсивности излучения и поглощения энергии материалом для конкретных технологий добычи и переработки материалов. Поэтому применение его является актуальной задачей в разработке новых эффективных технологий для промышленности. Важным условием остается управляемое выравнивание значений энергии излучения исполнительным органом машины и ее поглощением обрабатываемым материалом с учетом получения эффективных видов энергий из обратимой внутренней энергии материала для полезного использования.

Физическая основа метода (рис. 3.1) включает теорию относительности Эйнштейна, принципы соответствия, неопределенности и причинности с последующим выходом на энергетические уровни. Обрабатываемая среда рассматривается как материя, состоящая из бесконечного множества молекул, каждая из которых характеризуется волновыми и корпускулярными свойствами: массой и длиной волны. При обработке материала нарушаются электромагнитные связи, удерживающие его в равновесном состоянии. Специальная теория относительности Эйнштейна — физическая теория пространства и времени является тем фундаментом, на котором покоится современная физика ядра, теория элементарных частиц. Основу этой теории образуют два постулата, которые носят название принцип относительности Эйнштейна и принцип постоянства скорости света. Принцип относительности Эйнштейна распространяет механический принцип Галилея на физические явления. Согласно этому принципу законы природы одинаковы во всех инерционных системах отсчета. Неизменность вида уравнения при изменении в нем координат и времени одной системы отсчета координатами и временем другой системы называется инвариантностью уравнения. Поэтому *принцип относительности* можно формулировать следующим образом: уравнения, выражающие зако-

ны природы инвариантны по отношению к преобразованиям координат и времени от одной инерциальной системы отсчета к другой.

Принцип постоянства скорости света утверждает, что скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света. Постоянство скорости света приводит к тому, что пространство и время оказываются взаимосвязанными, образуя единое целое: пространство-время. Эта взаимосвязь может быть представлена особенно отчетливо с помощью воображаемого четырехмерного пространства, по трем осям которого откладываются пространственные координаты x , y и z , а по четвертой оси - время t , точнее, пропорциональная t временная координата ct , имеющая такую же размерность, что и пространственная координата.

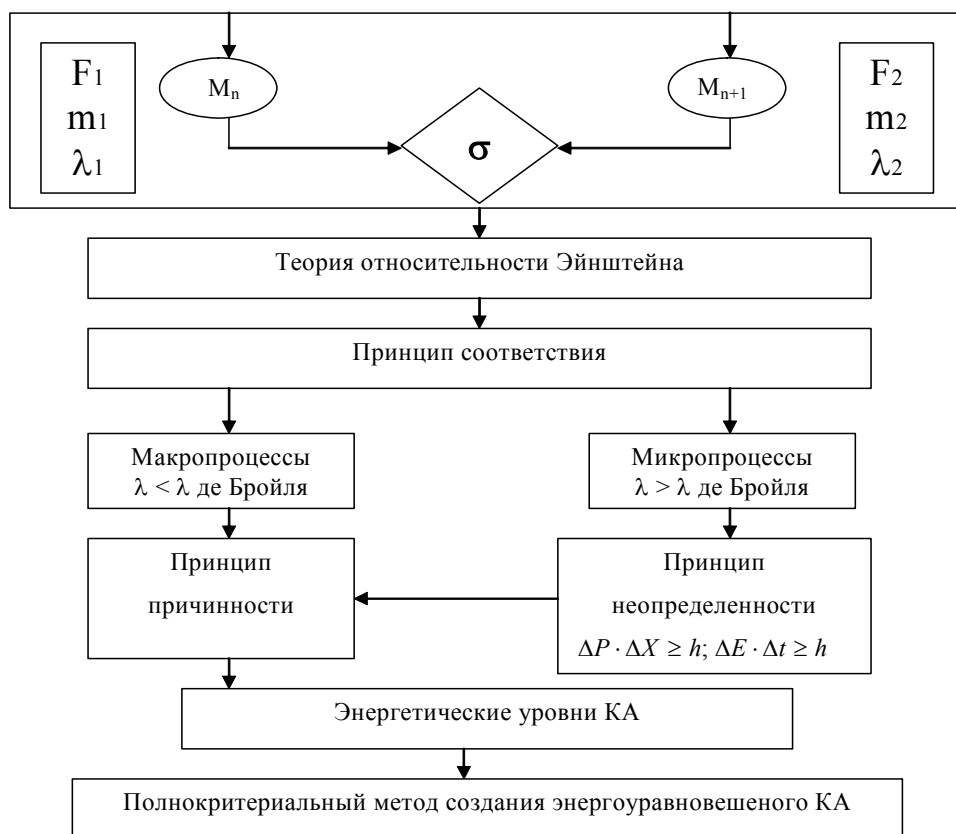


Рис. 3.1. Физическая основа полнокритериального метода создания КА

Принцип соответствия — постулат квантовой механики, требующий совпадения ее физических следствий с результатами классической теории в предельном случае больших квантовых чисел. Принцип соответствия является естественным проявлением того, что квантовые эффекты существенны лишь при рассмотрении микрообъектов когда величины размерности действия сравнимы с постоянной Планка $\hbar$. Если же квантовые числа, характеризующие физическую систему велики, то их величиной можно пренебречь и система с высокой точностью поддается классическим законам. С формальной точки зрения принцип соответствия означает, что в пределе квантово-механическое описание физических объектов должно быть эквивалентно классическому. Часто под принципом соответствия понимают следующее, более общее положение. Любая новая теория, претендующая на более глубокое описание физической реальности и на более широкую область применимости, чем старая, должна включать последнюю как предельный случай. Принцип соответствия был выдвинут в связи с проблемой интенсивности линий в спектрах излучения и поглощения атомов. Значение принципа соответствия выходит за рамки квантовой механики. Им пользуются в квантовой электродинамике, теории элементарных частиц и, без сомнения, он входит составной частью в любую новую теорию и поэтому применим для полнокритериального метода создания КА.

Принцип неопределенности — фундаментальное положение квантовой теории, утверждающее, что не существуют такие состояния физической системы, в которых две динамические переменные A и B имеют вполне определенные значения, если эти переменные кинетически сопряжены друг с другом. Таким образом, никакой эксперимент не может привести к одновременному точному измерению таких A и B . Неточность в измерениях при этом связана не с совершенством экспериментальной техники, а с объективными свойствами исследуемой системы. Количественная формулировка принципа — произведение погрешностей измерения канонически сопряженных величин не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка:

$$\Delta A \cdot \Delta B \geq \hbar. \quad (3.1)$$

Из принципа неопределенности следует, что чем более определено значение одной из входящих в неравенство величин, тем менее определено значение другой. Проводя конкретный эксперимент по определению координаты или импульса частицы, получают из их возможных значений лишь одно. В этом смысле можно сказать, что координата и импульс в привычном классическом понимании появляются только в процессе измерения, в процессе взаимодействия макроскопического измерительного прибора с исследуемым объектом. Такое взаимодействие принципиально не может быть сколь угодно малым. Ясно, что энергетический

обмен между приборами и микроскопической частицей неизбежно связан с искажением первоначального состояния последней и приводит, следовательно, к неопределенности в последующем опыте по определению канонически сопряженной величины. Анализ любых опытов показывает, что измерение, например, координат микрочастиц делает неопределенным ее импульс, и наоборот.

Более сложный вопрос о физическом смысле часто употребляемого принципа неопределенности для энергий и времени

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar. \quad (3.2)$$

В самом деле, в квантовой механике t есть параметр, а не динамическая переменная, которой сопоставлялся бы какой-либо оператор. В (3.1) подразумевается невозможность одновременно определить значение двух величин. Энергию же E стационарного состояния, можно найти с любой точностью и отнести к любому моменту времени t . Отсюда ясно, что при внешнем сходстве соотношений (3.1) и (3.2) интерпретируются они по-разному. Принцип неопределенности (3.2) встречается в разных случаях и имеет различный физический смысл. Так он справедлив, если под ΔE понимать изменение энергии стационарного состояния систем под воздействием слабого возмущения, воздействующего на систему в течении времени Δt . Состояние (3.2) принимает другой смысл, если под ΔE понимать неопределенность значения энергии нестационарного состояния замкнутой системы. Принцип неопределенности, открытый Гейзенбергом, является важным шагом в интерпретации закономерностей микромира и построении квантовой механики и потому обогащает способность полнокритериального метода раскрывать истинность явлений.

Принцип причинности важен для любой теории. В классической механике он находит свое выражение в уравнениях динамики: здесь причиной является сила, действием вызывающая ускорение (или деформацию тела). В квантовой механике причинная связь выражена в уравнении Шредингера, связывающим изменение во времени волновой функции (т.е. состояния системы) с гамильтонном, характеризующим взаимодействие в системе (в частности, воздействие внешнего поля). Причинность устанавливает влияние физических явлений одно на другое. Будущее не воздействует на прошлое. Действие не влияет на последствие. Отсутствие взаимного влияния действий не имеет смысла для понятий раньше - позже. Начальное положение системы полностью определяет всю последовательность ее эволюции. В процессе причинности выполняется перенос материи и движение от причин к последствиям и особенно при этом важно знать, что в КА этот процесс осуществляется цепочкой. Причина — общая форма связи в том смысле, что любое явление имеет свою причину. Однако, ее нельзя рассматривать, как единственную форму связи между явлениями: она имеет “локальный” ограниченный характер,

выражая связь отдельного явления с формирующими его условиями, а не процесса (т.е. последовательности явлений) в целом. Она всегда предшествует действию. В ньютоновской физике, основанной на идее дальнего действия, это утверждение представлялось необязательным: сила и вызываемые ею действия — ускорение или деформация — относятся к одному моменту времени. В теории относительности, согласно которой любое воздействие передается от одного тела к другому с конечной скоростью, не превышающей скорость света в вакууме, последовательность кинетически связанных явлений инвариантна. Предшествование причины действию выявляется лишь в таких теориях, которые рассматривают порождение действия не как мгновенный акт, а как процесс, совершающийся во времени. Следует отметить, что предшествование одного явления другому еще не достаточно для установления причинной зависимости между ними. Необходимо, чтобы они были связаны кинетически. Именно эта особенность причинной связи позволяет отличить ее от других форм функциональной зависимости. Связь между причиной и ее действием становятся практически однозначной, или можно не учитывать сложности объекта, если совокупность внешних существенных условий, рассматриваемых в качестве причин, достаточно полна, а данное явление в достаточной степени изолировано от других.

Принцип причинности играет важную роль в теории познания, поскольку раскрытие причин явлений делает возможным их предсказание, а при известных условиях — воспроизведение. Он устанавливает допустимые пределы влияния физических событий друг на друга, исключает влияние данного события на все уже произошедшие, используется прежде всего для выбора граничных условий к соответствующим уравнениям динамики, что обесценивает однозначность их решения; позволяет установить общие свойства величин, описывающих реакцию физических систем на внешнее воздействие; играет важную роль в аксиоматическом подходе описания взаимодействия частиц на основе постулатов теории. Причина — явление непосредственно обуславливающая порождение другого явления — следствия. Движение мысли от описания к причинному объяснению есть движение понятия от внешнего к внутреннему, от явления к сущности. Классификация причинности производится по различным признакам: идеальная и материальная, информационная и энергетическая, динамическая и статистическая, простая и сложная (составная), однофакторная и многофакторная, системная и несистемная, внешняя и внутренняя, главная и неглавная, объективная и субъективная. В нашей работе принята за основу энергетическая причинность проявления следствия в КА. Она выступает в роли исходного и определяющего элемента взаимосвязи явлений, принята как основной показатель причинности и следствия. Другие классификационные характеристики причинности учитываются как вспомогательные, они дополняют понимание КА в специфических условиях его функционирования.

Физическая основа полнокритериального метода на заключительном этапе формирования выражает главные ее показатели — уровни энергии. Их состояние определяет эффективность оборудования и технологии производства. В связи с этим, необходим выбор вида и характера, энергетического потока, его рациональная комбинация с управляемым распределением общего энергетического потока между механической, физической и химической составляющими. Этот выбор и управление осуществляется по интенсивности поглощения энергии обрабатываемой материальной средой при внешнем ее нагружении. При колебательном движении частиц среды имеет место перенос энергии передачей ее от одной частицы к другой. *Плотностью энергии* называется количество энергии, приходящейся на единицу объема среды. Если среда характеризуется плотностью ρ , то энергия в объеме dV

$$dE = \frac{\rho}{2} \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot dV, \quad (3.3)$$

где: A — амплитуда колебаний частицы; ω — ее циклическая частота.

Под *потоком энергии* W понимают энергию, проходящую через поверхность площади S за время t со скоростью v .

$$W = \frac{\rho}{2} \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot S \cdot v \cdot t. \quad (3.4)$$

Мощность потока энергии выразится уравнением:

$$P = \frac{\rho}{2} \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot S \cdot v. \quad (3.5)$$

Интенсивность потока излучения называют отношение $I=P/S$, или

$$I = \frac{\rho}{2} \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v. \quad (3.6)$$

Учитывая, что $\omega = 2\pi v$, получаем:

$$I = 2\pi^2 \cdot \rho \cdot v \cdot A^2 \cdot v^2. \quad (3.7)$$

Интенсивность существенно зависит от частоты и амплитуды нагружения материальной среды. Поэтому установим приоритетность частоты или амплитуды по управлению процессом нагружения. Согласно формуле Г.Брейта и Е. Вигнера:

$$I(\omega) = I(\omega_0) \cdot \frac{\left(\frac{1}{2 \cdot \tau}\right)^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \tau}\right)^2}, \quad (3.8)$$

где: $I(\omega)$ – интенсивность “отклика” материала на возмущение с частотой на единичную амплитуду; $I(\omega_0)$ – интенсивность рассеивания “в резонансе”, т.е. при $\omega = \omega_0$; τ – “время жизни” взаимодействия.

Из (3.8) видно, что интенсивность “отклика” материала на возмущение с частотой находится в квадратичной зависимости от этой частоты. Поэтому, основным управляющим параметром процесса является частота нагружения, при выборе вида энергетического потока принимается во внимание в первую очередь его частота.

Механическая и химическая энергии не способны обеспечивать частоты нагружений, близкие к собственным частотам электромагнитных взаимодействий молекулярных структур. Такие частотные диапазоны характерны для физических энергетических потоков электромагнитных волн. Для их получения применяется трансформирование механических и химических энергетических потоков в физические. При трансформировании энергии учитывается вероятность эффективного воздействия на электромагнитные связи между микро- и макро частицами материала:

$$P = 1 - e^{-2v^2/g}, \quad (3.9)$$

где: v – скорость движения частиц обрабатываемой среды; g – ускорение силы тяжести.

Вероятность эффективного воздействия на электромагнитные связи между частицами пропорциональна квадрату скорости их движения. Это указывает на необходимость нагружения материала с максимальной скоростью. Такой вид нагружения достигается созданием в излучателе упругих волн деформации, которые имеют самую большую скорость распространения из всех видов механического воздействия. Для жидких сред дальнейшая трансформация энергии по увеличению ее частоты колебаний производится вихревыми излучателями, свистками, дифракционными решётками, трубками Вентури и активными пьезокерамическими преобразователями. Эти элементы поглощают меньше энергии по сравнению с увеличением роста энергии поглощения обрабатываемой среды. В соответствии с резонансной кривой, полученной на основании резонансной формулы Брейта – Вигнера, коэффициент полезного действия обработки физическими высокочастотными потоками энергий больший, чем механическим нагружением, который не превышает нескольких процентов. Этим объясняется целесообразность применения высокочастотных видов энергий для высвобождения и полезного использования внутренней энергии технологического комплекса.

Разработка энергосберегающих технологий обеспечивается оптимальным соотношением между энергиями излучения и поглощения. Это достигается необходимой интенсивностью поглощения, достаточной для разрыва электромагнитных связей обрабатываемого материала. Квадратичная зависимость интенсивности поглощения энергии материалом от частоты внешних нагружений приобретает особое значение при взаимодействии внешних нагрузок с частотами близкими к частотам собственных колебаний электромагнитных связей обрабатываемого материала. Эти частоты внешних нагружений находятся из уравнения Брейта - Вигнера (интенсивности отклика системы на внешние возмущения с частотой ω). На рисунке 3.2 представлена зависимость интенсивности поглощения от частоты, построенная по резонансной формуле Брейта - Вигнера для одного уровня и носит название универсальной резонансной кривой. С помощью (3.8) и рисунка 3.2 определяется КПД поглощения приложенной к материалу энергии. Согласно рисунку 3.2 $\eta = AB/CO$. КПД обработки существенно зависит от ω и при $\omega = \omega_0$ стремится к единице. По-

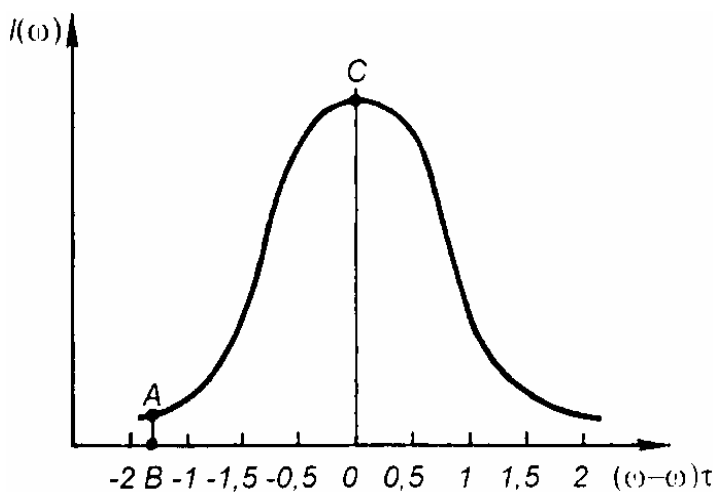


Рис. 3.2. Универсальная резонансная кривая

этому внешнее воздействие необходимо осуществлять нагрузками с частотами $\omega \rightarrow \omega_0$. Такая трансформация осуществляется преобразованием энергии удара по излучателю, в волновые колебания с частотой ω . Последующая трансформация волновой энергии излучателя осуществляется с использованием вихревых излучателей, трубок Вентури дифракционных решеток, кавитационными колебаниями в жидкости. Последние, воздействуя совместно с пьезокерамическими преобразователями трансформируют энергию излучателя до частот, близких к собственным частотам электромагнитных связей обрабатываемого материала.

В качестве источника внешнего воздействия примем волновой генератор гармонических колебаний. По его характеристикам находится математическая модель частот вынужденных колебаний, по которым определяются параметры, влияющие на частоты внешних нагружений.

строенная по резонансной формуле Брейта - Вигнера для одного уровня и носит название универсальной резонансной кривой. С помощью (3.8) и рисунка 3.2 определяется КПД поглощения приложенной к материалу энергии. Согласно рисунку 3.2 $\eta = AB/CO$. КПД обработки существенно зависит от ω и при $\omega = \omega_0$ стремится к единице. По-

Вынужденные гармонические колебания описываются дифференциальным уравнением второго порядка:

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t, \quad (3.10)$$

где: β - коэффициент затухания;

$$f_0 = \frac{F_0}{m}, \quad (3.11)$$

F_0 – амплитуда внешней вынуждающей нагрузки; m – масса системы (молекулы).

Решением (3.10) в общем виде для устойчивого колебания системы будет:

$$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t - \alpha). \quad (3.12)$$

Разность фаз возмущающей силы и вынужденного колебания:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2 \cdot \varpi \cdot \beta}{\omega_0^2 - \omega}\right). \quad (3.13)$$

Амплитуда колебаний:

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\rho^2 \omega^2}}. \quad (3.14)$$

В момент разрыва электромагнитной связи молекулы расходятся на критическое расстояние $\delta_k = 2d$, которая и определит амплитуду, т.е.

$$A = \delta_k = 2d = 6.4 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Преобразуем выражение (3.14):

$$A^2 = \frac{f_0^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\rho^2 \omega^2}, \quad (3.15)$$

$$\omega_0^4 + \omega^4 + \omega^2(4\beta^2 - 2\omega_0^2) - \frac{f_0^2}{A^2} = 0. \quad (3.16)$$

Коэффициент затухания во много раз меньше собственной частоты системы:

$$\beta^2 \ll \omega_0^2. \quad (3.17)$$

С учетом (3.11) и (3.17) уравнение (3.16) примет вид:

$$\omega^4 - \omega^2 2\omega_0^2 + (\omega_0^4 - \frac{F_0^2}{m^2 A^2}) = 0. \quad (3.18)$$

Сила, обеспечивающая разрыв одной связи в соответствии с законом Кулона:

$$F_0 = \frac{e^2}{2\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (3.19)$$

Энергия гармонического осциллятора:

$$E = \frac{m \cdot A^2 \cdot \omega_0^2}{2}. \quad (3.20)$$

Считая, что она полностью передается междумолекулярной связи, определим собственную частоту колебаний системы:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m \cdot A^2}}. \quad (3.21)$$

Как видно, (3.19) и (3.20) являются параметрами, влияющими на частоты колебаний внешнего нагружения. С учетом ω_0 и F_0 решим (3.18) относительно ω . Для этого запишем энергию гармонического осциллятора:

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{U}{c}\right)^2}}, \quad (3.22)$$

где: $U = \frac{a\delta_k}{D}$ – скорость раскрытия трещины; D – постоянная ЛПД.

В связи с малостью значения $\left(\frac{U}{c}\right)^2$ (3.21) перепишем в виде:

$$\omega_0 = \frac{c}{A} \sqrt{2} = 1.4 \cdot 10^{13} \text{ Гц}. \quad (3.23)$$

Подставив в (3.18) значения ω_0 , F_0 , m , A и решив его относительно ω , получим:

$$\omega \cong \omega_0. \quad (3.24)$$

Это равенство подтвердило почти полное поглощение энергии, выделяемой внешним излучателем в резонансных условиях интенсивности излучения и поглощения. Его реализация обеспечивает достижение максимального значения КПД функционирования КА и доказало правомерность применения уравнения (3.8) для решения практических задач производства.

3.2. Когнитивный полнокритериальный энергосберегающий метод

Функционирование КА ещё не изучалось с использованием совокупности системного анализа показателей жизненного цикла, синтеза параметров, аксиоматического синтеза производственных граничных условий и кибернетического управления системой как метода исследований. До настоящего времени в научно-технической литературе не представилась возможность найти попытки раскрыть и обосновать сущность такого метода. Для этого нужно преодолеть определенные трудности по выбору основных положений, характеризующих достаточную обоснованность такой совокупности исследований, как основы нового метода исследования. Причем, эти положения не должны механически объединять имеющиеся элементы эмпиризма и общего поверхностного раскрытия физических процессов. Они обязаны формировать целостное представление о закономерностях и существенных связях функционирования системы по определенным логико-методологическим принципам. Вариант этого метода, как нового уровня понимания решения поставленной задачи, представлен графической структурой (рис.3.3). Понятно, что полнокритериальный метод не может укладываться в рамки постоянных структур. Она несовместима с ограничениями в совершенствовании форм и содержания развивающегося производства. Поэтому структуру метода следует воспринимать как последовательность преобразований причинности связей, основу для творческого обновления и самосовершенствования применительно к заданным вариантам многообразия КА.

Для реализации метода предусмотрено выполнение следующих *основных показателей полнокритериальности научных работ*:

- изучение функционирования системы на основе фундаментальных открытий, законов, теорий, применимых к производству;
- обеспечение необходимого и достаточного охвата параметров, влияющих на производственные граничные условия системы — ее КПД, производительность, качество и удельную энергоемкость процесса;
- использование в адекватных математических аналогах фундаментальных констант;
- упрощение абстрактных математических аналогов системы до аксиоматического их выражения для инженерного применения в практике разработки и создания новых эффективных технологий и техники;
- проверка результатов системного анализа показателей жизненного цикла и параметрического синтеза математических аналогов системы прямым экспериментом;

— получение новых, более высоких показателей производственных граничных условий: КПД, качества, производительности при минимальных энергозатратах на основе кибернетического управления системой без постоянной интеллектуальной деятельности человека;

— внедрение в практику производства метода создания новых эффективных систем.

Состав параметров системы определен изученностью ее элементов и их взаимосвязей, охватом и опосредствованием с помощью исходных данных блока 1. В этом блоке на основе логико-интуитивного подхода с использованием известных фундаментальных теорий, законов, открытий, изобретений, экспериментальных, конструкторских, технологических и эксплуатационных достижений выполняется системный анализ и формируются исходные факторы, определяющие жизненный цикл системы. Входные факторы ограничены состоянием научного познания на каждом этапе развития общества.

Они разделены на три группы:

первая группа — входные факторы конструирования $X_{\text{кп}}$, технологии изготовления $X_{\text{тм}}$, эксплуатации $X_{\text{эр}}$ и ремонта $X_{\text{рл}}$ машин;

вторая группа — входные факторы, непосредственно определяющие процесс машин при заданных характеристиках машин $X_{\text{нк}}$, выходные факторы конструирования $Y_{\text{кп}}$ и технологий изготовления $Y_{\text{тм}}$, эксплуатации $Y_{\text{эр}}$, ремонта $Y_{\text{рл}}$;

третья группа — выходные показатели жизненного цикла системы $Z_{\text{т}}$.

Взаимодействие всех блоков структуры на примере разрушения пород формирует эксплуатационные параметры, раскрывающие сущность функционирования системы. Для этого предусмотрен параметрический синтез (блок 2), аксиоматический синтез производственных граничных условий (ПГУ) (блок 3), кибернетическое управление (блок 4) и как результат — теория функционирования системы (блок 5). Процессы в элементах системы и их связей раскрываются теорией упругости, пластичности, вероятности, трещин, гидродинамики, волновых уравнений и комплексных переменных, современными научными достижениями квантовой физики. Они обеспечивают формирование новых целостных представлений о функционировании КА. Адекватность реальным процессам устанавливается на базе анализа результатов работы экспериментальных образцов машины или полноразмерных стендов. Параметрический синтез системы преобразуется для конкретного класса исполнительных органов машин.

Полный охват элементов определяется необходимостью и достаточностью ПГУ, которые раскрываются потребностями общества, выработанными длительной практикой его деятельности; они в данном случае постулируются. К ним относится производительность Π , ее качество K , удельная энергоемкость процесса q и КПД системы $\eta_{\text{с}}$. Эти граничные условия являются полнокритериальными, так как их совокупность полностью и на аксиоматическом уровне отражает потребительские свойства технологии и механизации.

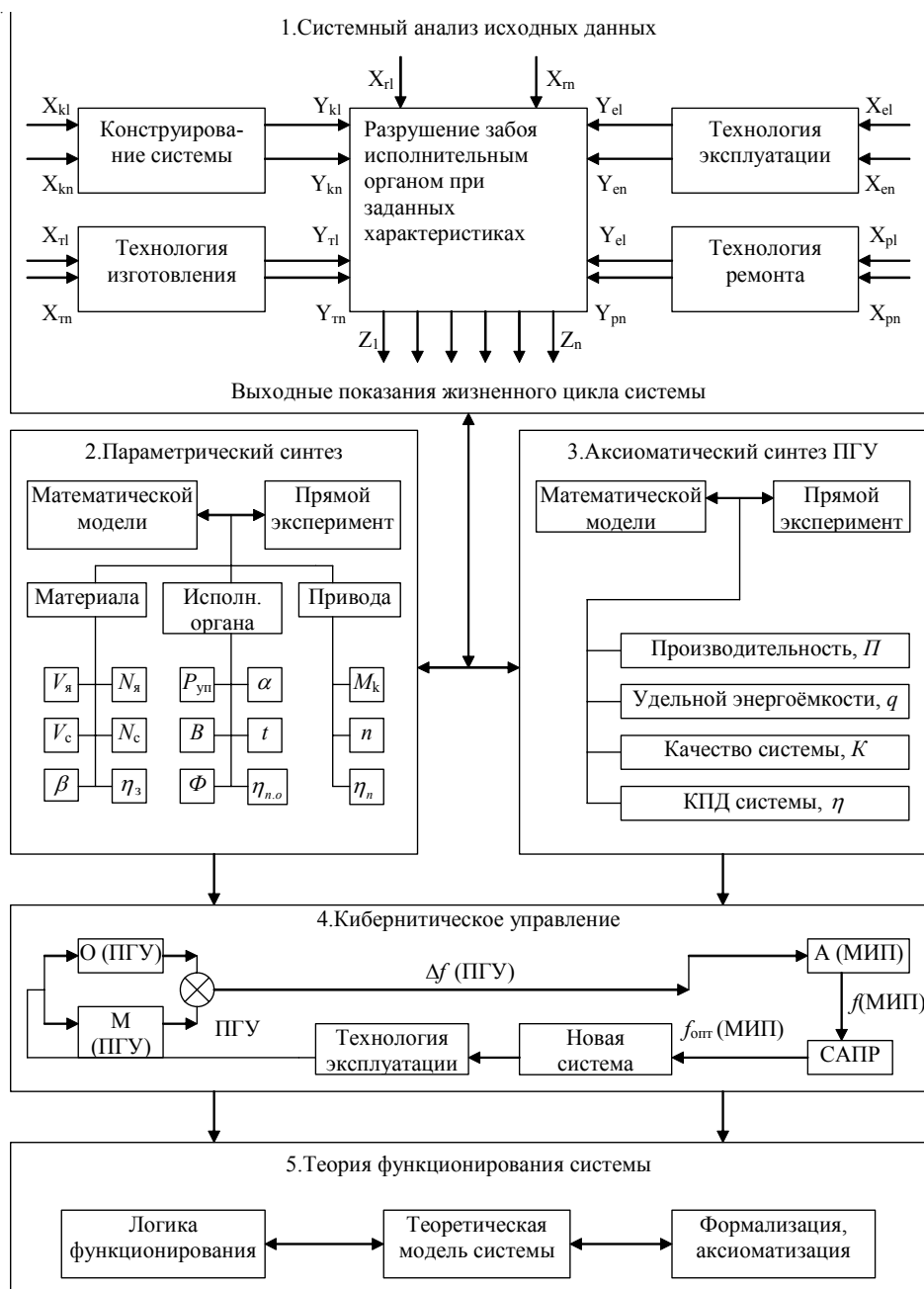


Рис. 3.3. Физическая основа полнокритериального метода создания КАНП

На этапе параметрического синтеза (блок 2) математические аналоги материала, исполнительного органа и привода машины охватывают необходимый для проектирования и обеспечения рациональной эксплуатации набор параметров для конкретного класса машин. Первым этапом упрощения этих аналогов является их оптимизация в зависимости от необходимости получения конкретных режимов работы технологического комплекса. Включение оптимизированных аналогов в математические модели ПГУ (блок 3) приводит к отсечению избыточной информации, характеризующей второй этап упрощения математических моделей системы. На третьем этапе упрощения сформированные математические аналоги ПГУ подвергаются критериальной оптимизации. В результате проявляется достоверная простота математических выражений ПГУ, которая ранее была скрыта видимой сложностью математических уравнений. Таким образом, поэтапно найдены минимальные программы, декодирующие предыдущую сложность представления всей системы.

Кибернетическое управление КА (блок 4) реализуется на минимизированных алгоритмах и программах, построенных на аксиоматическом представлении ПГУ. Завершающим этапом упрощения математических аналогов ПГУ является их коррекция в самонастраивающейся системе алгоритм-программа – САПР – технология эксплуатации машины. Результатом научного упрощения системы математических аналогов ПГУ является их выражение через единый параметр – объем отделяемой от материала массы (стружки). При этом все математические модели структуры находятся в функциональной взаимосвязи. Так, функциональное выражение одного из параметров забоя – угла наклона β траектории трещины к поверхности забоя является составной частью математических моделей мощности $N_{\text{я}}$ на образование ядра уплотнения перед передней гранью рабочего инструмента, объема ядра $V_{\text{я}}$, мощности на образование стружки $N_{\text{с}}$ и ее объема $V_{\text{с}}$. Он также входит в такие параметры исполнительного органа как шаг отделения t_1 , расстояние между соседними инструментами по одной линии t_2 . Все параметры исполнительного органа учитывают нагрузку на рабочий инструмент $P_{\text{уп}}$, входящую в математические модели исполнительного органа: в угол резания a , ширину рабочей кромки инструмента B , форму инструмента Φ , шаг отделения и расстояние между соседними инструментами по одной линии движения. Математические модели привода – крутящий момент $M_{\text{к}}$ и число оборотов двигателя n и его КПД η_n – содержат параметры материала исполнительного органа. Выводы математических параметров приведены в ранее опубликованных работах.

Используемые в науке классические теории содержат большой трудно применимый эмпирический материал. Например, теория упругости и современный курс “Основы физики горных пород” [44] перегружены характеристиками, прямо не отражающими физику разрушения пород. Поэтому в случае использования толь-

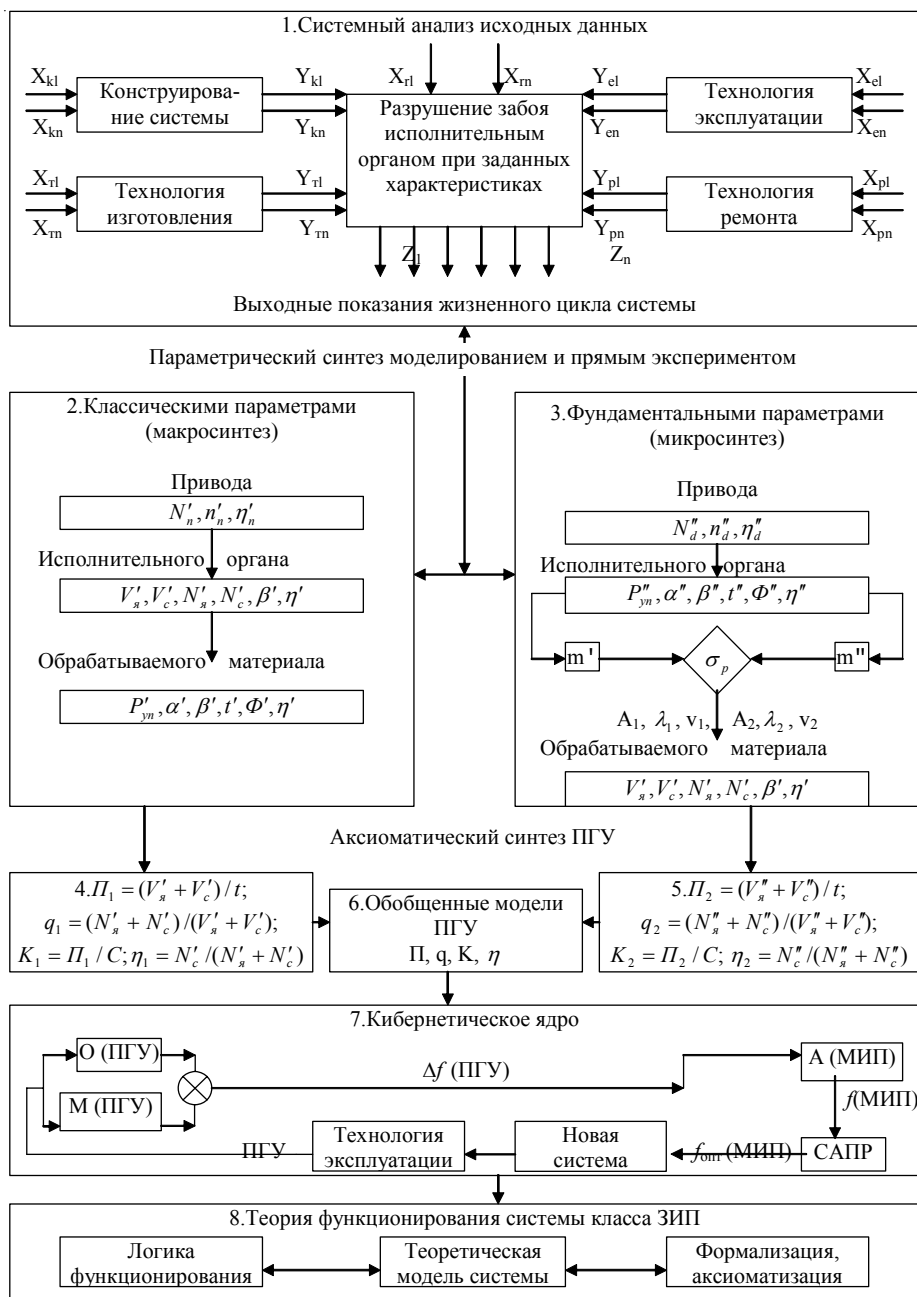


Рис.3.4. Структура полнокритериального энергосберегающего метода создания КА с учетом микропроцессов

ко этих характеристик математизация метода на стадии параметрического синтеза в блоке 2 хотя и обеспечивала бы строгую логику мышления, но не отражала в должной мере многообразия свойств материалов в процессе их нагружения, как составляющих единого комплекса. Устраняется этот недостаток определением вероятностной дефектности D разрушаемого материала, наложением ПГУ, оценкой внутренних процессов сопротивления обрабатываемого материала приложенным нагрузкам и представлением сил сцепления элементарных частиц породы с использованием фундаментальных констант.

В блоке 4 на основе кибернетического управления системой с использованием САПР производится самосовершенствование разрабатываемого метода исследования функционирования системы. Его структура включает в себя управление параметрами и ПГУ из блоков 2 и 3, отражающие практику создания КА, а также технологию эксплуатации. Аналитическая выработка информации о требуемых управляющих воздействиях производится через алгоритм проектирования с помощью САПР и характеризует систему как самонастраивающуюся. Управление КА осуществляется совместным решением аналитических зависимостей, связывающих рациональные значения ПГУ блока 3 с эксплуатационными параметрами блока 2. Рациональными значениями ПГУ являются максимальная производительность при минимальной удельной энергоёмкости процесса разрушения, а также высокое качество и КПД системы, которые совершенствуются с направленным изменением характеристик управляющего объекта. Оптимальные ПГУ при изменении внешних нагрузок на машину реализуются созданием самонастраивающейся системы, структурная схема которой представлена в блоке 4. Математическая модель M (ПГУ) и управляющий объект O (ПГУ) формируют реальные показатели рассогласования системы. Они включают в себя изменения P, K, q и η_c , обозначенные на схеме Δf (ПГУ). Через анализатор управляющего объекта A (МИП) выдается информация об изменениях параметров управления $V_n, V_p, P_{yn}, \beta, M_k, q, P, t, \alpha, n, \eta_3, \eta_n, \eta_m$, которые обозначены на схеме Δf (МИП). Они подаются на вход алгоритма, проектирования машины, где осуществляется коррекция параметров МИП и выдаются оптимальные значения $f_{\text{опт}}$ (МИП) для создания новых машин и технологии их эксплуатации. Они учитывают влияние изменяющихся условий ее работы, отражают свойства материала в процессе его обработки и выдают реальные значения ПГУ, которые регулируют действие на управляемый объект.

Совокупность и строгая последовательность в систематизации предыдущих блоков формирует теорию функционирования КА. Теория совместно с эксплуатацией дают базу построения полнокритериального метода его создания механизации технологии их эксплуатации, который является результатом совместной научной и практической проработки всех элементов блоков системы. Возможность с помощью метода получать новые рациональные решения, полно выбирать

параметры в неразрывной связи их анализа и синтеза и учета оптимальных параметров проектируемых с использованием САПР без постоянного участия интеллектуальной деятельности человека определяют его не только как самонастраивающимся, но и кибернетическим. Метод позволяет разработать теорию функционирования системы (блок 5), объединившую в себе три составные части познания сущности изучаемых явлений: логику функционирования КА по экспериментальным фактам, выводам и доказательствам; построение идеализированной системы КА и её теоретические модели; формализацию функционирования системы на базе постулатов и аксиом.

Примером последовательности преобразований структуры полнокритериального метода применительно к созданным вариантам многообразия КА может служить учет в нем молекулярного строения обрабатываемого материала. Для этого случая структура полнокритериального метода с учетом закономерностей микроскопических процессов показана на рис. 3.3. В структуре принцип причинности дал возможность внести изменения в ПГУ в зависимости от режимов нагружения обрабатываемого материала. Математические модели микросинтеза, блок 5 рис. 3.4, набираются преимущественно фундаментальными константами, истинность которых не вызывает сомнений. Применение этого метода при разработке КА нашло подтверждение в разработках средств бурения скважин большого диаметра в вечной мерзлоте и инерционно-волновой очистке рабочих поверхностей оборудования, а также реализовало плодотворную связь прикладных, классических и фундаментальных наук. Изучение специальных прикладных наук с использованием данного метода — одно из условий перестройки и развития мышления с переводом его на новый уровень понимания обновления и интенсификации нефтяной промышленности. Временная невозможность проверки микроскопических явлений прямым экспериментом даёт право признания фундаментальности микросинтеза, так как блок 4, который содержит классические константы, многократно проверенные в совокупном взаимодействии с фундаментальными константами прямым экспериментом. Макро- и микропараметрический синтез заканчиваются получением одних и тех же аксиоматических параметров — производительности P_1, P_2 , удельной энергоемкости разрушения забоя q_1, q_2 , качеством функционирования K_1, K_2 , и коэффициента полезного действия η_1, η_2 . При микропараметрическом синтезе объем ядра уплотнения и стружки определяются поверхностной энергией материала на основе молекулярно-волновой теории раскрытия трещин. Энергия, необходимая для получения этих объемов описывается волновым уравнением Шредингера, связывающим изменение во времени волновой функции (состояние системы) с гамильтонном, характеризующим взаимодействие электромагнитных полей между элементами КА; коэффициент полезного действия разрушения находится как отношение поверхностной энергии N_c на образование магистральной трещины

к поверхностной энергии $N_{\text{я}}$ образования ядра уплотнения и стружки $N_{\text{с}}$.

Известно [11], что все процессы макроскопического мира, связанные со свойствами элементарных частиц и их взаимодействиями. Решения с использованием квантовой механики и классической физики совпадают для больших размеров взаимодействующих частиц материала. Квантово-механические решения задач приближаются к классическим, когда входящие в задачу размеры деталей машин или частиц превышают длину волны де Бройля. В функционировании сложной системы взаимодействуют частицы с длинами волн большими и меньшими длины волны де Бройля. Квантово-механические решения можно экстраполировать на область промышленных масштабов, а решения на уровне классической механики нельзя использовать в области молекулярных размеров. Поэтому изучение технических способов отыскания новых энергосберегающих технологий и их осуществления, а также обработке материалов необходимо проводить с использованием преимущественно квантовой механики. Сопоставление результатов решений с использованием квантовой и классической механики позволяет раскрыть новые явления и предложить оригинальные технические разработки для интенсификации добычи и переработки полезных ископаемых. Поэтому, рассматриваются физико-механические константы материалов, не как эмпирические константы, а как функциональные аналитические модели с учётом изменяющихся внешних условий.

3.3. Функционирование глобальной энергии в производственных граничных условиях

Энергия связей между частицами обрабатываемого материала:

$$E_{\text{с}} = h\nu + \gamma, \quad (3.25)$$

где: γ - удельная поверхностная энергия, оставшаяся на поверхности трещины после ее раскрытия.

Удельная поверхностная энергия γ отражает энергетические характеристики обратной внутренней энергии обрабатываемого материала. Она выражается уравнением

$$\gamma = \frac{2 \cdot m \cdot v^2}{\pi \cdot d_m^2}, \quad (3.26)$$

где: m — масса, v — скорость, d_m — диаметр соответственно молекулы.

$$v = \lambda \cdot \nu = \frac{\hbar \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \cdot \nu}{2 \cdot \pi \cdot m_0 \cdot v} = \hbar \cdot \nu \cdot (2 \cdot \pi \cdot m_0 \cdot v),$$

где: $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$ — длина волны; $\hbar = \frac{h}{2 \cdot \pi}$ — постоянная Планка; $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ —

релятивистская масса движущейся молекулы.

С учётом $v \ll c$ и вышеприведенного, скорость молекулы на берегу трещины при её раскрытии будет:

$$\gamma = \frac{\hbar \cdot \nu}{\pi^2 \cdot d^2},$$

а энергия связей между частицами обрабатываемого материала:

$$E_c = \hbar \cdot \nu \cdot \left(1 + \frac{1}{\pi^2 \cdot d^2}\right). \quad (3.27)$$

Из (3.27) видно, что обратимая внутренняя энергия и поверхностная энергия материала зависят от одного общего показателя — частоты колебаний ее частиц. Остальные характеристики правой части (3.27), к которым относятся $\hbar$, m и d_m имеют в условиях проведения эксперимента постоянные значения. Это позволяет полно и однозначно выражать внутреннюю энергию раскрытия трещины частотой колебаний на основе релятивистской инвариантности. В этом случае γ можно считать инвариантом ν . Такая, квантово-механическая интерпретация ν и γ обеспечивает теоретическое и экспериментальное согласование идентичности понимания особенностей сопротивления разрыву электромагнитных связей между частицами материальной среды раскрытию трещины в продуктивном пласте. Взаимосвязь ν и γ устанавливает обоснованную возможность принимать их как двуединый, фундаментальный показатель оценки энергосбережения при функционировании системы “Внешний источник — Среда”. Это позволило отойти от эмпирического метода создания технических систем. А использование полнокритериального метода создания технических систем обеспечило новый уровень познания функционирования КА с увязкой в математических аналогах фундаментальных констант ν и γ . Достоверность нового метода оценивается практической проверкой экспериментом аналитических и проектных решений по созданию новых систем и технологий их функционирования.

Производственные граничные условия системы КА в фундаментных константах микросинтеза предоставляются следующим образом:

Производительность системы

$$П = \frac{8h^3 \cdot c^3 \cdot n \cdot n_1}{E^3 \cdot t}, \quad (3.28)$$

где: n — число разорванных электромагнитных связей; n_1 — количество волн между соседними молекулами; E — энергия обработки; t — время обработки.

Удельная энергоёмкость обработки

$$q = \frac{8h^3 \cdot c^3 \cdot n \cdot n_1}{E^4 \cdot t}. \quad (3.29)$$

Качество системы:

$$K = \frac{8h^3 \cdot c^3 \cdot n \cdot n_1}{E^4 \cdot t \cdot C}, \quad (3.30)$$

где: C — стоимость обработки.

Коэффициент полезного действия обработки:

$$\eta = \frac{n_c \cdot E_c}{n_c \cdot E_c + n_{я} \cdot E_{я}}, \quad (3.31)$$

где: $n_{я}$ — число разорванных электромагнитных связей при образовании максимального объема ядра уплотнения; $E_{я}$ — энергия образования максимального ядра уплотнения обрабатываемого материала; n_c — число разорванных электромагнитных связей при раскрытии трещины; E_c — энергия раскрытия макротрещины.

Эти ПГУ учитываются при формировании блока 5. После их сравнения с ПГУ блока 4 форматируются обобщенные модели ПГУ — $П$; q ; K ; η блока 6. Последние используются в кибернетическом управлении блока 7.

Глава 4.

Эволюционная теория квантово-механических контуров

4.1. Элементарная ячейка материала с вероятной дефектностью

Применение фундаментальных законов и классических теорий упругости, пластичности, трещин, механики деформируемых сред, гидродинамики и других теорий для описания системы КА затруднено анизотропными и дефектными свойствами материала. Их учет с помощью эмпирических зависимостей, полученных проведением массовых экспериментов с применением методов математической статистики, позволяет лишь уточнить и приблизить конечные инженерные расчеты к реальным процессам обработки. Никакие, даже самые точные, эмпирические формулы не в состоянии описать процесс взаимодействия машины с материалом как единую систему параметров, так как они решают частные задачи.

Для математического моделирования функционирования системы в веществе можно выбрать такую наименьшую по размерам область в пространстве (элементарную ячейку), чтобы состояние в любой фиксированной её точке описывалось состоянием элементарной ячейки классическими теориями деформируемой сплошной среды, а соответ-

ствие рассматриваемых точек всему массиву определялось векторной операцией периодического продолжения. Элементарная ячейка содержит информацию о её размерах, структурном и напряженном состояниях элементов микроструктуры и их дефектности. Её способность отражать законы процесса обработки, за счёт действия структур-

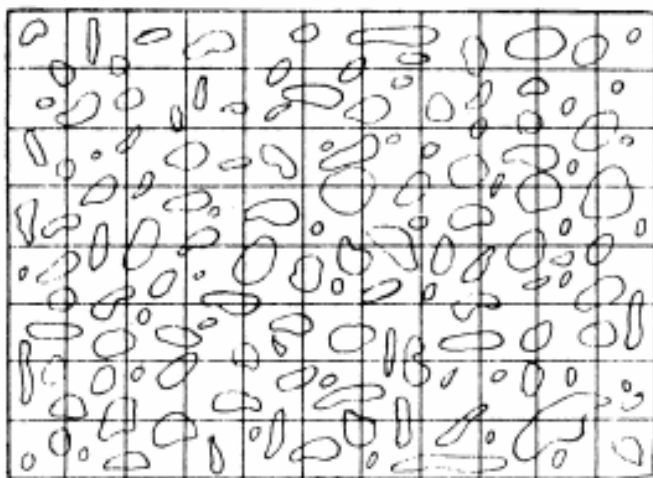


Рис. 4.1. Схема микроструктуры песка

ных напряжений, оцениваемых на основе данных о составе, размерах, свойствах образующих частиц, вклад каждого структурного элемента и их масштабного соотношения, позволила обосновать возможность разработки теории функционирования системы КА на основе современных законов.

Модель элементарной ячейки построена на примере изучения структурного строения песчаника. На вырезанном алмазным диском образце песчаника шлифуется поверхность шлифовальными кругами. Технологические царапины удаляются изменением направления полирования на каждом этапе. Отполированный, тщательно очищенный образец используют для изучения структуры породы. Изображение поверхности образца показано на рис. 4.1.

Структура образца состоит из твердых зёрен, пространство между которыми заполнено связующим веществом и сетью микродефектов, причем прочность зёрен на несколько порядков выше связующего. Особенности их распределения оцениваются методами математической статистики. Это дает право анализировать напряженно-деформированное состояние забоя по модели горной породы с однородной регулярной структурой с учетом наиболее вероятных размеров ее компонентов. Разрушение песчаника, мрамора, известняка, других горных пород связано со структурной перестройкой межзёренного пространства. Поэтому модель исследуемой породы можно представить в виде регулярной пространственной решётки, в узлах которой находятся твердые не разрушаемые зерна наиболее вероятного диаметра d_{ji} , соединенные упруго - пластическими связями, наиболее вероятной длиной l_{ji} , и углами между ними ω_{ji} . (рис 4.2).

На основании значений d_{ji} , l_{ji} и ω_{ji} строятся гистограммы и статистические кривые распределения соответствующих величин для определения параметров детерминированной модели структуры. Вероятные диаметры зёрен и расстояний

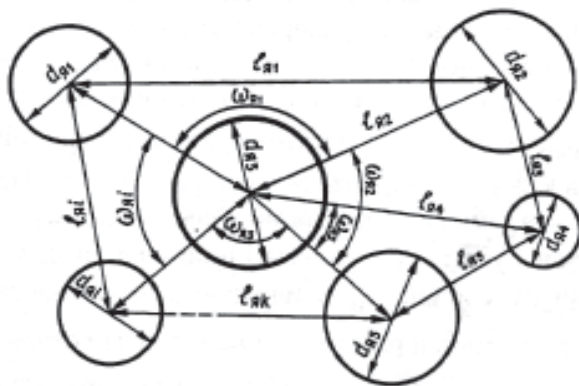


Рис. 4.2. Параметры модели микроструктуры горной породы.

между ними находятся наложением координатной сетки на поверхность шлифа. Плотность расположения линий на координатной сетке не имеет значения, так как точность статистической кривой распределения зависит лишь от общего числа замеров. Ввиду овальности зёрен, а также трудности определения кратчайшего расстояния между ними,

расстояния l_{ji} и диаметр d_{ji} измеряют по пересекающей зерна координатной прямой. Диаметры в этом случае заменяют хордами, а расстояния измеряют между любой случайной парой точек соседних зёрен.

Углы между соседними зёрнами (см. рис 4.2), измеряют углом между двумя соседними прямыми, исходящими из одного центра. Для обработки результатов измерений строят вариационный ряд Z , ($i = 1, \dots, N$) массива экспериментальных данных X_i , располагая их по возрастающей в интервале $(x_{\min}, x_{\max})$. Количество квантов разбиения K^0 по оси абсцисс определяют с помощью оценочного соотношения $K^0 = 1 + 3,21 \lg N$, округляя найденные значения до ближайшего целого. Длину кванта вычисляют как $\Delta x = (x_{\max} - x_{\min}) / K^0$. Количество наблюдений n_m , попавших в каждый квант, равно числу членов вариационного ряда, для которых справедливо неравенство:

$$x_m \leq Z \leq x_m + \Delta x, \quad (4.1)$$

где: x_m и $x_m + \Delta x$ – границы m -го интервала.

Значения Z , попавшие на границу между интервалами $m - 1$ и m , отнесены к правому интервалу $-m$. Для построения гистограммы распределения длин хорд и углов между центрами соседних зёрен в качестве начального приближения коэффициентов кривых распределения используют оценки математического ожидания $M(x)$, дисперсии $D(x)$ и среднего отклонения $S(x)$:

$$M(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (4.2)$$

$$D(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [x_i - M(x)]^2, \quad (4.3)$$

$$S(x) = \sqrt{D(x)}. \quad (4.4)$$

Распределение длин хорд зёрен показано на (рис. 4.3,а) в виде ступенчатой гистограммы, где по оси абсцисс отложены номера интервалов m и длины хорд d_x , а по оси ординат – число измерений n_m и плотность $p(d_x)$ вероятности. Разброс длин хорд вызван особенностями строения песчаника. Анализ кривых распределения расстояний и минимальных расстояний между зернами показал, что максимальное расхождение ординат этих кривых не превышает 10...15%. На (рис. 4.3,б) изображена гистограмма распределения расстояний между зёрнами. По оси абсцисс отложены номера интервалов m и расстояния l , а по оси ординат – число

измерений n_m и плотность вероятности $p(l)$. Как видно из рисунка, максимум измерений приходится на расстояния между зёрнами до 0,1 мм, а отклонения ординат в каждом интервале не превышают 12%. На (рис. 4.3,в) изображена гистограмма распределения углов между центрами соседних зёрен. По оси абсцисс отложены углы ω (в градусах) и номера интервалов, а по оси ординат — число измерений и плотность вероятности $p(\omega)$. По вероятным размерам зёрен, углов и расстояний между ними строят модель породного массива — систему зёрен, расположенных в узлах регулярной сетки. Пространство между зёрнами заполнено

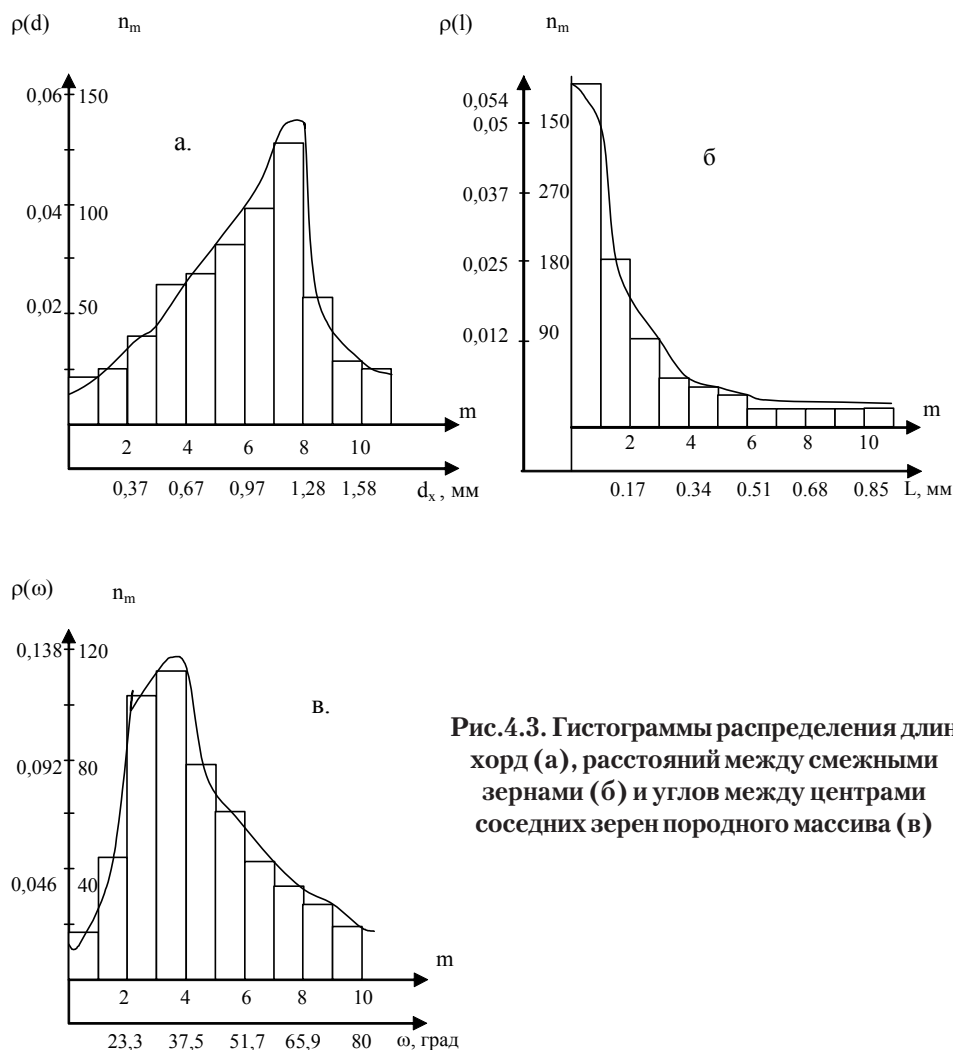


Рис.4.3. Гистограммы распределения длин хорд (а), расстояний между смежными зёрнами (б) и углов между центрами соседних зёрен породного массива (в)

связующей средой. Механические свойства связующего выражаются вероятностно-феноменологическими моделями (ВФМ). Так как нагрузку до разрушения воспринимает связующее в межзёренном пространстве, то ВФМ отражают закономерности деформирования породы, имитируя соответственно упругие и пластические свойства горной породы через элементы жёсткости C_i и вязкости μ_i . Вероятностно-феноменологические модели описывают упругопластические свойства массива через вероятностные размеры элементарной ячейки, определяющие скорость и относительную деформацию ее связей в соответствии с приложенной нагрузкой. Однако наличие в породе повреждений структуры типа микротрещин в межзёренном пространстве приводит к локализации деформаций и напряжений, что значительно ослабляет теоретическую прочность горной породы. Поэтому в ВФМ элементарной ячейки необходимо ввести звено, учитывающее дефектность массива.

Изучение свойств микротрещин, а также их поведение при нагружении показало, что основными геометрическими характеристиками, необходимыми для построения дефектного звена, являются наиболее вероятная длина трещины l_T , угол её ориентации к вектору нагружения Q_T и плотность их распределения p_T . Эти характеристики также изучаются по шлифу горной породы. Наиболее вероятные l_T и Θ_T вычисляются по статистике малых выборок с учётом основного направления трещинообразования и направления приложения вектора нагрузки, аналогично определению межзёренных расстояний. Для построения ВФМ элементарной ячейки с дефектным звеном определяют вероятность наличия дефектов, а также их количества в плоскости ячейки $S_{я}$. Очевидно, что чем меньше рассматриваемая площадь $S_{я}$ породы, тем менее вероятно в ней существование критической трещины с параметрами Θ_T и l_T , а следовательно, ожидаемые свойства породы приближаются к теоретическим. Вероятность отсутствия критической трещины на площади $S_{я}$, равная $P(S_{я})$ отличается от вероятности $P(S_{я1})$ отсутствия критической трещины на площади $S_{я1}$, не имеющей общих частей с $S_{я}$. Тогда отсутствие трещин на площади $S_{я} + S_{я1}$ выполняется при независимости событий $P(S_{я})$ и $P(S_{я1})$. По теореме о совмещении независимых событий получим:

$$P(S_{я} + S_{я1}) = P(S_{я})P(S_{я1}). \quad (4.5)$$

Рассматривая индивидуально каждое событие, продифференцируем полученное выражение:

$$\frac{d}{dS_{я}} P(S_{я} + S_{я1}) = P(S_{я1}) + \frac{d}{dS_{я}} P(S_{я}). \quad (4.6)$$

Разделив его на исходное уравнение, имеем:

$$\frac{\frac{d}{dS_{\mathcal{I}}}P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})}{P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})} = \frac{P(S_{\mathcal{I}})\frac{d}{dS_{\mathcal{I}}}P(S_{\mathcal{I}1})}{P(S_{\mathcal{I}})P(S_{\mathcal{I}1})}, \quad (4.7)$$

$$\frac{d}{dS_{\mathcal{I}}} \ln P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1}) = \frac{d}{dS_{\mathcal{I}}} \ln P(S_{\mathcal{I}}). \quad (4.8)$$

Уравнение (4.8) справедливо при произвольном значении $S_{\mathcal{I}1}$. Полагая, что

$$P(S_{\mathcal{I}} = 0) = 1, \quad (4.9)$$

$$P(S_{\mathcal{I}} = \infty) = 0, \quad (4.10)$$

что очевидно, проинтегрируем (4.8) с учетом

$$P(0) = P(0 + 0) = P(0)P(0) = P^2(0). \quad (4.11)$$

Аналогично

$$P(\infty) = P(\infty + \infty) = P^2(\infty). \quad (4.12)$$

Для решения (4.8) рассмотрим вспомогательную функцию

$$f[P(S_{\mathcal{I}})] = \frac{1}{\ln P(S_{\mathcal{I}})}, \quad (4.13)$$

из которой

$$e^{f[P(S_{\mathcal{I}})]} = \frac{1}{P(S_{\mathcal{I}})}. \quad (4.14)$$

Это равенство равносильно следующему

$$f[P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})] = f[P(S_{\mathcal{I}})]f[P(S_{\mathcal{I}1})] = e^{f[P(S_{\mathcal{I}})]f[P(S_{\mathcal{I}1})]} = \frac{1}{P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})}. \quad (4.15)$$

Следовательно, функции линейны:

$$f[P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})] = K\{P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})\}, \quad (4.16)$$

тогда

$$P(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1}) = e^{\frac{1}{K[f(S_{\mathcal{I}} + S_{\mathcal{I}1})]}}. \quad (4.17)$$

Объём породы, нагружаемой и разрушаемой инструментом, значительно больше по сравнению с величиной структурных компонентов. Другими словами, в реальных условиях сопоставление микро- и макроуровней позволяет записать, что объём разрушаемой горной породы $V \rightarrow \infty$. Тогда для реальных условий отделения стружек при бурении

$$P(S_{я}) = e^{-K_T S_{я}}, \quad (4.18)$$

где: K_T — коэффициент трещиноватости массива, оцениваемый плотностью распределения трещин ρ_T .

Анализируя уравнение (4.18), видим, что с ростом нагружаемого объекта вероятность отсутствия в нем критического дефекта снижается. Рассматривая площадь элементарной ячейки $S_{я}$ в качестве структурной характеристики породы, отметим, что зависимость (4.18) позволяет установить дефектность породы с учётом особенностей структуры, а также, что с уменьшением межзёрненного пространства вероятность отсутствия дефекта увеличивается, а прочность элементарной ячейки возрастает. Этот важный вывод подтверждает правильность (4.18) с физической точки зрения. Изучение образца конкретной породы определяет необходимость введения понятия вероятности наличия дефекта в нагружаемой области

$$P^*(S_{я}) = 1 - P(S_{я}) = 1 - e^{-K_T S_{я}}. \quad (4.19)$$

Рассмотрим закономерности раскрытия микродефектов в породе при её нагружении. Разрушение элементарной ячейки представляет собой сложный процесс, при котором накапливаются повреждения в микроэлементах решетки напряженного тела, возникает дефектное звено и раскрывается существующая дефектность по объему нагруженного тела. Возникновение и раскрытие дефектного звена связано с превышением локальной прочности. При этом возникает деформация связующего между границами зерен, сопровождающаяся

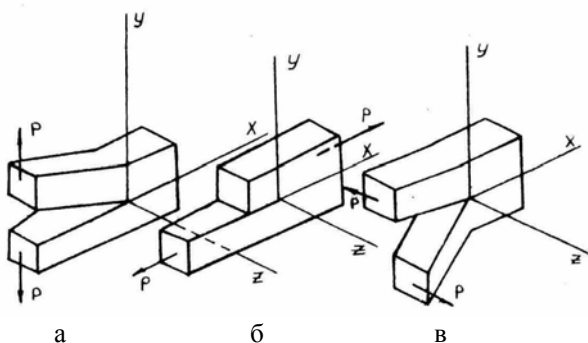


Рис. 4.4. Основные типы деформации в вершине трещины

локализацией деформаций в вершине новых микро-трещин, образующих дефектное звено элементарной ячейки. Таким образом, разрушение связей между зёрнами характеризуется образованием микротрещины, вершина которой образует дефектное звено элементарной ячейки. Дальнейшее раскрытие дефектного звена вызывает её разрушение.

Дефектным звеном элементарной ячейки служит концевая область трещины, в которой происходит деформация и разрыв заполнителя между зёрнами. В зависимости от приложенной к ячейке нагрузки её дефектное звено описывается тремя

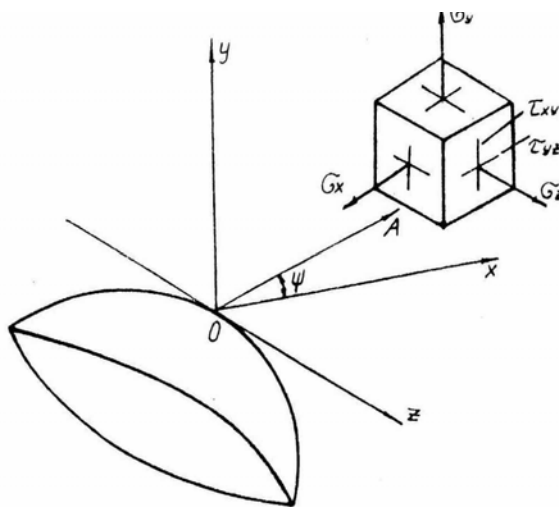


Рис. 4.5. Напряженное состояние в зоне вершины трещины

основными типами деформации: а) разрывающей, связанной с σ_{yy} ; б) поперечной – с касательным напряжением τ_{xy} ; в) продольной – с τ_{xz} (рис 4.4).

Каждое из трех движений поверхности трещины связано с полем напряжений в окрестности её конца.

Рассмотрим произвольную точку O на границе трещин. Расположим оси координат в этой точке так, чтобы ось x была перпендикулярна к контуру трещины, ось y , перпендикулярна к плоскости трещины, а ось z направлена вдоль касательной к краю трещины (рис 4.5). Тогда

напряжения и смещения в дефектном звене ячейки согласно [18] равны:

$$\sigma_{1x} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\Psi}{2} \left(1 - \sin \frac{\Psi}{2} \sin \frac{3\Psi}{2} \right); \quad (4.20)$$

$$\sigma_{1y} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\Psi}{2} \left(1 + \sin \frac{\Psi}{2} \sin \frac{3\Psi}{2} \right); \quad (4.21)$$

$$\tau_{1xy} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\Psi}{2} \cos \frac{3\Psi}{2}; \quad (4.22)$$

$$U_{1y} = \frac{K_1}{\sqrt{2G}} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\Psi}{2} \left(K + 1 - 2 \cos^2 \frac{\Psi}{2} \right); \quad (4.23)$$

$$U_{1x} = \frac{K_1}{\sqrt{2G}} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\Psi}{2} \left(K - 1 + 2 \sin^2 \frac{\Psi}{2} \right), \quad (4.24)$$

при поперечном сдвиге

$$\sigma_{11xy} = -\frac{K_{11}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\Psi}{2} \left(2 + \cos \frac{\Psi}{2} \cos \frac{3\Psi}{2} \right); \quad (4.25)$$

$$\sigma_{11y} = \frac{K_{11}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\Psi}{2} \cos \frac{3\Psi}{2}; \quad (4.26)$$

$$\tau_{11xy} = \frac{K_{11}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\Psi}{2} \left(1 - \sin \frac{\Psi}{2} \sin \frac{3\Psi}{2} \right); \quad (4.27)$$

$$U_{11x} = \frac{K_{11}}{\sqrt{2G}} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\Psi}{2} \left(K + 1 + 2 \cos^2 \frac{\Psi}{2} \right); \quad (4.28)$$

$$U_{11y} = \frac{K_{11}}{\sqrt{2G}} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\Psi}{2} \left(K - 1 - 2 \sin^2 \frac{\Psi}{2} \right), \quad (4.29)$$

где: $K = 3 - 4\nu \frac{3-\nu}{1+\nu}$ — для плоской деформации и обобщенного плоского напря-

женного состояния; ν — коэффициент Пуассона; G — модуль сдвига; r и Ψ — полярный радиус и угол для произвольной точки А в зоне дефектного звена ячейки (рис. 4.5); K_1, K_{11} — коэффициенты интенсивности напряжений соответственно разрыва и поперечного сдвига, являются функциями размеров трещины и приложенной нагрузки, характеризуют поля дефектного звена. Для их вычисления рассмотрим трещину длиной $2l$, к верхнему и нижнему берегам которой b' приложены нормальная P и тангенциальная Q силы (рис 4.6). Тогда согласно [18]

$$K_1 = \frac{P}{\pi \sqrt{l}} \left(\frac{l+b'}{l-b'} \right)^{0.5}, \quad (4.30)$$

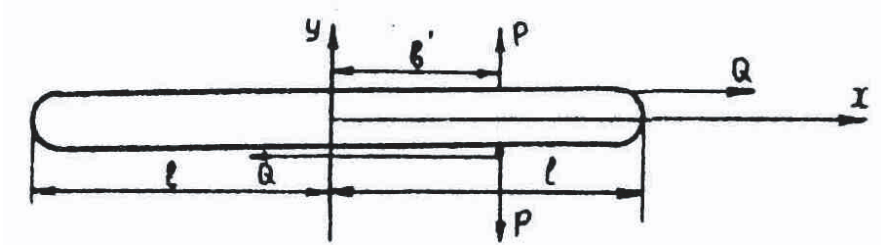


Рис. 4.6. Схема сил для определения коэффициента интенсивности напряжений

$$K_{11} = \frac{Q}{\pi \sqrt{l}} \left(\frac{l+b'}{l-b'} \right)^{0.5}. \quad (4.31)$$

При произвольном распределении поверхностных сил, полагая, что

$$P = \sigma_y(x, 0) dx, \quad (4.32)$$

$$Q = \tau_{xy}(x, 0) dx. \quad (4.33)$$

Интегрируя от $x = -l$ до $x = l$, имеем:

$$K_1 = \frac{1}{\pi \sqrt{l}} \int_{-l}^l \sigma_y(x; 0) \left(\frac{l+x}{l-x} \right)^{0.5} dx, \quad (4.34)$$

$$K_{11} = \frac{1}{\pi \sqrt{l}} \int_{-l}^l \tau_{xy}(x; 0) \left(\frac{l+x}{l-x} \right)^{0.5} dx. \quad (4.35)$$

В случае, когда $\sigma_y(x; 0)$ и $\tau_{xy}(x; 0)$ равны однородным напряжениям p и q (4.34 и 4.35) примет вид:

$$K_1 = p \sqrt{\pi l}, \quad (4.36)$$

$$K_{11} = q \sqrt{\pi l}. \quad (4.37)$$

Критические значения K_1 и K_{11} определяют условия неустойчивого распространения трещин. Их связь между приложенным напряжением и длиной трещины показана на (рис.4.7)

Расположение дефектного звена в ячейке определяется вероятным углом Θ_T его ориентации относительно приложенной нагрузки. Для одноосной растягивающей нагрузки

$$K_1 = p \sin^2 \Theta_T \sqrt{\pi l} \quad , \quad (4.38)$$

$$K_{11} = q \sin^2 \Theta_T \cos \Theta_T \sqrt{\pi l} \quad . \quad (4.39)$$

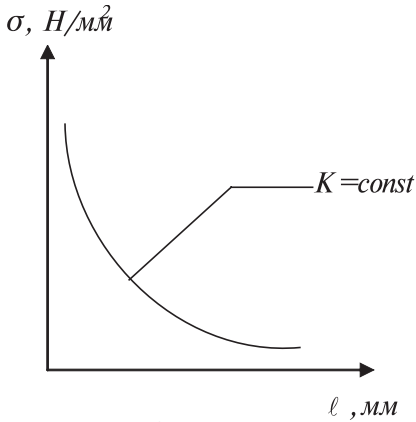


Рис. 4.7. Зависимость разгружающей нагрузки σ от длины трещины ℓ

Выражения (4.20)-(4.39) достаточно полно описывают силовые характеристики дефектного звена элементарной ячейки, однако не дают ясного представления о процессах, происходящих при его деформации, не определяют размеров дефектного звена. М.Я.Леонов, В.В.Панасюк [17] и Дагдейл предложили модель зоны в вершине трещины. Суть её сводится к существованию критического раскрытия трещины, при повышении которого перестают существовать связи между двумя ее берегами и формировании пластической зоны D , в которой она распространяется за единичный акт разрыва связей. Согласно предложенной модели длина пластической зоны

$$D = \pi K_{IC}^2 / [8\sigma_0^2] \quad (4.40)$$

где: K_{IC} — критический коэффициент интенсивности; σ_0 — напряжение в вершине трещины.

Критическое раскрытие трещины:

$$\delta_{kp} = (1 - \nu^2) K_{IC}^2 / [E\sigma_0^2] \quad (4.41)$$

Наличие пластической зоны постоянного размера D для данной породы, а также критическое раскрытие δ_{kp} позволило представить концевую область в виде вероятностно-дефектного звена элементарной ячейки (рис 4.8).

Ориентация дефектного звена определяется вероятностью попадания дефекта в ту или иную часть ячейки в соответствии с углом Θ_T расположения трещины

относительно приложенной нагрузки, а его деформация характеризуется отношением коэффициентов интенсивности напряжений K_I и K_{II} , соответственно направленных вдоль направлений разрыва (ось ординат) и сдвига (ось абсцисс), связанных с углом выражениями (4.38) и (4.39).

Для определения энергетической характеристики дефектного звена воспользуемся свойством постоянства величин D и, из которого вытекает, что упругопластическая работа $A_0 = A_y + A_{пл}$ образования единицы свободной поверхности — постоянна. Разделив эту работу на поверхность дефектного звена S с учетом, что $A_0 = P\delta_{кр}$, получим:

$$\delta_{кр} = \frac{\gamma_y + \gamma_{пл}}{\sigma_0}, \quad (4.42)$$

где γ_y и $\gamma_{пл}$ — удельная поверхностная энергия при упругой и пластической деформациях дефектного звена ячейки.

Использование математических моделей в инженерной практике вызывает необходимость уменьшения числа физикомеханических и прочностных параметров породы, выражению некоторых из них через единый критерий сопротивляемости разрушению. При выборе такого критерия используется свойство элементарной ячейки отражать вероятностное распределение ее параметров в соответствии с диапазоном вариации экспериментально определяемых корреляционных зависимостей. В качестве такого критерия выбрана контактная прочность, установленная для широкого класса пород и легко определяемая в производственных условиях. Контактная прочность позволяет изучать состояние упругопластического дефектного материала от совокупности влияния реологических свойств породы и технологических факторов ее разрушения. Экспериментальное сопоставление контактной прочности горных пород с их временным сопротивлением сжатию, растяжению и сдвигу, определяющие упругие и пластические свойства элементарной ячейки, выполнено Л.И. Бароном и Л.Б. Глатманом [5].

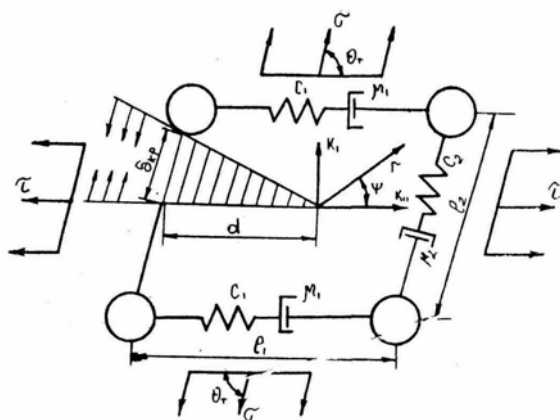


Рис. 4.8. Модель элементарной ячейки с дефектным звеном

4.2. Классическая теория контуров

В процессе функционирования КА одно из важнейших мест занимает разрушение пород рабочими инструментами горных машин, которое сопровождается отделением от массива кусков породы различных размеров. Для этого в массиве необходимо создать такие условия, при которых силы сцепления между частицами не смогли бы больше удерживать участок массива в равновесном состоянии. При кажущейся простоте отделения стружки его механизм весьма сложен и охватывает огромную область на шкале размеров. Начинается оно в атомных масштабах, а завершается визуально наблюдаемым.

Разрушение массива осуществляется механическим, физическим и химическим воздействиями рабочего инструмента на забой. Преобладающее значение получил механический способ, который реализуется резанием, ударными нагрузками, гидравлическими струями непрерывного и импульсного действия, шарошечными инструментами, отрывом. Несмотря на длительное применение этого способа разрушения попытки научно обосновать его были предприняты по существу в пятидесятых годах прошлого столетия. Основоположниками науки о разрушении пород являются ученые — В.И.Белов, П.Н.Демидов, В.П.Берстель и другие.

В настоящее время отраслевые, академические и учебные институты разрабатывают способы и средства снижения энергии и усилия разрушения горных пород. Они связаны с новыми представлениями о теоретической и технической прочностях материала. Теоретическая прочность определяется из условия преодоления межмолекулярных сил сцепления, подсчитанных аналитически. Прочность, определяемую экспериментально, называют технической прочностью. Как правило, прочность теоретическая больше прочности технической. Объяснение этого расхождения величин прочности дал в 1920 году академик А. Ф. Иоффе. Подвергался разрушению обычный кристалл каменной соли, а также кристалл с предварительно растворенной в горячей воде поверхностью. В первом случае временное сопротивление разрыву составляло 0,1 МПа, а во втором — 20 МПа. Объясняется такое различие улучшением чистоты поверхности кристалла, смыванием с нее трещин, царапин и других дефектов, в створе которых образуются концентраторы напряжений. Исходя из этих опытов А.А. Гриффите, Д.И. Тейлор, М.Я. Леонов, В.В. Панасюк, И. Баренблатт и другие разработали новый подход к раскрытию сущности разрушения. Особенность его состоит в оценке имеющихся в теле трещин, установлении их влияния на прочность и развитие реальных дефектов, влияющих на сопротивляемость разрушению.

Механизм разрушения рассмотрим на примерах отделения стружек силовым и алмазным резанием, ударом, непрерывными и импульсными гидравлическими

струями. Каждый из этих способов отделения протекает с качественно сходными показателями разрушения. Общие закономерности состоят в следующем: в процессе механического разрушения горной породы воздействием различным рабочим инструментом – резцом, алмазным зерном, гидравлической струёй, пилой ударника и отрывом в зоне его контакта с массивом происходит внедрение инструмента с нарастанием однородной упругой деформации забоя. Далее она переходит в пластическое течение, сопровождающееся разрыхлением микротрещинами участка массива перед рабочей поверхностью инструмента и локализацией деформаций на вершинах вновь образованных микротрещин. В этот период формируется ядро, уплотняется перед передней гранью инструмента. В момент завершения его формирования локализация деформаций в основном сосредотачивается в вершине ядра, где образуется макротрещина отделения крупного элемента стружки. Эта макротрещина распространяется в сторону открытой поверхности забоя, образуя передний и боковые развалы разрушения. Взаимодействие породоразрушающего инструмента с горным массивом происходит по направлению ее движения вдоль результирующего вектора разрушения, определяемого углом $\alpha = \arctg(\vartheta_n / \vartheta_p)$ –, где ϑ_n и ϑ_p – модули соответственно скоростей подачи и резания.

Проекцию передней грани инструмента на плоскость, перпендикулярную к вектору, можно выбрать в виде прямоугольника, круга, эллипса или многоугольника. Оптимальная форма площади контакта передней грани инструмента массива находится с помощью математического моделирования нагружения упругопластической дефектной среды штампами произвольной геометрии. При этом учитываются влияние формы забоя, концентраторы напряжений, способы разрушения и вероятность дефектной структуры строения породы. Комплексного решения этой сложной, многофакторной и взаимосвязанной задачи не существует, так как дефектность массива с присущей ей многообразием вероятностно – распределенных дислокаций и трещин, их взаимодействие искажают картину напряженного и деформированного состояния. Математические выкладки приобретают громоздкий, не поддающийся анализу вид, при этом точность расчета существенно не увеличивается.

Рассмотренный ранее метод разработки новых исполнительных органов позволяет достаточно точно с учетом производственных и научных обоснований описать процесс нагружения на основании теорий в виде поэтапного моделирования с последующим развитием теорий функционирования системы КА. На первом этапе рассматривается с учетом свойств элементарной ячейки задача внедрения штампа произвольной геометрии в бесконечную поверхность квазиизотропной среды, определяются граничные и начальные условия упругого и пластического деформирования, а также распределение давлений по контактной площадке. На втором этапе устанавливается влияние на процесс нагружения формы забоя, определяется

влияние открытых поверхностей на эпюру давлений под инструментом. На третьем — учитывается ослабление массива естественной и технологической дефектностями.

Определим граничные условия задачи нагружения упругого и упругопластического массива. При внедрении инструмента в породе накапливается потенциальная энергия за счет деформаций связей элементарных ячеек. Объем породы под контактной площадкой инструмента находится в состоянии всестороннего сжатия и уплотнен. Сжатый объем расширяется перпендикулярно к направлению действия нагружающей силы, что приводит к появлению растягивающих напряжений забоя под инструментом. При достижении ими максимальных значений порода разрушается, образуя новую поверхность обнажения. Состояние всестороннего сжатия нарушается, и запасенная потенциальная энергия переходит в энергию образования новых поверхностей при дроблении породы под инструментом.

Этот процесс длится до образования максимального размера ядра уплотнения и появления в его вершине макротрещины отделения крупного элемента стружки. Рассмотренные закономерности позволяют сделать вывод о том, что предельным состоянием упругого нагружения является начало формирования ядра уплотнения, при котором происходит перераспределение запасенной массивом энергии. Поэтому на первом этапе расчет нагружения проведем до начала нарушения упругих связей элементарных ячеек. В упругой зоне нагружения граничное состояние определено временным сопротивлением разрыву. За пределами этой зоны

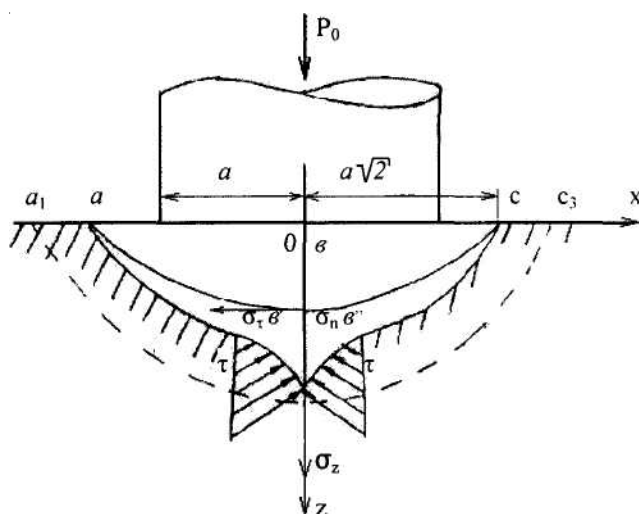


Рис. 4.9. Схема к расчету упругопластического нагружения

забой деформируется, как упругопластический массив, в нем предельные, упругие деформации переходят в пластические до достижения касательными напряжениями предела текучести. Особенностью математического моделирования упругопластического нагружения является совмещение предельного упругого с начальным пластическим состоянием забоя.

Пользуясь схемой (рис. 4.9), рассмотрим особенности механического нагружения горных пород рабо-

чим инструментом. Пусть имеем полупространство с приложенной к нему нагрузкой. Под действием этой нагрузки свободная поверхность массива прогнется и прямолинейный контур $авс$ превратится в криволинейный $ав'с$. Все остальные, лежащие в глубине контура, также прогнутся, но их прогибы будут меньше и на бесконечности от поверхности они станут равными нулю. На контуре действуют напряжения, направленные по касательной и по нормали к контуру. Обозначим их соответственно σ_t и σ_n . После того как относительное удлинение контура достигнет максимальной величины, произойдет его разрыв. Предположим, нам известна некоторая функция U_t , которая определяет перемещение точек вокруг контура и функция U_n – по нормали к нему. До появления разрыва функция U_n перемещения контура была непрерывна. Но в момент его разрыва она терпит разрыв в той же самой точке что и контур, которая является конечной, так как равновесие системы стабилизируется. Количественное изменение напряжения должно компенсироваться каким-то другим напряжением, иначе не было бы равновесия. Следовательно, появляются дополнительные касательные напряжения вдоль разорванных контуров, предотвращающих дальнейшее раскрытие трещин. Так как контуры в монолитном массиве имеют взаимную связь, то они испытывают с глубиной возрастающие сдвигающие нагрузки. Деформация разорванных контуров под действием усилий изменяется меньше, чем неразорванных, поэтому между ними происходит сдвиг, сопровождающийся отделением от массива частиц материала.

Микротрещины при действии нагрузки на поверхность массива могут образовываться по нескольким радиальным направлениям, значительно облегчая отделение. Эффективность разрушения горной породы зависит от пределов сопротивления разрыву и сдвигу, чем меньше модуль упругости материала, тем больше его податливость, что приводит к снижению напряжений и большей прогибу контура. Чем меньше предел прочности разрыву и сдвигу, тем на меньшей глубине происходит разрушение. Как видно, приведенное описание начала разрушения горной породы на первый взгляд отличается от наблюдений Л.А.Шрейнера, который при вдавливании цилиндра в кристалл кальцита наблюдал следующие особенности разрушения. В глубине кристалла, примерно на оси симметрии, появляется темное пятно в виде точки. При увеличении давления пятно увеличивается в размере и начинают появляться четкие интерференционные линии, а площадь, занимаемая ими, непрерывно и постоянно увеличивается по направлению к поверхности кристалла. Это и есть плоскость скольжения, зарождающаяся в глубине кристалла, по которой касательные напряжения от точки к точке достигают предела прочности на сдвиг. Разрушение материала, как следует из этого описания, начинается в его глубине при достижении касательными напряжениями предельных значений.

Кажущееся различие во взглядах на процесс разрушения вызвано отличными условиями проведения опыта Л.А.Шрейнером и нами. Дело в том, что Л.А.Шрей-

нер изучал процессы разрушения образцов горных пород небольших размеров, причем боковые поверхности образцов не закреплялись. В связи с этим условия эксперимента существенно отличались от условий разрушения практически бесконечного по размерам массива горной породы в естественных условиях его залегания. Поэтому контуры под штампом прогибались и стягивались к его оси. Контуры, находящиеся в глубине образца, испытывали большие деформации, чем верхние, и поэтому разрушение, по наблюдениям Л.А.Шрейнера, начиналось в глубине образца по оси штампа.

Другие явления наблюдаются при воздействии инструмента на забой горного массива. Значительные размеры массива обеспечивают защемление верхних контуров, в результате чего они под нагрузкой изгибаются без сближения их концов к оси приложенной нагрузки и рвутся в местах максимального прогиба. С увеличением глубины лунки увеличивается площадь сдвига, поэтому происходят местные сколы породы, которые формируются в «ядро» и «истекают» в зазор между инструментом и забоем. При значительном заглублении инструмента отделение материала вследствие сдвига прекращается, и ядро перестает увеличиваться. Трещина развивается вглубь массива и при определенных условиях происходит отрыв большого объема материала. Определим удлинение в результате прогиба контура от прямолинейного до криволинейного (ab' , см. рис 4.9), для этого найдем длину кривой, заключенной между точками a и c . Уравнение кривой описывается функцией прогибов, определяемой на основе решения задачи Буссинеска.

Согласно принципу независимости и сложению действия сил представим перемещение W некоторой точки поверхности полупространства от нормального давления P , распределенного по площадке этой поверхности, как сумму элементарных перемещений, возникающих в результате воздействия на элементы этой площадки:

$$W = \frac{1-\gamma}{2\pi\sigma} \cdot \int_p \frac{Pd\rho}{\rho'} \quad (4.43)$$

где: ρ' — расстояние от точки, в которой определяется перемещение, до точки приложения элементарной силы.

При сферическом распределении давления в области контакта площадки перемещение произвольной точки определяется из выражения:

$$W = P_0 \cdot \pi \cdot (1-\nu^2) \cdot (2a^2 - x^2 - y^2) / (4aE), \quad (4.44)$$

где: P_0 — максимальное давление в центре площадки; ν — коэффициент Пуассона; a — радиус контактируемой площадки; x и y — координаты произвольной точки.

В точке наибольшего прогиба контура, где действует максимальное давление, перемещение также имеет максимальное значение:

$$W_0 = P_0 \cdot \pi \cdot (1 - \nu^2) a / (2 \cdot E). \quad (4.45)$$

Давление по площадке контакта:

$$P = P_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{a^2}}. \quad (4.46)$$

Максимальное давление P_0 определим, используя граничное условие рассматриваемой упругой задачи, согласно которому разрыв контура происходит в точке наибольшего прогиба при достижении критического значения относительным его удлинением. Для этого запишем уравнение контура в виде:

$$W = M - \frac{(2a - x^2)}{4E}, \quad (4.47)$$

где:

$$M = P_0 \cdot \pi \cdot (1 - \nu^2) / 4 \cdot E. \quad (4.48)$$

При $W_z = 0$ начальная длина контура $L_n = 2 \cdot a \cdot \sqrt{2}$. Длина прогнувшегося контура:

$$L = 2 \int_0^{a\sqrt{2}} \sqrt{1 + (W'_z)^2} dx = a\sqrt{2} \left\{ \sqrt{1 + (2\sqrt{2} \cdot M)^2} + \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot M} \ln \left[2\sqrt{2} \cdot M + M + \sqrt{1 + (2\sqrt{2} \cdot M)^2} \right] \right\} \quad (4.49)$$

Зная длину прогнувшегося контура и начальную его длину, определим среднее относительное его удлинение:

$$\varepsilon_{cp} = (L - L_n) / L_n = 1/2 \left\{ \sqrt{1 + (2\sqrt{2} \cdot M)^2} + \ln \left[2\sqrt{2} \cdot M + \sqrt{1 + 2\sqrt{2} \cdot M^2} \right] / 2\sqrt{2} \cdot M \right\} - 1 \quad (4.50)$$

Разложим выражение в фигурных скобках в ряд и, обрывая ряды на втором члене, так как $2 \cdot \sqrt{2} \ll 1$, получим:

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{(2 \cdot \sqrt{2} \cdot M)^2}{2} + \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot M} \left(2 \cdot \sqrt{2} \cdot M - \frac{(2 \cdot \sqrt{2} \cdot M^3)}{6} \right) \right] - 1 = \frac{4 \cdot M^2}{3}. \quad (4.51)$$

Максимальное относительное удлинение контура найдем из предположения, что отношение максимальных значений относительных удлинений контура к средним пропорционально отношению максимальных значений его прогиба к средним:

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{cp} \frac{W_0}{W_{cp}};$$

$$W_{cp} = 2 \cdot \int_0^{a \cdot \sqrt{2}} \frac{M \cdot \left(2 \cdot a - \frac{x^2}{a} \right) \cdot dx}{2 \cdot a \cdot \sqrt{2}} = \frac{4 \cdot M \cdot a}{3}. \quad (4.52)$$

Максимальное относительное удлинение с учетом значений W_0, W_{cp} принимает вид:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{4}{3} \cdot M^2 \cdot \frac{2 \cdot M \cdot a \cdot 3}{4 \cdot M \cdot a} = 2 \cdot M^2. \quad (4.53)$$

Подставив значение M , имеем:

$$\varepsilon_{\max} = \sigma_p / E = (1 - \mu^2)^2 \cdot \pi^2 \cdot P_0^2 / (8 \cdot E^2). \quad (4.54)$$

Из полученного уравнения найдем максимальное значение давления P_0 , при котором происходит разрыв контура т.е. разрушение породы:

$$P_0 = \frac{\sqrt[2]{2\sigma_p E}}{\pi(1 - \mu^2)}. \quad (4.55)$$

Среднее давление на поверхности массива:

$$P_{cp} = P_0 \int_0^a \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{a^2} dx = \frac{\sqrt{2\sigma_p E}}{2\pi(1 - \mu^2)}. \quad (4.56)$$

По P_{cp} подсчитывают усилие разрушения, умножая его на площадь контакта инструмента с массивом.

Упруго пластичным породам предельное упругое состояние массива соответствует граничное усилие наступления пластической его деформации. Для прогнущейся поверхности забоя на (рис 4.9.) деформация в произвольной точке складывается из упругой и пластической деформаций, упругие деформации в пластической области связаны с напряжениями теми же зависимостями, что и упругие в упругой области. Согласно третьей теории прочности, к моменту наступления предельно упругого состояния в точке тела наибольшие касательные напряжения достигают значения, соответствующего предельно упругому состоянию при растяжении. Для плоского напряженного состояния, пользуясь в этом случае компонентами напряжений имеем:

$$\sqrt{(\sigma'_z - \sigma'_x)^2 + 4\tau_{zx}^2} = \sigma_T, \quad (4.57)$$

где: σ'_z и σ'_x – нормальные напряжения по площадкам с рассматриваемой точкой; τ_{zx} – касательное напряжение вдоль оси Oz .

Рассмотрим связь напряжений σ'_x , σ'_z и τ_{zx} с прогибом поверхности массива под воздействием гибкой распределенной нагрузки, по контакту инструмента с забоем. Проектируя σ'_x и σ'_z в произвольной точке А на оси Ox и Oy , получаем:

$$\begin{aligned} \sigma'_{x_A} &= \sigma_{x_A} \cos \alpha' + \sigma_{z_A} \sin \alpha'; \\ \sigma'_{z_A} &= \sigma_{z_A} \cos \alpha' + \sigma_{x_A} \sin \alpha'. \end{aligned} \quad (4.58)$$

Подставив (4.58) в (4.57) имеем:

$$\sigma_{z_A}^2 (1 - \sin 2\alpha') + \sigma_{x_A}^2 (1 + \sin 2\alpha') = 2\sigma_{z_A} \sigma_{x_A} \cos 2\alpha' + 4\tau_{zx}^2 = \sigma_T^2. \quad (4.59)$$

Значение α' найдем с учетом (4.48) из отношений приращений прогиба dW к dx :

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{dW}{dx} = \frac{\pi(1-\mu^2)P_0x}{2Ea}. \quad (4.60)$$

Тогда:

$$\alpha' = \operatorname{arctg} \pi \frac{(1-\mu^2)P_0x}{2Ea}, \quad (4.61)$$

$$\tau_{zx} = \frac{G\pi(1-\mu^2)P_0x}{2Ea}. \quad (4.62)$$

Ввиду малости α' примем

$$\sin 2\alpha' = \alpha'; \cos 2\alpha' = 1 \text{ и } \operatorname{arctg} \alpha' = \alpha'; \quad (4.63)$$

Тогда (4.59) запишется:

$$\sigma_{z_A}^2 \left(1 - \frac{\pi(1-\mu^2)P_0x}{Ea}\right) + \sigma_{x_A}^2 \left(1 + \frac{\pi(1-\mu^2)P_0x}{Ea}\right) - 2\sigma_{z_A} \sigma_{x_A} + \frac{2G\pi(1-\mu^2)P_0x}{Ea} = \sigma_T^2. \quad (4.64)$$

По определению максимальных касательных напряжений, равных напряжению текучести через главные оси,

$$\sigma_{z_A} = 2\sigma_T + \sigma_{x_A}. \quad (4.65)$$

Выполнив преобразования в (4.65) с учетом $G = \frac{E}{2(1-\mu)}$ и (4.55), а также пренебрегая членами малого порядка,

$$P_0 = \frac{\sqrt[2]{2\sigma_T E}}{\pi(1-\mu^2)}. \quad (4.66)$$

Уравнение (4.66) определяет давление в центре контактной площадки, оно является начальным условием пластических деформаций. Распределение давлений по поверхности контактной площадки при наступлении пластических деформаций по контуру из условия равновесия элемента нагружаемого массива, свойства которого описаны параметрами элементарной ячейки, запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dU_x}{dt} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{3\rho} \frac{\partial di vU}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 U_x \\ \frac{dU_y}{dt} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{3\rho} \frac{\partial di vU}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 U_y \\ \frac{dU_z}{dt} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial \rho} + \frac{\mu}{3\rho} \frac{\partial di vU}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 U_z \end{aligned} \quad (4.67)$$

где: μ, ρ — вязкость и плотность породы;

$$\begin{aligned} di vU &= \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \\ \nabla^2 U_x &= \frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial z^2} \\ \nabla^2 U_y &= \frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial z^2} \\ \nabla^2 U_z &= \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (4.68)$$

Для решения (4.68) сделаем следующие допущения. На основании опыта эксплуатации горных машин установлено, что скорость резания в 40-100 раз больше скорости подачи U_x , поэтому можно принять $U_x = U_y = 0$. При установившемся движении инструмента ускорение резания и инерционные свойства деформируе-

мого объема малы, а нагружаемый объем намного меньше забоя, следовательно, $X=Y=Z=0$. С учетом проведенного обоснования принятых допущений система уравнений запишется так:

$$\frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z}, \quad (4.69)$$

где: ∂P – приращение давления пластической деформации; dz – приращение пластической деформации массива.

На границе контура с координатой $x = a\sqrt{2}$ скорость деформации равна нулю, так как при переходе этой точки изменяется направление вектора деформации. Так как при $x = a\sqrt{2}$ $U_z = 0$, то можно функцию распределения скоростей деформаций под контактной площадкой представить в виде:

$$U_z = cf(x, y), \quad (4.70)$$

где: c – коэффициент распределения скорости деформации в пределах контура.

Дважды продифференцировав U_z по x и y получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} &= c\ddot{f}_x(x, y), \\ \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} &= c\ddot{f}_y(x, y). \end{aligned} \quad (4.71)$$

Коэффициент c определим, подставив (4.71) в (4.69):

$$c = \frac{\partial P}{\partial z} \frac{1}{\mu [\ddot{f}_x(x, y) + \ddot{f}_y(x, y)]}. \quad (4.72)$$

С учетом (4.72) и (4.70) запишем:

$$U_z = \frac{\partial P}{\partial z} \frac{f(x, y)}{\mu [\ddot{f}_x(x, y) + \ddot{f}_y(x, y)]}. \quad (4.73)$$

Приращение ∂z в (4.73) связано с ∂x уравнением прогиба. Дифференцируя последнее, имеем:

$$\partial z = \pi(1 - \nu^2) P_0 \frac{x}{2Ea} \partial x. \quad (4.74)$$

Решив (4.73) относительно ∂P , с учетом (4.74) и (4.67), получим:

$$\partial P = \frac{2U_z \mu \sqrt{\sigma_r E} [\ddot{f}_x(x, y) + \ddot{f}_y(x, y)] dx}{Ef(x, y)}. \quad (4.75)$$

Интегрируя в пределах $P_Y \leq P_T \leq P_{упр}$, $0 \leq X_T \leq X$, найдем значения упруго-пластического давления:

$$P_{yn} = P_y + \int_0^x \frac{2U_z \mu \sqrt{\sigma_T E}}{E f(x, y)} [\ddot{f}_x(x, y) + \ddot{f}_y(x, y)] dx. \quad (4.76)$$

Величина U_z в (4.76) определяет значение деформирования в каждой точке нагружаемого массива. В [7] приведена следующая классификация режимов по скорости относительной деформации s : ползучесть $\varepsilon \approx 10^{-12} \text{ с}^{-1}$ ($t \approx 10^4 \dots 10^5 \text{ с}$); статический режим $\varepsilon \approx 10^4 \dots 10^3 \text{ с}^{-1}$ ($t = 10 \dots 10^2 \text{ с}$); скоростной режим $\varepsilon \approx 10 \text{ с}^{-1}$ ($t = 10^{-3} \dots 10^{-5} \text{ с}$); ударный режим $\varepsilon \approx 10^3 \dots 10^6 \text{ с}^{-1}$ ($t = 10^{-5} \dots 10^{-6} \text{ с}$).

Для оценки изменения U_z рассмотрим модель элементарной ячейки. В исследованиях [41] установлено, что для большинства пород имеет место преимущественное развитие межзеренной деформации, а изменение механических характеристик пород от режимов нагружения определяется главным образом их пластичностью. Механизм деформации элементарной ячейки позволяет выразить U_z через пластические свойства связующего, предоставленные вязкостью μ . В случае плоской задачи при одноосном сжатии и сдвиге она выражается зависимостями:

$$\mu_{xx} = \frac{\sigma_p}{\varepsilon}; \quad \mu_{xz} = \frac{\tau}{3\varepsilon}, \quad (4.77)$$

где $\varepsilon = \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta l_y}{l_y} \right) = \frac{U_z}{l_y}$; l_y – вероятное расстояние между зернами элементарной ячейки.

Согласно модели нагружения элементарная ячейка находится в условиях сложной деформации сжатия и сдвига, тогда скорость деформирования длины контура

$$U_z = \frac{2\sqrt{2}a(3\sigma_p + \tau)}{3\mu}.$$

Подставив полученное выражение в (4.76), имеем:

$$P_{yn} = P_y + \int_0^x \frac{4(3\sigma_p + \tau)a\sqrt{2\sigma_T E}}{3E f(x, y)} [f_x''(x, y) + f_y''(x, y)] dx. \quad (4.78)$$

При взаимодействии инструмента с массивом по контактной площадке круглой формы зона упругопластических деформаций ограничена окружностью радиусом $A = a\sqrt{2}$. Для окружности $f(x, y) = A^2 - x^2 - y^2$, подставив $f(x, y)$ в (4.78), для сечения $y=0$ получим:

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau)\sqrt{2\sigma_T E}}{3E} \ln \left| \frac{A+x}{A-x} \right|. \quad (4.79)$$

Из выражения (4.79) следует, что на краях контактной площадки при $x = a\sqrt{2}$ значения давления достигают бесконечных величин, т.е. функция P_{yn} терпит разрыв. Эта неопределенность возникла вследствие введения в математическую модель нагружения $U_z=0$ по периметру контакта штампа с массивом. Устранение этой особенности сводится к решению сингулярной краевой задачи — граничной задаче с особыми точками. Поскольку граничная задача в особой точке не определена, возникает необходимость формулировки в ней дополнительного условия.

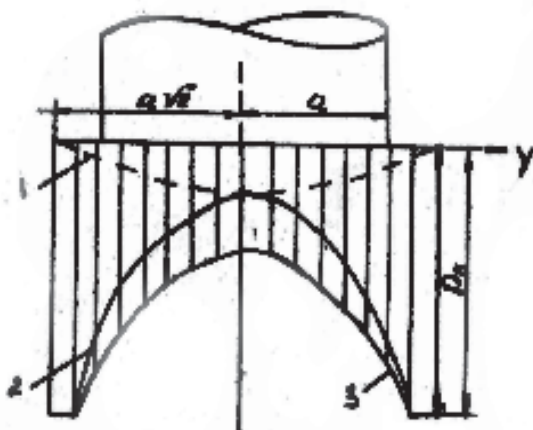


Рис. 4.10. Эпюры распределения давлений под контактной площадкой круглого штампа: 1 – упругое давление; 2 и 3 – соответственно пластическое и упругопластическое давления

Согласно модели элементарной ячейки в особой точке происходит локализация напряжений. Причем, если она располагается в связующем, между зернами возникает локальное пластическое течение, при ее попадании в дефектное звено напряжение концентрируются в локальной зоне у вершины дефекта. Интегральным показателем сопротивляемости в этом случае является контактная прочность, определяющая предельные упругопластические давления на краях контактной площадки. Эпюра распределения упругопластических давлений при нагружении массива по круглой контактной площадке с учетом принятых допущений изображена на рис. 4.10. При нагружении массива по контактной площадке прямоугольного сечения, геометрия которого описывается функцией $f(x,y)=(x+A)(y-A)+(x-B)(y+B)$, P_{yn} согласно (4.76) для сечения $x=0$ равно:

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma + \tau)\sqrt{2\sigma_T E}}{3E} \ln \left| \frac{B+y}{B-y} \right|. \quad (4.80)$$

Для сечения $y=0$:

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau)\sqrt{2\sigma_T E}}{3E} \ln \left| \frac{A+x}{A-x} \right|. \quad (4.81)$$

Распределение давлений по площадке эллиптической формы, для которой:

$$f(x,y) = x^2 B_1^2 + y^2 A_1^2 - A_1^2 B_1^2, \quad (4.82)$$

в сечении $x=0$:

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma + \tau)\sqrt{2\sigma_r E}}{3E} \ln \left| \frac{B_1 + y}{B_1 - y} \right|, \quad (4.83)$$

в сечении $y=0$:

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau)\sqrt{2\sigma_r E}}{3E} \ln \left| \frac{A_1 + x}{A_1 - x} \right|, \quad (4.84)$$

где: A_1 и B_1 — соответственно большая и малая полуоси эллипса.

Аналогично можно определить P_{yn} для контактной площадки произвольной геометрии.

Полученные выражения P_{yn} установлены из условия нагружения бесконечного массива. Однако при взаимодействии породоразрушающего инструмента с массивом на величину упругопластического давления оказывает влияние расстояние до открытой поверхности, позволяющее уточнить расчет нагрузок на забой с учетом его формы, определяемой количеством открытых поверхностей и их взаимным расположением.

В результате исследований [38] установлены закономерности ослабления сопротивляемости массива нагружению по глубине и по шагу отделения ($t=L+B$).

$$P_{yn1} = P_{yn} (1 - e^{-fh}); \quad (4.85)$$

$$P_{yn2} = P_{yn} (1 - e^{-f(L+B)}),$$

где: f — коэффициент затухания нагрузки в массиве; L — расстояние между инструментами; B — ширина инструмента.

Определим коэффициент f в (4.85), для чего рассмотрим элемент массива длиной dx и шириной b . Затухание давления на dP в соответствии с приложенным давлением P :

$$-dP = fPdx \quad (4.86)$$

Интегрируя это выражение, получаем:

$$\ln P = fx + C. \quad (4.87)$$

Постоянную интегрирования определим из граничного условия: при $x=0$ $P=P_k$, тогда $\ln P = \ln P_k - fx$, откуда:

$$P = P_k e^{-fx}. \quad (4.88)$$

На глубине $h=x$, при которой давление P затухает до нуля,

$$P_k e^{-fh} \approx 0. \quad (4.89)$$

В [42] установлено, что с достаточной для практических расчетов точностью это условие выполняется при $fh=10$. Поэтому принимаем

$$f = \frac{10}{h}. \quad (4.90)$$

Нагружение бесконечного массива породоразрушающим инструментом связано с состоянием всестороннего сжатия под его контактной площадкой. Наличие открытых поверхностей обуславливает появление деформаций сдвига в направлении перпендикулярном к P_{yn} . Поэтому для определения коэффициента f установив расстояние h , при котором давление, обуславливающее деформации сжатия, затухает до нуля. Тогда

$$-dF = \sqrt{2}a\sigma_0 dx, \quad (4.91)$$

где: $dF=dP_{yn}dS$;

Проинтегрировав в пределах $0 < F < F_0$, $h < x < 0$, имеем:

$$F_0 = \sigma_0 a \sqrt{2}h,$$

откуда:

$$h = \frac{F_0}{\sigma_0 \sqrt{2}a}. \quad (4.92)$$

Подставив значение h в (4.91), с учетом, что $F_0 = P_k ba$, получим:

$$f = \frac{-10\sqrt{2}\sigma_0}{P_k b}, \quad (4.93)$$

где: b — размер контакта породоразрушающего инструмента с массивом в направлении, перпендикулярном к открытой поверхности.

Окончательно давление инструмента на породу

$$P_{yn1} = P_{yn} \left(1 - e^{\frac{-10\sqrt{2}\sigma_0 h}{P_k b}}\right), \quad (4.94)$$

$$P_{yn2} = P_{yn} \left(1 - e^{\frac{-10\sqrt{2}\sigma_0 (L+B)}{P_k h}}\right).$$

Из (4.94) видно, что снижение сопротивляемости нагружению в направлении к открытым поверхностям зависит от физико-механических свойств забоя, геометрии инструмента и режима его работы. Так, увеличение глубины разрушения приводит к увеличению P_{yn} , уменьшение ширины инструмента вызывает умень-

шение нагрузки. При наличии нескольких открытых поверхностей ослабление массива описывается совокупностью уравнений (4.94), формирующих суммарную эпюру давлений.

Горная порода обладает естественной дефектностью из-за наличия в ней различных неоднородностей, пор, микротрещин и прочих дефектов. Постоянные характеристики прочности, упругости, вязкости, пластичности пород определены экспериментально и поэтому с учетом естественной дефектности. Технологическое воздействие породоразрушающего инструмента увеличивает в обрабатываемом поверхностном слое забоя имеющиеся дефекты и вызывает появление новых. Образуется так называемая *технологическая дефектность*, распространяемая от обрабатываемой поверхности на глубину предразрушенной зоны. Это приводит к перераспределению нагрузок на инструмент машины и необходимости учета технологической дефектности при функционировании системы КА.

В установленном процессе разрушения часть энергии передается в зону под инструментом. Сформированный предразрушенный слой оценивается коэффициентом технологической дефектности, характеризующий ослабление сопротивляемости массива разрушению изменением исходной дефектности элементарной ячейки. Коэффициент технологической дефектности определяется отношением контактной прочности дефектного поверхностного слоя $P_{к.д}$ к контактной прочности породы до разрушения P_k . Прочность дефектного забоя ниже исходной на величину вносимой технологической дефектностью, вычисляемой произведением P_k на вероятность наличия дефектов P_m . Таким образом, вероятностный коэффициент технологической дефектности принимает вид:

$$Д = \frac{P_k - P_k \cdot P_m}{P_k} = 1 - P_m.$$

Вероятность наличия неустойчивой микротрещины на глубине h_g предразрушенной зоны

$$P_m = 1 - e^{-fh_g}.$$

Коэффициент технологической дефектности:

$$Д = e^{-fh_g}. \quad (4.95)$$

Раскрытые микротрещины на глубине h_g происходит с учетом коэффициентов интенсивности напряжений разрыва K_I и поперечного сдвига K_{II} а также затухания приложенной нагрузки (4.88):

$$P_k e^{-fh_g} = \frac{K_{Ic}}{\sin^2 \theta_t \sqrt{\pi l_t}},$$

откуда

$$h_g = -\frac{1}{f} \ln \frac{K_{lc}}{P_k \sin^2 \theta_T \sqrt{\pi l_T}}.$$

С учетом найденного значения h_g (4.95) примет вид:

$$D = \left(\frac{K_{lc}}{P_k \sin^2 \theta_T \sqrt{\pi l_T}} \right)^{\frac{l_T}{f}}. \quad (4.96)$$

Подставив в (4.96) значение f из (4.93) получим

$$D = \left(\frac{K_{lc}}{P_k \sin^2 \theta_T \sqrt{\pi l_T}} \right)^{\frac{l_T P_k \cdot b}{10 \cdot \sqrt{2} \sigma_0}}. \quad (4.97)$$

Из (4.97) видно, что коэффициент технологической дефектности учитывает естественную дефектность и зависит от физико - механических свойств массива, приложенной нагрузки и глубины разрушения. После отделения первого слоя образуется зона предразрушения на глубину, превышающую подачу резца. При этом сопротивляемость песчаника снижается на 45..50 %, мрамора – на 25... 30%, габбро – на 10 ... 15%. Пластично- вязкие свойства пород снижают эффективность трещинообразования при воздействии инструмента. Снятие второго слоя, не устранив предразрушенной зоны вносит дополнительную технологическую дефектность, которая еще больше снижает сопротивляемость поверхностного слоя, ослабляя его. Увеличение глубины отделения интенсифицирует образование технологической дефектности и увеличивает глубину предразрушенных зон, о чем свидетельствует ослабление поверхностного слоя массива.

Аналитическое выражение коэффициента технологической дефектности через показатели процесса нагружения упругопластического дефектного забоя позволяет направленно управлять свойствами и состоянием породного массива в системе КА. Таким образом, давление на передней грани породоразрушающего инструмента представляется суммой упругой P_y и пластической $P_{пл}$ составляющих с учетом формы забоя и коэффициента технологической дефектности D :

$$P_{yn} = \left[\frac{2\sqrt{2\sigma_p E} \left(1 - \frac{x^2}{A^2} \right)}{\pi(1-\nu^2)} + \frac{2(3\sigma_p + \tau)\sqrt{2\sigma_T E}}{3E} \ln \left| \frac{A+x}{A-x} \right| \right] \cdot \left[\frac{1 - \exp(-10\sqrt{2}\sigma_0 h)}{P_K b} \right] \left(\frac{K_{lc}}{P_k \sin^2 \theta_T \sqrt{\pi l_T}} \right)^{\frac{l_T P_k \cdot b}{10 \cdot h \sigma_0}}. \quad (4.98)$$

Выражение (4.98) позволяет рассчитать реальную нагрузку на породоразрушающем инструменте для любых пород, выбрать мощность привода, а также является исходной величиной при описании этапов разрушения – образования ядра уплотнения и раскрытия магистральной трещины.

Нагружение всех связей вызывает большие сопротивления разрушению, ПГУ приобретают неоптимальные значения. Технология производства усложняется, экономические показатели ухудшаются. Одним из направлений совершенствования процесса обработки материалов является воздействие нагрузок на одну из четырех его внутренних связей. Существующие теории прочности в том числе и «теория контуров» не выделяли одного вида основной связи, разрывом которой ограничивалась бы обработка материала. Они рассматривали нагружения всех внутренних связей материала одновременно. Такое решение задач прочности материалов соответствует современным отсталым технологиям: нефтяной и другим отраслям промышленности. Однако требования совершенствования существующих технологий указывают на необходимость выборочного воздействия на внутренние связи. В случае сохранения свойств обрабатываемого материала целесообразно воздействовать на электромагнитные связи. Для этого прилагаются специальные технологии, энергетическая основа которых соответствует дифференциации способов и средств разрушения. Полученные модели кинетической и потенциальной энергий активного вещества вершины трещины характеризируют особенности её функционирования. Они дополняют классическую «теорию контуров» конкретными энергетическими показателями.

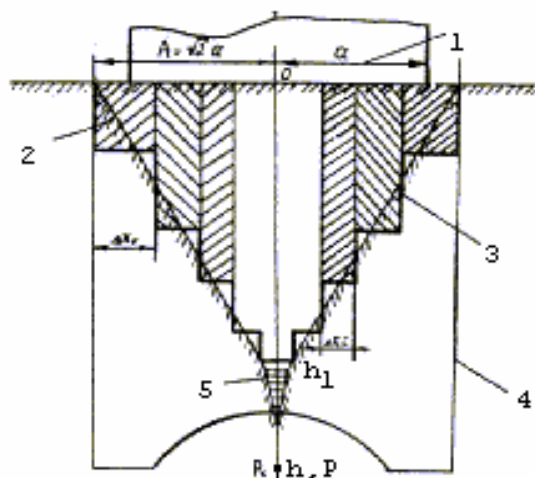


Рис. 4.11. Схема формирования ядра уплотнения: 1 – штамп; 2 – первый участок разрушения; 3 – граница ядра; 4 – эпюра давления; 5 – начальная трещина

ризируют особенности её функционирования. Они дополняют классическую «теорию контуров» конкретными энергетическими показателями.

В результате воздействия инструмента на массив породы под инструментом образуется ядро уплотнения, состоящее из мелкодиспергированных зерен элементарной ячейки. Сформировавшееся ядро имеет форму параболоида с основанием, равным площади контакта передней грани инструмента с массивом. На его создание затрачивается около 96 % общей энергии на разрушение. Большие энергетические затраты при малом объеме

разрушения связаны с дроблением горной породы под контактной площадкой инструмента в условиях всестороннего сжатия до образования магистральной трещины, отделяющей элемент стружки. Ядро уплотнения в значительной мере определяет траекторию движения макротрещины, так как напряжение в ее вершине зависит от геометрических параметров и ориентации к открытым поверхностям забоя. Большое влияние уплотненного ядра на процесс разрушения вызывает необходимость его детального изучения с применением математического моделирования.

В качестве начальных условий для разработки модели формирования ядра уплотнения примем распределения давлений под контактной площадкой породоразрушающего инструмента по уравнению (4.78). Среднее значение P_{yn} вызывает деформацию массива на глубину W , которая определена максимальным значением прогиба поверхности. Однако согласно эпюре нагружения, разрушение в массиве произойдет по периметру контактной площадки, где действуют максимальные давления. При этом края контура теряют связь с массивом и его длина уменьшается на Δx $P_{yn} = P_k$. Значение Δx определяется с учетом того, что в области разрушения Δx . Разрушенный материал в области Δx находится в условиях всестороннего сжатия, что обуславливается защемлением нижерасположенного контура длиной $A - \Delta x$. При этом площадь контакта уменьшается на величину разрушенной зоны, вследствие чего давления в неразрушенной части контакта инструмента с забоем возрастают, а следовательно, увеличивается напряжение по глубине массива. Это приводит к его разрушению на большей глубине. Далее процесс повторяется до образования ядра уплотнения с возросшей глубиной в центре контактной площадки (рис. 4.11). По главной оси вектора скорости нагружения вследствие уменьшения площади контакта давление достигает критического значения, необходимого для образования магистральной трещины. Так как Δx при перемещении к центру уменьшается, а W пропорциональна нагрузке, то ядро уплотнения приобретает форму конуса с основанием, равным площади контакта передней грани породоразрушающего инструмента с массивом. При формировании ядра уплотнения мелкодиспергированные частицы горной породы интенсивно “вытекают” через зазоры между инструментом и массивом. Возникающие при этом силы трения частиц ядра растягивают контур, в результате чего окончательно сформировавшееся ядро приобретает форму параболоида, что совпадает с результатами проведенных испытаний [40].

Рассмотренные закономерности процесса образования ядра уплотнения позволяют рассчитать его геометрические параметры в соответствии с математической моделью нагружения упругопластического массива горной породы. Глубину h_j найдем из условия, что для разрыва контура на глубине h_j необходимо создать

давление P_0 . Тогда согласно зависимости (4.88) затухания давления в массиве получаем:

откуда:

$$\frac{P_0}{P_K} = e^{-fh_{я}},$$

$$h_{я} = \frac{1}{f} \ln \frac{P_K}{P_0}. \quad (4.99)$$

С учетом значений P_0 и (4.93) имеем:

$$h_{я} = \frac{P_K S_K}{10 \sigma_0 a} \ln \frac{P_K \pi (1 - \nu^2)}{2 \sqrt{2 \sigma_p E}}. \quad (4.100)$$

Из (4.100) видно, что глубина ядра уплотнения зависит от площади контакта инструмента с массивом и физико-механических свойств разрушаемой породы, её модуля упругости, коэффициента Пуассона, временного сопротивления разрыву, предела прочности при сжатии и контактной прочности.

Контакт породоразрушающего инструмента с массивом по глубине определяется высотой контактной площадки, величина которой в зависимости от свойств породы и режима нагружения колеблется в пределах 0,3... 0,8 глубины отделения. Высота контакта зависит от размера ядра уплотнения. Определим ее значение из условия его устойчивого состояния при всестороннем сжатии. Для этого рассмотрим воздействие прямоугольного штампа на упругопластический массив.

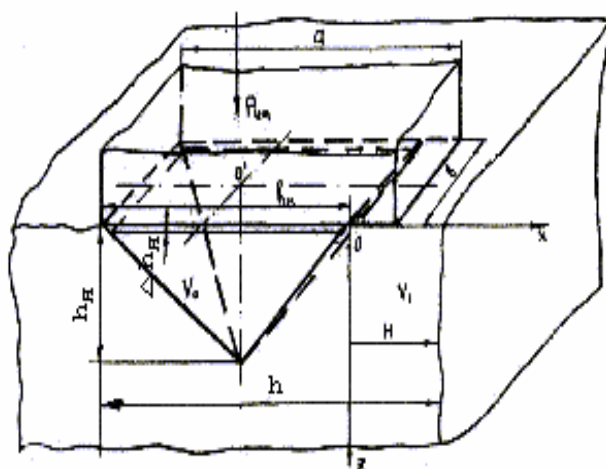


Рис. 4.12. Схема устойчивого состояния ядра уплотнения

Выделим под штампом объем V_0 (рис. 4.12), обозначив его толщину — $\Delta h_{я}$, расстояние до открытой поверхности — H , глубину разрушения — $h_{я}$, ширину штампа — a . При нагружении давлением P_{yn} выделенный объем ядра расширяется вдоль осей Oz и Ox для плоской задачи. Под действием деформации вдоль оси Oz возникает касательное напряжение, удерживающее ядро от сдвига по оси Ox . Расширение объема ядра вдоль оси Ox вызывает напряжение, превышаю-

шее предел прочности на сдвиг, при этом отделяется слой горной породы глубиной $\Delta h_{я}$. Деформация объема ядра вызывает реакцию Р массива вдоль оси Ох, при этом прирост объема определяется соотношением:

$$dV_x = \frac{\partial V}{\partial P} dP .$$

С учетом объемного модуля упругости

$$E_0 = \frac{\partial P}{\partial V} V_0; \quad dV_x = \frac{V_0}{E_0} dP .$$

Работа деформации ядра по оси Х:

$$A_x = \int_0^P \frac{PV_0}{E_0} dP = \frac{P^2 V_0}{2E_0} . \quad (4.101)$$

Полученное уравнение определяет также деформацию объема V_1 , заключенного между ядром уплотнения и открытой поверхностью забоя. При этом в объеме V_1 запасается потенциальная энергия, равная

$$\Pi = \frac{\tau^2}{G} \Delta h_{я} b H . \quad (4.102)$$

Приравнявая (4.101) и (4.102), получаем с учетом $V_0 \cong \Delta h_{я} ab$:

$$\frac{P^2}{2E_0} a = \frac{\tau^2 H}{G} . \quad (4.103)$$

Давление со стороны забоя на ядро определяем по методике, приведенной в [7] и решив (4.103) относительно Н, получим :

$$H = \frac{G \cdot P^2 \cdot a}{2 \cdot E_0 \cdot \tau^2} . \quad (4.104)$$

Объемный модуль упругости и модуль упругости второго рода G связаны с модулем Юнга соотношениями :

$$E_0 = \frac{E}{3(1-2\nu)}; \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} . \quad (4.105)$$

Подставив (4.105) в (4.104) будем иметь:

$$H = \frac{3 \cdot a \cdot P^2 \cdot (1-2 \cdot \nu)}{4 \cdot (1+\nu) \cdot \tau^2} . \quad (4.106)$$

Из (4.106) видно, что расстояние до открытой поверхности, определяющее устойчивое состояние ядра уплотнения, зависит от физико — механических свойств массива, ширины породоразрушающего инструмента и приложенной нагрузки. При разрушении массива инструмент формирует уплотненное ядро, размер которого по высоте меньше высоты передней грани.

Исходя из условия устойчивости ядра уплотнения (4.103), определим высоту контакта инструмента с массивом. Приняв $a > h_K$, $H = h - h_K$, (5.106) запишется так :

$$h - h_K = \frac{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu) \cdot h_K \cdot P^2}{4 \cdot (1 + \nu) \cdot \tau^2}.$$

Проведя преобразования, получаем:

$$h_K = \frac{2 \cdot (1 + \nu) \cdot h \cdot \tau^2}{4 \cdot \tau^2 \cdot (1 + \nu) + 3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu) \cdot P^2}. \quad (4.107)$$

Формула (4.107) определяет высоту контакта уплотненного ядра с передней гранью инструмента при переднем его угле $\theta = 90^\circ$. Для породоразрушающих инструментов с положительным и отрицательным передними углами значение определится разложением давления P_{yn} , направленного по нормали к поверхности передней грани на вертикальную и горизонтальную составляющие:

$$P = P_{yn} (\cos \theta_n \pm \sin \theta_n), \quad (4.108)$$

где: знак “+” соответствует инструменту с отрицательным углом наклона передней грани; знак “—” — положительным.

Подставив (4.108) в (4.107), получим:

$$h_K = \frac{2h\tau^2(1+\nu)}{4(1+\nu)\tau^2 + 3(1-2\nu)[P_{yn}(\cos\theta_n \pm \sin\theta_n)]^2}. \quad (4.109)$$

Уравнение (4.100) и (4.109) позволяют рассчитать геометрию и объем ядра уплотнения, а также устанавливают взаимосвязь параметров процесса разрушения с конструкцией и режимом работы исполнительных органов горных машин, оснащенных резовым, алмазным и штыревым инструментами.

Раскрытие магистральной трещины, отделяющей крупный элемент стружки — завершающая стадия разрушения пород. На ее реализацию расходуется всего около 4-10 % подведенной к забою энергии. При этом траектория ее движения определяет объем отделяемой стружки. Это открывает возможность повышения эффективности работы буровой машины за счет оптимального распределения энер-

гии разрушения. Управление процессом разрушения на стадии проектирования машины позволяет выбрать и рассчитать их конструктивные элементы, режимы работы и технологию эксплуатации. Особенностью аналитического описания раскрытия магистральной трещины является построение ее модели с учетом начальных и граничных условий нагружения забоя и формирования ядра уплотнения, адекватно отражающих функционирование КА. Это позволяет представить аналог забоя в виде единой системы математических моделей.

Основы теории трещин впервые были разработаны в 1920 году А.А. Гриффитсом [57]. Сущность предложенной им гипотезы основана на предположении, что трещина лавинообразно развивается, если скорость освобождения энергии упругой деформации превзойдет прирост поверхностной энергии трещины. Дальнейшее развитие теории Гриффитса для материалов, обладающих пластическими свойствами, дали работы Г.Р. Ирвина [32] и Е. Орована [60], в которых показано, что при разрушении тела его упругая энергия расходуется не только на образование новой поверхности, но и на пластические деформации в вершине трещины. Распространение теории Гриффитса на пластические материалы получило название *концепции квазихрупкого разрушения*, согласно которой необратимая работа, затрачена на образование единицы площади свободной поверхности тела при развитии трещины, является постоянной материала, не зависящей от нагрузок, формы и размеров тела.

Существенный вклад в теорию трещин внесли работы Г.И. Баренблатта. Согласно его теории на вершине трещины между ее стенками действуют силы сцепления, интенсивность которых, а также нормальные смещения по контуру не зависят от вида и способа приложения нагрузок, напряжение на контуре трещины конечны, расстояние между стенками на участке D ее вершины постоянны и этот участок остается неизменным вдоль траектории раскрытия трещины. Развивая теорию Г.И. Баренблатта в 1959 году М.Я. Леонов, В.В. Панасюк [36] и в 1960 году Дагдейл определили величину этой зоны (модель ЛПД или δ -модель). Аналогично рассматривают раскрытие трещин Нейбер [39], Черепанов [54] и другие ученые. Все эти работы составляют основу теории трещин, позволяют рассчитывать ее равновесное состояние, распределение напряжений и смещений в окрестности ее вершины для статического случая. В основном они сводятся к изучению равновесия трещины до достижения критической величины, после чего предполагается непредсказуемое ее развитие. Положение усугубляется также отсутствием математических зависимостей, учитывающих влияние открытых поверхностей забоя на траекторию движения трещины. Эти недостатки не позволяют в полной мере применить существующие теории для определения траектории движения магистральной трещины при отделении элемента стружки исполнительными органами горных машин. Перечисленные обстоятельства вызвали необходимость разработки

математической модели раскрытия трещины, основанной на фундаментальных законах механики сплошных сред, применительно к общему машиностроению.

Выделим два этапа раскрытия магистральной трещины, отделяющий элемент стружки. На первом происходит деформация связей ее вершины. Здесь закладываются начальные условия для второго этапа: критическое раскрытие $\delta_{кр}$, смещение и скорость деформации связи, размер пластической зоны D и направление потока энергии в вершине трещины. Второй этап характеризуется перемещением вершины трещины при разрыве связи, оцениваемое углом траектории движения трещины β , с учетом открытых поверхностей забоя.

При отделении элемента стружки в массиве создаются условия изменения потока энергии при раскрытии макротрещины. Это обусловлено переходом потенциальной энергии, запасенной в ее вершине, в энергию вновь образованных поверхностей и кинетическую энергию перемещения элемента стружки. Периодические перераспределения энергии при разрыве связей вызывают в массиве колебательные процессы, которые оцениваются изменением объемной энергии в концевой области трещины. Уравнение энергетического баланса:

$$U = U_0 + \Pi - U_n - T, \quad (4.110)$$

где: U — полная энергия деформированного тела; U_0 — потенциальная энергия тела без трещины; Π — потенциальная энергия трещины; U_n — поверхностная энергия трещины; T — кинетическая энергия активного вещества вершины трещины.

Для описания траектории раскрытия трещины сформулируем основные положения, определяющие ее поведение в соответствии с (4.110),

при изменении длины и ориентации относительно приложенной нагрузки как показано на (рис. 4.13):

— напряжения и смещения в вершине трещины описываются зависимостями для ее неподвижного состояния;

— изменение напряженно-деформированного состояния в вершине при ее перемещении происходит за счет поступательного движения прямолинейной исходной системы ко-

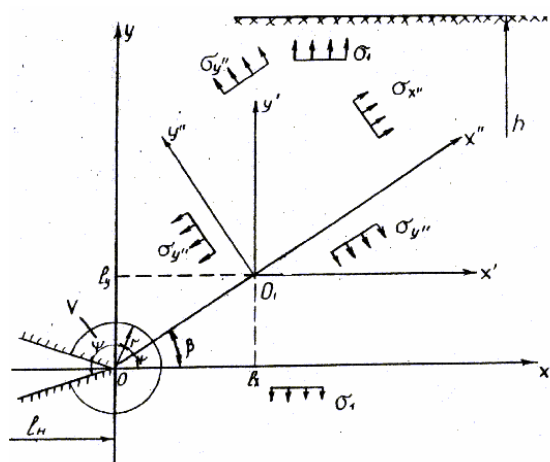


Рис. 4.13. Схема к расчету траектории движения макротрещины

ординат и ее поворота на угол, определяющий изменение траектории за единичный акт разрыва связей;

— направление трещины относительно исходной системы координат в любой момент времени совпадает с осью абсцисс, перемещающейся вместе с вершиной подвижной системы координат, что соответствует прямолинейной трещине первого рода, образованной нормальным разрывом;

— ориентация трещины относительно постоянного поля напряжений и расстояния до открытой поверхности осуществляется углом ее поворота;

— криволинейная траектория движения трещины заменяется ломаной линией с размером и числом шагов, соответствующих единичному акту деформации связей согласно принятой модели, при которых в пределе $\Delta P \rightarrow 0$ и $\Delta l \rightarrow 0$ должно получиться постепенное развитие искомой гладкой трещины, где ΔP и Δl — соответственно приращение нагрузки и длины трещины за единичный разрыв связей.

Пусть в начальный момент времени имеется трещина длиной l_n , расположенная на глубине от открытой поверхности h . Ее ориентация относительно исходной системы координат yOx и приложенной нагрузки σ_1 соответствует трещине первого рода. Тогда напряженно-деформированное состояние зоны V у ее вершины описывается уравнениями (4.20–4.29). При перемещении трещины в точку O_1 исходная система координат повернется на угол α , а длина трещины изменится на величину Δl . Описание этого положения трещины в системе координат $y''O_1x''$ аналогично исходному положению, однако в этом случае на трещину действует нагрузка σ_y'' ориентированная параллельно оси O_1y'' . Для приведения нового положения трещины относительно исходной нагрузки σ_1 необходимо рассчитать состояние трещины в системе $y''O_1x''$ и поворотом ее на угол β преобразовать в поступательно движущуюся систему $y'O_1x'$, после чего привести к неподвижной системе координат yOx . Эти преобразования упрощают расчет траектории движения трещины за счет ее ориентации относительно единичного поля напряжений, привязывают к открытой поверхности забоя с постоянной глубиной отделения.

Определим кинетическую и потенциальную энергии в вершине макротрещины, для чего рассмотрим зону V радиусом r , в пределах которой происходит деформация породы при раскрытии трещины согласно (рис. 4.13.). Под действием приложенной к телу нагрузки среда в зоне V находится в условиях сложной деформации разрыва с одновременным сдвигом. Напряжения и смещения в любой точке области V вдоль осей координат определяются уравнениями (4.20 – 4.29).

В проекциях на оси абсцисс и ординат напряжение и смещение в случае сложной деформации равны:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_{1x} + \sigma_{11x}; \sigma_y = \sigma_{1y} + \sigma_{11y}; \\ \tau_{xy} &= \tau_{1xy} + \tau_{11xy}; \\ U_x &= U_{1x} + U_{11x}; U_y = U_{1y} + U_{11y}.\end{aligned}\tag{4.111}$$

В полярной системе координат (4.20 – 4.29) преобразуются с помощью соотношений:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \sigma_x \cos^2 \psi + \sigma_y \sin^2 \psi + 2\tau_{xy} \cos \psi \sin \psi; \\ \sigma_\theta &= \sigma_x \sin^2 \psi + \sigma_y \cos^2 \psi - 2\tau_{xy} \cos \psi \sin \psi; \\ U_r &= U_x \cos \psi + U_y \sin \psi; \\ U_\theta &= -U_x \sin \psi + U_y \cos \psi.\end{aligned}\tag{4.112}$$

Подставив (4.111), (4.20 – 4.29) в (4.112), получим:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{K_1}{2\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\psi}{2} (3 - \cos \psi) \right] + \frac{K_{11}}{2\sqrt{2\pi r}} \left[(3 \cos \psi - 1) \sin \frac{\psi}{2} \right]; \\ \sigma_\theta &= \frac{K_1}{2\sqrt{2\pi r}} \left[(1 + \cos \psi) \cos \frac{\psi}{2} \right] - \frac{K_{11}}{2\sqrt{2\pi r}} \left[3 \sin \psi \cos \frac{\psi}{2} \right]; \\ \tau_{xy} &= \frac{K_1}{2\sqrt{2\pi r}} \left[\sin \psi \cos \frac{\psi}{2} \right] + \frac{K_{11}}{2\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\psi}{2} (3 \cos \psi - 1) \right]; \\ U_r &= \frac{K_1}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left[(2k - 1) \cos \frac{\psi}{2} - \cos \frac{3\psi}{2} \right] - \frac{K_{11}}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left[(2k - 1) \sin \frac{\psi}{2} - 3 \sin \frac{3\psi}{2} \right]; \\ U_\theta &= \frac{K_1}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left[-(2k - 1) \sin \frac{\psi}{2} + \sin \frac{3\psi}{2} \right] - \frac{K_{11}}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left[(2k + 1) \cos \frac{\psi}{2} - 3 \cos \frac{3\psi}{2} \right].\end{aligned}\tag{4.113}$$

Кинетическая и потенциальная энергии деформируемой среды в активном веществе вершины трещины равны:

$$T = \frac{1}{2} \int_V \rho \dot{U}_i^2 dV; \Pi = \int_V \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV.\tag{4.114}$$

Определим пределы интегрирования в (4.114). Рассмотрим элемент площади в зоне V (рис. 4.13):

$$dS = r dr d\psi.\tag{4.115}$$

Значения полярного угла ψ изменяются от 0 до 2π ; полярного радиуса — от 0 до r . Кинетическая энергия найдена с учетом $\dot{U}_x = \dot{K}_1$; $\dot{U}_y = \dot{K}_{11}$, тогда (4.114) запишется так:

$$T = \int_0^r \int_0^{2\pi} \frac{\rho}{2} (\dot{U}_x^2 + \dot{U}_y^2) r dr d\psi = \frac{\rho}{8G^8} \int_0^r \frac{r}{2\pi} r dr.$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot \int_0^{2\pi} \left\{ \dot{K}_1^2 \cos \frac{\psi}{2} \left[(k^2 - 2k + 1) + 4(k - 1) \sin \frac{\psi}{2} + 4 \sin^2 \frac{\psi}{2} + \dot{K}_1 \dot{K}_{11} \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} (k^2 + 2k - 1) - 2 \cos \psi + \sin^2 \psi \right] + \right. \\
 & + \dot{K}_{11}^2 \sin^2 \frac{\psi}{2} \left[(k^2 - 2k + 1) + 4(k - 1) \cos^2 \frac{\psi}{2} + 4 \cos^4 \frac{\psi}{2} \right] + \\
 & + \sin^2 \frac{\psi}{2} \dot{K}_1 \left[(k + 1)^2 + 4(-k - 1) \cos^2 \frac{\psi}{2} + 4 \sin^4 \frac{\psi}{2} \right] + \\
 & + \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} \dot{K}_1 \dot{K}_2 \left[(k^2 + 2k - 1) + (2 \cos \psi - \sin^2 \psi) \right] + \\
 & \left. + \cos^2 \frac{\psi}{2} \dot{K}_{11}^2 \cos^2 \frac{\psi}{2} \dot{K}_{11}^2 \left[(k - 1)^2 - 4(k - 1) \sin^2 \frac{\psi}{2} + 4 \sin^4 \frac{\psi}{2} \right] \right\} d\psi.
 \end{aligned}$$

Вычисление интегралов в полученном выражении не представляет затруднений, так как они сводятся к табличным [31].

Окончательно:

$$T = \frac{\rho r^3}{48\pi G^2} \left[\dot{K}_1^2 (2k + 1) + \dot{K}_{11}^2 (2k + 5) \right]. \quad (4.116)$$

Представим потенциальную энергию согласно (4.114) в полярных координатах:

$$P = \frac{1}{2} \iint_S \left[\sigma_r \frac{\partial U_r}{\partial r} + \sigma_\psi \left(\frac{U_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\theta}{\partial \psi} \right) + \tau_{r\psi} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \psi} + \frac{\partial U_\psi}{\partial r} - \frac{U_\psi}{r} \right) \right] dS. \quad (4.117)$$

Продифференцируем (4.117) по r и ψ :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial U_r}{\partial r} &= \frac{1}{8G\sqrt{2\pi r}} \left\{ K_1 \left[(2k - 1) \cos \frac{\psi}{2} - \cos \frac{3\psi}{2} \right] - K_{11} \left[(2k - 1) \sin \frac{\psi}{2} - 3 \sin \frac{3\psi}{2} \right] \right\}; \\
 \frac{\partial U_\psi}{\partial \psi} &= \frac{1}{8G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left\{ -K_1 \left[(2k + 1) \cos \frac{\psi}{2} - 3 \cos \frac{3\psi}{2} \right] + K_{11} \left[(2k + 1) \sin \frac{\psi}{2} - 9 \sin \frac{3\psi}{2} \right] \right\}; \\
 \frac{\partial U_r}{\partial \psi} &= \frac{1}{8G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left\{ -K_1 \left[(2k - 1) \sin \frac{\psi}{2} - 3 \sin \frac{3\psi}{2} \right] + K_{11} \left[(2k - 1) \cos \frac{\psi}{2} - 9 \cos \frac{3\psi}{2} \right] \right\}; \\
 \frac{\partial U_\psi}{\partial r} &= \frac{1}{8G\sqrt{2\pi r}} \left\{ -K_1 \left[(2k - 1) \sin \frac{\psi}{2} - \sin \frac{3\psi}{2} \right] - K_{11} \left[(2k + 1) \cos \frac{\psi}{2} - 3 \cos \frac{3\psi}{2} \right] \right\}.
 \end{aligned} \quad (4.118)$$

Представим (4.117) как сумму интегралов:

$$\begin{aligned}
 \Pi &= \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5 - \Pi_6 = \\
 &= \frac{1}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \sigma_r \frac{\partial U_r}{\partial r} r dr d\psi + \frac{1}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \sigma_\psi U_r dr d\psi + \frac{1}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \sigma_\psi \frac{\partial U_\psi}{\partial \psi} dr d\psi + \\
 &+ \frac{1}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \tau_{r\psi} \frac{\partial U_r}{\partial \psi} dr d\psi + \frac{1}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \tau_{r\psi} \frac{\partial U_\psi}{\partial r} r dr d\psi - \frac{1}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \tau_{r\psi} U_\psi dr d\psi.
 \end{aligned} \quad (4.119)$$

Подставив в (4.119) значения (4.118), (4.113) и вычисляя табличные интегралы, получим:

$$\Pi = \frac{K_1^2 r(4k-2)}{64G} + \frac{K_1}{64G} + \frac{K_{11}^2 r(4k-8)}{64G} + \frac{12K_{11}r}{64G} = (K_1^2 + K_{11}^2) \frac{r(k+1)}{16G}. \quad (4.120)$$

Определим значения K_1 и K_{11} в (4.120), используя соотношения $K_1 = \sigma\sqrt{\pi l}$ и $K_{11} = \tau\sqrt{\pi l}$. Так как система координат $y'' O_1 x''$ подвижна, то длина трещины зависит от времени. В случае приложения динамических нагрузок поле напряжений в K_1 и K_{11} также являются функцией времени, поэтому выражения для K_1 и K_{11} представляют сложные функции. Вычисление их полного дифференциала дает соотношения

$$K_1 = \dot{\sigma}\sqrt{\pi l} + \frac{\sqrt{\pi}\sigma\dot{l}}{2\sqrt{l}}; \dot{K}_{11} = \dot{\tau}\sqrt{\pi l} + \frac{\sqrt{\pi}\tau\dot{l}}{2\sqrt{l}}, \quad (4.121)$$

где: $\dot{l}$ – скорость движения трещины; σ' , τ' – скорости приложения внешней нагрузки.

Подставив (4.121) в (4.116) для системы координат $y'' O_1 x''$, получим:

$$T = \frac{\rho r^3}{48\sigma^2 l} \left[(2k+1)(\dot{\sigma}^2 l^2 + \dot{\sigma}\sigma\dot{l} + \frac{1}{4}\sigma^2\dot{\sigma}^2) + (2k+5)(\dot{\tau}^2 l^2 + \dot{\tau}\tau\dot{l} + \frac{1}{4}\tau^2\dot{\tau}^2) \right]. \quad (4.122)$$

Потенциальная энергия с учетом K_1 и K_{11} :

$$\Pi = \frac{(k+1)\pi r}{16G} (\sigma^2 l + \tau^2 l). \quad (4.123)$$

Радиус r области V деформации в вершине трещины связан с длиной трещины соотношением:

$$\frac{r}{l} = \frac{K'}{2\pi}, \quad (4.124)$$

где: K' – постоянная кинетической энергии Мотта.

Эта зависимость установлена Робертсом и Вэлсом [31]. Коэффициент K' , зависящий от коэффициента Пуассона, определяется численной оценкой кинетической энергии трещины с мгновенной длиной $2l$, концы которой движутся. Исследуя динамическое напряженное состояние впереди движущихся концов трещины, они установили, что в хрупком материале максимальная ее скорость составляет около 38 % скорости продольной волны и является константой физико – механических свойств горной породы.

$$V_T = 0,38a, \quad (4.125)$$

где: $a = \frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}$ – скорость распространения волны деформации.

При расчете радиуса r в (4.124) принималось значение коэффициента Пуассона $\nu = 0.25$. На основании оценки графика зависимости $(2\Pi/K')$ от r/l установлено, что $r = \frac{lK_0}{5^2 + 0.38^2}$ где K_0 – коэффициент, учитывающий варьирование для горных пород с достаточной степенью точности $K_0 = 0.763$. Тогда (4.122) с учетом (4.124) и (4.125) запишется :

$$T = \frac{4\pi(1-\nu^2)2.66}{EV_T^2 48(1-2\nu)} \left[(2k+1)(\sigma^2 l^4 + \dot{\sigma} \sigma l^3 \dot{l}^2 + \frac{1}{4} \sigma^2 l^2 \dot{l}^2) + (2k+5)(\dot{\tau}^2 l^4 + \tau \dot{\tau}^3 \dot{l} + \frac{1}{4} \dot{\tau}^2 l^2 \dot{l}^2) \right]$$

Подставив значение $k=3-4\nu$ и выполнив преобразования получим :

$$T = \frac{4\pi(1-\nu^2)}{EV_T^2} \left[l^4 (\dot{\sigma}^2 + \frac{3}{2} \dot{\tau}^2) + l^3 \dot{l}^2 (\dot{\sigma} \sigma + \frac{3}{2} \dot{\tau} \tau) + \frac{1}{4} \dot{l}^2 l^2 (\sigma^2 + \frac{3}{2} \tau^2) \right]. \quad (4.126)$$

С учетом проведенных рассуждений K_1 и K_{11} значений (4.123) запишется :

$$\Pi = \frac{(1-\nu)^2 \pi}{2E} l^2 (\sigma^2 + \tau^2). \quad (4.127)$$

Для трещины нормального разрыва при постоянной во времени приложенной нагрузке $\tau = 0, \dot{\tau} = 0, \dot{\sigma} = 0$ (4.126) и (4.127) преобразуется к виду :

$$\begin{aligned} T &= \frac{(1-\nu^2)\pi}{EV_T^2} \dot{\sigma}^2 \dot{l}^2 l^2; \\ \Pi &= \frac{(1-\nu)^2 \pi}{2E} l^2 \sigma^2. \end{aligned} \quad (4.128)$$

Данные выражения полностью совпадают с результатами, полученными Н.Ф. Моттом [59] и Дж.Р. Ирвином [58], что подтверждает их достоверность и правильность проведенных аналитических исследований.

Уравнения (4.128), выведенные с использованием классических теорий, содержат эмпирические параметры активного вещества вершины трещины. Они отражают процессы обработки материалов в том числе бурения скважин, рыхление продуктивного пласта и других. Их практическое применение позволило найти траекторию движения макро — трещины по отношению к поверхности забоя [9]. Однако, с помощью этих уравнений нельзя охватить необходимый объем параметров для создания новых эффективных технологий обработки материалов. Они содержат такие эмпирические показатели, как модуль упругости, временное сопротивление сжатию, коэффициент Пуассона, которые помогли раскрыть только часть явлений обработки материалов на основе классических теорий. Современное состояние промышленности вынуждает находить такие энергетические характеристики, использование которых существенно снижает энергопотребление производства и повышает его производительность.

В (4.128) не отражено функционирование внутренних связей обрабатываемого материала под воздействием нагрузок. Поэтому естественна необходимость расширения представлений энергетической сопротивляемости электромагнитных связей между молекулами материала нагрузкам, описание которой осуществляется с привлечением фундаментальных теорий. При этом не ставится задача получения точных решений для конкретных машин, а находятся новые важные параметры, существенно влияющие на их работу. В таком представлении получаются математические модели, которые назовем интерпретационными. Они базируются на фундаментальном принципе причинности, который раскрывает перспективы дальнейшего развития теории и практики. Использование интерпретационных моделей для раскрытия физической сущности процессов в активном веществе вершины трещины покажем в следующем параграфе настоящей главы.

4.3. Интерпретационное моделирование трещины

Ранжирование процессов обработки материалов по энергетическим уровням открывает возможность моделирования сопротивляемости материалов разрушению с использованием классических и фундаментальных теорий. Оно продолжает развивать ранее разработанную классическую “теорию контуров” (см. 4.2). В ней разрушение рассматривалось как последовательные разрывы абстрактных контуров при их удлинении под нагрузкой до критических значений. Однако, строение и свойства этих контуров не изучались на микроуровне. Использование этой теории при обработке различных материалов дают начальные параметры на проектирование исполнительных органов машин, работающих на принципах силового и

алмазного резания, ударом различных энергий, непрерывными и импульсивными струями, шарошками и другими механическими рабочими инструментами. При этом авторы [38] не ставили перед собой задачу раскрыть механизм разрушения материалов на уровне разрыва их внутренних связей. В понятие “контур” входили связи гравитационные, электро-магнитные, сильного и слабого взаимодействий, которые все одновременно и совместно сопротивлялись силовым на них воздействиям. Какую реакцию нагружению оказывала каждая из перечисленных связей, классическая теория не обосновывает. Поэтому результаты работы машин, созданных по этой теории не дали принципиальных улучшений их ПГУ. Дифференцированное изучение влияния каждой внутренней связи материала на процесс его разрушения открыло новые возможности существенного совершенствования производственных технологий добычи и переработки материалов.

В разделе 1 обоснован выбор нагружения перечисленных связей обрабатываемого материала. Нагружение всех связей вызывает большие сопротивления разрушению, ПГУ приобретают не оптимальные значения. Технология производства усложняется, экономические показатели ухудшаются. Одним из направлений совершенствования процесса обработки материалов является воздействие нагрузок на одну из четырёх его внутренних связей. Существующие теории прочности, в том числе и “теория контуров” не выделяют одного вида основной связи, разрывом которой ограничивалась бы обработка материала. Они рассматривали нагружение всех внутренних связей материала одновременно. Такое решение задач прочности материалов соответствует решённым отсталым технологиям в отраслях промышленности. Однако, требования совершенствования технологий указывают на необходимость выборочного воздействия на внутренние связи. В случае сохранения свойств обрабатываемого материала целесообразно воздействовать на электромагнитные связи. Для этого предлагаются специальные технологии, энергетическая основа которых соответствует дифференциации способов и средств разрушения.

Появилась возможность уточнить механизм разрушения по классической теории контуров, добавив в неё новые положения фундаментальных теорий с учетом энергетических уровней обрабатываемого материала. Для этого воспользуемся энергетической схемой КА (рис 2.3). Из трёх видов энергий КА непосредственное участие в обработке материалов принимают полезно используемые обратимая (блок 1) и необратимая (блок 2) энергии. Необратимая энергия исполнительного органа машины передает через его рабочие инструменты кинетическую энергию обрабатываемому материалу. Она преобразуется в кинетическую энергию движения его частиц в зоне контакта с ним инструмента. Под ее воздействием образуется уплотненное ядро, состоящее из мелких частиц материала с большой суммарной вновь образованной раскрытием микротрещин поверхностью. На его образование рас-

ходуется основная часть кинетической энергии исполнительного органа до момента появления в вершине ядра макротрещины. Это дает право считать энерговооруженность и сопротивляемость материала на первом этапе разрушения пропорциональной кинетической энергии исполнительного органа. Она в неизвестных соотношениях распределяется между всеми видами внутренних связей материала. Помимо этого существующие технологии разрушения ещё не предусматривают направление энергии разрушения на выбранный вид связи. В этом направлении работы только начинаются. Они должны привести в соответствие технологии нагружения различных внутренних связей материалов с теоретическими обоснованиями целенаправленных нагружений конкретно выбранной внутренней связи. Для этого понадобятся новые технологии обработки определённых внутренних связей материала, предназначенными для этих условий специальными излучателями энергии. Теоретически обоснование такого нагружения внутренних электромагнитных связей материала приводится в настоящем разделе применительно предложенным технологиям бурения и интенсификации добычи нефти с использованием интерпретационного моделирования.

Раскрытие магистральных трещин при бурении скважин и особенно при разрыве продуктивного пласта имеет свои отличительные особенности. В нем принимает участие полезно используемая обратимая внутренняя энергия обрабатываемого материала (блок 1, рис. 2.3.). Она формируется из внутренних энергий: свободной, электромагнитных и гравитационных связей. Суммарное значение этих энергий определяется по интенсивности излучения внутренней энергии из активного вещества вершины трещины обрабатываемого материала. Они снижают прочность материала обратно пропорционально этой энергии. Все виды энергий — кинетическая, потенциальная внешнего поля сил и обратимая внутренняя энергии обрабатываемого материала являются ответственными за возникновение в нем рассеянной энергии. Взаимодействие электромагнитной связи с этими энергиями будем называть *прочностью обрабатываемого материала на разрыв*. В зависимости от видов энергий нагружения она представляется интерпретационной моделью:

$$\sigma_p \equiv K \cdot \frac{E_k \cdot E_p}{E_g}, \quad (4.129)$$

где: K — коэффициент пропорциональности; E_k — кинетическая энергия исполнительного органа машины; E_g — обратимая внутренняя энергия электромагнитных связей обрабатываемого материала; E_p — рассеянная энергия в обрабатываемом материале.

Уравнение (4.129) раскрывает особенности разрушения электромагнитных связей с использованием универсальных характеристик процесса — уровней энергий.

Нахождение входящих в него энергетических параметров связано с использованием классических и фундаментальных теорий, что соответствует структуре взаимосвязей теорий обработки материалов (рис. 1.1). Математическое моделирование этих параметров выполнено в последующем изложении настоящего раздела.

Движение частиц (молекул) обрабатываемого материала при нагружении его кинетической энергией исполнительного органа определяется их массой, скоростью и перемещениями друг относительно друга. Сопротивляемость раскрытию микротрещин в ядре уплотнения при механическом разрушении с учетом необратимой кинетической энергии представлена в развернутом её виде уравнением:

$$\sigma_p = \frac{m \cdot v^2 \cdot E_p}{\delta_k \cdot d^2 \cdot E_s} \cdot K, \quad (4.130)$$

где: m – масса молекулы породы; v – скорость ее движения; δ_k – максимальное расстояние между молекулами, при котором происходит разрыв между ними электромагнитных связей; d – расстояние между молекулами в равновесном состоянии; K – коэффициент пропорциональности.

Для нахождения δ_k воспользуемся стационарным уравнением Шредингера:

$$-\frac{h^2}{2 \cdot m} \cdot \nabla^2 \cdot \psi(x; t) + E(x) \cdot \psi(x; t) = i \cdot h \cdot \frac{\partial}{\partial t} \cdot \psi(x; t). \quad (4.131)$$

После преобразования оно примет вид [10]:

$$\Delta \psi + \frac{2 \cdot m}{h^2} \cdot (w - u) \cdot \psi = 0, \quad (4.132)$$

где: ψ – волновая функция; w – полная энергия молекулы; u – потенциальная энергия молекулы.

При разрыве связей между молекулами $u=0$ и (4.132) запишется:

$$\Delta \psi + \frac{2 \cdot m}{h^2} \cdot w \cdot \psi = 0. \quad (4.133)$$

Обозначим:

$$\frac{2 \cdot m}{h^2} \cdot w = \beta^2, \quad (4.134)$$

где: β – волновое число плоской монохроматической волны де Бройля.

Тогда:

$$\Delta \psi + \beta^2 \cdot \psi = 0. \quad (4.135)$$

При условии расхождения молекул по оси x ($y = z = 0$) получим:

$$\psi'' + \beta^2 \cdot \psi = 0. \quad (4.136)$$

Решением этого уравнения будет:

$$\psi = \cos(\beta \cdot x) + i \cdot \sin(\beta \cdot x). \quad (4.137)$$

Квадрат волновой функции определяет вероятность обнаружения молекулы в заданном участке массива, где образуется трещина:

$$|\psi|^2 = \psi \cdot \psi^*, \quad (4.138)$$

где: $\psi^* = \cos(\beta x) - i \sin(\beta x)$ — функция комплексно сопряженная с ψ .

Тогда

$$|\psi|^2 = \cos^2(\beta x) + \sin^2(\beta x). \quad (4.139)$$

Вероятность того, что молекула находится на участке $(-d; d)$ равна единице.

$$\int_{-d}^d |\psi| dx = 1. \quad (4.140)$$

Подставим (4.139) в (4.140), получим:

$$\int_{-d}^d (\cos^2(\beta x) + \sin^2(\beta x)) dx = 1. \quad (4.141)$$

Решением (4.141) будет:

$$2d = 1. \quad (4.142)$$

Отсюда:

$$\delta_k = 2d. \quad (4.143)$$

Следовательно, двойное расстояние между молекулами является критическим, при нём нарушаются между ними электромагнитные связи. В этом случае начинается образование макротрещины в массиве горной породы. Значение $\delta_k = 2d$ является максимальным. Оно может уменьшаться с увеличением приобретаемой молекулой w . В этом случае изменяется волновое число плоской монохроматической функции де Бройля β , которая уменьшает критическое расстояние между молекулами. С учетом (4.143), (4.130) примет вид:

$$\sigma_p = \frac{m \cdot h^2 \cdot \nu^2 \cdot E_p}{2 \cdot d^3 \cdot p^2 \cdot E_b} \cdot K, \quad (4.144)$$

где: n — частота колебаний молекулы; p — ее импульс.

Рассмотрение (4.133) и (4.139) указывает на зависимость вероятности критического удаления молекул друг от друга в момент разрыва между ними электромагнитных связей от полной энергии молекулы w в период приложения к ней внешней нагрузки. С ростом этой нагрузки расстояние между молекулами, при котором происходит разрыв электромагнитных связей, уменьшается, а сопротивление разрушению в соответствии (4.144) растёт. Использование кинетической необратимой энергии для разрушения горных пород сопровождается образованием ядра уплотнения перед передней гранью инструмента. В этот период нагружаются почти все внутренние связи породы. Поэтому сопротивление разрушению приобретает большое значение. Снизить его возможно применением новой технологии разрушения, при которой энергия на образование ядра уменьшается, а в процессе отделения стружки превалирует образование макротрещин.

Из распространённого в настоящее время способа технологического разрушения видно, что интегральное воздействие на все виды внутренних связей является одной из существенных причин расхода большого количества энергии на образование ядра уплотнения. Устраняется этот недостаток нагружением одной электромагнитной внутренней связи материала заданным видом энергии. В последнем случае необратимая кинетическая энергия в существующем виде перестаёт быть основным источником нагружения, она преобразуется или заменяется другими источниками энергии. Способствует решению этой задачи уравнение (4.144), которое указывает на необходимость разработки исполнительного органа машины, излучающей большие импульсы P с низкими частотами их воздействия ν .

Активное вещество вершины трещины под действием внешней нагрузки исполнительного органа поглощает часть его энергии. Молекулы на противоположных берегах трещины удаляются друг от друга, занимая более высокие уровни энергий. В результате происходит разрыв связей с излучением трансформированной обратимой внешней энергии исполнительного органа и внутренней потенциальной активного вещества. Обратимая внешняя энергия исполнительного органа инициирует излучение обратимой потенциальной энергии связей между молекулами материала. Активное вещество вершины трещины выполняет роль поглотителя полезных энергий блоков 1 и 2 энергетической схемы КА, трансформатора их модуляционных характеристик излучателя фотонов, фононов и совместных и одновременных фонотонных потоков энергий в близком к резонансному режиму

собственных колебаний обрабатываемого материала. Таким образом, в активном веществе происходят процессы поглощения, трансформации и излучения основных производительных видов энергии КА. Точное математическое описание излучения и поглощения энергии в этом случае пока практически невозможно. Поэтому решить технические задачи обработки материалов в такой ситуации поможет фундаментальная теория, находящаяся в согласии с принципами специальной теории относительности. В этом случае вывод уравнений, описывающих сопротивления материалов разрушению, даёт практические предсказания для нахождения основных параметров на проектирование КА. При изучении влияния внутренней обратимой энергии материала на эффективность его обработки принято её излучение из вершины трещины в данном материале.

Для внешнего наблюдателя трещина в практически бесконечном по размерам объёме массива является поверхностью абсолютно чёрного тела. В рамках классической физики его излучение энергии познать невозможно. Поэтому воспользуемся фундаментальной теорией излучения черного тела. Задача состоит в том, чтобы получить математический аналог излучаемой из активного вещества вершины трещины энергии как функции частоты (или длины волны) и температуры. Интенсивность излучения пропорциональна плотности энергии внутри активного вещества, она подсчитывается по формуле Планка:

$$\rho = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (4.145)$$

где: ρ – интенсивность излучения энергии (количество энергии за единицу времени с единицы поверхности активного вещества в единичном интервале длины волны).

Расчет излучаемой энергии активным веществом сводится к нахождению его поверхности S , умножению её на плотность (интенсивность) излучаемой энергии и длительность раскрытия трещины t :

$$E_e = \rho \cdot S \cdot t. \quad (4.146)$$

Активное вещество представляет собой часть вершины трещины размещенной между парными молекулами на противоположных её берегах в интервале между молекулами, у которых разорваны электромагнитные связи, и молекулами её вершины. Объему активного вещества вершины трещины, представлен для упрощения расчета, усеченной пирамидой с высотой, равной постоянной ЛПД - D . В ней сосредоточена искомая равновесная энергия. Её величина поглощённая активным веществом вершины трещины равна энергии испущенной её стенками в период перемещения уровней энергий. Для её нахождения воспользуемся аналогией

колебания молекулы с колебаниями маятника. Оно затухающее по экспоненциальному закону:

$$d = 2 \cdot d \cdot e^{-\frac{t}{2\tau}}, \quad (4.147)$$

где: $d \cong 3 \cdot 10^{-5}$ мм — расстояние между молекулами; t — длительность раскрытия трещины на постоянную ЛПД; $\tau = 10^{-8}$ с — время жизни молекулы на высоком энергетическом уровне.

Решая (4.147) относительно t , получим времена раскрытия трещины в период её раскрытия на постоянную ЛПД:

$$t = 2 \cdot \tau \cdot \frac{\ln 2}{\ln e} = 2 \cdot 10^{-8} \cdot 0.7 = 1.4 \cdot 10^{-8}, \text{ с.}$$

При распространении трещины со скоростью звука в нефтеносной породе $\alpha = 500 \dots 1000$ м/с получим постоянную ЛПД:

$$D = t \cdot \alpha = 1.4 \cdot 10^{-8} \cdot (500 \dots 1000) = 0.007 \dots 0.014 \text{ мм.}$$

Площадь излучающей поверхности активного вещества вершины трещины найдем из выражения

$$S = 2 \cdot b \cdot D, \quad (4.148)$$

где: b — ширина инструмента. Тогда энергия, излучаемая активным веществом трещины, определится уравнением:

$$E_{\epsilon} = \frac{2.24 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3 \cdot 10^8} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \cdot b \cdot D. \quad (4.149)$$

Уравнение (4.149) указывает на возможность управления энергией излучения частотами колебаний пакетов энергий активного вещества вершины трещины и его температурой. Взаимосвязь (4.149) с внутренними связями обрабатываемого материала наиболее продуктивна, она, в основном, нагружает электромагнитные связи вещества; способствуют этому частоты колебаний фотонных потоков энергии в кубической зависимости. Эти частоты близки к резонансным частотам электромагнитных связей. Длительность раскрытия трещины определяет её длину и характеризует дилатансию пород.

Практиков может интересовать полнота учета особенностей излучения внутренней энергии обрабатываемого материала. В этом случае необходимо принимать во внимание, что нет экспериментальных данных, которые бы противоречили полученной зависимости (4.149), но существует большое число успешных предложений, которые обосновывают свойства связей между частицами вещества, электро-

магнитного излучения и вещества в целом. Это позволяет считать модель (4.149) истинной для качественного познания изучаемого процесса. Практическое применение (4.149) вызывает расчётные трудности для нахождения s_p . Поэтому заменим в нем значение ρ в соответствии с [10]. Оно дает полную мощность излучения с одного квадратного метра активного вещества вершины трещины:

$$\rho = 6,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4, \text{Вт/м}^2. \quad (4.150)$$

Эта формула выражает так называемый закон Стефана-Больцмана для полного излучения; она согласуется с экспериментом как в отношении пропорциональности T^4 , так и по значению константы [10], тогда (4.149) с учетом (4.150) запишется:

$$E_g = 7.93 \cdot 10^{-16} \cdot T^4 \cdot b \cdot D. \quad (4.151)$$

Поскольку излучение исходящее из щели в полости является излучением чёрного тела, то оно отражает истинное состояние нагруженности внутренних связей обрабатываемого материала. Раскрытие трещины сопровождается необратимым рассеянием энергии активного вещества её вершины. На рис. 4.14 начальное значение

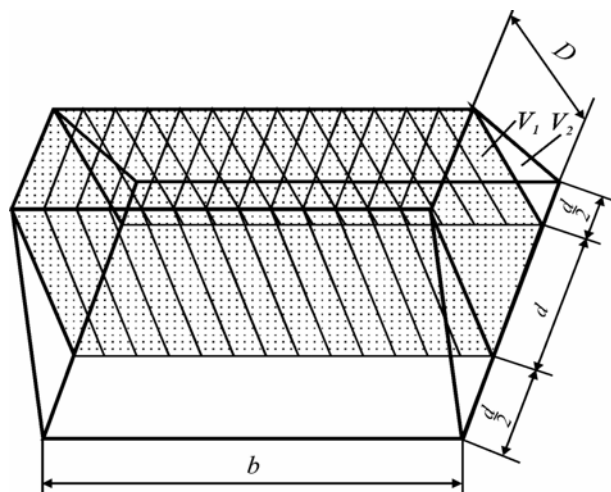


Рис. 4.14. Форма активного вещества вершины трещины

V_1 – начальный объём активного вещества;
 V_2 – конечный объём активного вещества;
 b – ширина рабочего инструмента; d – начальное расстояние между молекулами на берегах трещины; $\frac{d}{2}$ – приращение расстояния d до разрыва электромагнитных связей

объема активного вещества заштриховано и обозначено V_1 , а максимальное – V_2 .

Под нагрузкой активное вещество поглощает энергию, переводя его молекулы на более высокие энергетические уровни, часть ее отводится посредством излучения в массив. Она сопровождается пластическими деформациями, внутренним трением, теплопроводностью, диффузией, дросселированием, и процессами протекающими медленнее времени установления статистически равновесных состояний. К последним относятся химические реакции. Рассеяние энергии при увеличении объёма активного вещества вершины трещины характе-

ризуется повышением временного сопротивления разрыву обрабатываемого материала. Поэтому значение рассеянной энергии ставится в числителе математической модели (4.129), она определяется для изотермического изменения состояния трещины уравнением:

$$E_p = M \cdot R \cdot T_{abc} \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (4.152)$$

где: M — масса активного вещества; R — газовая постоянная.

Значение $\frac{V_2}{V_1}$ найдем из формы активного вещества вершины трещины, приведенной на рис. 4.14:

$$V_2 = \frac{3}{2} \cdot D \cdot b \cdot d, \quad (4.153)$$

$$V_1 = b \cdot d \cdot D, \quad (4.154)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{3}{2}. \quad (4.155)$$

С учетом (4.155) (4.152) запишется в виде:

$$E_p = 0.41 \cdot M \cdot R \cdot T_{abc}, \quad (4.156)$$

или

$$E_p = S \cdot T_{abc}, \quad (4.157)$$

где: $S = M \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = 0.41 \cdot M \cdot R$ — энтропия.

Чем энтропия, характеризующая необратимые процессы выше, тем больше рассеянная энергия, что вызывает рост сопротивления разрушению. В этом случае уменьшается значение полезной обратимой внутренней энергии материала, излучение которой воздействует на электромагнитные связи между молекулами обрабатываемого материала.

Математический аналог (4.129) дает лишь общую энергетическую интерпретацию сопротивляемости разрыву материала в вершине трещины. В ней обоснована зависимость σ_p от необратимой кинетической E_k , обратимой внутренней E_e и рассеянной E_p энергий. Все они, как объективно существующее в технологическом процессе, оценены по своим значимостям и математически выражены в модели с помощью соответствующих теорий. Их участие в формировании показателя

сопротивляемости материалов разрушению раскрывает сущность явлений, описанных классической теорией контуров, промышленная проверка которой [4,38,46] дала положительные результаты. В этой теории контур, оказывающий сопротивление разрыву, не материализован, а его характеристики отражают эмпирические показатели, взятые из классических теорий упругости и пластичности. Такое состояние в теории обработки материалов несмотря на ее преимущество по сравнению с ранее разработанными теориями, не даёт возможности существенно улучшить состояние знаний в этой области. В результате современные КА не отвечают энергосберегающим и экологическим требованиям. Они, как и другие предприятия затрачивают на добычу и переработку около $\frac{2}{3}$ выделяемых ими энергетических ресурсов. Такая энергетическая перенасыщенность технологических процессов недопустима в существующих экологических условиях.

Устранение этих недостатков способствует, например, взаимосвязи классического и фундаментального обоснования основных параметров обработки. Наиболее представительным из них принят показатель сопротивляемости разрыву электромагнитных связей между частицами (молекулами) материала. Классическим его расчётом достигается экспериментальная проверка искомого показателя по данным теорий, освоенных наукой и производством. Фундаментальные решения раскрывают дополнительную часть многообразия изучаемых явлений. Часть из них пока не может претендовать на полный охват взаимодействий микрочастиц материала. Поэтому результаты решений фундаментальными теориями процессов обработки материалов в промышленной технологии не дают точных результатов. Но это не в коей мере не должно быть причиной отказа использовать фундаментальные теории в совершенствовании КА. Положительным примером в этом отношении является полнокретиальный метод создания КА. Производственные граничные условия этого метода оцениваются классическими и фундаментальными теориями. Их взаимосвязь обеспечивает создание новых эффективных конструкций машин и технологий эксплуатации. Формированию фундаментальных моделей сопротивляемости материалов раскрытию трещин свойственны трудности доведения теоретических исследований до практического использования их в промышленности. Компромиссным решением в данном случае является её взаимосвязь с классическими моделями, которые на определенных этапах совершенствования производства обогащаются новыми, ранее неизвестными параметрами внутренних энергий взаимодействий связей обрабатываемого материала. Фундаментальные модели чаще раскрывают существо содержания новых явлений, а классические совместно с фундаментальными ускоряют реализацию практического использования достижений науки в производственной деятельности человека. Первым моделям присуща больше качественная оценка явлений, а вторым их количественная интерпретация. Математическая модель сопротивляемости обрабатываемого материала разрушению выполняется на основе уровней энергий. Поэтому она наиболее

полно отражает физические особенности раскрытия трещины. Ее формирование выполним подстановкой полученных значений E_k , E_θ и E_p в уравнение (4.129)

$$\sigma_p = 1.8 \cdot 10^6 \cdot \frac{m \cdot h^2 \cdot v^2 \cdot M \cdot R}{d^3 \cdot D \cdot p^2 \cdot t \cdot T_{abc}^3} \cdot K. \quad (4.158)$$

Как видно σ_p зависит от характеристик обрабатываемых материалов. Оно имеет четыре переменных параметра v , T_{abc} , ρ и t , с помощью которых можно управлять значением σ_p , а следовательно и режимом обработки материала. Важным условием формирования математической модели разрыва материала трещиной является необходимость учёта: энергий которые принимают участие в раскрытии трещины; внутренних связей материала, на которые воздействуют энергии при раскрытии трещины; технологические особенности эксплуатации машин, которые определяются действующими энергиями и внутренними связями обрабатываемого материала. Выполнение этих условий обеспечивает теоретическую обоснованность предлагаемых технических решений.

Промышленные способы обработки материалов связаны с разрывом электромагнитных связей между их частицами. К ним относятся разрушение угля пород; очистка различных поверхностей, в том числе емкостей и труб, от загрязняющих налипаний, разрыв продуктивного пласта макротрещинами, рыхление его микротрещинами, отделение нефти, угля от газа и свободной воды, а также крекинг и другие способы обработки в нефтяной и угольной промышленности. Всё разнообразие этих способов связано общим показателем энергии, направляемой на изменение её уровней связей между частицами обрабатываемого материала. Такое очевидное толкование в осознании физической сущности различных технологических процессов позволяет упростить их понимание, дать им качественную оценку и наметить совершенствование в производственных условиях. Существенную помощь в этом направлении оказывает моделирование сопротивляемости разрыву междумолекулярных связей в активном веществе вершины трещины (4.129). Для каждого из перечисленных основных способов обработки материалов это уравнение с учетом специфических их особенностей отражает интерпретационные представления функционирования КА. От него не требуется получения точных количественных значений параметров всего многообразия технологии, но оно в ясной обоснованной форме качественно отражает влияние на них основных характеристик процесса. Математическое описание интерпретационной моделью раскрытия трещины дает, например, обоснование интенсификации нефтеотдачи продуктивного пласта. Действительно, ещё нет четкого научного обоснования достижения необходимой его трещиноватости, повышающей дебит скважин. Механические вибраторы и взрывы чаще создают макротрещины, которые без непрерывной подпитки энергией, или специальных средств крепления захлопываются, прекращая

течение нефти, воды и газа. Микротрещины в этих процессах, как правило, плохо развиваются из-за незначительной проникающей способности энергии колебаний в пласт. Поэтому поглощение энергии пластом и разрыхление его микротрещинами незначительны, микропоры и микротрещины остаются изолированными друг от друга, не обеспечивая фильтрацию. При больших частотах нагружения поглощение энергии пластом увеличивается, в нем развиваются макро и микротрещины одновременно, повышая его проницаемость. Увеличение частот колебаний достигаются в нашей работе кавитацией и ультразвуковыми излучателями энергии, они обеспечивают устойчивую продуктивность пласта. Это подтверждается следующими положениями. Выражение для длины волны в нерелятивистском приближении

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}, \quad (4.159)$$

согласуется с идеей де Бройля о существовании волн материи. Для ударных и взрывных нагружений эта идея не обеспечивает эффективного нагружения материала, как можно предположить согласно макроскопической физике. Допустим, что масса ударника равна 100 г и она движется со скоростью 1 м/с. В этом случае по нерелятивистскому приближению длина волны де Бройля составит $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-27}$ м. Из этого видно, что волны материи в макроскопических явлениях практически не проявляются. Следовательно и молекулярно-волновые процессы при взаимодействии макроскопических тел, таких как взрывные заряды, ударник и порода, без специальных преобразований проявляются незначительно. В местах контактов нагружателей с забоем устья трещин закупориваются деформированной породой уплотнённого ядра. Рассмотренные недостатки устраняются комбинированным молекулярно-волновым воздействием на продуктивный пласт механических, физических и химических нагрузок. Реализация таких воздействий правомерна и для других, перечисленных ранее, технологических процессов. Она, как видно из (4.158) наиболее эффективно протекает с ростом импульса нагружения P и температуры $T_{абс}$. Полное эффективное сечение материала обратно пропорционально квадрату импульса напряжения, его изменение даёт важную информацию о взаимодействии между сталкивающимися частицами, о рассеянии как результата взаимодействия волн с волнами. Волновой импульс в этом случае рассеивает энергию электромагнитных связей материала, снижая его сопротивление разрушению. С ростом температуры обрабатываемого материала увеличивается амплитуда колебаний молекул и расстояние между ними, что приведёт к большей вероятности разрыва электромагнитных связей с ростом температуры в кубической зависимости. Сложное воздействие на материал оказывают частоты нагружения. По мере приближения этих частот и значений собственных частот колебаний связей материала они теряют устойчивость и рвутся. Это свидетельствует о целесообразности обработки материалов резонансными частотами нагружений.

Тяжелая промышленность отличается уникальностью, большой масштабностью объектов исследований и промышленных созиданий человечества. На это оно затрачивает колоссальные объемы энергии, связанные с материальными убытками общества. Примером таких процессов является обработка материалов. К ним относятся разрушение горных пород при бурении нефтяных скважин, разрыве продуктивных пластов, их транспортирование, очистка труб от смоло-парафинистых отложений и другие процессы. На их выполнение полезно используется всего лишь около 5% затрачиваемой на производство энергии, в то время как предприятия, работающие на готовых энергоносителях, теряют почти на порядок меньше энергии. Попытки существенно повысить коэффициент полезного действия обработки материалов пока не дали нужных результатов. Устранение этого недостатка вызывает необходимость новых энергосберегающих научных концепций на основе моделирования ранее неизвестных явлений и процессов в промышленности с использованием различных теорий и практических данных.

Моделирование теории контуров позволило применить классические теории упругости и пластичности для точного нахождения параметров разрушения горных пород, существующими механическими способами. Но оно не вскрыло причин и не дало новых решений для существенного увеличения КПД разрушения. Выполнено интерпретационное моделирование, которое отличается самодостаточностью, в него на основе уровней энергий включены основные энергетические характеристики, влияющие на прочность обрабатываемого материала. Это позволило найти новые параметры, от которых зависит процесс обработки. Однако, расчеты по этой модели не совпадают с практическими данными прочности материалов. Из этого следует, что интерпретационная модель должна пополняться новыми физическими принципами и техническими решениями, или освобождаться от ошибочных, для раскрытия смысла практической задачи. Процесс интерпретации остаётся полезным важным не только для автора модели, но и специалистам в этой области, так как она включает в себя общепризнанные уровни энергий обрабатываемого материала с использованием теории относительности.

Одной из составляющих интерпретационной модели является внутренняя энергия этого материала, изучение влияние которой на сопротивляемость его разрыву только начинается. Известна установка, потребляющая от сети 10 кВт, выдаёт горячей воды на 200 кВт. Дополнительная энергия в данном случае трансформируется из внутренней энергии воды. Излучение и поглощение внутренней энергии с одного её уровня на другой описал почти 100 лет назад А. Эйнштейн. Его вероятностные коэффициенты спонтанного и индуцированного излучений и вынужденного поглощения всё ещё не находят практического применения в промышленности. Несмотря на кажущуюся простоту, они остаются труднодоступными для математического моделирования и полезного использования в промышленных процессах.

Обобщение возможностей получения нетрадиционных источников энергии рассмотрим на примере вероятности обратимой внутренней энергии разрываемого материала по интерпретационной модели. Среди всех видов энергий, расходуемых на обработку материалов, основное место занимает электрическая энергия. В экономически развитых странах она удваивается в каждые десять лет, что ставит под сомнение использование нынешних электромашин и линий электропередачи. До сих пор большая часть энергии при сжигании топлива безвозвратно теряется, не совершая полезной работы. Поэтому неотвратно падают запасы топлива, особенно, нефти и газа. Вот почему приходится интенсивно искать новые источники энергии для обработки материалов и новые технические средства её реализации. В качестве такого источника нами выбрана обратимая внутренняя энергия обрабатываемого материала, которая описывается квантовой физикой в чёрном теле. С энергетической точки зрения оно эквивалентно излучению системы бесконечно большого числа не взаимодействующих друг с другом гармонических осцилляторов, называемых радиационными осцилляторами. Методом ВКБ уровень энергии $(n+1)$ -ого стационарного состояния гармонического осциллятора находится из уравнения:

$$E_n = (n + \frac{1}{2})h\nu,$$

где: $n=0,1,2,3$ – любое целое не отрицательное число.

Уравнения движения многих, внешне непохожих физических систем формально эквивалентны уравнениям движения системы гармонических осцилляторов. К таким системам относятся большинство материалов КА, активные вещества вершины трещин, молекулы, имеющие колебательные степени свободы, свойства которых описываются теорией гармонического осциллятора. Энергия стационарного состояния молекулы является суммой трёх энергий – электронной, колебательной и вращательной. Переходы между различными уравнениями энергии, сопровождаются испусканием или поглощением фотонов этих трёх энергий. Волновые уравнения их излучений или поглощения дают возможность предсказать экспериментально наблюдаемые явления. Получение таких волновых уравнений и извлечение из них экспериментальных предсказаний является задачей квантовой теории поля, которая претендует быть фундаментальной теорией элементарных частиц [10]. Понимая трудности раскрытия процессов обработки материалов, в их основу положено интерпретационное моделирование существующих в любой физической системе уравнений энергий, имеющих квантово-механическое объяснение. Умение управлять ими открывает возможности полезного её использования в технологии обработки электромагнитных связей между молекулами вещества.

Рассмотрим полезное использование внутренней энергии материала при механической его обработке. Она включает в себя внешнее нагружение материала, поглощение энергии нагружения, спонтанные и индуцированные излучения обратной внутренней энергии активным веществам вершины трещины и поглощение этой энергии электромагнитами связями соседних молекул. Разделение излучений второго этапа обработки на спонтанное и индуцированное определяет их количественное соотношение и качество преобразованных энергий. При внешнем воздействии на электромагнитные связи между молекулами можно получить индуцированное излучение большого числа фотонов за малый промежуток времени, которое обладает когерентностью, мощностью и узкой направленностью в электричестве вокруг вершины трещины. Это приводит к элементарным цепным разрывам электромагнитных связей между молекулами активного вещества вершины трещины на участке ЛПД. Эти два излучения являются активными составляющими внутренней энергии. От их соотношения зависит эффективность передачи внутренней энергии материала процессу его обработки. Поэтому необходимы знание и умение влиять на соотношение индуцированной и спонтанной обратимых внутренних энергий для уменьшения энергозатрат и повышения производительности обработки материалов КА.

Согласно постулатам Эйнштейна вероятность спонтанного испускания, или коэффициент Эйнштейна для спонтанного испускания:

$$A_{ik} = \frac{Z_{ik}^c}{n_i}, \quad (4.160)$$

где: Z_{ik}^c — число спонтанных переходов в единицу времени в единице объема с верхнего уровня E_i на нижний E_k ; n_i — количество частиц на исходном уровне.

В случае вынужденного излучения число излучённых одной частицей в единицу времени фотонов с энергией $E = E_i - E_k$, отнесённых к плотности излучения, или коэффициент Эйнштейна для вынужденного излучения:

$$B_{ik} = \frac{1}{\rho} \frac{Z_{ik}^e}{n_i}, \quad (4.16)$$

где: Z_{ik}^e — число фотонов вынужденно испускаемых за единицу времени ансамблем частиц единичного объёма при переходе с верхнего уровня E_i на нижний уровень E_k под воздействием внешнего излучения плотности ρ пропорционально n_i и ρ .

Поглощение является вынужденным процессом, оно зависит от плотности падающего излучения ρ на одной частоте или энергии фотонов в единице объёма. Эйнштейновский коэффициент поглощения запишется:

$$B_{ki} = \frac{1}{\rho} \frac{Z_{ki}^n}{n_k}, \quad (4.162)$$

где: Z_{ki}^n — число фотонов вынужденно поглощённых ансамблем частиц в единице объёма за единицу времени пропорциональное населённости исходного нижнего уровня E_k и плотности излучения ρ .

Спонтанное излучение происходит в разных направлениях, а вынужденное — в направлении распространения падающего на частицу излучения с резонансной частотой колебаний. Поэтому технологический процесс обработки с максимальным использованием обратимой внутренней энергии материалов следует проводить при больших значениях B_{ik} по сравнению с A_{ik} . Для количественного и качественного обоснования этого утверждения рассмотрим связь между коэффициентами Эйнштейна. Для принципа детального равновесия из (4.160-4.162), находим, используя интерпретационное моделирование:

$$B_{ki} n_k \rho = (A_{ik} + B_{ik} \rho) n_i. \quad (4.163)$$

Откуда:

$$\rho = \frac{A_{ik}}{B_{ki} \left(\frac{n_k}{n_i} \right) - B_{ik}}. \quad (4.164)$$

Согласно распределению Больцмана:

$$\frac{n_k}{n_i} = \frac{g_k}{g_i} e^{\frac{h\nu_{ik}}{kT}}, \quad (4.165)$$

где: g_k и g_i — статистические веса, характеризующие число возможных состояний с энергиями E_k и E_i .

При $T \rightarrow \infty$ $\rho \rightarrow \infty$, что соответствует формуле Планка. Следовательно:

$$g_k B_{ki} = g_i B_{ik}. \quad (4.166)$$

При отсутствии вырождения уровней i и k

$$B_{ki} = B_{ik}. \quad (4.167)$$

С учётом (4.167) формула (4.164) примет вид:

$$\rho = \frac{A_{ik}}{B_{ki} (e^{\frac{h\nu_{ik}}{kT}} - 1)} \quad (4.168)$$

Сопоставляя (4.168) с формулой Планка:

$$\rho = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3 (e^{\frac{h\nu_{ik}}{kT}} - 1)}, \quad (4.169)$$

получим соотношения между A_{ik} ; B_{ik} и B_{ki} :

$$A_{ik} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{ik}; \quad (4.170)$$

$$A_{ik} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{n_k}{n_i} \frac{1}{e^{\frac{h\nu_{ik}}{kT}}} B_{ki}. \quad (4.171)$$

Уравнение (4.171) указывает на возможности снижения малоэффективного спонтанного излучения A_{ik} и увеличения B_{ik} и B_{ki} . Параметрами для такого изменения соотношений A_{ik} ; B_{ik} и B_{ki} являются: T , n_i и n_k . Действительно, с повышением температуры обрабатываемого материала A_{ik} уменьшается, а B_{ik} и B_{ki} увеличиваются, что свидетельствует о росте обратимой внутренней энергии материала, принимающей непосредственное участие в его обработке. Существующие технические средства позволяют повысить населённость верхнего уровня n_i и снизить нижнего уровня n_k . Нагружение верхнего уровня частотами ν_{ik} близкими к резонансным колебаниям частиц этого уровня существенно снизит A_{ik} и соответственно повысит B_{ki} .

Совместный анализ (4.158), (4.170) и (4.171) раскрыл физический смысл коэффициента пропорциональности K в уравнении (4.158) и способствовал интерпретационному моделированию машин с использованием обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала. Дальнейшая эволюция этих исследований повлекла за собой необходимость разработки квантово-механической теории контуров.

4.4. Квантово-механическая теория контуров

Попытки применить современные достижения квантово—механической теории пока не увенчались успехами из-за неумения претворить с помощью сложных математических изображений производственных процессов в реальные их способы и средства осуществления. Такой разрыв между наукой и практикой естественен, абстрактное мышление опережает возможности практики, которая длительное время отставала, а затем осваивала и внедряла в производство научные достижения. Подобную участь постигло и взаимоотношение квантово—механической теории с практикой освоения взаимодействий между элементарными частицами в обработке материалов. Элементарным частицам нельзя приписать такой внутренней структуры, которая была бы простым соединением других частиц. При взаимодействии с другими частицами и полями она ведёт себя как единое целое. При этом её структура рассматривается двояким образом как — бесструктурная и протяженная. Последняя, будучи единой, должна деформироваться, иначе окажутся возможными независимые движения отдельных частей её единого целого. Внешнее воздействие на протяженную элементарную частицу должно мгновенно передаваться от одних её частей к другим, что соответствует специальному принципу относительности Эйнштейна. В действительности существует одна максимальная скорость распространения нагружения со скоростью света C в вакууме она является универсальной постоянной и одинаковой во всех инерциальных системах, следовательно, и для материалов, подлежащих обработке. Поскольку в условиях принятого производства движение элементарных частиц протекает со скоростями меньшими C , то при построении математических моделей обработки материалов можно обоснованно отказаться от рассмотрения протяженных частиц.

Примем элементарные частицы, составляющие канонический ансамбль, бесструктурными, т.е. математическими точками, обладающими заданными свойствами: массой покоя, электромагнитным моментом и спином. Функционируют они в изотропном и однородном пространстве и времени — основной форме существования материи — приводят к законам сохранения. Влияние частиц друг на друга, проявляющееся в их притяжении или отталкивании, оценивается как виртуальный обмен частиц квантами поля, соответствующий данному процессу. Механизм взаимодействия частиц в настоящее время неизвестен [2, 11], а состояние науки вызывает необходимость отыскания новых теоретических предложений в обосновании эффективных способов и средств обработки материалов с использованием их обратимой внутренней энергии. Подвергнем теоретическому обоснованию комбинированные внешние нагружения в соответствии с методом создания способа квантово—механической обработки материалов (раздел 3), сокращенно названный КМСОМ.

Введение нового понятия квантово—механический контур (КМК), в отличие от молекулярной мембраны требует специальных пояснений. Общее представление КМК определяется не только объектом фазовых ячеек пространства обрабатываемого материала, но и ареной, на которой развиваются взаимодействия фотонных потоков с энергетическими уровнями гармонических осцилляторов вещества и молекулярных электронов в концентрированном магнитном поле. Часть внешнего потока проникает в пространство между соседними молекулами, не затрагивая их, а другая часть обтекает молекулы вещества, взаимодействуя, в основном, с энергетическими уровнями молекулярных электронов. Первая группа частиц внешнего потока высвобождает в концентрированном магнитном поле потенциальную внутреннюю обратимую энергию гармонических осцилляторов, а вторая — молекулярных электронов. Таким образом, все частицы внешнего потока, находящиеся в концентрированном магнитном поле, обрабатывают всю площадь КМК.

Энергия молекулы состоит из энергий её колебания, вращения и молекулярного электрона. Энергии колебаний и вращении молекул малы. Поэтому процесс нагружения должен выделять энергию из электронных уровней молекул с минимальными изменениями колебательного и вращательного режимов молекул обрабатываемого материала. Поэтому энергетические уровни осцилляторов и молекулярного электрона изменяются по

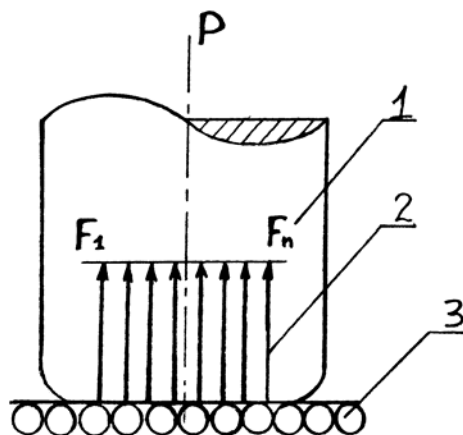


Рис.4.15. Схема нагружения пикой и реакций сопротивления молекулами молекулярной мембраны обрабатываемого материала:
1 – пика; 2 – $F_1, \dots, F_n$ – реакции сопротивлений нагружения P пикой;
3 – молекулярная мембрана

квантовым законам и в название контура обрабатываемого материала введен термин „квантово”. Изменения движения, колебаний и вращений молекул в КМК подчиняются законом классической механики. Поэтому в название контура введен термин „механический”. Такая терминология не только обеспечила существенное отличие от контуров и молекулярных мембран, но позволила перейти к разработке высоких технологий, принципиально отличающихся от существующих. Это отличие очевидно из сравнения нагружения молекулярной мембраны пикой (штампом) на рис. 4.15 и фотонным нагружением КМК на рис. 4.16.

В КМК содержится обратимая

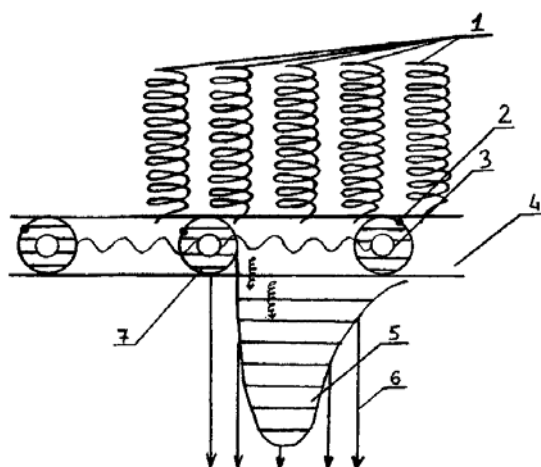


Рис. 4.16. Схема нагружения фотонным потоком КМК:

- 1–фотонный поток; 2–молекулярный электрон; 3–молекула; 4–КМК;
5–гармонический осциллятор;
6–концентрированное магнитное поле;
7–энергетические уровни молекулярного электрона

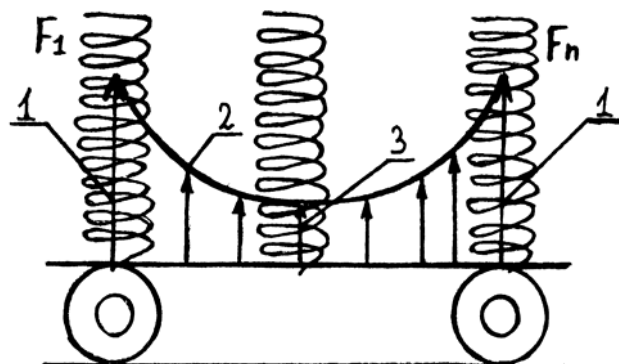


Рис. 4.17. Схема реакций сопротивления КМК фотонному нагружению:

- 1 – $F_1 \dots F_n$ – реакции молекул; 2 – реакции молекулярного электрона; 3 – реакции электромагнитной связи

внутренняя энергия обрабатываемого материала, которую необходимо использовать для его обработки. КМК представляет собой объем обрабатываемого материала, равный произведению площади контакта фотонно-магнитного нагружения на среднюю глубину фазовых ячеек энергетических уровней осцилляторов и молекулярных электронов.

Рис. 4.15 показывает, что все молекулы молекулярной мембраны оказывают большое сопротивление нагружению из-за их инерционности. Иное нагружение на КМК видно из рис. 4.16 и 4.17, где не все частицы фотонного потока внешнего излучателя в концентрированном магнитном поле взаимодействуют с молекулами. Это улучшает показатели ПГУ обработки.

Симультанное нагружение фотонного и магнитного потоков КМК выделяет из него резонансные кванты индуцированной энергии. Это приводит к цепной реакции разрывов уровней энергий молекулярного электрона и гармонических осцилляторов. Таким образом, достигается полезное использование обратимой внутренней энергии материалов при их обработке. Из рис. 4.16 понятно, что нагружение на КМК примет отличный вид и содержание, как показано на рис. 4.17.

Сравнение рис. 4.15 и 4.16 показывает значительное снижение реакций сопротивления проникновению фотонов в КМК. В этом состоит одно из принципиальных преимуществ предложенной нетрадиционной обратимой внутренней энергии материалов. Для ее получения потребовалось создание синергетического потока фотонов на уровне энергий гармонических осцилляторов и молекулярных электронов, трансформирование его из спонтанного в индуцированный концентрированным магнитным полем, который обеспечил цепное разрушение (самообработку) породы. В отличие от современных нетрадиционных энергий предлагаемая не нуждается в промежуточной модуляции для цепной реакции разрыва энергетических уровней КМК при бурении. Поэтому КПД процесса разрушения превышает достигнутые результаты примерно в десять раз, расширяет интеллектуальную среду страны, ее доктрину образования.

Разрушение и обработка материалов сопровождается трансформированием внешнего нагружения во внутренние энергии их излучения и поглощения.

В концентрированном магнитном поле фотоны движутся под действием силы Лоренца по спирали с радиусом r . Движения электрона по кривой с радиусом r представляет собой электрический ток:

$$i = \frac{e}{T} = \frac{e \cdot \varpi}{2\pi} \quad (4.172)$$

Площадь $S = \pi \cdot r^2$, обтекаемая током равносильна рамке с током. Она обладает магнитным моментом.

$$\mu = \frac{iS}{C} = \frac{e \varpi}{2\pi C} \cdot \pi r^2 = \frac{em_0 r^2 \varpi}{2m_0 C} = \frac{eM}{2m_0 C}, \quad (4.173)$$

где: M — орбитальный магнитный момент. Согласно квантовой механики орбитальный момент квантован [8]

$$|M| = \sqrt{i(i+1)}h, \quad (4.174)$$

следовательно и магнитный момент должен быть квантован

$$\mu = \frac{e\hbar}{2m_0 C} \sqrt{i(i+1)} = \mu_0 \sqrt{i(i+1)}, \quad (4.175)$$

где: $\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_0 C}$ — магнетон Бора, является единицей измерения магнитного мо-

мента электрона $\mu_0 = 0.921 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/мр.}$

Проекция магнитного момента на ось z концентрированного магнитного поля

$$\mu_z = \mu_0 m_i, \quad (4.176)$$

где: m_i — орбитальное магнитное квантовое число.

Частица с магнитным моментом в магнитном поле получает дополнительную энергию

$$\Delta E = -(\mu B) = \mu_0 m_i B \quad (4.177)$$

Эта энергия взаимодействует с энергией спина электрона на траектории (рис. 4.15). Без учета спина электрон силой Лоренца поворачивается вдоль направления концентрированного магнитного поля. Однако этому препятствует наличие у него механического момента M , который придаёт движению электрона подобное гироскопу. Возникающая при этом прецессия вносит изменения в траекторию движения и его энергетические характеристики. Их математическим моделированием ещё не занимались. Сложнее разработать строгие математические модели при воздействии на движение фотонных другими видами нагрузок. Решить такие задачи можно приближенно сведением их к более простым, допускающим строгое, точное решение, находя соответствующие поправки. Разработка приближенных решений, сведением их к более простым с учетом необходимых допущений и поправок входит в содержание теории возмущений, которая может быть использована для частиц с одинаковыми характеристиками, получившими движение от различных излучателей: плиты, вихревого потока, кавитационного пузырька, пьезо-керамической пластины, концентрированного магнитного поля, подогрева и других. Энергия каждого из потоков этих излучателей характеризуется и определяется одинаковыми частицами. Они имеют равные заряды, массу, спин, орбитальный магнитный момент. К ним относится электрон, состояние которого — траектория движения — математически не смоделировано в квантовой механике систем одинаковых частиц.

Невозможность различать частицы в квантовой механике по их состоянию привело к новому постулату — принципу тождественности: в системе одинаковых частиц осуществляются только такие состояния, которые не меняются при обмене одинаковыми частицами. Для обработки материалов с использованием их обратной внутренней энергии в концентрированном магнитном поле работают одинаковые частицы, они представляют тот инструмент, который внедряется в КМК без нагружения ядра молекул, входящих в этот контур. Сам процесс взаимодействия этих частиц с частицами уровней энергий осцилляторов контура и молекулярных электронов для различных способов первичного нагружения в концентрированном магнитном поле одинаков. Это даёт право разрабатывать теорию их взаимодействия на основе принципа тождественности.

Мера участия способов получения фотонных потоков в получении ПГУ оценивается по энергии, направленной каждым излучателем на КМК обрабатываемого материала. Тогда полезно используемая энергия обработки материала W_n запишется как сумма полезных энергий:

$$W_n = W_M + W_B + W_{TB} + W_{KM} + W_{BM}, \quad (4.178)$$

где: W_M — молота; W_B — вихреобразователя; W_{TB} — трубки Вентури; W_{KM} — концентрированного магнитного поля; W_{BM} — полезной обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала. В свою очередь:

$$W_M = W_{zy}, \quad (4.179)$$

где: W_{zy} — полезная энергия излучения пики гидромолота.

Последняя расходуется на трансформирование высокочастотных излучений плиты W_{nl} , пьезокерамики W_{nk} и колебания стенок ёмкости W_{ce} , содержащей обрабатываемый материал:

$$W_{zy} = W_{nl} + W_{nk} + W_{ce}. \quad (4.180)$$

С учётом (4.180) полезная энергия гидромолота будет:

$$W_M = W_{nl} + W_{nk} + W_{ce}. \quad (4.181)$$

Все слагаемые (4.181) содержат энергии фотонных потоков, они обрабатывают материал и высвобождают обратимую внутреннюю энергию его гармонических осцилляторов и молекулярных электронов. Математическое моделирование взаимодействия фотонных потоков всех этих видов нагружения тождественны. Теоретическое их описание ново и представляет не только арену творческой деятельности, но и большую научную и практическую ценность. Первоначальное получение энергий до трансформирования их в фотонные потоки широко освещено в научно — технической литературе, и некоторые её особенности даются в разделах 3 и 4 настоящей монографии. Поэтому общую теорию взаимодействия фотонных потоков с уровнями энергий осцилляторов и молекулярных электронов КМК в концентрированном магнитном поле для полезного использования обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала обоснуем на примере нагружения материала плитой — излучателя гидромолота. Содержание теории квантово — механических контуров, раскрывающую фотонную обработку материала приведем в следующем разделе ниже.

Теорию квантово — механических контуров рассмотрим на примере бурения, физические особенности которого отражают и другие способы нагружения материалов при их обработке, в частности и КМСОМ. Бурение сопровождается взаи-

модействием всех видов энергий в системе «буровая машина-забой» (БЗ). Энергетическая система БЗ включает энергии: кинетическую, потенциальную внешнего поля сил, внутренние обратимые обрабатываемого материала и буровой машины. Кинетическая энергия реализуется необратимо и обратимо во взаимодействии исполнительного органа с обрабатываемым материалом. Обратимость проявляется излучением фотонных из электромагнитных, гравитационных связей и трансформацией свободной энергии в энергию фотонных. Потенциальная энергия внешнего поля сил и обратимая внутренняя энергия буровой машины также полезно используются при нагружении потоками фотонных. Внутренняя обратимая энергия материала проявляется в полезном использовании фотонных потоков обрабатываемого материала и в диссипации необратимой энергии связей сильного, слабого взаимодействий и связанной энергии. Все эти виды энергий оказывают влияние на бурение.

Важным вопросом является установление взаимосвязи внешнего нагружения кинетической энергии исполнительного органа с обратимой внутренней энергией обрабатываемого материала. Это позволяет проектировать машины и управлять энергетическими уровнями КМК вещества. В качестве примера рассмотрим функционирование БЗ. Найдём скорость бойка V_{δ} , необходимую для разрыва КМК обрабатываемого материала. Такое решение существенно дополняет теорию контуров и интерпретационного моделирования. Ранее абстрактное понятие “контур” вещества заменено конкретным КМК, разрыв энергетических уровней которого сопровождается выделением обратимой внутренней энергии вещества, принимающей участие в его разрушении. Ставится задача объединения классических уравнений движения макрочастиц системы машина – забой с квантовыми излучениями обратимой внутренней энергии её массива.

Одним из основных параметров машин ударного действия, в том числе и буровых машин с ударным узлом, является скорость движения бойка. От неё существенно зависят ПГУ БЗ. Поэтому рассчитаем скорость движения бойка, при которой обеспечивается разрыв КМК и выделяется из него обратимая внутренняя энергия, принимающая участие, а бурении материала – горной породы. Такое решение является естественным развитием теории “контуров” и интерпретационного моделирования, дополнением и углублением её понимания ранее неизученных квантово–механических явлений. Буровые машины с ударным узлом трансформируют энергию одиночного удара бойка во внутреннюю обратимую энергию пики:

$$E_{bn} = \frac{m_{\delta n} \cdot V_{\delta}^2}{8}, \quad (4.182)$$

где: $m_{\partial n}$ – масса деформированной части пика; $V_{\delta}, V_{\partial n} = \frac{1}{2}V_{\delta}$ – скорости бойка и деформированной части пика.

Энергия фотона излучаемого пикой:

$$E_{\phi} = \frac{m_e a^2}{2}, \quad (4.183)$$

где: m_e – масса электрона; $a = \frac{V_{\partial n}}{\varepsilon} = \frac{V_{\delta}}{2\varepsilon}$ (4.184) – скорость волны деформации или электрона; ε – относительная деформация пика.

С учётом (4.184), (4.183) будет равна:

$$E_{\phi} = \frac{m_e V_{\delta}^2}{8\varepsilon^2}. \quad (4.185)$$

С энергией (4.185) электрон подходит к забою и встречает сопротивление проникновению в него эквивалентным сечением

$$\sigma_{\varepsilon} = 4\pi \left(\frac{h}{p} \right)^2, \quad (4.186)$$

где: $p = m_e a$ – импульс электрона; h – постоянная Планка.

Энергия фотона, которая поглощается горной породой (материалом):

$$E'_{\phi} = \frac{m_e V_{\delta}^2 l^2}{8\varepsilon^2 \sigma_{\varepsilon}}, \quad (4.187)$$

где: l – расстояние между соседними молекулами.

Подставив (4.186) в (4.187) получим:

$$E_{\phi} = \frac{m_e^3 V_{\delta}^4 l^2}{128 \varepsilon^4 \pi h^2}. \quad (4.188)$$

В уравнение (4.188) входит искомая скорость бойка, для её нахождения приравняем (4.188) энергии излучения гармонического осциллятора

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) h \nu. \quad (4.189)$$

Для десятого уровня энергии осциллятора

$$E_{10} = 10.5h\nu . \quad (4.190)$$

Выделение полезной обратимой внутренней энергии произойдет при условии

$$E'_\phi \geq E_{10}:$$

$$\frac{m_e^3 V_\delta^4 l^2}{128 \varepsilon^4 \pi \hbar^2} \geq 10.5 h \nu . \quad (4.191)$$

Откуда:

$$V_\delta \geq \sqrt[4]{\frac{1344 \varepsilon^4 \pi \hbar^3 \nu}{m_e^3 l^2}} . \quad (4.192)$$

Скорость бояка по (4.192) обеспечивает непродуктивное рассеивание энергии электронов в эффективном сечении и разрыв энергетических уровней КМК обрабатываемого материала. Она управляется частотой колебаний потока энергии на КМК от первичного излучателя, в нашем случае от собственных колебаний пики ударной машины или плиты — излучателя. Предельное значение этой скорости достигается резонансным потоком энергии с собственной частотой обрабатываемого материала, составляющей около 10^{13} Гц. Получить такую частоту излучения пикой практически невозможно. Она ограничивается прочностью пики и бояка при их соударении. Такая скорость не превышает 10 м/с. Таким образом, управление V_δ осуществляется прочностью соударяющихся частей БЗ и КМСОМ. Повышение частот энергий нагружения достигается наложением на первичный источник энергии (удара гидромолота) концентрированного магнитного поля, вихря, кавитации и излучения пьезокерамическими пластинами и другими способами. Их совместное синергетическое воздействие на уровни энергий осцилляторов и молекулярных электронов КМК обрабатываемого материала определяет способы управления обработкой.

При разрыве уровней энергии КМК спонтанно выделяется его обратимая внутренняя энергия. Спонтанность движения фотоннов приводит к диссипации энергии и снижению показателей ПГУ процесса. Снижается спонтанность разработанной специальной конструкцией одноступенчатого полуволнового излучателя-концентратора с предельным увеличением амплитуды колебания рабочего конца без увеличения мощности преобразователя. Такое решение выполнено для условий плоского волнового фронта и с напряжениями равномерно распределенными по сечению пики при условии, что ее длина превосходит диаметр. При этом предусматривается следующее разделение составляющих фотонного излучения с конца пики. Его фотоны разрывают энергетические уровни КМК, а фононные волны препятствуют спонтанному рассеиванию внутренней энергии энергетических уров-

ней осцилляторов и молекулярных электронов, переводя их в индуцированное излучение. Реализация этого предложения связана с выбором необходимой формы фронта фононной волны и оптимизацией ее взаимодействия с фотонами обратимой внутренней энергии КМК. Временные трудности решения этой задачи восполнены дополнительными новыми решениями. Для этого создан постоянный магнит с концентрированным магнитным полем, принцип работы которого приводится в следующем параграфе. Концентрированное поле магнита переводит спонтанное движение выделенных фонотонов в индуцированное с частотой собственных колебаний, равных частоте колебаний обрабатываемого материала. Этим достигается резонансное взаимодействие потоков нагружения КМК и излучения из него, что вызывает цепную реакцию раскрытия трещин по вектору концентрированного магнитного поля. Помимо этого энергия концентрированного магнитного поля суммируется с энергиями фонотонов, увеличивает скорость их движения и импульс нагружения, в результате чего поглощение энергии КМК растет. В этом случае концентрированное магнитное поле не только управляет вектором движения фонотонов на соседние КМК, но и передает им часть своей энергии. Поскольку на фотоны принцип Паули не распространяется, то в КМК возбуждается большое число одинаковых фотонов, интенсифицируя устойчивость процесса обработки. Энергии фотона достаточно, чтобы разорвать n -ый энергетический уровень КМК. Концентрированное магнитное поле захватывает спонтанный фотонный поток и индуцированно перемещает его по вектору напряженности поля. Сформированный таким образом более мощный поток обладает частотами энергетических уровней. Резонирование потоков внешнего и обратимого внутреннего излучений разрывает соседние уровни в цепном режиме.

Такое, эвристическое, на первый взгляд, простое описание процесса обработки материалов с использованием теории КМК нуждается в более глубоком обосновании термина теории, которая претендует на логическое обобщение опыта, руководящих идей во взаимодействии элементарных частиц при обработке материалов. Она должна научно обеспечить познание закономерностей, протекающих при этом явлений, выразить внешний параметр системы БЗ – скорость боя V_s через квантово – механические характеристики КМК материала. Как видно из математической модели (4.192), в неё входят квантово – механические параметры КМК – постоянная Планка h , масса электрона m_e , его частота колебаний ν , расстояние между молекулами l и относительная деформация E . Число параметров значительно уменьшилось, достоверность результатов расчётов лучшая, чем по классическим математическим моделям типа (4.98) [6].

Теория КМК позволила сформировать математическую модель, расчет по которой конструктивного параметра функционирования ударной машины обеспечил полезное использование обратимой внутренней энергии обрабатываемого

материала в режиме цепной реакции разрыва КМК. Она подтвердила, с помощью квантовой механики, исследования здравого смысла и эвристических поисков ещё не раскрытых явлений. Моделирование реального микроволнового взаимодействия энергий ударной системы направило на разработку теории для условий малоэнергоемких процессов с ПГУ, превышающими современные в десятки раз. Такое ответственное заявление требует обоснования с привлечением признанных наукой познаний.

Сопоставим рассуждения настоящей работы с основными требованиями практики и постулатами квантовой механики. Неразрывность соответствия теории и практики в теории КМК выражается в следующем. Впервые обосновано выбраны инструменты и КМК, возможность и плодотворную неотвратимость взаимодействия которых необходимо доказать. В качестве инструмента взят поток фотонов и фононов (фонотонов). Их материальной частицей является электрон. Воздействие его или группы электронов на элементарную ячейку КМК определяется неравенством:

$$l^2 > \pi \left(\frac{P}{eB} \right)^2. \quad (4.193)$$

Из (4.193) видно, что элементарная ячейка КМК должна быть пропорциональна квадрату импульса его нагружения и обратно пропорциональна квадрату напряженности концентрированного магнитного поля. Под воздействием импульсной нагрузки электрон увеличивает радиус своего вращения вокруг концентрированного магнитного поля, что снижает вероятность его прохода через элементарную ячейку, а рост напряженности магнитного поля повышает эту вероятность. В случае проникновения электрона в КМК он охватывает площадь, пропорциональную квадрату радиус вращения электрона вокруг концентрированного магнитного поля.

Совместное рассмотрение уравнений (4.186) и (4.193) показывает двойное влияние импульса P нагружения на КМК. С его ростом (4.186) уменьшается эквивалентное сечение σ_k КМК, что снижает сопротивление проникновению электрона. Иными словами, нагрузка на уровень энергии КМК возрастает, т.е. вероятность его разрыва увеличивается, одновременно площадь воздействия на поверхность КМК также возрастает из-за увеличения радиуса вращения электрона вокруг магнитного поля, что снижает нагрузку на уровни КМК. Последняя особенность нагружения компенсируется концентрированным магнитным полем и фоновой волной, излучаемой пикой, которые одновременно уменьшают площадь охвата КМК и увеличивают энергию импульса электрона. Симультанное воздействие на КМК импульса фотона и концентрированного магнитного поля дает новый эффективный, ранее не изученный и не применявшийся в технике эффект обра-

ботки материалов совместными потоками фотонов и концентрированным магнитным полем. Практическим следствием этого обоснования является совместимость фотонного инструмента с КМК, обеспечивающее своим функционированием эффективные показатели ПГУ.

Обработка материалов охватывает большое количество молекул, на которые воздействуют потоки энергий большого числа фотонов, они сводятся к представлению коллективизированных электронов, обладающих практически одинаковыми свойствами. В фазовом пространстве – пространстве импульсов и в обычном пространстве выделим элементарные ячейки, в которых могут помещаться не более двух электронов с противоположно направленными спинами. Эта ячейка определяет состояние нагружения КМК. Невозможность различить одинаковые частицы в квантовой механике по их состояниям приводит к необходимости применения принципа тождественности. К одинаковым относятся фотоны. Их элементарная составляющая – электрон имеет равные характеристики – заряд, массу, магнитный момент, спин. Согласно принципу Паули для фермионов существует принцип исключения. Он формулируется так: для электрона с его четырьмя характеристиками – заряда, массы, магнитного момента и спина, может находиться не более одной частицы. Такое состояние соответствует потоку фотонов, направляемых излучателем на КМК обрабатываемого материала. Отклонение значений энергий для различных фотонов учитываются средней энергией. Так для случая прохождения их через металлические части БЗ и КМСОМ – корпус емкости, пьезокерамические пластины, плиту-излучатель находится средняя энергия этих потоков следующим образом. В интервале энергий $E, E+dE$ имеется $N(E)dE$ состояний, на которых размещено $N(E)dE$ электронов. Тогда энергия всех электронов [22]

$$E_s = \int_0^{\infty} E \cdot N(E) f(E, T) dE. \quad (4.194)$$

Средняя энергия электронов:

$$E_{sc} = \frac{E}{n} = \frac{3}{5} F_0 \left[1 + \frac{5\pi^2}{12} \left(\frac{kT_0}{F_0} \right)^2 \right], \quad (4.195)$$

где: $F_0 = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{3n}{8\pi} \right)^{2/3}$ - уровень энергии Ферми при $T=0$.

Нахождение среднего уровня энергии потока фотонов отвечает современным требованиям квантовой механики. Теоретическое обоснование практического взаимодействия нового инструмента – фотона с КМК; применение концент-

рированного магнитного поля; использование коллективизированных электронов; размещение обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала в элементарных ячейках фазового пространства; использование постулата тождественности, принципа Паули и нахождение средней энергии электронов в фотонном потоке позволили назвать пункт 4.4 раздела 1 “Квантово-механическая теория контуров”. Новизна этой теории повлекла за собой обоснование разработки новых, более эффективных по показателям ПГУ и, в особенности, по экономии энергии за счет полезного использования обратимой внутренней энергии машины и обрабатываемого материала в цепном режиме ее индуцированного излучения и поглощения. Ее элементы способствуют увеличению ПГУ в добычи и обработке материалов. Помимо этого экспериментально опробована квантово-механическая подготовка нефти для холодного крекинга, очистка воды, разработана техническая документация для обработки льна, конопли и других материалов. Особое внимание уделено использованию квантово-механической теории контуров для обеспечения энергосберегающей добычи метана из старых и строящихся угольных шахт, сохраняя экологию производства и жизнь шахтеров.

Глава 5.

Парадигма энергии систем

5.1. Энергосберегающая ячейка жизнедеятельности человека

Планетарные условия жизни во времени и пространстве создали установившуюся систему взаимодействия человека с информатикой, энергией и экологией, без которой нельзя говорить не только о прогрессе, но и снижении деградации общества. Согласие с таким состоянием не раскрывает внутренние особенности и последовательность этих взаимодействий. Для общего понятия и простого пояснения представим их структурной схемой на рис. 5.1

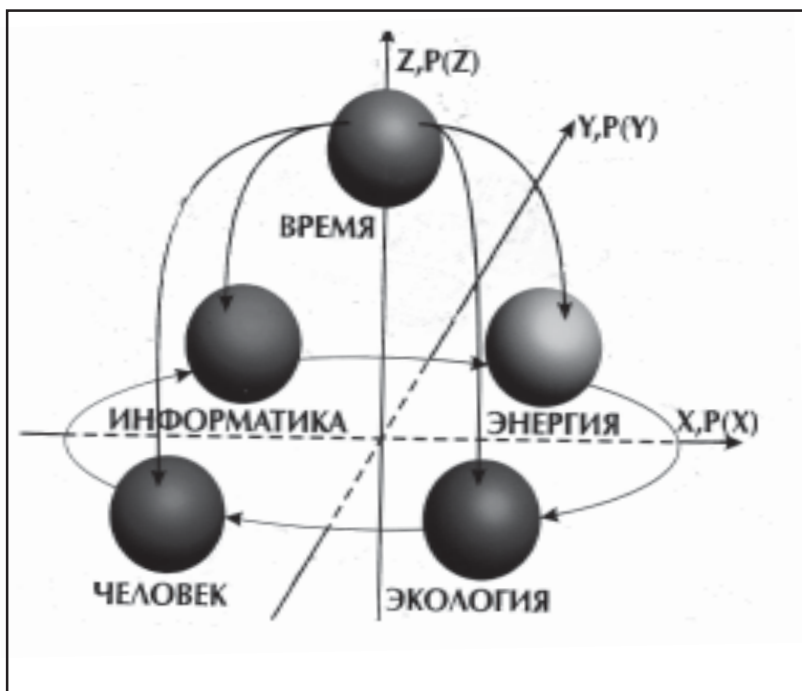


Рис.5.1. Энергосберегающая ячейка жизнедеятельности человека.

Энергетическая ячейка жизнедеятельности человека находится во времени и пространстве, ее функционирование описывается существующими и еще не от-

крытыми законами природы. Для их применения обоснуем последовательность взаимодействия между составными частями ячейки. Основная роль в ней и принадлежит человеку. Он генерирует информатику, управляющую процессами, обеспечивающими необходимыми условиями жизни человека — экологической средой. Последняя может видоизменяться под воздействием энергии. Поэтому первые информационные разработки направляются на трансформирование внешних энергий для преобразований окружающей среды в экологически чистую. При этом главной задачей является не устранять продукты загрязнения, полученные после окончания основного промышленного процесса, а не допускать его возникновения в течении всего производственного цикла. Ликвидация результатов экологически не чистых технологий возможна с использованием новых средств, проверенных на производстве с экологически чистой технологией и со специальными информационными разработками.

Порядок воздействия на составляющие энергосберегающие ячейки жизнедеятельности человека (ЭЯЖЧ) в солнечной системе приемлем и для земных условий. Это определяется глобальными свойствами предлагаемой энергии. Она как обосновано в главе 4 универсальна и эффективна в эксплуатации; рассмотрим ее инновационно в последующем изложении.

Производственные граничные условия (ПТУ) отображают квантово-механические показатели обработки материалов через глобальную энергию. К ним относятся: P — производительность; q — удельная энергоемкость; K — качество; η — коэффициент полезного действия [26].

$$P = \frac{h^3 \cdot c^3 \cdot n}{E^3 \cdot t}; \quad q = \frac{h^3 \cdot c^3 \cdot n}{E^3 \cdot t}; \quad K = \frac{h^3 \cdot c^3 \cdot n}{E^3 \cdot t \cdot s}; \quad \eta = \frac{n_c \cdot E_c}{n_c \cdot E_c + n_y \cdot E_y} \quad (5.1)$$

где: N — количество энергетических уровней гармонического осциллятора; n — число волн электромагнитной связи осциллятора; s — стоимость процесса; E_c, E_y — глобальные энергии стружки и ядра уплотнения; n_c, n_y — количество энергетических связей стружки и ядра уплотнения.

Как видно из (5.1) все показатели микросинтеза ПТУ зависят от глобальной, обратимой внутренней энергии (ГОВЭ) E . Чем больше энергия одной внутренней связи материала, тем меньше производительность P . Но ГОВЭ этой связи выделяет индуцированную в концентрированном магнитном поле энергию соседнему уровню в режиме цепной реакции. Каждый энергетический уровень осциллятора отдает свою обратимую энергию, на разрушение соседнего уровня без использования внешней энергии, создавая эффект саморазрушения уровней осциллятора. От подачи одного внешнего кванта, последовательно срабатывают все N энергетических уровней осциллятора, обеспечивая полную производительность от N внутренних

них уровней и одного кванта обратимой внешней энергии, обеспечивая повышение производительности в $N+1$ раз по сравнению механической обработкой. Удельная энергоемкость q обработки и качество системы K оцениваются по затратам ГОВЭ на разрыв одного уровня осциллятора, поэтому ее значение в N раз меньше.

Если первые три показателя ПТУ подаются расчету, то η содержит n_c, E_c, n_y, E_y пока не имеющих способов их нахождения в отдельности и, тем более, в условиях одновременного изменения каждого из них. Поэтому выбран метод определения η по показанию эффективности всей машины, в которой предусматривалось создание ее исполнительного органа, обеспечивающего максимальное использование ГОВЭ системы «машина - обрабатываемый материал» (МОМ). Остальные показатели зависят от η , они подтверждают правильность найденного η . Осуществлялась эволюционная последовательность создания новых, исполнительных органов с нарастающим значением η . В каждом оригинальном образце машины, учитывались недостатки предыдущей и в последующем закладывались новые конструкторские достижения науки и техники. Другого, известного пути получения из МОМ ГОВЭ пока нет. Описание машин, созданных для улучшения показателей ПТУ, и особенно η с результатами их промышленных испытаний, приведены в монографиях [12, 13, 14, 23]. В этих же трудах изложена теория контуров, интерпретационное модулирование и теория квантово-механических контуров, которые раскрывают особенности глобальной энергии.

Помимо глобальной в МОМ функционирует классическая энергия движения деталей машин. Часть ее расходуется на движение машины и рассеивается, а другая формируется в ГОВЭ ее деталей и излучается в обрабатываемый материал, давая первоначальный импульс изменения масс электронов при их переходах между энергетическими уровнями гармонических осцилляторов материала в цепном режиме. Движение деталей машины осуществляется энергией двигателя, которая подается к ее исполнительному органу через редукторы, манипуляторы, муфты и другие устройства, где расходуется большая часть внешней энергии. Так в машинах ударного действия только на отдачу уходит 50% первичной энергии. Буровая установка «Уралмаш-11ДЭ» оснащена суммарной мощностью приводов 2МВт из них только 20кВт используется полезно, т.е. почти в 100 раз завышено энергопотребление установки, что повлекло за собой помимо стократного увеличения расхода энергии также к увеличению стоимости ее изготовления, металлоемкости и усложнению в эксплуатации. Поэтому МОМ должно совершенствовать не только по способам обработки материалов, но и конструкции их машин. Условиям повышения η отвечает реализованный метод улучшения ПТУ созданием новых способов обработки материалов усовершенствованными органами и конструкцией их машин [15].

5.2. Глобальная энергия элементарной ячейки фазового пространства

Обоснование ГОВЭ выполнено когнитивным методом, в основу которого положены интеллектуальные принципы отыскания новых, ранее не известных автору, знаний или определенной совокупности информации, которая способствует получению знаний о ГОВЭ элементарной ячейки фазового пространства. Исследования направлялись на достижение эволюционной парадигмы — самодостаточной совокупности основополагающих идей и принципов, которые на собственной методологической основе (когнитивной) позволяют формулировать целостную концепцию взаимодействия глобальной энергии с элементарной ячейкой фазового пространства. Предусматривание основного жизненного цикла глобальной энергии, последовательности этапов его развития от идеи до использования по назначению в промышленности или элиминации недостоверных решений энергосберегающих способов и технологий. Для этого разработана система, объединяющая прямыми связями человека, информатику и экологию во времени и пространстве (рис. 5.1), названная, энергетической ячейкой жизнедеятельности человека (ЭЯЖЧ). В ней одновременно взаимодействуют, во времени и пространстве, четыре звена — человек, информатика, энергия и экология для обоснования топологических (гомологических) ее свойств. Единственным и общим в них является ГОВЭ. Она функционирует между звеньями ЭЯЖЧ. Такая трактовка недостаточна для раскрытия физической сущности механизма взаимодействия между звеньями ЭЯЖЧ применительно ко всем видам материи. Что касается органической ее части, то в 1920 году М. И. Вавилов [11] установил закон гомологических рядов, на основании которого функционирует генная инженерия. Неорганические вещества, по мнению В. Ф. Шинкоренко [51] имеют подобные источники одного топологически однородного ряда для электромагнитных полей. В свою очередь Л. В. Благовещенский утверждал, что химическая эволюция не отличается от морфологической, т.е. от строения и процессов формирования организмов и отдельных органов в их индивидуальном и историческом развитии. В. Ф. Шинкоренко, В. В. Чумак, П. И. Донилян [52] использовали этот закон на «Направленный поиск и синтез структур специальных рядов электромеханических систем». Последние авторы применили учение М. И. Вавилова не только к электромагнитным полям, но и к электромеханическим системам. Свои теоретические разработки они внедрили в новые электромеханические машины, создали методологию направленного поиска и межвидового синтеза новых классов электромагнитных систем по заданной целевой функции, а также рекомендовали их применение в сложных эволюционирующих системах разной природы. Так генетический синтез электричес-

кой машины дается в следующей последовательности: электромагнитная хромосома => комбинация хромосом => генетическая структура обмотки => индуктора электрическая машина. В таком представлении процесса создания электрических машин электромагнитные хромосомы признаются первичными носителями машины, но их определение в математическом виде не дается.

Признавая большие заслуги авторов в исследованиях законов гомологических рядов, необходимо обратить внимание на отсутствие обоснований физических характеристик первичных носителей живой и неживой материи, что делает почти не возможным управление ЭЯЖЧ. Нельзя однозначно согласиться и с принятым авторами термином «электромагнитная хромосома». Сама хромосома представляет собой сложную структуру, состоящую из различных микрочастиц находящихся в разнообразных сочетаниях. Последняя формируется элементарными ячейками фазового пространства, которые состоят из осцилляторов с присущими им электромагнитными свойствами. Эти свойства определяются ГОВЭ, не принимая ее во внимание, нельзя учитывать энергетические уровни материи фундаментального показателя ее характеристик в соответствии с законом Д. И. Менделеева. В случае уточнения понятия «электромагнитная хромосома» с учетом ГОВЭ, закон гомологических рядов приобретает универсальность для живой и неживой материй. В следующем пункте раздела приводятся результаты исследований в направлении уточнения этого разнообразия понятий.

5.3. Применимость теории М.И. Вавилова к неорганической материи

Функционирование ЭЯЖЧ предложено впервые, поэтому оно не изучалось с использованием совокупностей системного анализа показателей жизненного цикла, определяющего последовательность этапов развития объекта от идеи его создания до нового использования по назначению. Основными характеристиками ЭЯЖЧ являются микросинтезные ПТУ, для получения которых необходимо изучить функционирование системы на основе фундаментальных открытий, законов, теорий для конкретной промышленности; обеспечить необходимый и достаточный охват параметров, влияющих на ПТУ системы; использовать в адекватных математических аналогах фундаментальные константы; упростить математические модели системы до аксиоматических выражений для инженерного применения в практике разработки и создания новых эффективных технологий и технике; проверить результаты системного анализа элементов структуры ЭЯЖЧ и математические аналоги эффективных микросинтезных ПТУ прямым экспериментом. Структура ЭЯЖЧ создания экологически чистых МОМ приведена, на рис.5.2.

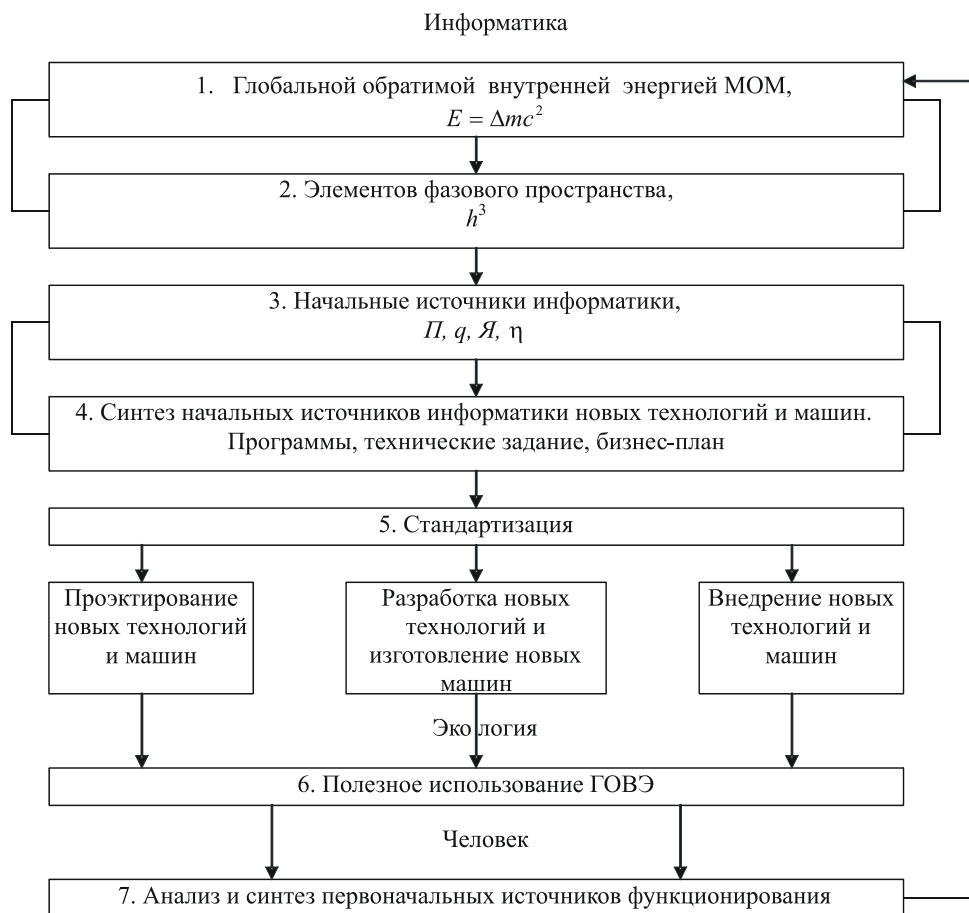


Рис.5.2. Структура ЭЯЖЧ создания экологически чистых MOM

Такие научно-производственные работы выполнены с помощью полнокритериального метода создания новых машин и технологий [26,31]. В результате получены математические аналоги микросинтезных ПТУ (5.1), которые следует воспринимать как основу для творческого создания и совершенствования технологий и механизации в промышленности на базе использования ГОВЭ MOM. Каждое из уравнений (5.1) характеризует все четыре элемента ЭЯЖЧ. Человек (блок 7) анализирует и синтезирует первоначальные источники функционирования MOM. Далее в блоках 1, 2, 3 и 4 он структурирует ГОВЭ MOM в элементарные ячейки фазового пространства, вырабатывая информатику. Применительно к кон-

кретным условиям производства в виде компьютерных программ, технических заданий и бизнес - планов. Последнее автоматически запускает в действие устройства и технологии звена «энергия» блока 5 с помощью стандартизации, которая реализуется в элементе «экология» блока 6. Взаимодействие двух последних элементов осуществляется при условии достаточности излучения звеном «энергия» начальной фотонной энергии для индуцированного излучения ГОВЭ элементами фазового пространства звена «экология» без ее рассеивания.

Функционирование ПТУ в ЭЯЖЧ не может укладываться в рамки постоянных структур. Их следует воспринимать как последовательность изменений и усовершенствований для конкретных условий производства, что осуществляется человеком в блоке 7.

Так, для всех видов материи глобальная энергия определяется изменением ее массы при переходе уровней энергии гармонического осциллятора. Она содержится в элементах фазового пространства и в хромосомах с различными сочетаниями. Хромосома является первичным элементом систематизированных глобальных энергий органических веществ, а элементы фазового пространства включают в себя несколько гармонических осцилляторов со свойственным их расположением для данного вещества.

Математические аналоги ПТУ состоят из начальных составляющих глобальной энергии, как у хромосом, так и у элементов фазового пространства. Их сочетание различно во всех четырех значениях ПТУ, что определяет отличительные особенности каждого в отдельности. Таким образом, элементы фазового пространства формируют в различные показатели ПТУ по системам аналогичным формированию генов хромосомами. Подобный параллелизм характерен, например, и для физико-химических свойств элементов таблицы Д. И. Менделеева. В ней свойства вещества определяются количеством и размещением электронов на орбите молекулы, а электрон является носителем глобальной энергии. Следовательно, глобальная энергия характеризует свойство вещества. Аналогично, математические модели ПТУ отличаются друг от друга количеством и размещением в них глобальной энергии, их изменение влечет за собой появление новых свойств. Присутствие в законе Д. И. Менделеева аналога первоначального показателя фундаментальной характеристики вещества — ГОВЭ является доказательством правомерности теоретического обобщения накопленного материала и использование ее в создании энергосберегающих машин и технологий.

Таким образом, интерпретация ЭЯЖЧ соответствует закону гомологических рядов, дополняет представление физической сущности этого закона на фундаментальном математическом уровне. Разработанная теория КМК, интерпретационного моделирования и структура ЭЯЖЧ позволили аналитически описать основные элементы закона М. И. Вавилова для создания новых, мало энергоемких технологий и машин в промышленности. Обоснованы инновационные решения проблемы полезного использования ГОВЭ, что поможет вывести человечество из энергетического кризиса в соответствии с научным направлением Ж.Алферова.

Так как в первом разделе монографии установлены лабораторными, промышленными и аналитическими исследованиями преимущества обработки материалов ударными нагрузками, то в следующем разделе монографии изучим преобразования энергии удара с привлечением когнитивных методов исследований.

Наука составляет внутреннее единство целого. Ее деление на отдельные направления обусловлено не столько природою вещей, сколько ограниченностью человеческого познания.

Макс Планк

Раздел II .

Энергосберегающая добыча материалов

Глава 6.

Энергосберегающая добыча твердых материалов

6.1. Энергосберегающий инструмент

Разработка нового инструмента должна учитывать возможность полезного использования обратимой внутренней энергии системы БЗ. Буровая машина через инструмент излучает часть энергии, которая остается в материале после предыдущего нагружения, а другая ее часть осуществляет разрыв КМК и изменяет энергетические уровни соседних КМК, создавая условия для последующего выделения из них обратимой внутренней энергии буримой породы. При последовательном разрушении породного массива под новообразованной поверхностью на глубине предразрушенной зоны развивается технологическая дефектность, которая имеет важное значение при расчете нагружения новых типов эффективного бурового инструмента, определении его геометрических и выборе рациональных режимных параметров. С целью управления при повторном резании состоянием массива на экспериментальном стенде смоделирован технологический процесс, позволяющий в лабораторных условиях изучать бурение породы. Изменение дефектности фиксируется замером таких прочностных характеристик породы, как предел упругости при сжатии, твердость по штампу и расчетом энергетических характеристик

разрушения – работами упругих сил и разрушения. Эксперименты проводились на упругопластическом песчанике средней крепости с твердостью по штампу $P_{шт} = 3100 \text{ МПа}$ и пластично-упругом, мягком мраморе $P_{шт} = 3500 \text{ МПа}$. Породные блоки размерами $250 \times 160 \times 100 \text{ мм}$ подвергались повторному резанию твердосплавными резцами шириной 5 мм, установленными с передними и задними углами по 10° . На каждой породе резание проводилось с подачами $H_1 = 1 \text{ мм}$, $H_2 = 2 \text{ мм}$ и $H_3 = 3 \text{ мм}$. При установке на экспериментальный стенд, исследуемый блок имел не менее двух плоскопараллельных плоскостей. Это обеспечило равномерную послойную обработку и шлифование образцов. Шлифование устраняло неровности и шероховатости поверхности, способствуя получению достоверных результатов.

В ИСМ АНУ на базе поперечно - строгального станка 7В36 создан экспериментальный стенд, оснащенный трехкомпонентным динамометром, фиксирующим силовые параметры резания P_x , P_y , P_z непосредственно в работе. Техническая характеристика станда: длина хода ползуна 30...700 мм.; наибольший угол поворота резцовой головки $\pm 60^\circ$; скорость резания 0,235 м/с (15 ход./мин); поперечная подача стола на двойной ход ползуна 3,2 мм; максимальные размеры образцов породы $825 \times 450 \times 700 \text{ мм}$; мощность электродвигателя 5,5 кВт.

Для изменения силовых параметров использовался резцедержатель станка. Перед началом резания изучаемые характеристики определялись на установке УМГП-3 и принимались в качестве исходных. В дальнейшем после снятия очередного слоя на той же установке проводились повторные замеры. В качестве изучаемого фактора выбрана дефектность породного массива. Изменение дефектности фиксируется косвенно – по изменению прочности, а также энергетических характеристик разрушения: работ упругих сил и разрушения. Все полученные данные статистически обрабатывались.

Обоснование шага резания позволило представить поэтапное изменение изучаемых параметров в виде непрерывных кривых. Определение механических свойств пород применительно к условиям их разрушения осуществляется методом, разработанным профессором Шрейнером: вдавливанием цилиндрического пуансона с плоским основанием. Нагружение и автоматическая запись диаграммы нагрузка-деформация осуществлялась на экспериментальной установке УМГП-3, после снятия каждого породного слоя. Установлено, что после срезания первого слоя образуется зона предразрушения на глубину, превышающую подачу резца. При этом сопротивляемость песчаника снижалась на 45-50%, мрамора на 25-30%, габбро на 10-15%. Пластичновязкие свойства пород снижают эффективность трещинообразования при воздействии режущего инструмента. Существующие трещины при этом экранируют трещинообразование следующего реза. Плотность технологических трещин на разрушаемой поверхности возрастает с уменьшением глубины резания. Третий рез снимает дефектный слой, разрыхленный двумя пер-

выми резами. Прочность и энергические параметры при этом возросли на 10-15% не превысив свои исходные значения. С ростом подачи резца интенсифицируется образование технологической дефективности и увеличивается глубина предразрушенных зон, о чем свидетельствует ослабление поверхностного слоя. Таким образом, определена связь между повторной обработкой и снижением сопротивляемости породы, в зависимости от развития предразрушенной зоны и работы инструмента в этой зоне. Оценка снижения сопротивляемости разрушению, под влиянием технологической дефективности, определяется отношением исходной контактной прочности к контактной прочности породы после снятия с нее стружки. Ослабление горных пород при воздействии инструмента позволяет направленно управлять обратимой внутренней энергией ослабленного предыдущим резанием породного массива в системе БЗ. Результаты исследований использованы при определении геометрических параметров энергосберегающих вставок рабочих инструментов.

Оптимальная форма вставки определяется минимальной удельной энергией разрушения массива. Для ее нахождения строятся эпюры нагружения по математическим моделям и экспериментам различными формами вставок одинаковых площадей контакта с забоем. По эпюрам и экспериментам подсчитывается энергия, затраченная на разрушение пород различных физико-механических свойств. Минимальный расход энергии разрушения из серии исследований определяет оптимальную форму вставки. Аналитические выкладки приводятся в наших работах [1,3,4,5], из которой выбраны математические модели нагрузок для различных форм вставок рабочих инструментов, поэтому часть их цитируется. При взаимодействии инструмента с массивом по контактной площадке круглой формы зона упругопластических деформаций ограничена окружностью радиуса $A = a\sqrt{2}$. Для окружности $f(x, y) = A^2 + x^2 + y^2$, для сечения $y = 0$ получим:

$$P_{yn} = P_y + \int_0^x \frac{4(3\sigma_p + \tau)a\sqrt{2\sigma_\tau E}}{3Ef(x, y)} [f_x''(x, y) + f_y''(x, y)] dx, \quad (6.1)$$

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau) \cdot \sqrt{2\sigma_\tau E}}{3E} \cdot \ln \left| \frac{A+x}{A-x} \right|. \quad (6.2)$$

Из выражения (6.2) следует, что на краях контактной площадки при $x = a\sqrt{2}$ значение давления достигают бесконечных величин, т.е. функция P_{yn} терпит разрыв. Эта неопределенность возникла вследствие введения в математическую модель нагружения $U_z = 0$ по периметру контакта штампа с массивом. Устранение этой особенности сводится к решению сингулярной краевой задачи — граничной задаче с особыми точками. Поскольку граничная задача в особой точке не опреде-

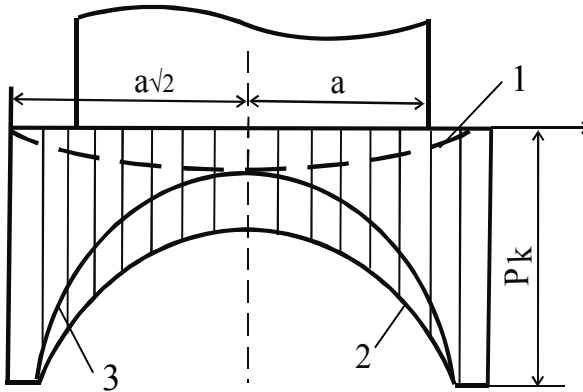


Рис. 6.1. Эпюры распределения упругого (1), упругопластического (2) и пластического (3) давлений под контактной площадкой круглого штампа

ленна, возникает необходимость формулировки в ней дополнительного условия. Согласно модели элементарной ячейки, в особой точке происходит локализация напряжений. Причем, если она располагается в связующем, то между зернами возникает локальное пластическое течение, а при ее попадании в дефектное напряжения концентрируются в локальной зоне у вершины дефекта. Интегральным показателем сопротивления в этом случае является контактная прочность,

определяющая предельные упруго-пластические давления на краях контактной площадки. Эпюра распределения упругопластических давлений при нагружении массива по круглой контактной площадке с учетом принятых допущений изображена на рис. 6.1. При нагружении массива по контактной площадке прямоугольного сечения, геометрия которого описывается функцией $f(x, y) = (x + A)(y - A) + (x - B)(y + B)$, для сечения $x = 0$

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau) \cdot \sqrt{2\sigma_t E}}{3E} \cdot \ln \left| \frac{B + y}{B - y} \right|, \quad (6.3)$$

для сечения $y = 0$

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau) \cdot \sqrt{2\sigma_t E}}{3E} \cdot \ln \left| \frac{A + x}{A - x} \right|. \quad (6.4)$$

Распределение давлений по площадке эллиптической формы, для которой

$$f(x, y) = x^2 B_1^2 + y^2 A_1^2 - A_1^2 B_1^2, \quad (6.5)$$

в сечении $x=0$

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau) \cdot \sqrt{2\sigma_t E}}{3E} \cdot \ln \left| \frac{B_1 + y}{B_1 - y} \right|, \quad (6.6)$$

в сечении $y=0$

$$P_{yn} = P_y + \frac{2(3\sigma_p + \tau) \cdot \sqrt{2\sigma_t E}}{3E} \cdot \ln \left| \frac{A_1 + x}{A_1 - x} \right|, \quad (6.7)$$

где: A_1, B_1 — соответственно большая и малая полуоси эллипса.

Аналогично определяется P_{yn} для контактной площадки произвольной геометрии. По ним строятся эпюры нагружения и находится энергоёмкость разрушения разных пород для каждой вставки. Результаты расчетов занесены в таблицу 6.1.

Сопоставление числовых результатов таблицы 6.1 показывает, что при взаимодействии с пластическими и упруго-пластическими породами наименьшая энергоёмкость наблюдается под действием прямоугольного и эллиптического штампов. Оптимальная форма контактной площадки при работе инструмента по упругим породам — это круг, по упруго-пластическим — эллипс и по пластическим — прямоугольник. Предпочтение отдано эллипсу при работе по упруго-пластическим породам из-за прочности инструмента, не имеющего концентраторов напряжений по периметру площади контакта с породным массивом.

Таблица 6.1.

Энергоёмкость нагружения массивов вставками с различной формой контактной площадки

Форма контактной площадки	Энергоёмкость нагружения, кДж/м ²		
	10 ³	10 ³	10 ³
	гранит	известняк	песчаник
круглая	23	14,24	32,16
квадратная	39	14,33	41,76
эллиптическая			
в сечении:			
X=0	92	9,89	79,02
Y=0	44	4,44	35,24
прямоугольная			
в сечении:			
X=0	113	8,2	98,23
Y=0	41	3,6	34,43

Изложенные положения проверены серией экспериментов по вдавливанию штампов различной геометрии в упругопластическую дефектную среду. В качестве модели забоя в соответствии с принципами построения элементарной ячейки выбрана стержневая смесь, применяемая в литейном производстве. Она представляет собой композицию, в которой зернами ячейки является песок. А их связующим — термически обработанная олифа. Взаимодействие наполнителя и связую-

щего обеспечивает монолитность материала. Испытуемый образец изготавливается следующим образом. Металлическая обойма диаметром 0,06 м заполняется песком с олифой и помещается в печь, где подвергается обжигу. В результате смесь затвердевает и после охлаждения на воздухе по своей структуре соответствует песчанику. Поверхность образцов покрывается контрастным порошком, например мелом, чтобы в ходе испытаний фиксировать разрушаемую зону.

Эксперименты выполнены на универсальной испытательной машине УМК-50, которая обеспечивает статическое нагружение с погрешностью, не превышающей $\pm 1\%$ измеряемой нагрузки. Образец устанавливался по центру станины и первоначально нагружался штампом круглого сечения до разрушения породы. При этом фиксировалось давление сбросом стрелки на контрольной шкале, при котором порода разрушалась. Опыты с одним штампом повторялись на пяти образцах. Количество опытов, обеспечивающих точность 20%, обоснованы методами математической статистики. Эксперименты проводились со штампами равных площадей, в сечении которых были треугольник, квадрат, прямоугольник и круг. Вид полученных зон разрушения при внедрении штампов со следами разрушения больше вдоль меньшей оси прямоугольного штампа; у круглого и квадратного штам-

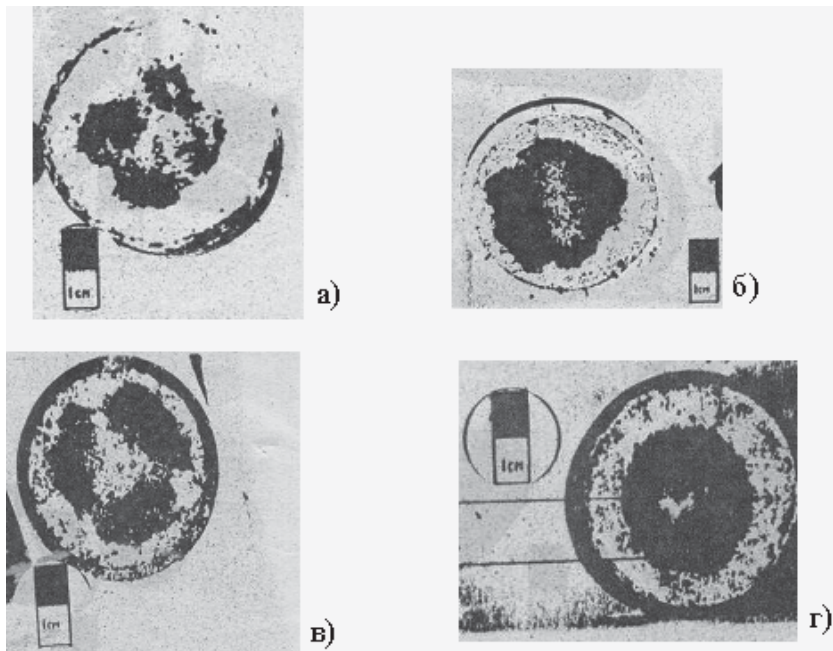


Рис.6.2. Зоны разрушения при внедрении: квадратного (а), прямоугольного (б), треугольного (в) и круглого (г) штампов

пов разрушение симметрично. Что видно из рис. 6.2. Экспериментами установлено, что работа, затрачиваемая на образование ядра уплотнения, больше вдоль большей оси, а на раскрытие магистральной трещины — вдоль меньшей. Такое распределение работы обусловлено тем, что у большей оси при угле наклона стенок ядра напряжение сдвигу выше, чем разрыву, и траектория раскрытия магистральной трещины уменьшает объем отделенной породы.

Математические модели нагружения и раскрытия магистральной трещины показывают, что при разрушении упругих пород целесообразно использовать инструмент с круглой формой передней грани, для которой периметр, а значит, и потери на трение минимальны. Отделение упругопластичных и пластичных пород эффективнее передней гранью инструмента прямоугольной формы с оптимальным соотношением длин его сторон, обеспечивающее минимальные затраты энергии на развитие трещин вдоль вектора нагружения и бокового развала. Однако наличие концентраторов напряжений по углам прямоугольника снижает его прочность, поэтому следует применять эллиптическую форму контактной площадки передней грани инструмента с забоем. Отделение крупных стружек бурильными машинами, отбойными молотками, необходимо осуществлять клиновидными инструментами с контактной площадкой в виде эллипса, что позволяет создать максимальные разрывающие напряжения вдоль меньшей оси поперечного сечения инструмента и отделять стружки большего объема.

Ориентация контактной площадки, воздействующей на разрушаемую среду, определяется передним углом Θ_u породоразрушающего инструмента. Для этого используем известное [5] уравнение:

$$h_k = \frac{2h\tau^2(1+\nu)}{4(1+\nu)\tau^2 + 3(1+2\nu)[P_{yn}(\cos\Theta_u \pm \sin\Theta_u)]^2} \quad (6.8)$$

Угол Θ_u связан с углом заострения инструмента α , задним углом γ_u и углом отделения δ_u соотношениями:

$$\alpha + \gamma_u = \delta_u; \quad \delta_u \pm \Theta_u = 90^\circ; \quad \alpha + \gamma_u \pm \Theta_u = 90^\circ. \quad (6.9)$$

Знак “+” в (6.9) соответствует положительному углу отделения, $\alpha \geq 90^\circ$; знак “-” — отрицательному, $\alpha < 90^\circ$. Зависимость параметров ядра уплотнения, а следовательно, и траектории движения магистральной трещины от угла Θ_u позволяет, используя (6.9), определить угол заострения породоразрушающего инструмента на основании моделей процесса разрушения. Решая (6.8) относительно Θ_u , получаем:

$$\cos \Theta_u \pm \sin \Theta_u = \frac{2\tau}{P_K} \left[\sqrt{\frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \left(\frac{h}{h_K} - 1 \right)} \right], \quad (6.10)$$

откуда для инструмента с отрицательным Θ_u и $P_{уп} = P_K$ имеем:

$$\Theta_u = 45^\circ - \arccos \frac{\tau}{P_K} \left[\sqrt{\frac{(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \left(\frac{h}{h_K} - 1 \right)} \right], \quad (6.11)$$

при положительном переднем угле:

$$\Theta_u = 45^\circ - \arcsin \frac{\tau}{P_K} \left[\sqrt{\frac{(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \left(\frac{h}{h_K} - 1 \right)} \right]. \quad (6.12)$$

Как видно из (6.11) и (6.12), угол Θ_u зависит от физико-механических свойств забоя и отношения глубины отделения к высоте контакта уплотненного ядра с передней гранью рабочего инструмента. Изменять значение Θ_u можно отношением h к h_K , что позволяет оптимизировать энергоемкость разрушения породы. Аналитические и экспериментальные исследования настоящего раздела позволили выбрать энергосберегающие геометрические формы вставок рабочих инструментов, которые приведены в следующем пункте раздела.

Вставками инструментов оснащаются исполнительные органы машин для бурения шпуров и скважин. Область применения инструмента охватывает породы средней крепости 3...4 и скальные породы крепостью 4...6 по СНИП, буримые с нагрузками на резец 0,8...4 кН. При проектировании и создании инструмента учтено различие в деформировании горных пород. Породы средней крепости 3...4 по СНИП и виду деформирования разделяются на упруго-пластично-дефектные и пластично-дефектные, а скальные породы с крепостью 4...6 по СНИП — на упруго-дефектные и упруго-пластично-дефектные. Рациональные геометрические формы вставок приведены в таблице 6.2 и на рис. 6.3.

Форма режущей кромки и передней грани учитывает снижение влияния уплотненного ядра, благодаря чему уменьшается энергоемкость разрушения забоя за счет более эффективного использования его обратной внутренней энергии. Вставки удовлетворяют требованиям к технологичности изготавливаемого изделия, уровню унификации, стандартизации. Их применение снижает расход затрачиваемой энергии, повышает долговечность вольфрамокобальтовых вставок, что приводит на практике к расширению области применения серийной бурильной техники, повышению ее производительности и срока службы.

Таблица 6.2.

Форма энергосберегающих инструментов

Породы	Параметры вставок				
	Ширина, мм	Угол заострения, град	Угол резания, град	Форма тангенциально- торцевого резца	Форма радиально- торцевого резца
Упруго- дефектные	15...18	30...90	95...105	Круговой конус	Призматическая треугольная с криво- линейной режущей кромкой и клино- видной передней гранью
Упруго- пластично- дефектные	19...23	75...85	90...100	Линзообразная	Призматическая с по- луэллиптической режущей кромкой и цилиндрической пе- редней гранью
Пластично- дефектные	23...25	65...75	80...90	Призматическая с прямоугольной режущей кромкой	Призматическая с прямоугольной режущей кромкой и клиновидной передней гранью

Надежность функционирования системы БЗ в значительной мере определяется качеством и долговечностью деталей машины. Одной из наиболее ответственных ее частей является рабочий инструмент, качество которого зависит от состояния проекта, технологии изготовления и особенности его эксплуатации. Выполненные нами работы по созданию рабочих инструментов горных машин [4, 38] позволили производить обоснованный выбор инструментов. Результаты этих работ показали, что износостойкость, как основной показатель их качества не отвечает современным требованиям в ряде случаев из-за недостаточной научной проработки. Технология изготовления инструментов осуществляется крупными специализированными заводами на устаревшем станочном оборудовании. Поэтому следует уделять внимание совершенствованию существующих и разработке новых способов упрочнения инструментов, обеспечивающих повышение их износостойкости и как следствие этого — повышение надежности, производительности и снижение энергозатрат.

Различные подходы к решению проблемы износа и упрочнения породили отличия каждого из этих явлений в отдельности. При этом авторы вкладывали в эти понятия только различие, не пытаясь установить общности этих явлений. Между тем уже на первом этапе исследований можно установить тождественные толкова-

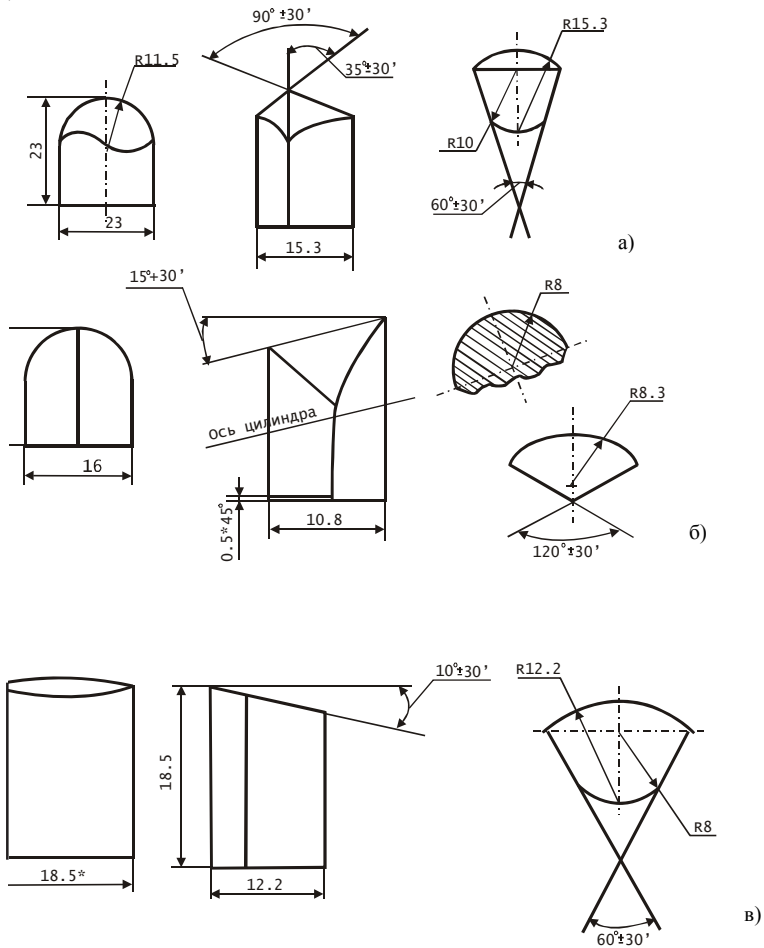


Рис. 6.3. Энергосберегающие вставки для разрушения пород:
а – крепких и средних упругопластических дефектных; б – крепких и средних упруго-дефектных; в – средних пластично-дефектных

ния механизма этих процессов. К ним относятся следующие: износ и упрочнение осуществляются воздействием внешних сил (энергии) на связи между элементарными частицами, составляющими рабочий инструмент; процессы износа и упрочнения описываются общими закономерностями квантовой механики; элементы износа и упрочнения вероятностные и протекают на основе закона сохранения энергии. Перечисленные особенности позволяют разработать общую математическую модель износа и упрочнения рабочего инструмента. В основу этой модели положе-

но функционирование связей между частицами материала инструмента. Силы связей, удерживающие в равновесии твердое тело представляют собой силы электростатического притяжения между заряженными частицами, распределенными в пространстве согласно законам квантовой механики [2]. Материал рабочего инструмента почти всегда складывается поликристаллическими агрегатами, состоящими из большего числа маленьких кристаллов. Большинство физических его свойств определяется свойствами отдельных кристаллов. Физическая природа ионной связи в кристаллах почти такая же, как и в молекулах. Ионные кристаллы возникают в результате тех же комбинаций атомов, что и ионные молекулы, это расширяет возможности описания износа и упрочнения на уровне физических процессов, протекающих в кристаллических твердых телах, к которым относятся рабочие инструменты буровых машин.

В процессе износа рабочего инструмента или его упрочнения изменяется “энергия связи” между атомами или молекулами кристаллов или “энергии диссоциации”. Между частицами на поверхностях (берегах) трещин существуют два рода сил — дальнотействующие силы отталкивания и ближнедействующие — притяжения.



Рис. 6.4. Взаимодействие между частицами

Потенциалы V результирующих сил взаимодействия в зависимости от расстояния r между частицами имеют вид, показанный на рис. 6.4.

Вероятные свойства составляющих ингредиентов металла, ее случайная дефектность вызы-

вают неоднородное распределение в нем напряжений под воздействием реакции забоя. Раскрытие трещины в значительной мере зависит от особенностей такого распределения напряжений. Наибольший интерес представляет механизм возникновения и перераспределения интенсивностей напряжений в вершине трещины. Передача энергии на их образование должна учитывать различие уровней ее распределения по объему инструмента. В данном случае детерминированный подход к описанию процесса разрушения не позволит достаточно точно раскрыть особенности изнашивания и упрочнения. Несмотря на всю сложность напряженного состояния, в нем отчетливо прослеживается природа изменения напряжений во всех

агрегатных состояниях вещества с атомными и молекулярными процессами. Источниками изменения напряжений в теле являются силы взаимодействия между частицами атомов и молекул. В общем случае напряженное состояние твердого тела является процессом возбуждения и распространения поля напряжений, которое может быть представлено суперпозицией волн напряжений со следующими характеристиками: амплитудой, частотой, фазой, поляризацией и направлением распространения.

В соответствии с исследованиями Баренблатта, Дагдейла на единичный акт раскрытия трещины расходуется определенная порция энергии, которая не может принимать произвольные значения. Следовательно, и поле напряжений в вершине трещины при единичном акте ее раскрытия изменяется на определенный дискретный уровень. Набор напряжений в трещинах имеет дискретный ряд: $G_0, G_1, \dots, G_n$; назовем его уровнем напряжений, он определяет спектр коэффициентов интенсивности в вершинах трещины. Такая дискретность уровней напряжений (энергий) свойственна твердому телу, обладающему дефектной структурой. Каждая дефектность в виде трещины обладает своим уровнем коэффициента интенсивности. Уровень с наименьшим коэффициентом интенсивности называется основным уровнем, он возникает в трещине длиной, равной перемещению D Леонова, Панасюка, Дагдейла (ЛПД). Остальные уровни напряжений при длинах трещин, кратным значениям D , называются возбуждениями. В определенных условиях взаимодействие этих коэффициентов интенсивности совершается скачкообразный переход с одного уровня коэффициента интенсивности на другой, более низкий уровень. Частоты волн при парциальных переходах можно определять по аналогии со вторым постулатом Бора:

$$\nu_{nm} = (G_n - G_m) / K,$$

или

$$\nu_{nm} K_0 = K_n - K_m = \Delta K, \quad (6.13)$$

где: K_0 — основной уровень коэффициента интенсивности, G_n — верхний уровень коэффициента интенсивности, G_m — нижний уровень коэффициента интенсивности.

Равенство (6.13) дуалистично, так как оно связывает волновые ν_{nm} и парциальные ΔK свойства напряжений. Следовательно, описание этих процессов базируется как на волновых, так и на парциальных (квантовых) представлениях. Перераспределение с более высоких уровней коэффициентов интенсивности на более низкий (основной) — явление случайное во времени и пространстве так как дефектность массива по своей природе случайна. Вероятность спонтанного парциального перехода коэффициентов интенсивности из состояния K_n в состояние K_m в единицу времени учитывается коэффициентом Эйнштейна A_{nm} [6.7].

Количество парциальных (квантовых) частиц на единице поверхности трещины, находящихся на данном энергетическом уровне, называется населенностью уровня N_n и является важной характеристикой уровня коэффициента интенсивности напряжений K_n . Так как на берегах трещины сосредоточено большое число частиц N_n , участвующих в перераспределении в единицу времени с K_n уровня на уровень K_m равно $N_n \cdot A_{nm}$, а изменение коэффициента интенсивности ΔK при этих переходах будет равно

$$\Delta K = N_n (K_n - K_m) \cdot A_{nm} . \quad (6.14)$$

Вероятность спонтанного перехода A_{nm} относится к единице времени, она может принимать значения от нуля до бесконечности, в отличие от математической вероятности, изменяющейся от 0 до 1. Под действием внешней нагрузки рабочего инструмента может произойти перераспределение ΔK при частотах волн напряжений, близких к частоте перехода в соответствии с (6.13). Такое перераспределение называется вынужденным (индуцированным) переходом. Оно также вероятно. При вынужденном излучении порции Z_{nm} коэффициента интенсивности, число этих порций излученных с 1 м^2 поверхности трещины за 1 с пропорционально населенности N_n верхнего уровня и спектральной плотности излучения [7]:

$$P\nu = \frac{8\pi\nu^2}{C^3} \cdot \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{KT}\right) - 1} Z_{nm} . \quad (6.15)$$

Коэффициенты интенсивности в вершине трещины характеризуются населенностью ее поверхности атомами без односторонней связи с другими атомами. Совокупность дефектов в окрестности трещины и наличие магистральной макротрещины в теле позволяет рассматривать ее как двухуровневую систему со степенями вырождения g_1, g_2 . Такая трещина схематически изображена на рис. 6.5, где уровень 1 косвенно отражает коэффициенты интенсивности дефектов, а уровень 2 - коэффициенты интенсивности макротрещины. Причем уровень 1 имеет кратность вырождения g_1 , а уровень 2 кратность вырождения g_2 . Населенность любого из подуровней, относящихся к микротрещинам и макротрещинам обозначим через N_{1j} и N_{2j} соответственно.

Раскрытие макротрещины можно рассматривать как процесс поглощения ($N_1 > N_2$). Условие, необходимое для роста трещины:

$$\frac{dU}{da} = \frac{dW}{da} ,$$

где: U – упругая энергия; W – энергия, необходимая для роста трещины; a – половина длины трещины.

На единицу толщины пластины:

$$\frac{dU}{da} = \frac{\pi \sigma^2 a}{E},$$

где: E – модуль Юнга.

Для распространения трещины необходимо, чтобы трещиноводящая сила $G_1 = \frac{dU}{da}$ и трещинотормозящая сила $R = \frac{dW}{da}$ были, по крайней мере, равны R .

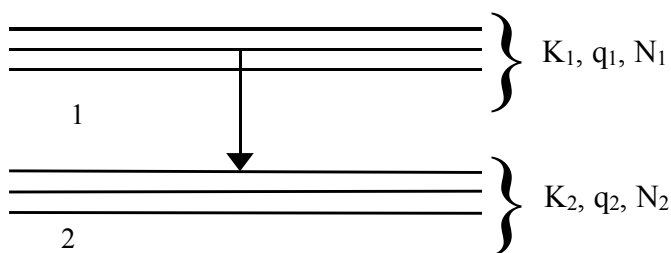


Рис. 6.5. Двухуровневая система трещины со степенями вырождения каждого уровня:

K_1 – коэффициент интенсивности дефектов микротрещин; K_2 – коэффициенты интенсивности дефектов микротрещин; N_1, N_2 – населенность всех подуровней микротрещин и макротрещин

Торможение раскрытия трещины осуществляется уменьшением трещиноводящей силы G_1 и увеличением сопротивления R . Вероятны два основных направления решения проблемы остановки критического разрушения: собственно торможение трещины и изменение ее траектории (направление уже развивающейся трещины).

Для торможения используются следующие методы:

- Релаксация упругого потенциала нагруженной и разгружающейся системы. Это, в частности, вариант пластического деформирования в вершине трещины.
- Создание напряженных полей сжатия. Получаемые механическим способом они могут останавливать трещины с любыми скоростями.
- Затупление вершины трещины, увеличение ее радиуса приводит к падению концентрации напряжений и росту прочности тела с существующей в нем, но остановленной, затупленной трещиной.
- Создание барьеров на пути трещины. К ним относятся множественные дефекты в кристаллических телах, например, отдельные дислокации и их системы, металлические включения, межблочные и межзеренные границы, двойниковые прослойки, полосы и пачки скольжения.

Торможение трещины с помощью системы других трещин достигается их плотным расположением, способны тормозить друг друга, обеспечивая более высокую плотность тела, нежели любая из них порознь. Торможение и управление траекторией трещин электрическим и магнитным полем эффективно применяется к

галоидным кристаллам. Известны и другие методы упрочнения инструментов, которые классифицируются следующим образом: исключаящие дефекты как концентраторы напряжений (дислокации трещины); упрочнения дефектами, не исключаящие присутствие дислокаций, основанные на повышении плотности дислокаций в материале; изменения межатомных расстояний; изменения межатомных расстояний и числа дефектов; оптимального сочетания различных свойств материала. Применение перечисленных методов упрочнения инструментов сохраняет длительное время выбранную его энергосберегающую форму. Постоянство такой формы обеспечивает эффективное, низкоэнергоемкое разрушение пород с использованием их обратимой внутренней энергии.

6.2. Глобальная энергия в раскрытии трещины

Теория раскрытия трещины нами дана в интерпретационном моделировании трещины [15, 26]. В этом пункте уточняются представления механизма трещинообразования при разрушении твердых тел с использованием понятия глобальной энергии. Критическая масса породы в вершине трещины является преобразователем механических волн упругих деформаций распространяющихся в массиве от места контакта инструмента с забоем до той массы, в электромагнитные волны потока квантов. Они выделяются при разрыве критической массы на участке ЛПД. Критическая масса играет роль также и аккумулятора энергии, в ней скапливается рассеянная по массиву энергия упругих деформаций, концентрируется внешняя энергия, преобразуется частично во внутреннюю энергию связей, при разрыве которым направленно излучается. Так объясняется понятие “концентратор” напряжений в трещинах твердых тел с учетом использования внутренней энергии связей горных пород на основе второго начала термодинамики. В соответствии с первым началом термодинамики, внешняя энергия, подводимая к массиву от исполнительного органа машины частично переходит во внутреннюю его энергию, а остальная ее часть распространяется в массиве.

$$A = U_{\text{внеш}} + \Delta U_{\text{внут}}.$$

Для полезного применения в разрушении пород трещинами необходимо научиться эффективно использовать ее внутреннюю энергию в критических массах. Такое использование возможно в случае обратимости процесса, который переводит внутреннюю энергию электромагнитных связей молекул критической массы во внешний поток электромагнитных полей, образованных излучением квантов при разрыве этих связей.

Наложение внешней энергии механических волн упругих деформаций вызывает в критической массе разрыв электромагнитных связей молекулы высвобождает из этих связей внутреннюю их энергию в виде квантовых потоков с частотой их колебаний. Эта частота равна частоте колебаний сохранившихся связей соседних молекул близлежащих к критической массе трещины.

Достаточная энергия подпитки резонансных колебаний поля разорванных связей для доведения соседних связей до состояния разрыва определяется ее суммой с внешней энергией напряжений упругих деформаций, вызванных нагруженным массива исполнительным органом. Особенность этой суммы состоит в том, что частота колебаний внешнего нагружения не равна частоте квантовых внутренних колебаний. Она может способствовать разрушению при совпадении фаз колебаний или препятствовать разрушению в случае противофазного совмещения амплитуд внешних и внутренних колебаний энергий. Эти колебания проявляются в пространстве между соседними молекулами противоположных берегов трещины. Их амплитуда изменяется от оптимального значения при устойчивом состоянии массива до максимального удаления берегов трещины друг от друга перед разрывом электромагнитных связей между соседними молекулами на противоположных берегах трещины, прилегающих к критической массе. С изменением амплитуды колебаний изменяется и ее частота от максимальных значений в устойчивом состоянии массива до минимальных при максимальном удалении друг от друга берегов трещины перед разрывом электромагнитных связей между соседними молекулами на противоположных берегах трещины, прилегающих к критической массе.

Колебания молекул материала вызывает появление вокруг них электромагнитных полей. Взаимодействие этих полей определяет устойчивость массива. В случае удаления парных молекул на противоположных берегах трещины более чем на $\delta = 2b$, связь между ними пропадает и трещина раскрывается. Следовательно, для эффективной обработки материала с использованием ГОВЭ надо такое взаимодействие с полем связи молекул, которое увеличивает амплитуду колебаний пар его молекул до $\delta > 2b$. Эта амплитуда колебаний достигается подачей дополнительной энергии в поле связи между молекулами. Она состоит из ГОВЭ разрыва связей между критическими массами и части необратимой энергии поля внешних нагружений рабочим инструментом. Обратимая энергия выделяется в виде квантов, воздействующих на поле связей соседних молекул. Внешняя необратимая энергия поля упругих деформаций материала, образовавшегося под воздействием на него рабочих инструментов, состоит из внешних квантового потока и поля, вызванного перемещением молекул вещества.

Поскольку в критической массе ГОВЭ находится в непосредственной близости к вершине магистральной трещины, то она оказывает существенное влияние на ее раскрытие. Поэтому она учитывается в математической модели движения

магистральной трещины наряду с энергией волнового поля молекулярных колебаний, вызванных упругими деформациями материала. Наибольшие затраты энергии идут на образование ядра уплотнения перед рабочим инструментом. Оно формируется множеством микротрещин, имеющих максимальную поверхностную энергию, которая значительно превышает поверхностную энергию магистральной трещины. На образование поверхностной энергии уплотненного ядра, раскрытие его микротрещин расходуется основная ГОВЭ из критических масс массива. Движение квантовых пакетов из разрывающихся связей критических масс в различных направлениях равновероятно. Поэтому и направление раскрытия микротрещин в ядре также происходит равновероятно. В результате ядро формируется частицами породы оконтуренными, разнонаправленными и вновь образованными поверхностями. На определенном удалении от контакта инструмента с породой энергии становится достаточно для раскрытия микротрещины квантовыми пакетами, движущимися по максимальному суммарному вектору внешних необратимых и внутренних обратимых энергий. Отделение стружки начинается и заканчивается раскрытием одной магистральной трещины. Для этого необходимо разработать новые способы автоматизированного управления направленным куммулированием энергий и разработкой новых машин, способных выполнять эту операцию. Одним из решений этой проблемы является предложенные и опробованные в промышленности концентраторы энергий, которые позволяют избежать процесса создания уплотненного ядра и отделять стружку только магистральной трещиной. При этом они формируют организованный поток энергии, куммулируют его в нужном направлении. Создание концентратора энергии в массиве значительно уменьшает затраты энергии на обработку материалов. Помимо этого уменьшается силовая нагрузка на рабочий орган машины за счет снижения силовой и энергетической перенасыщенности начального контакта инструмента с поверхностью забоя и куммуляции внешней и ГОВЭ на межмолекулярные электромагнитные связи.

Использование ГОВЭ для обработки материалов переводит этот процесс в квазистатический с повышенной вероятностью его течения. Наиболее эффективно этот процесс протекает, когда критическая масса излучает ГОВЭ, а соседняя связь молекул вершины трещины поглощает ее в резонансном режиме, разводя эти молекулы на расстояние $>2b$. Наряду с образованием на забое куммулятивных концентраторов напряжений, использование удельной внутренней энергии породы повышается с ростом приложения разрушающей нагрузки ударом. Это реализовано в различных машинах, воздействующих на обратимый материал ударов больших энергий. Вероятность направленности излучаемого потока энергии из разрывов связей молекул в критической массе на соседние связи в вершине трещины

возрастает при разрушении отрывом, когда внешнее усилие исполнительного органа машины приложено вдоль межмолекулярных связей. В этом случае основная энергия излучаемого потока квантов движется к связям между соседними молекулами, как показано на рис.6.6.

На рис. 6.7. схематично показаны возможные виды переходов между двумя выделенными энергетическими состояниями 1 и 2, характеризующимися энергиями E_1 и E_2 . Прежде всего возбужденная частица может перейти в энергетическое состояние самопроизвольно в результате спонтанного перехода (излучения) (рис. 6.7).

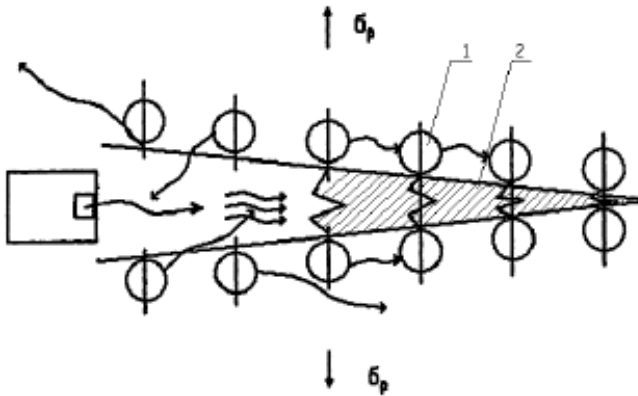


Рис. 6.6. Схема раскрытия трещины:
1 – молекула, 2 – критическая масса вершины трещины

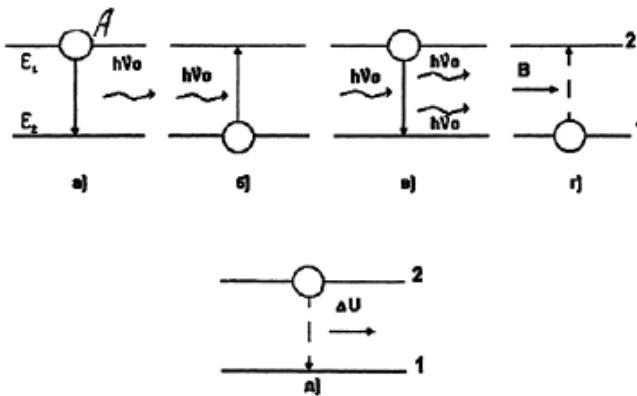


Рис. 6.7. Излучательные [а, б, в,] и
безизлучательные [г, д]
переходы в квантовой системе

Спонтанное излучение имеет чисто квантовую природу. Согласно квантовой механике атом или молекула не могут находиться в возбужденном состоянии бесконечно долго. Возбужденное состояние распадается с конечной скоростью, определяемой вероятностью этого перехода в единицу времени A_{21} , испуская при этом квант энергии, равный в соответствии с постулатами Бора [32]

$$h \cdot \nu_0 = E_2 - E_1.$$

Схематически этот переход можно показать:

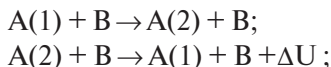
$$A(2) \rightarrow A(1) + h \cdot \nu_0.$$

Среднее время жизни частицы в возбужденном состоянии при наличии только спонтанных переходов свя-

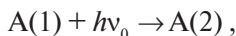
зано с вероятностью этого перехода в единицу времени A_{21} называемой коэффициентом Эйнштейна для спонтанных переходов, соотношением [34].

$$\tau_0 = \frac{1}{A_{21}}.$$

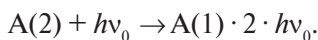
Кванты энергии, родившиеся в результате спонтанных переходов, обладая одинаковой энергией, никоим образом не связаны между собой. Направление распространения этих квантов в пространстве равновероятны, т.к. рождение порции энергии может произойти с равной вероятностью в любой момент времени, электромагнитные волны, соответствующие этим квантам, не связаны между собой по фазе и имеют произвольную поляризацию. Безизлучательные переходы возможны при наличии взаимодействия частицы А с другой частицей или системой частиц В (рис. 6.7г). В результате такого взаимодействия частица переходит из состояния 1 в состояние 2 или наоборот без участия кванта энергии.



Индукцированные, или вынужденные переходы в соответствии с гипотезой А.Эйнштейна могут происходить только при взаимодействии частицы А с резонансными квантами. Эйнштейн предположил, что при наличии поля резонансной частоты помимо переходов квантовой системы из состояния 1 в состояние 2, что соответствует резонансному поглощению квантов, протекающему по схеме (рис. 6.7б)



возможны переходы системы из состояния 2 в состояние 1 по схеме



Вероятности вынужденных переходов W_{12} и W_{21} в единицу времени пропорциональны объемной плотности резонансных квантов, или спектральной плотности энергии внешнего поля, т.е.

$$W_{12} = B_{12} \cdot p_0; \quad W_{21} = B_{21} \cdot p_v; \quad (6.16)$$

где: B_{12} и B_{21} — коэффициенты Эйнштейна для индуцированного поглощения и излучения соответственно.

Кванты электромагнитного поля, родившиеся в результате вынужденного излучения, абсолютно тождественны квантам поля, стимулировавшим этот процесс, т.е. внешнее поле и поле, описывающее родившиеся при индуцированных перехо-

дах кванты, имеют одинаковое направление распространения, поляризацию и фазу. Рассмотрим, следуя Эйнштейну, равновесный ансамбль квантовых частиц, способных находиться в одном из состояний с энергиями E_1 и E_2 . При переходах эти частицы поглощают или испускают квант с энергией $h\nu_0 = E_2 - E_1$.

В тепловом равновесии распределение частиц по уровням описывается законом Больцмана:

$$N_i = N_0 g_i \exp\left(\frac{-E_i}{k \cdot T}\right),$$

где: g_i – вес уровня, характеризующий число возможных состояний с энергией E_i ; N_0 – общее число возможных состояний на этих уровнях.

Отношение концентраций частиц в состояниях 1 и 2 составили при этом [34]:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{g_2}{g_1}\right) \cdot \exp\left(\frac{-(E_2 - E_1)}{k \cdot T}\right). \quad (6.17)$$

В термодинамическом равновесии система не приобретает и не теряет энергию, поэтому число переходов 1-2 и 2-1 должно совпадать.

$$W_{12} \cdot N_1 = W_{21} \cdot N_2. \quad (6.18)$$

Подставляя значения W_{12} и W_{21} в (6.17) и решая относительно $\frac{N_2}{N_1}$ получим:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{B_{12} \cdot p_\nu}{A_{21} + B_{21} \cdot p_0}. \quad (6.19)$$

Тогда плотность энергии в спектре равновесного излучения получим приравняв (6.18) и (6.19), учитывая (6.17)

$$p_\nu = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{g_1 \cdot B_{12}}{g_2 \cdot B_{21}} \cdot \exp\left(\frac{h \cdot \nu_0}{k \cdot T}\right) - 1 \right]^{-1}.$$

Для установления взаимосвязи коэффициентов Эйнштейна рассмотрим предельный случай. При $T \rightarrow \infty$, p_ν также должна стремиться к бесконечности. Так как числитель – величина конечная, то при этом знаменатель должен стремиться к нулю. При $T \rightarrow \infty$, $(h\nu_0 / kT) \rightarrow 0$, $\exp(h\nu_0 / kT) \rightarrow 1$

$$g_1 \cdot B_{12} = B_{21} \cdot g_2. \quad (6.20)$$

Это означает, что вероятности процессов вынужденных поглощений и излучений в пересчете на одно невырожденное состояние равны:

$$p_{\nu} = \frac{A_{21} \cdot g_2}{g_1 \cdot B_{12} \left[\exp\left(\frac{h \cdot \nu_0}{k \cdot T}\right) - 1 \right]} . \quad (6.21)$$

Полученное из квантовых представлений это выражение не должно противоречить экспериментальной формуле Планка.

$$p_{\nu} = \frac{8 \cdot \pi \cdot \nu^2}{c^3} \cdot \frac{h \cdot \nu}{e^{\frac{h \nu}{kT}} - 1} .$$

При высоких T и λ ($\lambda \nu \ll kT$) $\rightarrow 1$ формула Планка переходит в формулу Роллея - Джинса:

$$p_{\nu} = \frac{8 \cdot \pi \cdot \nu^2 \cdot k \cdot T}{c^3} , \quad (6.22)$$

а формула (6.21) принимает вид:

$$p_{\nu} = \frac{A_{21} \cdot g_2 \cdot k \cdot T}{g_1 \cdot B_{12} \cdot h \cdot \nu} . \quad (6.23)$$

Сравнивая (6.21) и (6.23) и учитывая (6.20) находим, что:

$$B_{12} = A_{21} \frac{c^3 \cdot g_2}{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3 \cdot g_1} , \quad B_{21} = A_{12} \frac{c^3}{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3} .$$

Равновесное излучение ансамбля частиц является внешним по отношению к любой из частиц ансамбля. Поэтому приведенные выражения справедливы и для случая квантовой системы в поле внешнего излучения. Полная вероятность переходов с испусканием энергии равна:

$$W_{изм} = W_{21} + A_{21} = \left(\frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} + p_{\nu} \right) \cdot B_{21} .$$

Определим резонансную частоту. Если в каком-либо месте упругой среды возбудить колебание ее частиц, то в следствии взаимодействия между частицами это колебание начнет распространяться в среде с некоторой скоростью V . Возникает волна. В твердой среде возможно возникновение как продольных, так и поперечных волн. Смещение одного из атомов из положения равновесия влечет за собой

смещение соседних с ним атомов. Таким образом, кристаллическая решетка представляет собой N упруго связанных друг с другом атомов, обладающую $S=3M$ степенями свободы. Каждому нормальному колебанию решетки соответствует стоячая волна, устанавливающаяся в объеме кристаллического тела. Действительно, из-за связей между атомами колебания, возникшие в каком либо месте передается от одного атома к другому, в результате чего возникает упругая волна. Дойдя до границы она отражается. При наложении прямой и отраженной волн образуется стоячая волна, возникающая лишь для частот удовлетворяющих определенным условиям. Если взять кристаллическое тело в виде параллелепипеда со сторонами a, b и c , то эти условия:

$$k_x = \frac{\pi}{a} \cdot n_1; \quad k_y = \frac{\pi}{b} \cdot n_2; \quad k_z = \frac{\pi}{c} \cdot n_3;$$

$$\frac{a}{\lambda} = n; \quad \lambda = \frac{2 \cdot \pi}{k}; \quad \frac{a}{n} = \lambda; \quad \frac{n}{a} = \frac{1}{\lambda}; \quad \frac{2\pi}{\lambda} = k.$$

где: n — число волн, укладываемые в грани параллелепипеда ($n_1, n_2, n_3=1,2,3$); k_x, k_y, k_z — проекции волнового вектора.

Необходимую энергетическую подпитку системы можно получить с помощью импульсного электромеханического преобразователя, который излучает волны резонансной частоты. Управление направлением движения задается квантами электромагнитных волн из внешнего источника излучения, распространяющихся вдоль трещины. Использование энергии квантов, образующихся при разрушении межмолекулярных связей повышает эффективность работы машин и особенно в режиме резонансного волнового процесса, что увеличивает КПД разрушения. Материалы этого параграфа дали направление последующих работ по полезному использованию ГОВЭ в энергосберегающей добыче и обработке твердых материалов.

6.3. Динамическое нагружение твердых материалов

Впервые в мировой практике в 1955 году создана установка УБЭ - 1 (рис. 6.8) для исследования энергетических параметров разрушения горных пород ударами с энергией до 5000 Дж. За рубежом испытания подобных исполнительных органов на карьерах и в подземных условиях были начаты в 1966 году научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом (MRDE) при Государственным угольным управлением Великобритании, эти данные приведены в [50]. Испы-



Рис. 6.8. Установка для разрушения горных пород ударами большой энергии

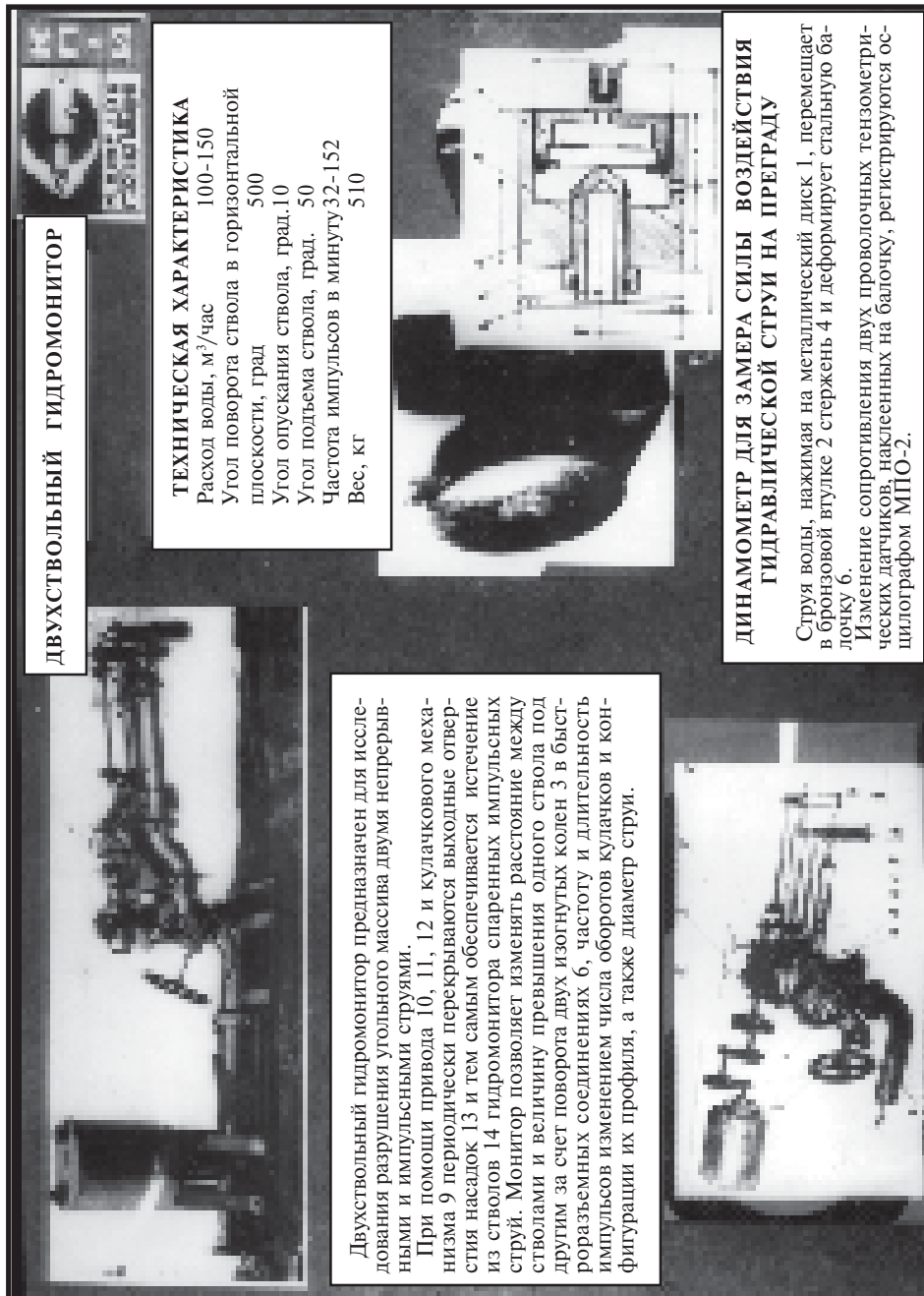


Рис. 6.9. Особенности конструкции и техническая характеристика двухствольного гидромонитора

тания этой установки в естественных условиях залегания угольных и породных пластов подтвердили отделение от массива крупных кусков горной породы за счет передачи полым стволом пушки типа ЗИС-3 кинетической энергии его движения. Изучение внутренней обратимой энергии ствола практически не осуществлялось. Она воспринималась в основном молекулярным слоем породы и ее каркасом. Воздействие на энергетические уровни гармонических осцилляторов было не достаточно, в результате КПД разрушения остался в пределах 2%.

Проникнуть в межмолекулярное фазовое пространство элементарной ячейки горной породы через молекулярную ее мембрану со снижением нагрузками на молекулы представлялось возможным с помощью сдвоенных непрерывных и импульсных струй, слоем породы и ее каркасом. Воздействие на энергетические уровни гармонических осцилляторов было не достаточно, в результате КПД разрушения остался в пределах 2%.

Проникнуть в межмолекулярное фазовое пространство элементарной ячейки горной породы через молекулярную ее мембрану со снижением нагрузками на молекулы представлялось возможным с помощью сдвоенных непрерывных и импульсных струй. Для этого были созданы двухствольный гидромонитор (рис.6.9), давление струй в них изменялось от 6 до 2000 атм. Капельное воздействия струи гидромонитора не обладало собственной частотой колебаний, соизмеримой с собственной частотой колебаний частиц породы, а их энергии было не достаточно для разрыва электромагнитных связей между молекулами осцилляторов породы. Повышение этой энергии достигнуто в двухствольном импульсном водомете, приведенном на (рис. 6.10).

Давление импульсных струй в нем составляло 6000 атм. В результате промышленных испытаний водомета нельзя было осуществить стабильную проходку. Дело в том, что струи образовывали при их выстреле лунки на забое, между которыми оставались породные целики, мешающие продвижению насадков мониторов вдоль забоя. Такие технологические трудности возникли при разработке песчаников крепостью до 6 по проф. М. М. Протодякову.

Попытки испытать водомет на углях могли дать лучшие результаты, но возможность таких испытаний не была представлена. Неудачи в повышении КПД разрушения струями натолкнули на необходимость создания комбинированного воздействия на забой стальным ударником и струей воды. На этом принципе была создана механико-гидравлическая машина МГПМ - 1 (рис. 6.11) с комбинированным воздействием механических ударов энергией до 500 кгм с последующим воздействием импульсной струи до 200 атм. в зону предварительного механического удара.

Испытания МГПМ - 1 проводились на Михайловском разрезе по песчаникам с крепостью и контактной прочностью соответственно равными 1,8 и 13,7 кг/мм².

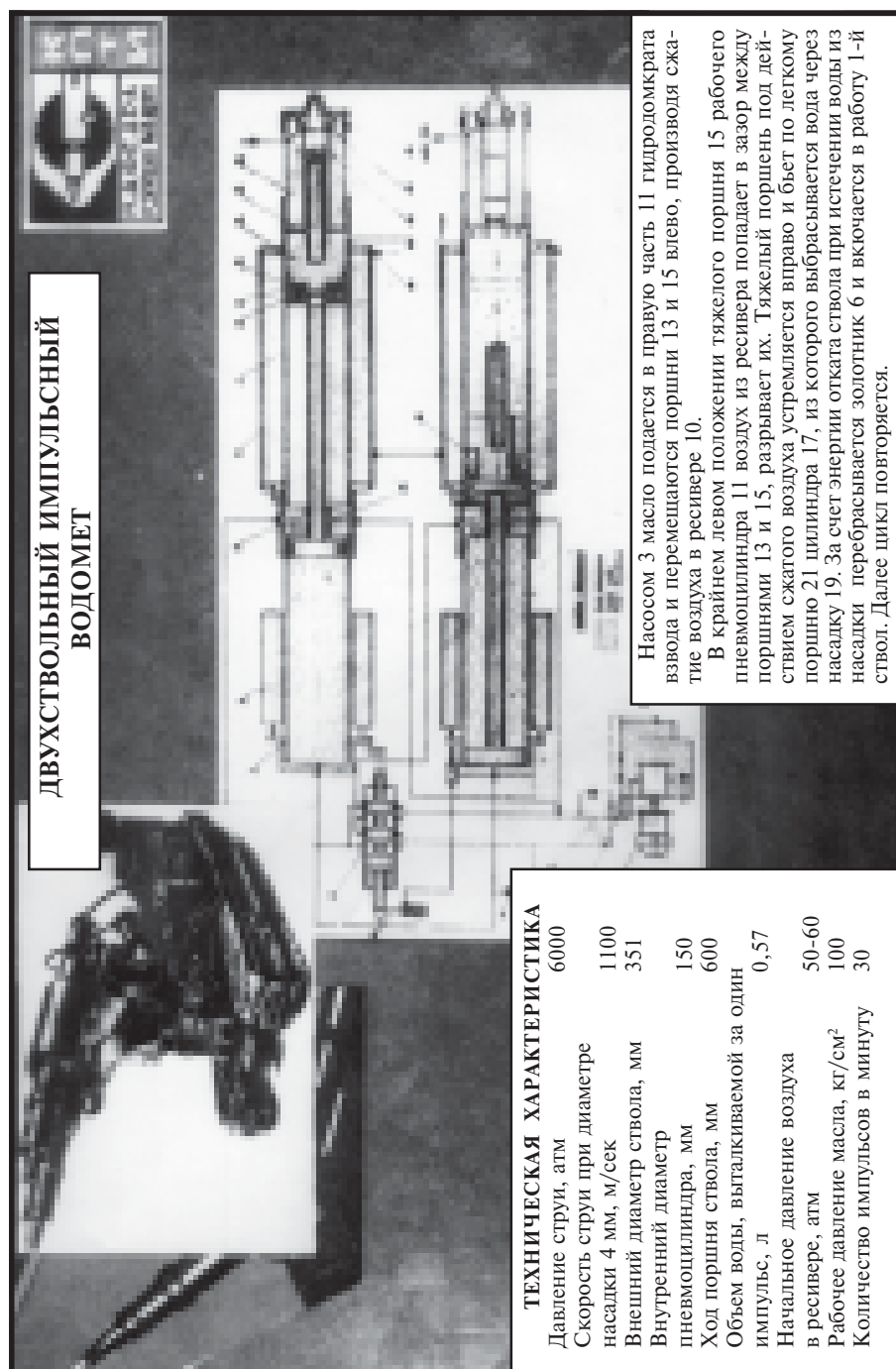


Рис. 6.10. Особенности конструкции и техническая характеристика двухствольного импульсного водомета

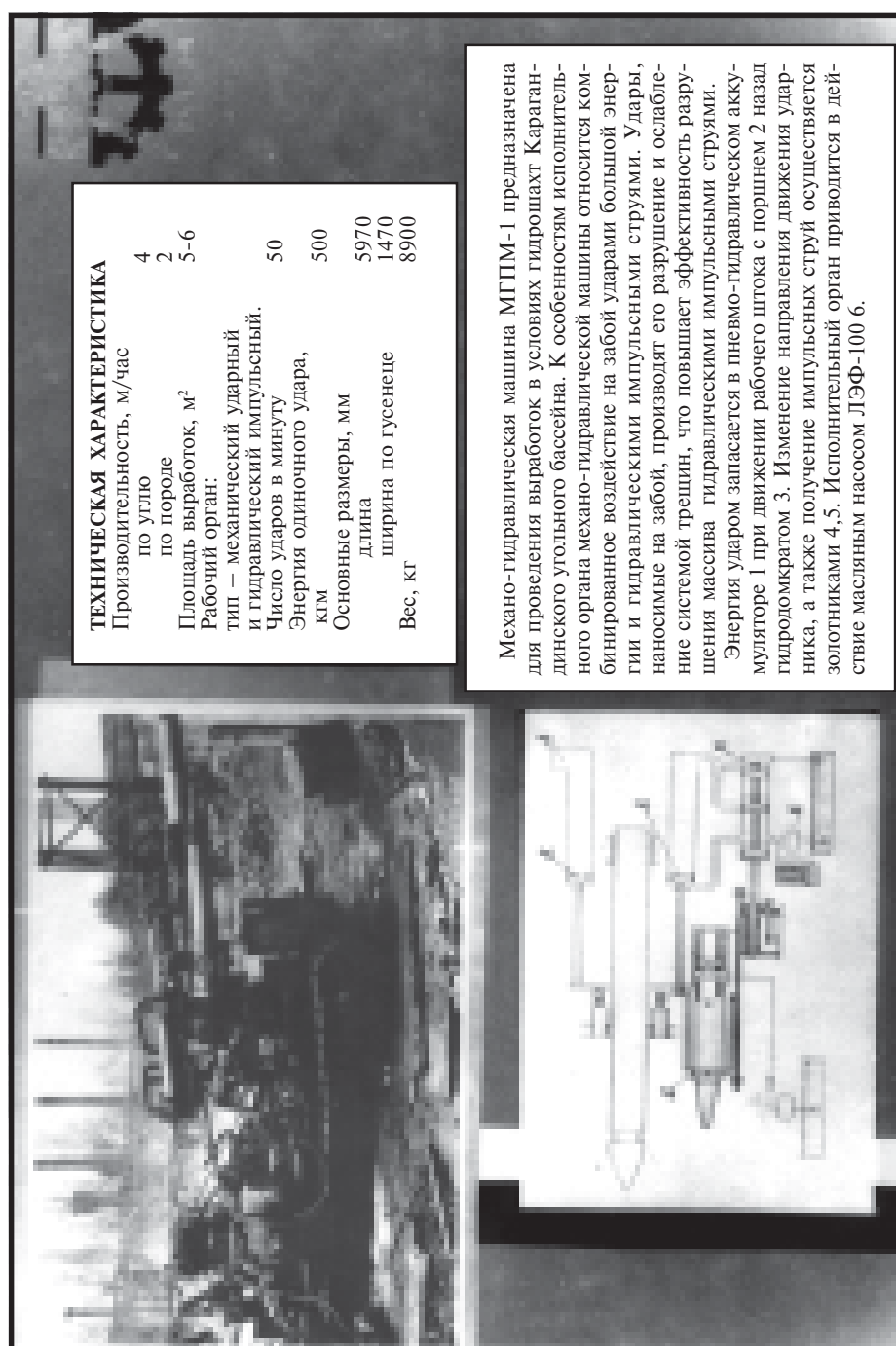


Рис.6.11. Особенности конструкции и технические данные механо-гидравлической машины

Расстояние насадки гидромонитора диаметром 1,7 см от забоя равнялось 1,6 м. Механическими ударами на забое образовывались лунки с трещинами, в которые подавалась струя воды около 200 атм. с секундным расходом 13,1 л в течении 25 с. Техническая характеристика и принцип работы машин с гидравлическими струями приводятся на рисунках. В последнем варианте машины увеличение протяженности трещин от механического удара повышало производительность гидроотбойки в два раза.

Несмотря на улучшения производственных показателей работы машин ударного и гидравлического разрушения забоя, основной показатель - КПД, характеризующий сбережение энергии, остался практически неизменным и равным 2-3%. Причиной этому являются низкочастотные удары пикой и струями машины. Монолитная конструкция пики не выделяла достаточной внутренней энергии потоков фотонов, поэтому энергия удара воспринималась, в основном, молекулярным слоем забоя и каркасом породы. Внутренняя энергия струй также не обеспечивала высвобождение обратимой внутренней энергии горной породы для полезного ее использования. Установление этих недостатков следует считать большим. Они инициировали необходимость активизации передачи энергии ударом и струями повышением частоты собственных колебаний внутренних энергетических потоков, поступающих в массив. Применительно к удару подтвержден ранее предложенный принцип трансформирования энергии излучения удара пикой динамического струга, активного рыхлителя и бутобоя. В него нужно включить активную струю, которая также выделяет свою внутреннюю обратимую энергию, способную воздействовать на энергетические уровни гармонических осцилляторов породы фотонными потоками без основного нагружения ее молекул. Такая комбинация двух потоков внутренних энергий в одном исполнительном органе решена в буровой машине БГГ (рис. 6.12).

6.4. Трансформирование удара в потоки глобальной энергии

Критическая масса штанги БГГ поглощается и дополнительно трансформируется ее коронкой в высокочастотные спонтанные потоки фотонов. Их рассеяние снижается электромагнитным полем воды, движущейся по промывочному каналу жидкости с зарядами электронов, образовавшихся при соударении бойка с поступающей в штангу водой, которая закручивается, превращаясь в вихревые потоки. Выход жидкости из коронки выполнен в форме трубки Вентури, что обеспечивает кавитационные излучения обратимой внутренней энергии воды в направлении забоя шпура без ее рассеивания. Таким образом, на нём сосредото-



Рис. 6.12. Механическая часть механико-гидравлической бурильной машины и ее характеристика

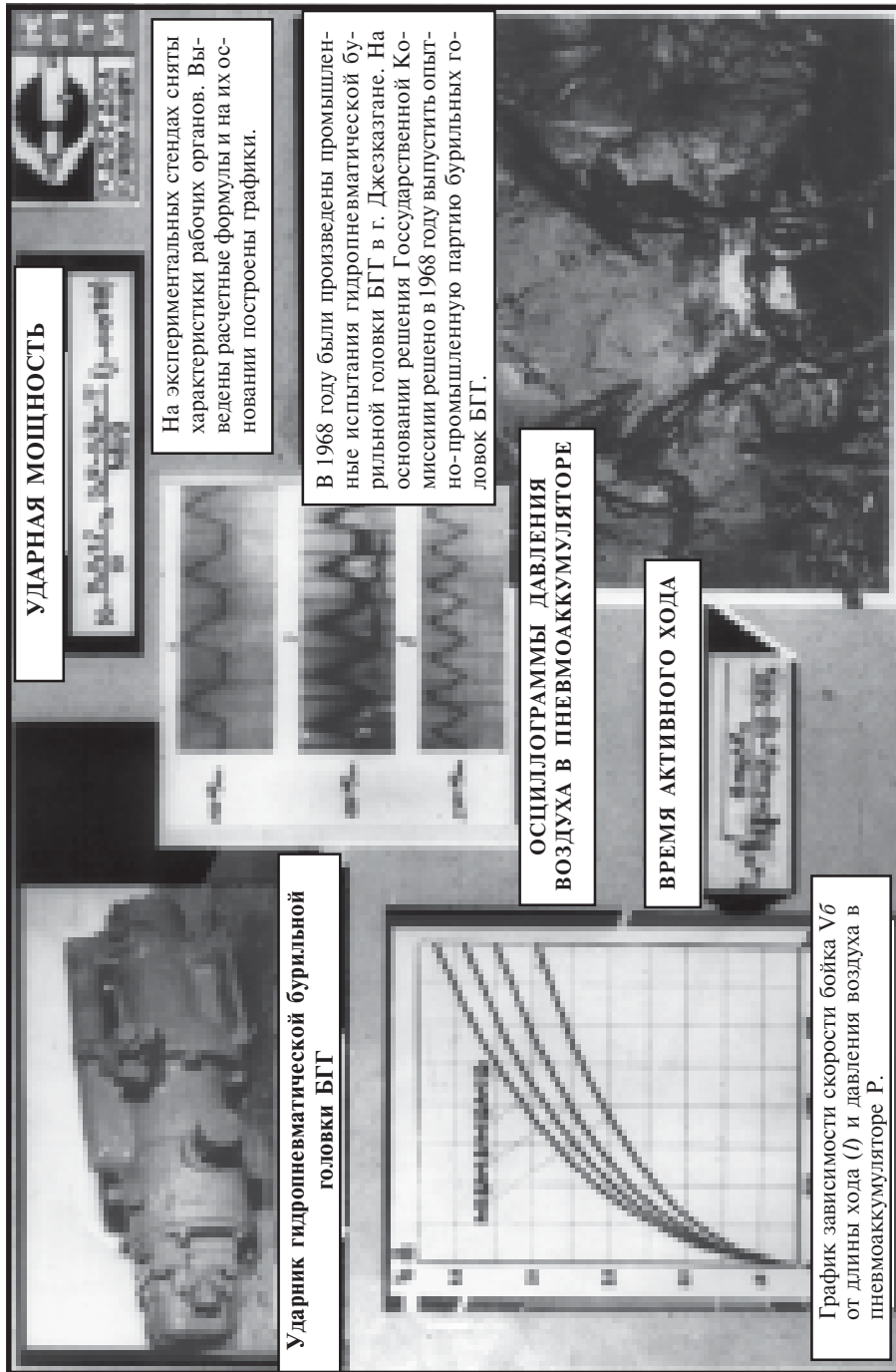


Рис. 6.13. Режим работы ударной части механо - гидравлической машины БГГ

ваются два высокочастотных потока обратимых внутренней энергии, одно из активной критической массы конца штанги с коронкой, другое из обратимой внутренней энергии промывочной жидкости буровой машины. Каждый из них имеет свои вероятностные модуляции по частоте, амплитуде и фазе. Суммарные значения этих характеристик непрерывно меняются, создавая синергетическое нагружение забоя шпура. Последняя создает выборочный резонанс внешних потоков энергии с внутренними уровнями энергии разрушаемого материала, что обеспечивает КПД разрушения, равный 5–6%, чего нельзя было достигнуть раздельным разрушением пикой и струей воды.

Наибольшие затраты энергии в этом варианте приходится на механическое разрушение во взаимодействии бойка со штангой и коронкой буровой машины. Это вызвало необходимость в первую очередь создать буровую машину без использования обратимой внутренней энергии промывочной жидкости (рис. 6.13) и провести анализ потока обратимой внутренней энергии критических масс штанги от бойка машины до вершины трещины. При этом особое внимание обращалось на трансформацию частот колебаний, которые достигают собственных частот критических масс штанги при излучении из них обратимой внутренней энергии. При трансформировании удара в фотонные потоки обратимых внутренних энергий происходит распространение квантовых потоков энергии в системе боек – 1; критическая масса штанги – 2; уплотненное ядро забоя – 3; макротрещина в вершине уплотненного ядра – 4; постоянная ЛПД – 5; вершина трещины в электрете – 6; схематично показанное на (рис. 6.14)

Энергиями, которыми обладают звенья системы, запишем в соответствии с их нумерацией по рис. 6.14.

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2}; E_{\text{я}} = E_u \eta + \frac{m_r (a \cdot t)^2}{2}; E_u = nh \cdot \frac{a \cdot t}{\lambda_{\phi}};$$

$$E_{\text{я}} = E_u \eta + n_1 h \nu_{\phi m}; E_{\text{я}} = nh \cdot \frac{a \cdot t}{\lambda_{\phi}} \eta + n_1 h \frac{c}{\lambda_{\phi m}};$$

$$E_T = E_{\text{я}} - \gamma; E_T = E_{\phi} \eta + n_1 h \nu_{\phi m} - \gamma;$$

$$E_T = nh \frac{a \cdot t}{\lambda_{\phi 2}} \eta + n_1 h \frac{c}{\lambda_{\phi 1}} n - \gamma.$$

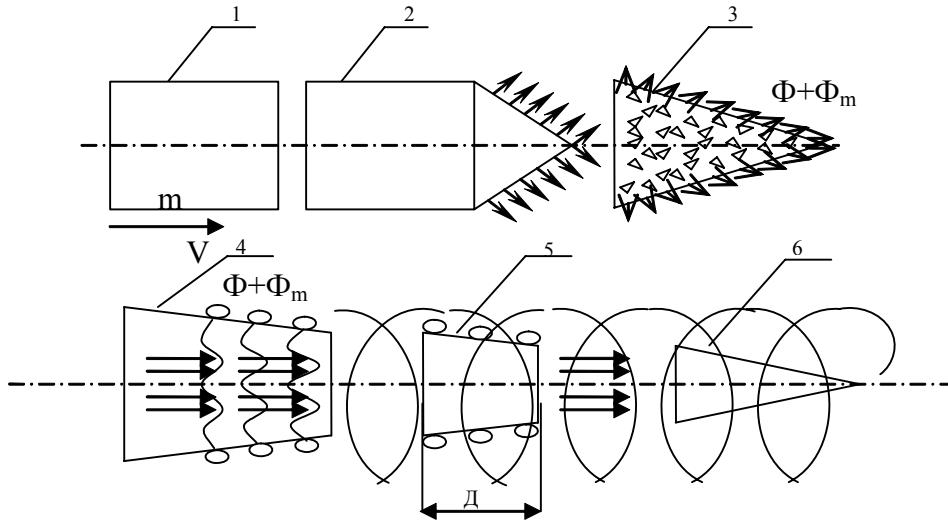


Рис. 6.14. Схема распространения квантовых потоков энергии: V – скорость бойка; m – масса бойка; Φ – фотон; Φ_м – фонотон; Д – постоянная ЛПД

$$E_{\text{д}} = E_{\text{т}} + n_2 h \nu_{\text{ф}}; \quad E_{\text{д}} = E_{\text{м}} \eta + n_1 h \nu_{\text{фм}} \eta - \gamma + n_2 h \frac{c}{\lambda};$$

$$E_{\text{д}} = n h \frac{a \cdot t}{\lambda} \eta + n_1 h \frac{c}{\lambda_{\text{фм}}} \eta - \gamma + n_2 h \frac{c}{\lambda_{\text{фм}}};$$

$$E_{\text{вм}} = n h \frac{a \cdot t}{\lambda_1} \eta + n_1 h \frac{c}{\lambda_1} \eta - \gamma + n_2 h \frac{c}{\lambda_{\text{фм}}}.$$

где энергии: E – бойка; E_у – критической массы штанги; E_я – ядра уплотнения забоя; E_т – трещины в вершине ядра уплотнения; E_д – трещины ЛПД; E_{вт} – вершины трещины; Φ – фотон; Φ_м – фонотон; γ – поверхностная энергия; λ₁, λ_ф, λ_{фт} – длины волн критической массы вершины трещины, фотона, фонотона; n, n₁, n₂ – количество фотонов, фононов, фонотонов.

Прохождение фотонов в породе под давлением обеспечивается приобретением ею свойства электрета. Распределение потоков энергии по участкам раскрывающихся трещин помогает более полному изучению физической сущности процесса нагружения пикой ударной машины и сплошной струей воды. Эти особенности

рассмотрим более подробно на примерах работ, выполненных в других странах и авторами настоящей монографии.

Гидромеханический способ разрушения основан на комбинированном воздействии на горный массив энергией струи воды и механического инструмента (резца, дисковой шарошки, ударного или статического скалывателя и т.п.). Поскольку гидромеханический способ разрушения предполагает одновременное воздействие на горный массив струи воды и механического инструмента, то правомерно предположить, что продуктивность комбинированного разрушения будет определяться эффективностью гидравлического и механического способа в отдельности.

В ЮАР в лабораторных и промышленных условиях был опробован гидромеханический способ резания крепких (корит) и абразивных (кварцит) горных пород с использованием высокоскоростной струи воды давлением до 50 МПа и механическим резцом, армированным вставкой из твердого сплава. Рациональным расположением резцов и высокоскоростных струй воды получено более высокая производительность по сравнению с обычным механическим способом отделения. Так как сами по себе высокоскоростные струи воды не вызывают заметного разрушения структуры испытываемых пород, то причины снижения усилий резания комбинированным инструментом следует искать во взаимодействии резца и струи воды. Механический инструмент первоначально образует в породе волосяные трещины перед рабочей кромкой. В эти трещины проникает вода и с помощью гидравлического клина способствует отделению частиц породы от массива. Остальные эффекты воздействия воды, такие, как охлаждение инструмента и непрерывное промывание оказывают положительное влияние на производительность разрушения. Оптимальными местами воздействия струи воды считаются зоны перед инструментом, в которых имеют место максимальные напряжения с соответствующим интенсивным трещинообразованием. Такое место взаимодействия струи воды с породой находилось в 10 мм от рабочей кромки инструмента. Повышение давления струи оказывает положительное влияние на производительность разрушения.

Исходя из того, что уголь и горная порода лучше разрушаются под воздействием растягивающих нагрузок, предложен новый вариант гидромеханического способа разрушения горного массива, заключающийся в комбинированном воздействии на него высокоскоростной струи воды и дисковой шарошки. При перемещении скоростной струи вдоль поверхности разрушаемого массива в нем образуются межщелевые целики, высота которых определяется глубиной нарезанной щели. Высокоскоростная струя воды воздействует на уплотненное ядро, которое образуется в зоне внедрения резца; при этом энергия струи реализуется на ослабление массива и удаление продуктов разрушения ядра и снижения сил взаимодействия боковых граней инструмента с породой.

Проблема бурения скважин в породах, особенно в абразивных, механическим способом, несмотря на длительную практику и многочисленность проводимых в этом направлении исследовательских работ, до сих пор остается неразрешенной. Существующие методы бурения пород с помощью твердых сплавов трудоемки, вызывают большой расход материалов, а бурение происходит медленно и далеко не отвечает требованиям промышленности. Поэтому исследовательские организации работают над созданием других методов бурения скважин, среди которых особое место занимает способ разрушения пород высокоскоростными струями воды, в сочетании с механическими инструментами. В настоящее время определенные успехи в разработке и создании буровых исполнительных органов с использованием струи воды высокого давления достигнуты в США, Франции, Германии. Ниже рассматривается использование таких буровых устройств в указанных странах.

Специалисты США были первыми, использовавшими высокоскоростные струи воды для бурения шпуров и скважин используются для разрушения горных пород и создания скважин относительно малого размера (шпуров, скважин под анкерную крепь) при значительно большей скорости бурения, чем в случае обычно применяемых инструментов. Значительное увеличение механической скорости бурения достигается новой геометрией насадки струеформирующего устройства на буровой коронке, частоты ее вращения. Насадка имеет 2 отверстия, одно из которых соосно с корпусом бурового инструмента, а другое наклонено к нему под углом 30 градусов. Диаметры указанных отверстий относятся как 1:2. Скорость струи рабочей жидкости достигает 305 м/с, а вращение насадок — с частотой до 1000 об/мин. Устройство для бурения можно разместить в конусе высотой 30 см и диаметром менее 18 см.

В институте Электрик Пауэр Рисерч Институт проведены исследования по применению гидроимпульсных установок интенсифицирующих прокладку под землей горизонтальных и наклонных отверстий для силовых электрических кабелей. В угольных шахтах США ежегодно в кровлю выработок устанавливается более 100 млн анкеров, причем все большее распространение получают анкера, скрепляемые со стенками шпура по всей длине. Основной путь снижения затрат при их использовании — это уменьшение диаметра шпура до менее 25,4 мм и увеличение скорости его бурения с использованием струй высокого давления. Решение указанной проблемы было найдено специалистами Колорадского горного института (США), создавшими малогабаритную бурильную установку, оснащенную высокоскоростной струей воды, которая бурит шпуры диаметром 9,5–25,4 мм и длиной до 1,22 м. Опытная модель бурильной установки состоит из ручного вертлюга, скрепленного с полым металлическим стержнем, диаметр которого не превышает диаметр обычного карандаша, длиной 1,22 м. Через вертлюг по стержню к насадке формирующей высокоскоростную струю, подается вода под давлением

245 МПа. Насадка располагается на стержне под углом и вращается вместе с ним с частотой 1200 об/мин. Помимо уменьшения диаметра шнура, скорость его бурения при этом увеличилась в двое.

Недостатком механических бурильных установок является необходимость иметь буровые штанги больших размеров и повышенной прочности. Они должны выдерживать крутящий момент в 207 Н·м, что определяет величину их минимального диаметра, равного 22,2 мм. Между тем для разработанной гидравлической бурильной установки необходимый крутящий момент составляет всего 14 Н·м, что позволяет использовать штангу диаметром 9,5 мм. При испытаниях малогабаритной бурильной установки по песчаникам крепостью 147 МПа/м² скорость бурения составляла 3,05 м/мин, что вдвое превышает скорость бурения при использовании механических бурильных установок. Она практически не производит пыли, а шума меньше, чем при работе установок ударно-вращательного бурения. Американские специалисты считают, что внедрение способа бурения с использованием высокоскоростных струй воды в угольной промышленности позволит при современном применении промышленных анкеров (около 20 млн штук в год) экономить ежегодно 40 млн долларов.

Компанией "Флоу Иквипмент Ко" (США) предложено устройство для бурения шпуров диаметром 19,0–41,3 мм под анкера или производство буровзрывных работ. Бурение производится струями воды под давлением 246 МПа подачей ее по гибкому шлангу, или 386 МПа при подаче ее по трубам. Регулирование скорости подачи буровой коронки, оснащенной струеформирующим устройством обеспечивает при указанных давлениях воды постоянный диаметр скважины независимо от крепости породы.

На основе исследования гидравлической разрушаемости песчаников низкой и средней прочности в штатах Колорадо и Юта (США) при скорости истечения водяных струй от 230 до 370 м/с и давлении воды от 28 до 70 МПа создана конструкция бурового инструмента, совмещающего принципы вращательного бурения и разрушения пород высокоскоростными струями воды. Основным преимуществом его использования является низкий уровень пылевыведения и шума (менее 38 дБ), а также малая масса инструмента – 9 кг. Буровой инструмент предназначен для бурения шнуров диаметром 20–45 мм на глубину до 1,8 м в осадочных породах малой и средней прочности. Этот способ бурения нашел применение при проходке тоннеля Долорес (штат Колорадо). Вода для бурения подавалась непосредственно из реки и затем фильтровалась. В среднем на бурение шнура диаметром 41 мм и глубиной 1,8 м требовалось $\approx$ 1 мин., а в ряде случаев не более 20 сек. Суммарная длина пробуренных шнуров составила 1800 м, стойкость буровой коронки – 300 м.

Учеными Университета Миссури-Ролла для соединения вертикальных скважин предложено разработать способ бурения в угольном пласте каналов неболь-

шого диаметра с помощью высокоскоростных струй воды. Поскольку специалистами университета уже был накоплен опыт по созданию установок для бурения скважин высокоскоростными струями воды по песчанику длиной до 8 м, ими разработано устройство для бурения каналов, соединяющих вертикальные скважины длиной 15 м и диаметром 15–20 мм.

В национальной лаборатории Сондиа (США) разрабатывается система бурения, основанная на использовании высокоскоростных струй воды для бурения горизонтальных скважин по угольному пласту и вертикальных скважин. Эти скважины предназначены для соединения каналов вертикальных скважин технологического процесса при подземной газификации угля. Целью исследования вращательного бурения в комбинации с высокоскоростными струями воды являлось осуществление данного способа в трех областях: в легких породах достичь удвоенной скорости бурения; в абразивных породах снизить износ инструмента; в крепких породах, где вращательным бурением невозможно обеспечить экономически выгодную скорость подачи. Истечение высокоскоростных струй воды происходило в забое скважины через калиброванные отверстия струеформирующих устройств диаметром 0,3–0,4 мм, установленных в пластинах карбида вольфрама или позади этих пластин. Использование высокоскоростных струй при вращательном бурении давало увеличение скорости бурения, снижение износа инструмента, уменьшение вибрации оборудования, более эффективное удаление бурового шлама, пылеподавление и охлаждение, постоянный диаметр пробуренных шпуров, возможность бурения шпуров в более твердых и абразивных породах. В лабораторных условиях были испытаны буровые коронки диаметром 37 и 22 мм с различными модификациями струеформирующих устройств. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что в абразивных породах небольшой и средней крепости, в которых при вращательном бурении коронками диаметром 22 мм (имеющими две режущие кромки и оборудованными двумя насадками диаметром 0,3 или 0,4 мм) в комбинации с высокоскоростными струями воды увеличили скорость бурения в 4 раза.

Научно-исследовательский центр угольной промышленности Франции (Сермар) с 1979 г. работает с фирмой "Пенорра" над созданием оборудования для разрушения горных пород высокоскоростными струями воды (давление более 200 МПа). В результате совместимых работ создан экспериментальный образец буровой машины, который прошел серию испытаний на урановом руднике в Саинт-Селви и на урановом руднике Ле Келлир. Буровая машина состоит из каретки и устройства для подачи воды под высоким давлением. Каретка установлена на специальном приспособлении на раме погрузочной машины 8Т2В. Погрузочный ковш заменили режуще-буровым инструментом. Последнему придается два вида движения от гидравлических двигателей: вращательное в 600 об/мин и поступательное до 12 м/мин. Глубина бурения предусмотрена до 2 м. Коронка имеет три насад-

ки для формирования высокоскоростных струй воды. Две из них диаметром 0,46 мм формируют струи воды, которые направлены в одной плоскости к оси шпура. Это обеспечивает схождение струй воды в одну точку на некотором расстоянии под буровой коронкой. Третья насадка наклонена под углом 15 градусов в плоскости перпендикулярной первым двум. За буровой кареткой находится гидросиловая установка, смонтированная на прицепе. Она состоит из водяного насоса и электродвигателя мощность 150 кВт переменной производительности, работающей при давлении 30 МПа, и повысителя давления фирмы «Флоу-Индостриз», представляющего собой ступенчатый поршень двойного действия, обеспечивающий подачу воды 27 л/мин к насадкам под давлением 360 МПа. Вода подается к буровой коронке по жестким металлическим толстостенным трубам с герметическим поворотным соединением. Трубы заключены в гибкие металлические оболочки на случай внезапной утечки воды в системе. Высокоскоростные струи воды формируемые насадками в сочетании с вращением бурового инструмента обеспечивают бурение шпура длиной 2 м и диаметром около 35 мм за 3 или 6 мин, в зависимости от крепости породы. При бурении по кварцу и сланцам с сопротивлением на сжатие 80-120 МПа/м² - от 0,5 до 1 м/мин. Другой цикл исследования касается применения высокоскоростных струй воды в буровых коронках, армированных твердыми сплавами. Специалистами (С. Бардин и Х. Чолёт) утверждается, что бурение нефтяных и газовых скважин с использованием струй жидкости для разрушения горных пород целесообразно для повышения скорости бурения. Оно необходимо в случае бурения сверхглубоких (более 4000 м) скважин, при скорости менее 1 м/ч, быстром износе долот, высоких призабойных температурах. Совершенствование такого бурения производится созданием непрерывных высокоскоростных струй жидкости; импульсных струй высокого давления и кавитирующих струй.

Непрерывные высокоскоростные струи применялось в США на глубине от 700 до 1800 м с использованием как наземного, так и призабойного оборудования с давлением до 100 МПа. Оно привело к росту скорости бурения в 2-3 раза, что оказалось нерентабельным в связи с высокой стоимостью амортизации буровых насосов. Бурение с кавитирующим приспособлением в насадках двухшарошечного долота опробовано в Канаде. При глубине скважин до 1800 м увеличение механической скорости за счет кавитации пузырьков, образующихся в высокотемпературной жидкости, составило 50 %. Французской ассоциацией АЯТЕК проведены исследования с целью повышения эффекта кавитации и применения его в трех шарошечных долотах. Давление в трубах достигло 70 МПа, расход жидкости — 180 л/мин, максимальные температура — 120 градусов С, мощность — 210 кВт.

В Канаде разработан и изготовлен станок, оснащенный высокоскоростными струями, предназначенными для нарезания щелей и бурения шпуров в крепких горных породах. Автономный самоходный станок состоит из насосной установки,

смонтированной на тракторе и режуще-бурового устройства, представляющее собой раму с вертикальной штангой, в нижней части которой установлена насадка с наклонным отверстием для формирования высокоскоростной струи. К насадке гибким шлангом подводится вода высокого давления от насоса, напор которого составлял 138 МПа, а расход воды - 76 л/мин. Привод насоса — дизель мощностью 250 кВт.

Управление станком микропроцессорное. Насадки при работе вращались с частотой 300-500 об/мин при скорости подачи на забой 6-10 см/с. Струи воды, формируемые насадкой, прорезали в граните щели глубиной до 4 м для получения гранитных блоков размером 2×2×1 м. Применялись четыре типа насадок, срок службы которых составляет около 13 ч. Масса штанги 40 кг. Скорость резания щелей в граните достигала 1,15-1,7 м²/ч. Этот станок применяли также для бурения шпуров в граните. При этом скорость бурения составила 1,5 м/мин, что в 3 - 4 раза больше механического бурения.

На угольных шахтах в Акабаре и Тайхейе для бурения разгрузочных скважин диаметром от 250 до 690 мм применен гидравлический способ бурения. Высокоскоростные струи воды подавались в зону контакта бурового инструмента с породой. Бурение осуществлялось стандартной пневматической буровой установкой Р-6 с максимальным напорным усилием 4-104 Н, моментом - 350 Н м, расходом воздуха-8 м³/мин. Для подачи воды на забой на буровой головке размещалось 4 струеформирующих устройства. Два из них направлены вдоль оси бурения, а два под углом 30 и 45 градусов к оси. Начальный диаметр струи воды был 1,0 и 1,8 мм. Давление воды до 70 МПа создавалось плунжерным насосом с электродвигателем мощностью 75 кВт. Максимальный расход воды - 47 л/мин. Шланги для подачи воды к буровому устройству выдерживали давление до 100 МПа. Гидравлический насос отнесен от буровой установки на расстояние около 200 м.

В связи с необходимостью повышения эффективности бурения пород в Японии была исследована (Накаямо и др.) эффективность разрушения коралловой породы с помощью высокоскоростных струй воды. В эксперименте для создания высокоскоростной струи воды использовали 12 параллельно соединенных насосов: 7 насосов ДНИ - 57100 и 5 насосов 1502Р26 с потребляемой мощностью 115 кВт, давление на выходе соответственно 57,0 и 55,0 МПа, производительность 80 и 100 л/мин. Максимальное давление на выходе из насадки составляло 50,0 МПа, а максимальный расход воды равнялся 900 л/мин. Наряду с образцами коралловой породы размером 20×40×60 мм, параллельно испытывали образцы из бетона и гранита. Насадка формирующая высокоскоростную струю воды для разрушения породы, имела внутренний диаметр 7,8 мм. Скорость перемещения насадки относительно поверхности разрушаемой породы составила 1,44 и 2,88 мм/с. По сравнению с вращательным бурением использование высокоскоростных струй воды дают повышение скорости бурения в слабых породах в 2-3 раза и равную скорость при

бурении крепкого песчаника и сверхтвердых пород. Достоинствами новой технологии бурения является: небольшой шум; малая вибрация; пригодность для бурения в смешанных породах; способность бурения скважин. Однако технология обладает рядом недостатков: высоким расходом энергии; большим расходом абразива, для бурения скважины диаметром 5 см и глубиной 3 м расходуется 245 кг абразива-гранатового песка. Эти недостатки устранены в разработанном нами синергетической квантово - механической штанге к буровой машине БГГ. Ее общий вид показан на (рис.6.15).

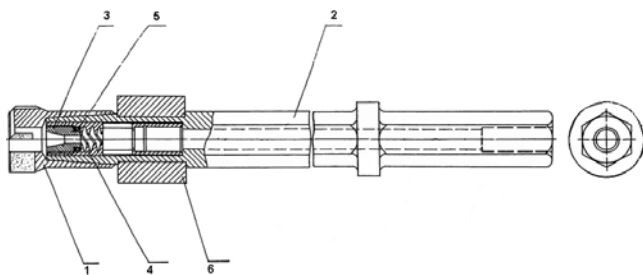


Рис.6.15. Квантово - механическая буровая штанга: 1 – коронка; 2 – корпус штанги; 3 – трубка Вентури; 4 – завихритель потока жидкости; 5 – пьезокерамический излучатель; 6 – резец для концентратора энергии

Штанга 2 через коронку 1 излучает в массив ГОВЭ фотонных потоков ее критической массы. Одновременно на массив воздействует обратимая внутренняя энергия промывочной жидкости, преобразующейся завихрителем потока 4 и трубкой Вентури 3 в кавитационные пузырьки. Постоянный магнит 5 с концентриро-

ванным магнитным полем преобразует спонтанные излучения уровней энергии гармонических осцилляторов породы в индуцированные, чем достигается синергетичность внешних и внутренних излучений системы «буровая штанга - породный забой». Резец 6 создает в массиве концентраторы напряжений, которые обеспечивают эффективное взаимодействие ГОВЭ массива и взрывчатого вещества.

6.5. Энергосберегающая добыча блочного камня концентрированной ГОВЭ

В настоящее время на горнодобывающих предприятиях Украины добыча блоков-заготовок природного камня из массива осуществляется в основном буровзрывным и буроклиновым способами, которые характеризуются большими энергозатратами, малым коэффициентом извлечения монолитов из массива, высокой стоимостью отбойки, большим процентом выхода некондиционной продукции из блоков при их распиловке, повышенной опасностью горных работ, примени-

ем тяжелого ручного труда. Поэтому для интенсификации выпуска облицовочных изделий в первую очередь необходимо совершенствовать наиболее трудоёмкую стадию производственного процесса — добычу блоков-заготовок из массива мало энергоемкими способами. Одним из путей решения этой проблемы является применение невзрывчатых разрушающих смесей, однако для эффективного их применения необходимо наряду с совершенствованием их свойств решить проблему эффективного расположения зарядов НРС в массиве при различных горно-геологических и технических условиях и разработать новые энергосберегающие способы бурения шпуров и отделения камня.

В отечественной и зарубежной практике горного производства освоение месторождений облицовочных пород производится открытым способом. Выбор этого способа обусловлен особенностями геологического строения и технологической разработки месторождений. Сочетание горно-геологических условий месторождений блочного камня, технологических особенностей его добычи и требований, предъявляемых к блокам, существенным образом отличают карьеры по добыче облицовочных пород от открытых разработок угольной, рудной и нерудной промышленности. При разработке месторождений облицовочных пород должны быть сохранены прочностные и декоративные свойства камня, что достигается несколькими способами подготовки блоков — буроклиновым, буровзрывным и термическим. Буроклиновой способ отделения монолита от массива применяется при наличии пологопадающей трещины L (рис.6.16), при этом шпуры бурятся параллельно фронтальному откосу уступа для создания плоскости $FGHE$, и перпендикулярно фронтальному откосу уступа для создания плоскости $CGHD$.

Многие месторождения гранита характеризуются упорядоченной трещиноватостью, среди которых можно выделить продольные трещины S , поперечные Q , пологие L . Отделение монолита от массива следует считать

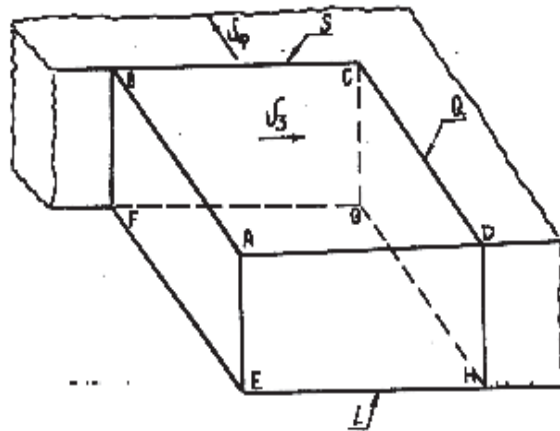


Рис. 6.16. Монолит, подлежащий отделению от массива:

- V_f — направление перемещения фронта работ;
- V_z — направление перемещения забоя;
- S — фронтальная естественная трещина;
- Q — поперечная естественная трещина;
- L — горизонтальная (пологопадающая) естественная трещина

благоприятным при таком расположении забоев, когда основание отделяемого монолита перемещается по поверхности пологой трещины L, длинная грань располагается параллельно продольной трещине S, и торцевая – параллельно Q. В пробуренные шпуры вводятся клинья (простые или сложные), прикладывая к которым продольные усилия, отделяют монолит от массива.

Буровзрывной способ подготовки блоков к выемке используется как при наличии пологопадающей трещин, так и без неё (рис.6.17). Бурение шпуров осуществляется ручными перфораторами среднего и тяжёлого типа с пневмоподдержкой, установками строчечного бурения и др. В зависимости от трещиноватости и прочности породы расстояние между шпурами равно 0,1-0,65м. В качестве ВВ чаще применяется дымный порох. Термический способ подготовки блоков к выемке используется на месторождениях, поддающихся термической резке перпендикулярно фронтальному откосу уступа, когда монолит отодвигается от массива гидроклиновыми установками.

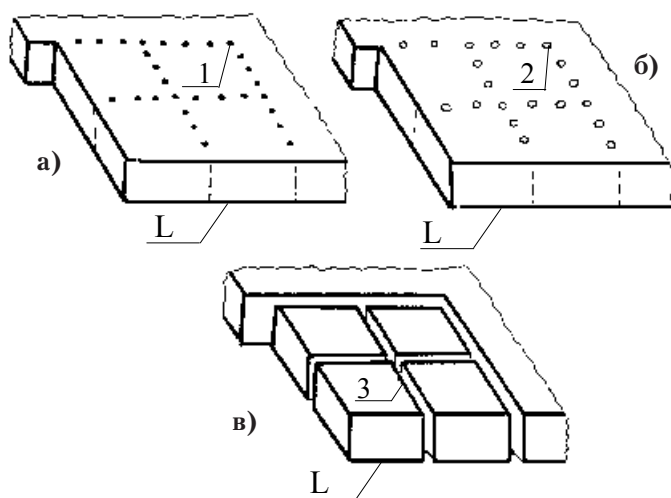


Рис. 6.17. Способы подготовки блоков к выемке:
а) – буроклиновой; б) – взрывоклиновой;
в) – термический; 1,2 – шпуры, 3 – щели от терморезания

В практике работы карьеров получили распространение комбинированные способы подготовки блоков

к выемки, которые позволяют более полно учитывать конкретные горно-геологические условия. Комбинированные способы, как правило, двухстадийные. Первая стадия включает отделение монолита от массива, на второй стадии осуществляется разделка монолита на блоки. Комбинированные подготовки блоков к выемке производятся следующими способами: взрывное отделение монолита от массива и гидроклиновое разделение его на блоки; щелевое (сплошное) бурение скважин, взрывное отделение монолита от массива и гидроклиновое разделение его на блоки; термогазоструйное резание щели, взрывное отделение монолита от массива и

гидроклиновое разделение его на блоки; термогазоструйное резание щелей и гидроклиновое отделение и разделка монолита на блоки; резание щелей производится ударноврубными машинами (ченнелерами), гидроклиновое и взрывное отделение монолита от массива и гидроклиновое разделение его на блоки; отделение монолита от массива невзрывчатыми расширяющимися средствами или силовыми элементами и гидроклиновое разделение монолита на блоки.

В качестве примера, раскрывающего сложность и низкую эффективность существующих способов добычи блочного камня, рассмотрим взрывоклиновой способ. При подготовке блоков к выемке в начале производится отделение его от массива с помощью взрывов в шпурах дымного пороха или детонирующего шнура, а затем гидроклиньями разделяется монолит на блоки. Размеры монолита по длине, ширине и высоте, как правило, выбираются равными расстоянию между естественными трещинами отдельности. Расстояние между шпурами зависит от прочности породы, размеров монолитов и его трещиноватости. Оно изменяется в пределах 0,1–0,65 м. В качестве взрывного вещества применяется дымный порох, обладающий метательным действием, расход которого на 1 м³ отделяемого монолита составляет 0,05–0,3 кг. В некоторых случаях могут заряжаться не все шпуры, которые служат для ослабления породы в плоскости отделения монолита. Добыча монолита достигается образованием направленной трещины в плоскости отделения и выдвигание его из забоя на 3–15 см, создавая пространство для разделения монолита на блоки и удобства строповки в процессе выполнения выемочно-погрузочных работ.

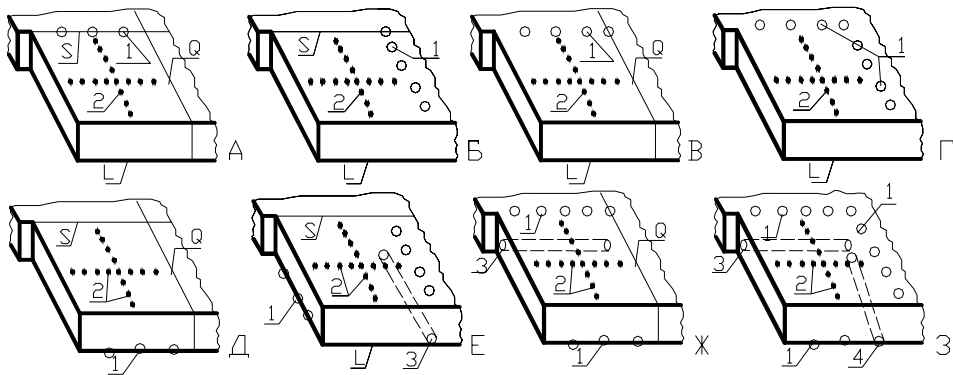


Рис. 6.18. Взрыво-клиновой способ подготовки блоков у выемке: LSQ – соответственно горизонтальная (пологопадающая), продольная и поперечная естественные трещины; 1 – шпуры для создания горизонтальной и вертикальной плоскостей с помощью ВВ, 2 – шпуры для раскалывания монолита на блоки гидроклиновыми установками, 3, 4 – окунторивающий шпур

В зависимости от пологой, продольной и поперечной крутопадающей трещиноватости выделяют несколько схем подготовки блоков к выемке взрывоклиновыми способами (рис. 6.18). В этом случае его только отодвигают от массива с помощью небольших зарядов дымного пороха, размещенного в шпурах 1 (рис. 6.18а). Шпуры размещают вблизи и параллельно продольной трещины. Общий вес заряда пороха составляет $0,05\text{--}1\text{ кг/м}^3$ отделяемого монолита.

В этом случае его только отодвигают от массива с помощью небольших зарядов дымного пороха, размещенного в шпурах 1 (рис. 6.18 А). Шпуры размещают вблизи и параллельно продольной трещины. Общий вес заряда пороха составляет $0,05\text{--}1\text{ кг/м}^3$ отделяемого монолита. В массиве с полой и продольной или поперечной трещинами отделяется монолит соответственно по плоскостям перпендикулярным (рис. 6.18 Б) или параллельным (рис. 6.18 В) фронтальному откосу уступа зарядом пороха, размещенного в шпурах. Расход взрывчатого вещества достигает $0,15\text{--}0,2\text{ кг/м}^3$ отделяемого монолита. При одной полой трещине отделяется монолит по плоскостям параллельной и перпендикулярной фронтальному откосу уступа (рис. 6.18 Г). Расход ВВ достигает $0,3\text{ кг/м}^3$. Шпуры недобуриваются до полой трещины на 10–15 см и взрываются одновременно. Для массива с вертикальными трещинами отделение монолита производится по горизонтальной плоскости. Шпуры недобуриваются на 10–15 см до вертикальной плоскости (рис. 6.18 Д). Удельный расход ВВ около $0,1\text{ кг/м}^3$. Наличие одной из вертикальной трещин без полой трещины обеспечивает отделение монолита с помощью ВВ по двум плоскостям — параллельной и горизонтальной, и одной из двух вертикальных (рис. 6.18 Е, Ж). У подножья монолита бурится оконтуривающий нижнюю кромку монолита шпур 3 до пересечения с вертикальной трещиной S или Q, он не заряжается, а шпуры 1 недобуриваются до него на 10–15 см. Расход ВВ в этом случае составляет около $0,3\text{ кг/м}^3$. Взрывание замедляется в горизонтальных шпурах. Наиболее сложные отделения монолитов при отсутствии трещин отдельности. В этом случае взрывание производится по трем взаимно перпендикулярным плоскостям (рис. 6.18 З). Эта схема в практике применяется редко, так как при ней в 2–3 раза снижается выход кондиционных блоков. Одним из благоприятных условий применения взрывоклинового способа отделения монолита проявляется с полой и одной из крутых естественных трещин отдельности.

Монолит, отделенный от массива, раскалывается на блоки гидроклиновыми установками. На поверхности монолита намечаются плоскости раскола, в этих плоскостях бурятся шпуры для установки гидроклиньев. В зависимости от физико-механических свойств горных пород расстояние между шпурами принимают $0,2\text{--}0,4\text{ м}$, а их глубину $0,3\text{--}0,5\text{ м}$. В некоторых случаях для создания ослабления в плоскостях раскола бурятся промежуточные шпуры на всю высоту монолита. К достоинствам способа относится возможность применять его при добыче всех ви-

дов изверженных, метаморфических и осадочных пород в сложных горно-геологических условиях. Из недостатков способа следует выделить значительное разрушение камня взрывными работами, снижающие на 15-40% выход кондиционных блоков и большие затраты энергии на буровые роботы. КПД этого способа не превышает 1%.

Рассмотрение только одного взрывоклинового способа подготовки блоков к выемке показывает насколько сложна, трудоемка и энергозатратна технология добычи природного камня. Анализ других способов выемки блоков подтверждает эту сложность, поэтому они не приводятся в монографии. Такое состояние определило необходимость разработки принципиально новых способов и средств добычи природного камня. В их основу положено полезное использование обратной внутренней энергии как исполнительного органа, нагружающего породный массив, так и самого материала массива, поглощающего внешнюю энергию и полезно излучающего свою трансформируемую обратимую внутреннюю энергию. Оба эти вида обратной внутренней энергии в технологии добычи камня совместно не применялись. Они, как правило, диссипатировались в промышленных статистических ансамблях из-за большого несоответствия полезных энергий излучения и их поглощения обрабатываемым материалом.

В настоящем разделе акцентируется внимание на полезное использование ГОВЭ, излучаемой исполнительными органами. В данном случае ими являются НРС и буровая штанга с концентратами энергии. НРС обеспечивает эффективную реализацию своей обратной внутренней энергии. Взрывчатые вещества перенасыщают природный камень избыточной энергией, которая расходуется на случайное трещинообразование. Поэтому качество каменных плит не соответствует товарным стандартам и не реализуется на рынке. На этом примере видна необходимость проведения специальных научных работ по управлению процессами поглощения обрабатываемым материалом обратной внутренней энергии внешней нагрузки. Таким образом, в монографии рассматривается нагружения обрабатываемого материала как обратной внутренней энергией самого материала, так и обратной внутренней энергией нагружения (исполнительного органа). В начале рассмотрим воздействие обратной внутренней энергии исполнительного органа на обрабатываемый материал. Такое воздействие на природный массив оказывает НРС.

Разработаны композиционные составы невзрывчатой разрушающей смеси, основным по объему компонентом их составов (до 98%) является обожженная грубодисперсная известь. Обжиг негашеной извести производится в специальных печах. В качестве добавок используется борная кислота, кальцинированная сода, сульфатно-дрожжевая бражка (СДБ). Порошок НРС - 1, будучи смешанный с водой в пропорциях 3:1, образует пастообразную массу, которая при затвердевании увеличивает свой объем вдвое, создавая в окружающей, с занимаемой полостью,

среде напряжения до 50 МПа. Состав НРС - 1 характеризуется стабильностью свойств, большим сроком годности. К недостаткам относится технологическая сложность обжига извести, связанные с необходимостью строительства громоздкой печи, большими капитальными вложениями. Состав НРС предложен во Львовском политехническом институте проф. Л. Г. Шпыновой и инж. Я. Б. Якимечко. Его основным компонентом является грубоизмельченная промышленная негашеная известь, отвечающая требованиям ГОСТ-9179-77. Для замедления гашения извести используют борную кислоту 1,0...1,25%, кальцинированную соду 0,75...1,0% и пластификатор СДБ ГОСТ-81-79-74 0,3...0,4% или сахарозы 0,05...0,1%. При взаимодействии этих компонентов между собой образуются комплексные соединения, замедляющие скорость гидратации оксида кальция, удлиняющие сроки схватывания, загустевания и пластифицирующие суспензию, следствием чего является возникновение напряжений до 40,0 МПа. Приготавливается смесь механическим перемешиванием компонентов без обжига.

В Киевском политехническом институте член — кор. АН УССР А.А. Пашенко, к.т.н Ю.Р. Евсютин создали НРС сходный по своим свойствам с вышеуказанным. Он развивает давление до 50,0 МПа. При его изготовлении требуется специальный обжиг карбонатных пород, их измельчение. Более сложная технология оправдывается лучшим качеством смеси, стабильностью ее работы, меньшей слеживаемостью и более длительным допустимым сроком годности.

Добыча блоков природного камня на карьерах с применением НРС, также как и при взрывном способе, производится в 2 этапа: отделение монолитов объемом 90...120 м³ от массива и пассивировка на блоки-заготовки объемом 5...8 м³. Для отделения монолита от массива предварительно создаются три обнаженные плоскости или используются системы вертикальных трещин. Горизонтальная нижняя плоскость обнажения определяется горизонтальной системой трещиноватости. Для отделения монолита от массива бурятся шпуры диаметром 4,5г10⁻²м. Расстояние между ними установлено в зависимости от давления Р, развиваемого НРС, и крепостью пород f . Длина шпуров принимается равной 0,75 высоте монолита. Пассируется монолит на блоки бурением шпуров диаметром 3,8г10⁻²м. Расстояние между ними выражено зависимостью от давления, развиваемого НРС, и крепости пород f представляется графически на рис.6.19.

Длина шпуров принимается в этом случае равной 0,5 высоты блока. Трудовые затраты по отделению монолита от массива и пассивировке его на блоки-заготовки разрушающей смесью характеризуются лучшими показателями чем при взрывных работах. Например, технико-экономические показатели производства работ по отделению характерного по размерам монолита объемом 96 м³ (длина 12,0 м, ширина 4,0 м, высота 2,0 м) от массива и пассивировки его на 12 блоков объемом по 8,0 м³ (длина 2,0 м, ширина 2,0 м, высота 2,0 м) невзрывчатой разрушающей сме-

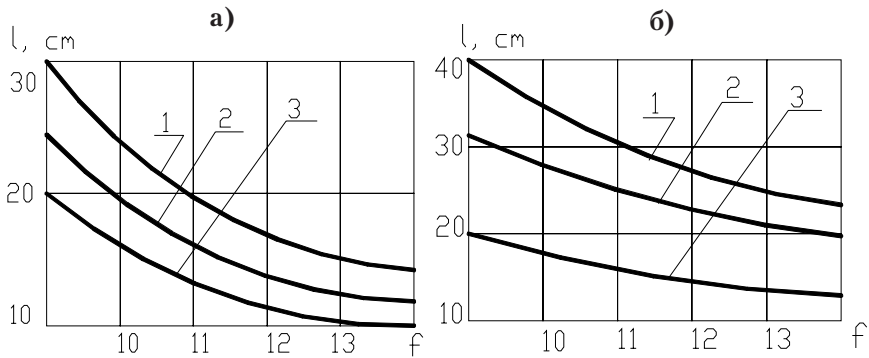


Рис. 6.19. Зависимость расстояния между шпурами:
а) диаметром 45мм, б) диаметром 38мм, в зависимости от крепости
породы f : 1) $P=50\text{МПа}$; 2) $P=40\text{МПа}$; 3) $P=30\text{МПа}$

сию (рис 6.20) приведены в таблице 6.3. Выполненный анализ традиционных и новых способов добычи блочного камня показывает, что применение НРС является одним из перспективных, обеспечивающих сохранность месторождения полезного ископаемого с исключением отрицательных факторов воздействия взрыва на массив, безопасность работ, уменьшение тяжелого физического труда, увеличение производительности работ с исключением простоев работы карьера для производства взрывных работ, снижение себестоимости выемки. Отечественные композиционные составы НРС при затвердевании развивают давление 50 МПа,

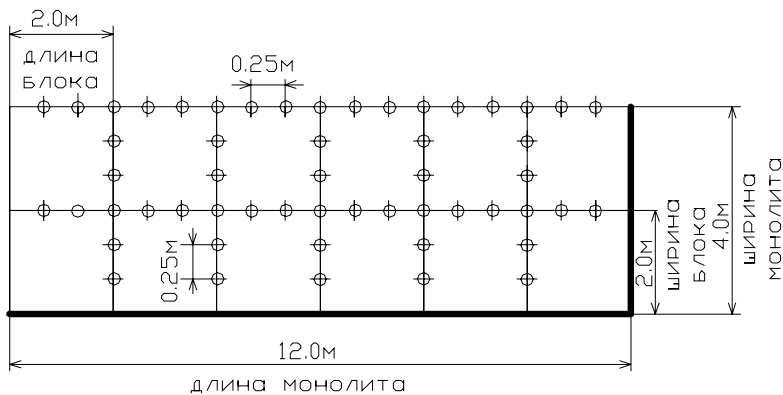


Рис. 6.20. Схема отделения монолита и пассивки его на блоки

что в 1,5-2,5 раза превышает предел прочности изверженных горных пород на разрыв и могут быть применены для выемки блочного камня. Расстояния между шпурами в зависимости от их диаметра и применяемого состава составили: при отделении монолитов от массива 0,12...0,2м; при пассивовке монолитов на блоки 0,15...0,4 м, глубина шпуров соответственно 0,75 и 0,5 высоты монолита.

Экономический эффект от внедрения НРС в обработку 900 м³ породы определился в 20,856 тыс. грн.

Таблица 6.3.

Трудовые затраты по отделению монолита от массива и разделка его на блоки-заготовки

N	Наименование работ	Ед. измер.	Объем работ	Затраты труда на весь объем работ, чел.-час	Состав звена		Продолжительность работ звена, час
					профессия	Кол-во	
1	Выгрузка порошка НРС, воды и приспособлений из автомобиля на блок	т	0,5	0,6	бурильщик оператор компрессора	2 1	0,2
2	Бурение шпуров для отделения монолита от массива	пог.м	72	14,2	-----		7,1
3	Приготовление рабочей смеси НРС и заряджение шпуров для отделения монолита от массива	кг	144	2,5	-----		0,81
4	Отделение (разрушение) монолита от массива НРС	м ³	96	12	-----		12
5	Бурение шпуров для разделки монолита на блоки-заготовки	пог.м	90	18	-----		9
6	Приготовление рабочей смеси НРС и заряджение шпуров для разделки монолита блока	кг	180	Д 3,0	бурильщик оператор компрессора	2 1	1
7	Разделка (разрушение) монолита на блоки НРС	м ³	96	12	-----		12
	Итого			62,3			42,2

Результаты исследований позволили рекомендовать к применению следующие параметры буровых работ (табл. 6.4 и 6.5).

Таблица 6.4.

Параметры буровых работ при отделении монолита от массива НРС

Давление, развиваемое НРС , МПа	Расстояние между шпурами при их диаметре, мм		Длина шпуров при высоте монолита, м		
	30мм	45мм	1,5м	2,0м	3,0м
20...30	0,12	0,15	1,2	1,6	1,9
30...40	0,15	0,18	1,1	1,5	1,8
40...50	0,20	0,25	1,0	1,4	1,6

Таблица 6.5.

Параметры буровых работ при пассивовке монолита на блоки НРС

Давление, развиваемое НРС , МПа	Расстояние между шпурами при их диаметре, мм		Длина шпуров при высоте монолита, м		
	30мм	45мм	1,5м	2,0м	3,0м
20...30	0,15	0,18	0,8	1,1	1,3
30...40	0,22	0,25	0,7	1,0	1,25
40...50	0,25	0,3	0,6	0,9	1,1

Полученные результаты достигнуты только благодаря рациональному использованию ГОВЭ НРС в шпурах круглого сечения без эффективного взаимодействия с обратимой внутренней энергией обрабатываемого материала. Разрыв массива НРС показан на рис.6.21, где видна трещина, НРС и масштабная монета.

Такое взаимодействие обеспечивается шпурами с концентраторами энергии, повышающими эффективность обработки, что будет обоснованно в следующем пункте раздела монографии.

Анализ калькуляции трудовых затрат (таблица 6.6) позволил выделить основные наименования работ длительности отделения монолитов от массива и раз-

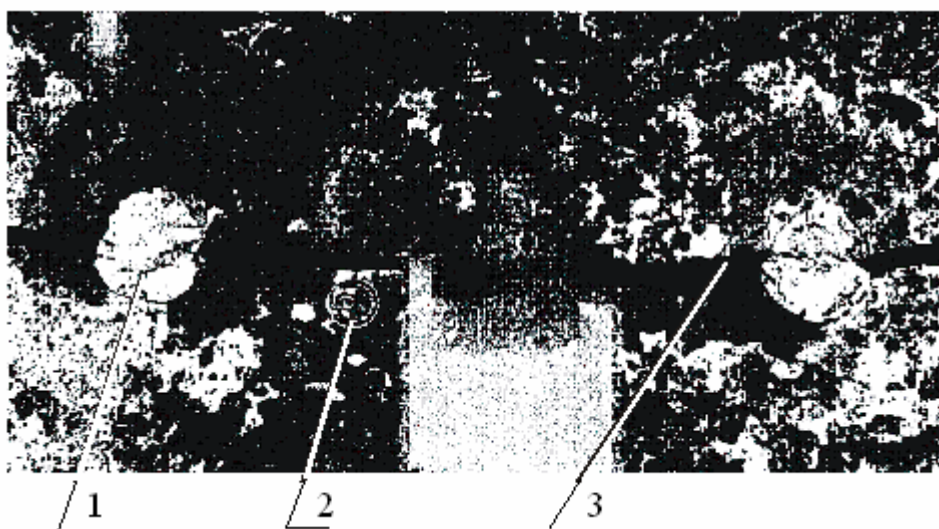


Рис.6.21. Трещина, образованная в результате действия НРС :
1 – НРС; 2 – масштабная монета; 3 – трещина

делки его на блоки. Как видно, на ручную выгрузку НРС, воды и приспособлений, приготовление смеси, заряджение шпуров затрачивается всего около 3-х часов; на бурение шпуров – 15,5 часов, на отделение монолита от массива и разделку его на блоки – 21 час. Наиболее трудоемкими является последние два вида работ. От них зависит производительность, себестоимость производства и его энергосбережение. Для интенсификации производства разработан специальный метод полезного использования обратимой внутренней энергии массива и НРС. Новый метод обеспечивает добычу скальных пород безвзрывным квазистатическим нагружением с использованием концентраторов напряжений.

В результате использования предлагаемого метода созданы средства и способы безвзрывного квазистатического нагружения КМК горных пород с максимальным сохранением целостности окружающего массива. Разрушение породного массива представляется как замедленный, растянутый взрыв. Внутренняя обратимая энергия массива ориентируется в пространстве и направленно увеличивается расширяющимся наполнителем сосредотачивающимся в концентраторах напряжений, и симультанным взаимодействием смежных концентраторов. Наполнитель состоит из простых и дешевых компонентов, их расход снижается более чем в два раза при использовании концентраторов напряжений. Метод реализуется в любое время года, в любых погодных условиях при добыче камня и проведении подземных выработок, проявляя обратимость энергий в квазистатическом нагружении

уровней энергии гармонических осцилляторов и молекулярных электронов пород, снижая энергетическую перенасыщенность не основных процессов разрушения. Сохраняются природные переходы от менее вероятных к более вероятным состояниям процесса разрушения, позволяя распределить энергию в горном ансамбле в граничных условиях экологических и энергосберегающих норм.

Преимущества метода характеризуются существенным снижением удельной энергоемкости отделения по сравнению с взрывным. Коэффициент полезного действия разрушения увеличен за счет использования обратимой внутренней энергии горных пород и НРС. Естественные связи за контуром выработки остаются нетронутыми. Достигнута их устойчивость в прилегающих к забою природных камнях, отсутствует технологическое трещинообразование. Технологический процесс протекает непрерывно при выполнении исполнителями различных видов производственных операций.

Используется не дорогостоящее существующее серийное механическое оборудование. Применяются экологически чистые и безопасные химические вещества, которые дешевле взрывчатых веществ. Приспособления для ведения работ могут изготавливаться на месте ведения работ, так как не требуют специальной технологической оснастки и оборудования. Щадящие методы добычи природного камня и проходки горных выработок характеризуются способами и устройствами, обеспечивающими взаимодействие квантовых пакетов в концентрированном энергетическом поле вершин трещин обрабатываемого материала. Из таблицы 6.5 видно, что на отделение монолита и разделку блоков с помощью НРС затрачивается более 20 часов. Причиной этому является медленное затвердевание НРС. Устранение этого недостатка достигнуто созданием специального подогревателя, который снижает срок затвердевания НРС до 30–40 минут вместо 20 часов в сутки. Сущность способа состоит в нагружении уровней энергии гармонических осцилляторов и молекулярных электронов, слагающих породу и использовании потенциальной энергии изменением ее уровней фототопными потоками. Описание способа приведено в разделе 7. Устройство в отличие от НРС содержит металлическую трубу, на поверхности которой имеются выступы. Установка устройства на гранитном массиве показана на рис. 6.22, где видна трещина между соседними шпурами с ТНРС. Пространство между стенками трубы и шпуров заливается расширяющимся материалом. В трубе размещается нагреватель, тепло которого увеличивает ее наружное сечение, а также объем вещества-наполнителя, в результате суммируются усилия на стенки скважины. Они создают повышенное напряжение в вершине концентратора, обеспечивающее раскрытие трещин в перемычках между шпурами. Размер выступа на трубе выбран таким, чтобы разместить его в концентраторе шпура. Формами концентраторов напряжений шпура и трубы являются равнобедренные треугольники с углом заострения в 45–60°. С та-

кими усовершенствованиями устройство названо ТНРС.

Работа устройства поясняется на рис.6.23. В массиве 1 оконтуривается блок камня 2 шпурами 3. В эти шпуры коаксиально устанавливаются металлические трубы с упругими нагревателями 5. На рисунке показаны только три шпура с нагревателями в увеличенном масштабе и схема их подключения к электрической сети карьера. В пространство между поверхностью шпура и внешней поверхностью металлической трубы заливается расширяющаяся химическая смесь 10. В трубах размещаются нагреватели 5, которые в качестве примера представлены в виде омического сопротивления. Источники тепла такого вида собираются в единую схему и подключаются к электрической сети карьера через общее пусковое устройство 7.

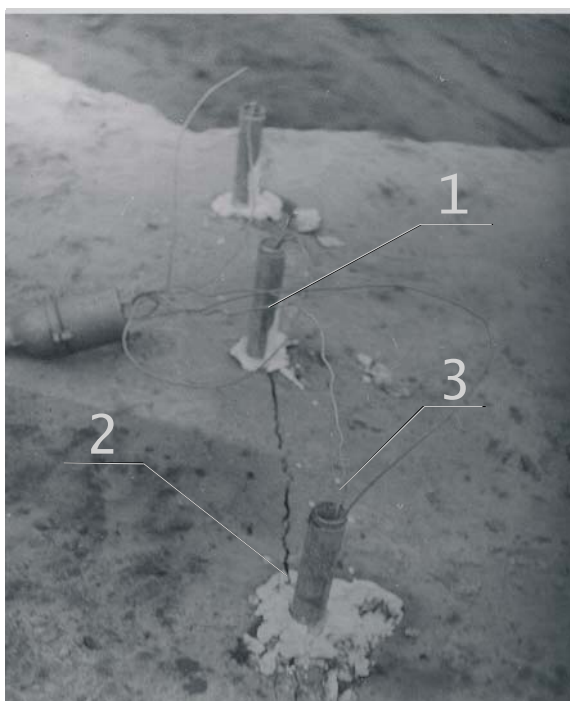


Рис.6.22. Расположение ТНРС на массиве природного камня: 1 – металлическая труба; 2 – трещина в монолите камня; 3 – нагреватели

Электрическая схема с нагревателями собрана постоянно, как единый агрегат, и переносится в различные места карьера для монтажа на вновь оконтуренных блоках. Все нагреватели включаются и выключаются одновременно пусковыми устройствами, благодаря чему достигается одновременное нагружение в концентраторах напряжений 8 шпуров. Последнее обстоятельство обеспечивает эффективное взаимодействие полей напряжений вокруг соседних шпуров. Таким образом, способ дает двойное симультанное нагружение в шпуре между рабочей смесью, металлическими трубами и за пределами шпура – между полями напряжений вокруг концентраторов соседних шпуров.

Способ смоделирован в лабораторных условиях на образцах гранита, опробован на Головинском гранитном карьере объединения Житомирнерудпрома. В актах результатов испытаний записано: "... на карьере Головино Восточный участок был разбурен блок лабрадорита 1600×1000×2500 мм в плоскости 1600г1000 8 шпура-

Таблица 6.6
Калькуляция трудовых затрат по отделению монолита от массива и разделка его на блоки-заготовки не-
взрывчатой разрушающей смесью

N	Наименование работ \ час	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ручная выгрузка порошка НРС, воды и приспособлений из автомобиля на блок, т																																
2	Бурение шпуров для отделения монолита от массива, п.м.																																
3	Приготовление рабочей смеси НРС, зарядание шпуров для отделения монолита, кг																																
4	Отделение монолита от массива НРС, м³																																
5	Бурение шпуров для разделки монолита на блоки, п.м.																																
6	Приготовление рабочей смеси и зарядание шпуров для разделки монолита на блоки, кг																																
7	Разделка (разрушение) монолита на блоки-заготовки НРС, м³																																
	Итого																																
		42,2 часа																															

ми диаметром 45 мм на глубину по 600 мм. Расход ТНРС составил 3,9 – 4 кг. Блок был расколот с помощью ТНРС, 8 труб и 8 тенгов по 700 Вт в течение 55 минут”.

“На карьере Набиж В.Волынского района Житомирской области 28.XI.94 г. была обурена часть массива лабрадорита. С помощью нового ТНРС, 6 труб и 6 тенгов, часть массива оторвана за 25 минут. Расход НРС составил 4 кг. Размер блока – 1800×1200×1200 мм. Расход НРС уменьшен в 3 раза, а время отделения блока сокращено с суток до 25 минут. Исключается необходимость применения взрыва”.

Из этих актов видно существенное преимущество предложенного способа отделения блоков. Оно достигнуто интенсификацией выделения внутренней энергии НРС, подогревом и внутренней энергии камня концентраторов напряжений в шпурах для различных технологических процессов в том числе и для полезного использования глобальной обратимой внутренней энергии концентраторов и НРС в подготовительных выработках.

Так в ближайшее время на Украине намечается строительство новых шахт с рабочими горизонтами более километра. На таких глубинах значительно возрастают геостатические и геодинамические давления, затрудняющие ведение горных работ. Причинами этого являются: необратимость основных горных процессов, что не дает возможности эффективно выполнять полезную работу, ведет к росту энергетических потерь, которые уменьшают надежность и безопасность; энергетическое перенасыщение не основных горных процессов уменьшает коэффициент полезного действия до 2%; несоответствие внешних гравитационных нагрузок электромагнитным связям породы при работе современных добывающих и проходческих машин; современные горные работы ведутся с нарушением второго начала термодинамики, что приводит к неустойчивому состоянию горных выработок; свойства горного ансамбля, как совокупность событий в нем, характеризуются неспособностью литосферы воспринимать распределение энергии в ограниченных условиях экологических норм.

Необходимость устранения этих недостатков вызвана энергетическим кризисом, в котором находится Украина, и критическое состояние окружающей среды. Действительно, например, угольные шахты поглощают до 80% энергии, которую выделяет уголь, добытый этими шахтами. Некоторые горные машины можно отнести к машинам-человекоубийцам. Участие людей в работе этих машин негуманно и государство несет материальные и моральные убытки. Это связано с недостаточными научными разработками, основанными, как правило, на классических теориях.

Их устранение достигается фундаментальным подходом к открытию новых явлений, обогащающих функционирование предприятий качественно новыми техническими решениями. Предлагаются для дальнейшего освоения и усовершенствования совмещенного воздействия квазистатических нагрузжений при отделе-

нии породы и креплении горных выработок с учетом квантово-механической модели и принципов соответствия и неопределенности.

Реализуются они нагружением невзрывчатыми разрушающими смесями, концентраторами напряжений и направленным концентрированным магнитным полем, которые увеличивают производительность разрушения горных пород в 3-4 раза. В таком варианте устройство обозначается ТНРСМ, где буква М указывает на оснащение его концентрированным излучателем магнитного поля.

В этом случае сохранение естественных связей массива, после проведения подготовительных выработок не допускает его разрушения, обеспечивает устойчи-

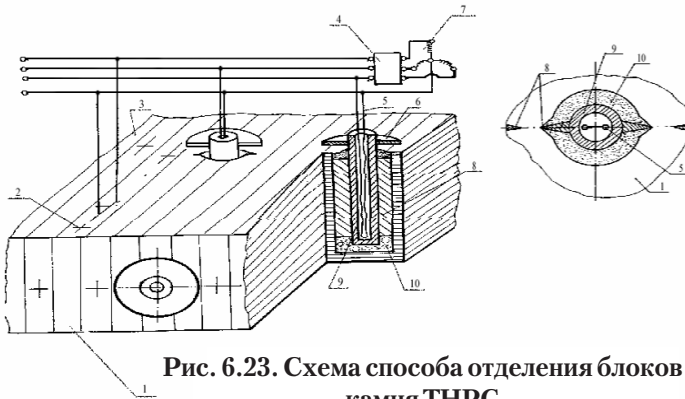


Рис. 6.23. Схема способа отделения блоков камня ТНРС

вость прилегающих к контуру выработки пород за счет нетронутого массива, устранения трещиноватости и стабилизирующего распределения давления по контуру выработки. Достигается совмещение во времени и в простран-

стве разрушение забоя и крепление подготовительных выработок. В данном случае шпуры с концентраторами напряжений размещаются в забое, как показано на рис. 6.24. Расположение концентраторов в шпурах зависит от места нахождения шпура на забое, его назначения. Так крайние левый и правый шпуры у почвы забоя и врубовые шпуры имеют по два концентратора, смещенные один относительно другого на угол 90 градусов с таким расчетом, чтобы их вершины находились на линии между соседними концентраторами.

Размещение и количество остальных концентраторов в шпуре зависят от формы выработки, ее площади и свойств пород забоя. Поскольку терромагнитное нагружение забоя представляет собой непрерывную последовательность равновесных состояний системы, называемых квазистатическими процессами, то технология проведения выработок непрерывна. В этом случае, в отличие от буровзрывной технологии, отпадает необходимость вывода людей и техники из подготовительного забоя на период взрывных работ, проветривания и погрузки. Упрощается процесс крепления и последующего перекрепления выработки из-за снижения повреждаемости пространства вокруг нее. Перечисленные преимущества новой технологии существенно улучшают безопасность работ, так как устраняется энер-

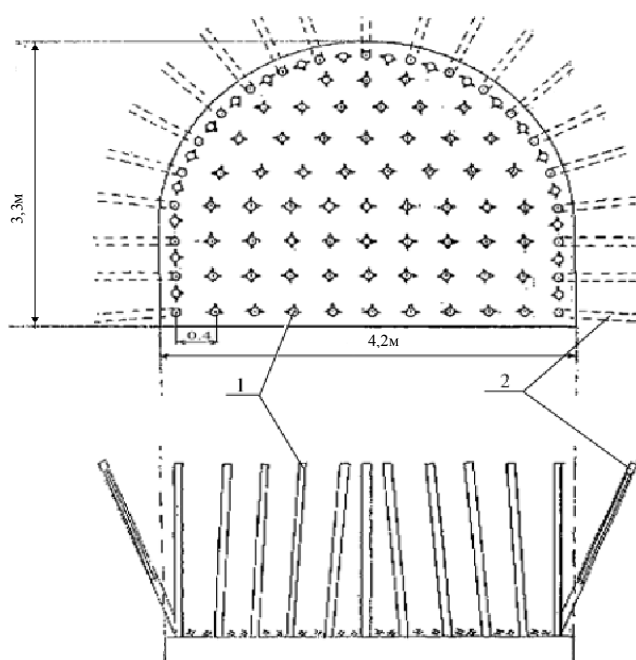


Рис.6.24. Схема расположения шпуров с концентраторами энергии для применения ТНРСМ:
1 – отбойные шпуров; 2 – анкерные шпуров

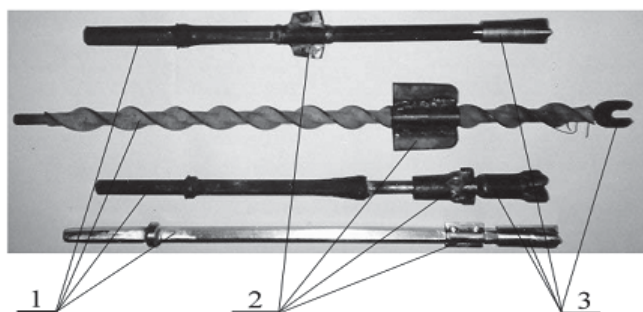


Рис.6.25. Буровые штанги для бурения шпуров с концентраторами напряжений: 1 – штанги; 2 – резцы для создания концентраторов энергий в шпурах; 3 – коронки.

гетическая перенасыщенность не основных процессов проведения выработок; ТНРСМ воздействует на массив симультанно увеличенной энергией, расширяющегося при кристаллизации состава, и энергией упругого расширения металлических труб, а также взаимодействием полей напряжений между концентраторами шпуров в магнитном поле. Расход рабочей смеси уменьшен в два раза по сравнению с расходом НРС. Способ работает в любое время года и при любой погоде.

Концентраторы энергии в шпурах сократили расстояние между ними почти в 2 раза, поэтому время на бурение снизилось в 1,5 раза. Для выбора оптимальных условий бурения созданы специальные штанги, которые создают в шпуре концентраторы напряжений. Общий вид их показан на рис 6.25, а коронка с резцом для прорезания в шпуре концентраторов напряжений на рис 6.26. При

этом использовано взаимодействие концентрированного магнитного поля с обратимой внутренней энергией системы БЗ. Магнитное поле трансформирует спонтанное движение фотонов в индуцированное на энергетические уровни гармонических осцилляторов и молекулярных электронов. Эти потоки энергии обладают резонансной частотой соседних энергетических уровней. Поэтому разрыв электромагнитных связей между молекулами протекает в режиме цепной реакции без поглощения внешней энергии исполнительного органа. Возникают условия саморазрушения материала его собственной обратимой внутренней энергией. Для реализации цепной реакции раскрытия трещины в материале предложены новые принципы организации концентрированных потоков магнитных полей и реализована их конструкция для использования в работах при добыче природного камня и проходке подготовительных выработок. Реальность такого решения видна из рис 6.23. Установленные ранее выступы 8 и крышки 6 (рис. 6.23.) заменяются постоянными магнитами с магнитными потоками, направленными в концентраторы напряжений шпуров.

Конструктивные особенности и принцип действия постоянного магнита с концентрированным магнитным полем рассмотрим для случая установки его на трубах ТНРСМ. В приборе для концентрации магнитного поля постоянный магнит заэкранирован так,

чтобы магнитный поток выходил в нужный участок. Это достигается изменением доменной структуры материала на пути магнитного потока. Если в потоке, выходящем из постоянного магнита, поставить материал с доменной структурой под некоторым углом по отношению к направлению доменной структуры постоянного магнита, то магнитный поток, проходя по такому материалу, также отклонится на этот угол. Магнитный поток протекает по пути наименьшего сопротивления, поэтому для экранирующей пластины используется электротехническая сталь, имеющая наименьшее сопротивление магнитному потоку и упорядоченную доменную структуру. Экранирующий диск с выводом магнитного потока наружу показан на рис. 6.27. Компоновка диска производится следующим образом. Пакет

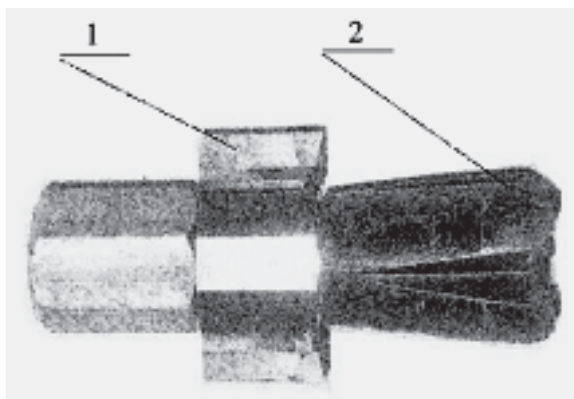


Рис.6.26. Буровая коронка с концентратором напряжений: 1 – резцы для создания концентраторов напряжений; 2 – коронка

колец 1 набирается из горячекатаной электротехнической стали с ориентацией доменов на нужное направление движения концентрированного магнитного поля так, чтобы направление прокатки проходило по кольцу, как показано на рисунке стрелками и замыкалось на направляющей вставке 2, которая изготовлена из горячекатаной электротехнической стали. На рис. 6.27 (б) показан экранирующий диск с выходом магнитного потока внутрь. Чтобы магнитный поток не выходил наружу применяются экранирующие кольца 1, а вставки 2 расположены таким образом, чтобы магнитный поток направлялся внутрь дисков.

На рис. 6.28. изображено устройство с концентрированным магнитным полем, который состоит из экранирующих дисков 1, 2, 3 и постоянных магнитов 4, 5. Оно работает следующим образом.

Для усиления концентрации магнитного поля внутренний экранирующий диск 1 устанавливается между постоянными магнитами 4 и 5, присоединенными к нему одноименными полюсами. В экранирующем диске 1 концентрируется суммарный магнитный поток двух постоянных магнитов. На краях магнитов установлены внешние экранирующие диски 2 и 3. Таким образом, формируется магнитное поле с тремя участками, два из них одинаковой полярности, а третий, находящийся во внутреннем диске 1, имеет наиболее концентрированное магнитное поле.

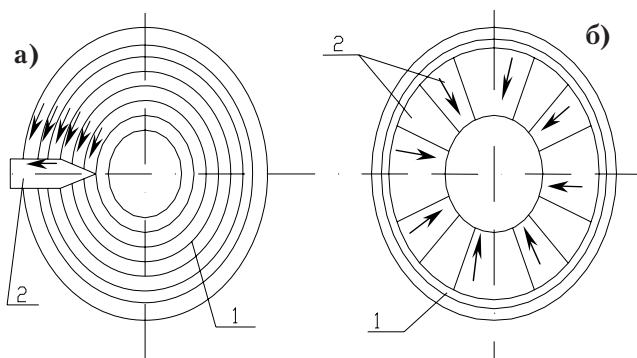


Рис. 6.27. Экранирующий диск с выводом магнитного потока: а) – наружу; б) – внутрь диска: 1 – экранирующее кольцо; 2 – направляющая

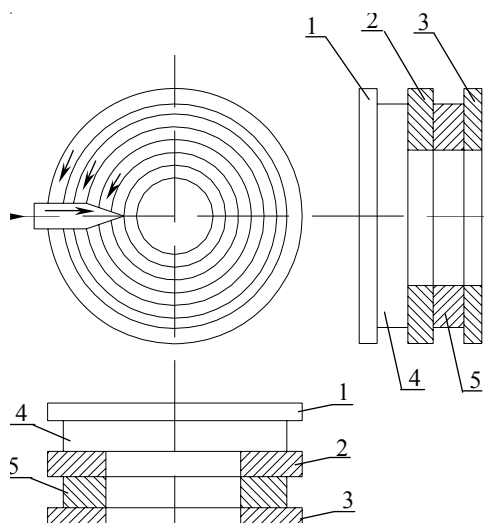


Рис.6.28. Устройство концентрированного магнитного поля: 1,2,3 – экранирующие диски 4,5 – постоянные магниты

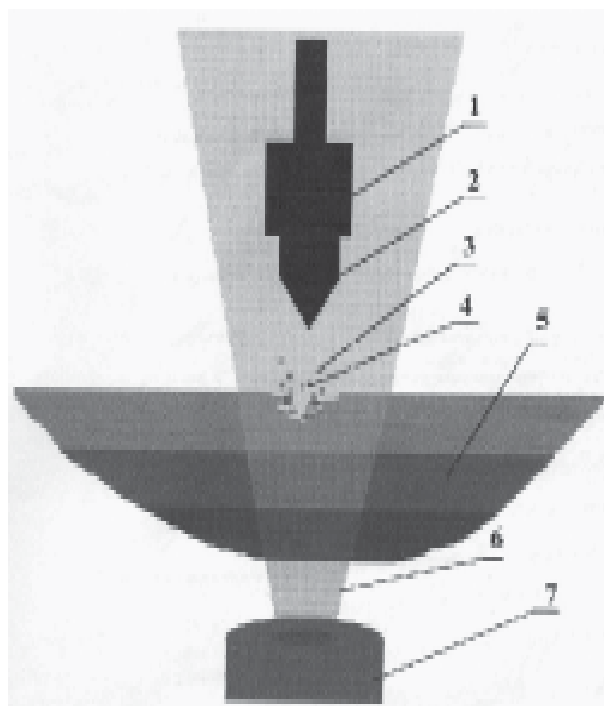


Рис 6.29. Схема взаимодействия обратной внутренней энергии фотонного потока обрабатываемого материала с концентрированным магнитным полем:
 1 – ударник; 2 – пика; 3 – фононы; 4 – фотоны;
 5 – энергетические уровни гармонического осциллятора и молекулярного электрона;
 6 – концентрированное магнитное поле;
 7 – излучатель концентрированного магнитного поля

риала. Но первичной энергии спонтанного потока частиц не хватает для продвижения в материал и его дальнейшего разрушения. Увеличивается энергия фотонных концентрированным магнитным полем. Оно также задает необходимое направление движению фотонных на соседние энергетические уровни связей материала. Их частота колебаний равна частотам индуцированного излучения. Поэтому соседние межмолекулярные и электронные связи разрушаются в цепном режиме. Часть энергии уровней трансформируются в силы, которые отталкиваются друг от друга, способствуя раскрытию трещин, как показано на рис 6.29.

Рассмотренная конструкция предусмотрена для условий работы в концентраторах шпуров, которые созданы предварительно буровыми штангами, изображенными на рис. 6.25. Поскольку внешнее нагружение исполнительными органами машин происходит разнообразно, то покажем, в качестве примера, распространенный в технике вариант нагружения ударом по излучателю во взаимодействии с концентрированным магнитным полем. Ударный орган бьет по пике (рис 6.29) с определенной частотой, возбуждая в ней внутреннюю обратимую энергию.

Она излучается в виде фононов и фотонов, которые движутся к материалу для его обработки. При столкновении с материалом они нагружают энергетические уровни гармонических осцилляторов и молекулярных электронов матери-

6.6. Структурообразование способов обработки материалов

На обработку материалов затрачивается основная часть энергии всех отраслей народного хозяйства, которой катастрофически не хватает. Так по данным первой программы республиканского радио от 21.08.2001 года 1,5 млрд людей на планете не используют электроэнергию, а 2,5 млрд применяют энергию органических веществ. Выйти из такого кризисного состояния поможет интенсивное развитие нетрадиционных способов обработки материалов. В последнем случае применяется их обратимая внутренняя энергия, обеспечивающая увеличение КПД обработки в десятки раз.

В предыдущем разделе предпринята попытка раскрыть механизм, от которого зависит разработка эффективных способов обработки природного камня. Сложность его дает право вернуться к обоснованиям предыдущего раздела для его более глубокого рассмотрения и обобщения выбранного направления. Для этого вспомним результаты понимания разрушения материалов различными способами, обратив внимание на особенности раскрытия трещин в нагружаемом образце. Рассмотренный механизм раскрытия трещин существенно дополняет особенности ранее изученных в интерпретационном моделировании, с использованием классических теорий упругости, пластичности и теории контуров. На основе этих теорий, как и всех ранее созданных, не представилась возможность создать новые машины с низким энергопотреблением, превысить КПД обработки материалов более 2%. Научный прорыв в этом поиске обеспечивается существенным углублением ранее достигнутых познаний с переводом их на инновационный уровень. Это может быть достигнуто учетом в теории контуров и интерпретационного моделирования организованных фотонных потоков обратимой внутренней энергии в концентрированном магнитном поле на электромагнитные связи гармонических осцилляторов и молекулярных электронов в режиме цепных реакций.

Определение упруго-пластического контура изменено на более отвечающее здравому смыслу название — квантово-механический контур (КМК). Последний сформирован энергетическими уровнями фазовых ячеек гармонических осцилляторов и молекулярных электронов в концентрированном магнитном поле, что позволило отказаться от применения упруго - пластических сопротивлений деформации и перейти на энергетическую ее оценку. Отличием от них является не подавление и рассеивание обратимой внутренней энергии связей между молекулами и молекулярным электроном, а полезное ее использование в осуществлении основного производственного процесса. Созданы условия, при которых энергия, удерживающая вещество в равновесии, перегруппировывается, и основная ее часть сосредотачивается на изменении энергетических уровней выбранных связей. Кон-

тур, принятый в упруго—пластической теории включает в себя слой молекул (мембрану) со связями между ними. Основное сопротивление нагружению в этом случае оказывают молекулы, на что затрачивается более 90% внешней энергии. Такое состояние технологий обработки сохраняется десятками тысячелетий. Одновременное воздействие на молекулы и связи между ними создает трещинообразование в материале при условии критического удлинения упруго—пластических контуров, что вызывает деформации больших объемов материала, в которых непроизводительно рассеиваются энергии нагружения и сопротивления. Механизм такого разрушения смоделирован теорией контуров, интерпретационными моделями, и современными классическими теориями упругости и пластичности.

Попытка изолировать молекулы материала от поглощения ими внешних энергий нагрузок потребовала выбора нового понятия контура, ответственного за устойчивое функционирование системы. В качестве такого понятия приняты энергетические уровни связей гармонического осциллятора между соседними молекулами и их молекулярных электронов. Он охватывает объем обрабатываемого материала, равный произведению площади фотонно—магнитного излучения на среднюю глубину фазовых ячеек энергетических гармонических уровней осцилляторов и молекулярных электронов. Естественно, существующими механическими рабочими инструментами, имеющими размер в миллионы раз большие, чем квантово-механического контура, обеспечить локальное его нагружение невозможно. Поэтому разработан специальный фотонный инструмент, который проникает между соседними молекулами и молекулярными электронами, воздействуя непосредственно на энергетические их уровни. Анализ работы такого инструмента не обеспечил эффективного разрушения, из-за большого рассеивания энергии, подведенной к КМК. Определились две новые взаимосвязанные задачи — увеличить энерговооруженность фотонного потока и снизить его рассеивание в процессе разрыва КМК. Первая задача не даст необходимого эффекта, так как в случае увеличения энергии внешнего нагружения КПД разрушения не превышает 10%. Частично это устраняется самоподключением к процессу обработки обратной внутренней энергии КМК материала. Взаимодействие внешнего источника энергии с КМК выделяет из него порцию энергии. Ее спонтанность снижает сосредоточенность энергии для разрыва КМК. Поэтому понадобилось решение второй задачи — снижение рассеивания обратимой внутренней энергии, выделяемой из КМК при их разрыве.

Сущность ее состоит в концентрации излучаемой энергии разрываемого КМК на соседние уровни потенциальной энергии гармонического осциллятора и молекулярного электрона. Такое изменение направления движения порций энергии КМК открыло новый, ранее не используемый в промышленности, эффект полезного использования обратимой внутренней энергии материала для его обработки. Концентрируется энергия трансформированием спонтанного в индуцированное

излучение на соседний уровень энергии в резонансном режиме. В работу разрушения вступает новый, ранее не применявшийся, для этого вид энергии — обратимая внутренняя энергия обрабатываемого материала и концентрированного магнитного поля. В этом проявляются возможности создания инновационных средств и технологий обработки материалов. Вскрыт эффект их самообработки без постоянного генерирования больших внешних энергий с максимальным использованием обратимой внутренней энергии в режиме цепной реакции. Для трансформирования спонтанного излучения в индуцированное создан постоянный магнит с концентрированным магнитным полем, который направляет фотонный поток обратимой внутренней и магнитной энергий на участки ее поглощения и движения цепных реакций. Сближение значений энергий излучения и поглощения увеличило КПД процесса и снизило потребление внешней энергии в десятки раз, чему способствовало концентрированное магнитное поле. Помимо этого эффект обработки увеличивается формированием синергитического потока энергий на материал, что вызывает вероятностные резонирования взаимодействий амплитудно-частотных характеристик излучателей (инструментов) и поглотителей (частиц). Поэтому в последующих разделах монографии синергитическое нагружение использовалось при создании стенда и машины для обработки материалов нетрадиционными способами.

Математические модели, построенные по теории контуров и интерпретационного моделирования трещин совершенствовали параметры расчета машин для обработки материалов. Совместное их использование в проектировании определяли новые характеристики способов и технологий работы, но не обеспечили существенного снижения энергопотребления. Расчленение упругопластического макроконтра (молекулярной мембраны) на составляющие его КМК определило переход функционирования макроскопической системы в микроскопическую. Первая система состоит из макро и микро частиц, образующих совокупность данного вещества. Свойства их определяются упругопластическими теориями: Гука, контактной прочностью, толчением по М.М. Протодадьконову, маятниковым копром и другими. Основной показатель этих свойств определяется сопротивляемостью разрушению образца данного материала. К нему относятся усилия разрушения, отнесенных к единицы поверхности или объема по трем координатам пространства при сжатии, сдвиге и отрыве. Численные их значения зависят, в основном, от меры участия молекул материала в сопротивлении нагружению. Максимально оно проявляется при сжатии, а минимально при растяжении. Каждая из этих деформаций начинаются, как правило, нагружением молекул материала, а заканчивается разрывом между ними и молекулярными электронами квантово-механических связей. Часть энергии затрачивается на эти два вида деформаций, а оставшаяся бесполезно рассеивается в массиве материала.

Современная техника и технология обрабатывает материалы в такой последовательности на протяжении длительного развития науки в этой области. Внимание ее сосредоточено, в основном, на макропроцессах молекулярных взаимодействий инструмента с молекулярной мембраной — упруго—пластическим контактом. Интерпретационным моделированием установлено снижение энергозатрат с уменьшением нагрузок на молекулы и передачи ее части на связи между ними. Несмотря на очевидность такого явления, в научно — технической литературе официального высказывания в этом плане не найдено. Причину следует искать в сложности создания машины, инструмент которой воздействовал бы непосредственно на связи между молекулами и молекулярными электронами. Такая механизация и технология обработки материалов относятся к взаимодействию микроканонических ансамблей, носителями энергии разрушения которых и его сопротивления являются потоки фотонов. Поэтому теоретические исследования в этом направлении, новые технические решения для их осуществления должны обогащаться последними достижениями квантово-механических теорий.

Положительный эффект в реализации ПГУ достигается разрывом связей между молекулами и молекулярными электронами. В этом случае внешняя энергия равна или превышает энергию уровней между молекулами и молекулярных электронов. Квантово-механический инструмент — фотон, фонон или фотон разрывает КМК материала. Его энергия при таком варианте спонтанно рассеивается, поглощаясь окружающей средой. Из-за малой инерционности частиц квантово-механических связей энергия поглощения приравнивается излучению разорванных уровней энергий КМК. Таким образом, достигается уменьшение энергозатрат значительным снижением облучения молекул фотонными потоками. При этом обратимая внутренняя энергия гармонических осцилляторов и молекулярных электронов, при ее излучении продуктивно поглощаются соседними электромагнитными связями между частицами материала. Интуитивная и логическая убежденность в целесообразности преобразования потенциальной обратимой внутренней энергии КМК инициируют исследования, направленные на полезное ее использование в различных отраслях производства, при обработке материалов.

Спонтанное выделение обратимой внутренней энергии разорванных КМК является основной причиной ее непродуктивного рассеяния. Индуцирование ее на соседние КМК коренным образом изменяет механизм разрушения материалов. Снижаются непроизводительные затраты внешней энергии нагружения материала и, что особенно важно, обратимая внутренняя энергия приобретает качество фотонного рабочего инструмента, разрывающего энергетические уровни гармонических осцилляторов и молекулярных электронов в режиме цепной реакции. Реализация такой технологии и особенно способов обработки представляет сложную научную и инженерную задачи, которые предложены нами для обработки

материалов в концентрированном магнитном поле. Индуцированный поток фотонной энергии резонансно воздействует на обратимую внутреннюю энергию соседнего КМК, вызывая цепную реакцию разрыва последующих контуров. Так достигается полезное использование внешней энергии нагружения и обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала с концентрированным магнитным полем в режиме цепной реакции. Обработка материала его внутренней обратимой энергией открыло инновационное направление в нахождении новых свойств и технологий обработки материалов. Осуществление его достигнуто развитием теории контуров, интерпретационного моделирования, обосновывающих снижение колебаний и деформаций молекул, создание фотонного инструмента для разрыва КМК, трансформацией при его разрыве спонтанного излучения в резонансное индуцированное концентрированным магнитным полем. Эти этапы создания малоэнергетического производства непрерывно и последовательно опробовались и внедрялись в производство при создании машин, разрушающих материалы ударами больших импульсов, отрывом, крупным сколом, импульсными струями сверхвысоких давлений, кавитацией, синергитическими нагрузками, лазерными лучами и пьезокерамическими вибраторами [1,4,15,26,29,38].

Стремление создать малоэнергетические технологии и механизации вызвало необходимость разработки новой теории, открывающей возможность проектирования, изготовления и внедрения в производство нетрадиционных достижений науки и техники. Решить эту задачу единой теорией нельзя, так как такой теории пока нет, несмотря на попытки крупных ученых создать единую теорию поля. Совершенствование и изменение математических аналогов с развитием теорий разрушения является наиболее показательным в определении состояния производственных процессов. Так математическая модель теории контуров и интерпретационного моделирования позволяют рассчитать реальную нагрузку на инструмент для обработки материалов, выбрать мощность излучателя. Они охватывают сопротивления разрушения всех связей материала, в том числе и инерционные противодействия молекул. В этом состоит их недостаток, поэтому ПГУ приобрели только количественные улучшения, не последовали существенные качественные преобразования как научных представлений процессов функционирования излучений и поглощений энергий, так и производственных показателей. Излучатели незначительно снизили расход энергии на получение прежнего объема продукции. Технология производства и экологические показатели продолжают отставать от темпов наполнения Ипотребительской корзиныI среднеобеспеченного человека страны. Математические модели теории контуров и интерпретационных моделей в этом случае описывают давления инструмента, учитывающее сумму упругой и пластической составляющих с учетом коэффициента технологической дефектности. В модель (5.98) [6] входят параметры α_p , E , τ , P_k , A , x , h , B , λ , k_{lc} , θ_t , σ_0

и σ_r . Все они взяты из классических теорий упругости и пластичности и характеризуют механические показатели обрабатываемого материала и режимов его нагружения. Эти параметры, на определенном этапе развития науки содействовали созданию новых технологий и механизаций. И сейчас они используются при конструировании машин, в результате чего существенно снизить их энергопотребление не удастся. Причиной этому является участие этих двенадцати параметров в нагружении всех четырех связей и особенно молекул обрабатываемого материала. Сосредоточить энергию нагружения на одной связи для создания эффективного способа обработки материалов с использованием теории контуров и интерпретационного моделирования нельзя, без их усовершенствования.

В соответствии с направлением настоящей работы предусмотрено разработать структурные схемы, по которым создать комбинированный стенд для исследований переработки фотонными потоками в концентрированном магнитном поле воздействием на электромагнитные связи материала. Многообразие вариантов возможных способов обработки материалов вызвало необходимость специальной систематизации их выбора. Известны несколько теорий, с помощью которых можно систематизировать процессы обработки материалов. К ним относятся: релятивистская, нерелятивистская, классическая, феноменологическая, фундаментальная и другие. Все эти теории целесообразно использовать в систематизации способов обработки материалов. Наиболее полно пока отображает сложные процессы обработки теория статистической физики, которая изучает системы, состоящие из большого числа разнообразных частиц. При этом используется теория вероятности, поскольку точное решение движения большого числа частиц системы пока невозможно. Для получения нужных решений движения бесконечного количества частиц они объединяются в статистические ансамбли, которые представляют собой совокупность явлений, подчиняющихся статистическому изучению. Сами явления называются членами ансамбля, а его качество определяется распределением того или иного качества между членами ансамбля. За качество каждого члена ансамбля нами принята энергия. В зависимости от распределения энергии ансамбли разделяются на канонические и микроканонические. Канонические ансамбли формируются из систем, обменивающихся энергией с большой системой, которая не чувствует потерь своей энергии. Микроканонический ансамбль состоит из сходных систем с практически равными энергиями. Двигается статистический ансамбль в фазовом пространстве, определяемом геометрическими ($X; Y; Z$) и динамическими координатами (импульсами) по осям координат ($P_x; P_y; P_z$). Что касается систем для обработки материалов, то они состоят из различных частиц, движение каждой из которых не влияет на энергетическое состояние большого статистического ансамбля. Частица материала в каноническом ансамбле обладает одинаковой энергооборуженностью при его обработке.

По управляемости системы для обработки материалов разделяются на интерактивные и фрактальные. Интерактивные системы имеют бесконечное множество качеств и параметров движения их частиц, поэтому они применительно к обработке материалов не поддаются управлению. Фрактальная система оснащена дополнительными приспособлениями, которые обеспечивают ее управляемость. На рис.6.30. показан статистический ансамбль системы для обработки материала.

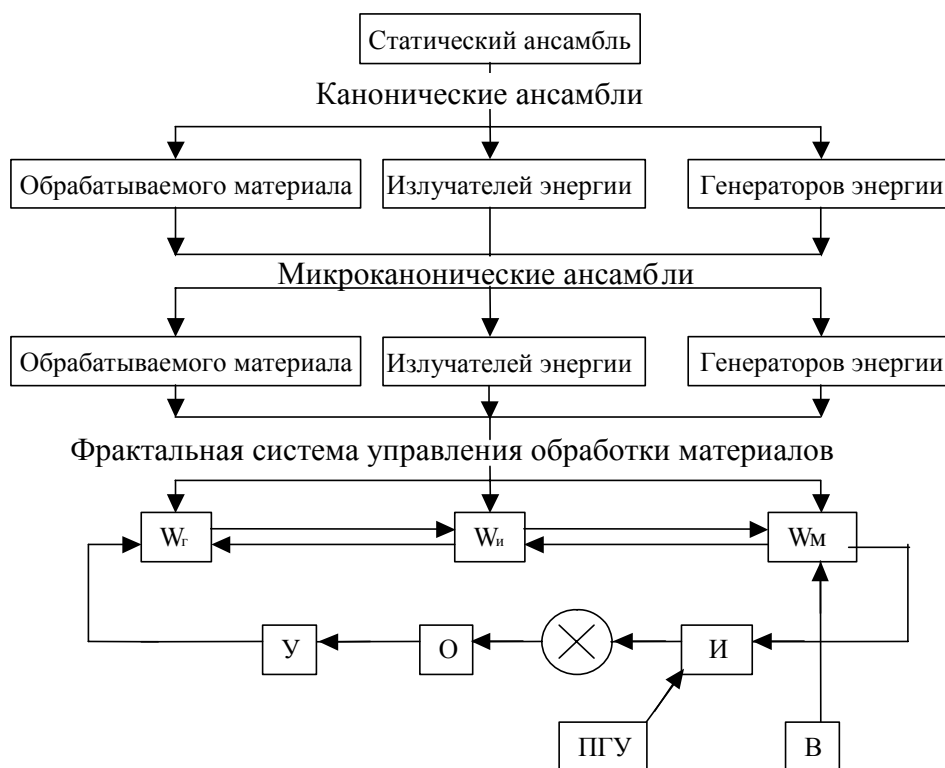


Рис.6.30. Схема статистического ансамбля фрактальной системы нетрадиционной обработки материала

Он имеет оптимизатор О, возбудитель В, измеритель И, сравнивающее устройство и программы математических моделей ПГУ. Благодаря этому ансамбль управляется, что необходимо учитывать при систематизации устройств для обработки материалов. Статистический ансамбль фрактальной обработки материалов имеет три микроканонических квазизамкнутых ансамбля, которые обладают слабой взаимосвязью энергий. Управление системой осуществляется передаточными функциями W_{Γ} – генераторов, $W_{И}$ – синергетических излучателей, $W_{М}$ – материала. Схема статистического ансамбля системы обработки материалов (рис.6.34) по-

ясняет название пункта 6.2. Способ, учитывающий содержание рис.6.34. отражает оптимальные условия функционирования системы. На его базе можно создавать способы воздействия потоков энергий на обрабатываемый материал, выбрать и проанализировать основные процессы для оптимальных условий функционирования системы. К ним относятся энергетические излучатели и генераторы, которые выделяют энергию в микроканонические ансамбли. Поглощение взаимодействия внешней энергии нагружения канонических ансамблей - материала, этой энергии, ее трансформирование для полезного использования обратимой внутренней энергии рассматривается с синергитическим нагружением КМК.

Совокупность экспериментальных и теоретических исследований, проведенных за последнее десятилетие, наводят на мысль, что взаимодействие потока фотонных с концентрированным магнитным полем представляется новым и плодотворным. Пока можно лишь догадываться и предполагать о тех успехах, которые могут быть достигнуты в этой области. Воздействие фотонных на КМК протекает в условиях так называемого общего случая, когда направления концентрированного магнитного поля и фотонных пересекаются под различными углами. Частица влетает в концентрированное магнитное поле под некоторым углом к нему и скорость частицы разлагается на два компонента: продольный и поперечный. На продольный компонент поле осуществляет параллельный перенос. Действие поля на поперечный компонент сводится к следующему. Так как электронный волновой пакет нельзя расщепить, в противоположность классическому волновому пакету, то вся его энергия будет направлена по групповой скорости V_0 сгустка или пакета энергии второго компонента перпендикулярно концентрированному магнитному полю с индуктивностью B . Частицы будут двигаться в плоскости, перпендикулярной полю, как показано на рис.6.31. Поскольку сила Лоренца F постоянна, то ее движение происходит по окружности радиусом r . Учитывая, что она является в данном случае центростремительной:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{r} = e \cdot v_0 \cdot B, \quad (6.24)$$

где: m — масса частицы (электрона); e — ее заряд.

Сократив (6.24) на v_0 , получим радиус кривизны вращения частицы в поперечном магнитном поле:

$$r = \frac{P}{e \cdot B}. \quad (6.25)$$

Он пропорционален ее импульсу и обратно пропорционален индукции магнитного поля. В уравнении (6.25) символ импульса P имеет физическую интерпретацию, находящуюся в соответствии с понятием об импульсе в классической

физике, он является синонимом энергии. С изменением энергии потока фотонов пропорционально изменяется и импульс нагрузки на КМК. Поскольку r определяет площадь, охватываемую траекторией движения электрона, то от ее размеров зависит проникновение его в КМК. Если эта площадь меньше площади КМК, то обеспечивается вероятность попадания электрона в КМК без существенного воздействия на окружающие контур молекулы. Результаты такого воздействия

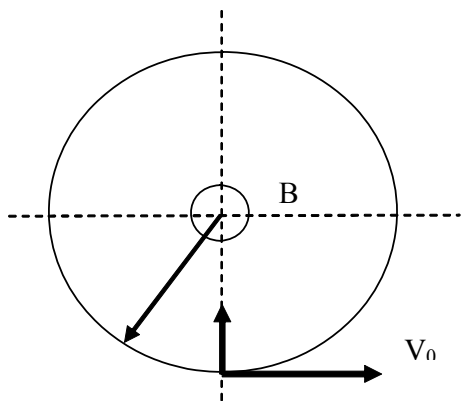


Рис.6.31. Траектория движения частицы в поперечном магнитном поле B , со скоростью V_0

нуждаются в специальном изучении, так как энергия стационарного состояния молекулы является суммой электронной колебательной и вращательной энергий. Время одного оборота электрона равно отношению длины окружности, по которой он движется, к скорости ее движения:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v_0}, \quad (6.26)$$

с учетом (6.25.):

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{e \cdot B}, \quad (6.27)$$

т.е. период обращения не зависит от скорости движения частицы, когда еще не сказывается изменение массы от скорости. Угловая скорость вращения $\omega = v_0 / r$, равная циклической частоте $\omega = 2 \cdot \pi / T$, определяется уравнением:

$$\omega = e \cdot B / m. \quad (6.28)$$

Уравнение (6.28) подтверждает целесообразность полезного использования электронной энергии молекул. С ростом концентрированного магнитного поля B при $r = \text{const}$ увеличивается повторяемость воздействия e в единицу времени, передающий свою энергию КМК. В этом, помимо важных других, состоит необходимость применения концентрированного магнитного поля при квантово-механической обработке материалов. Оно создало условия не только полезного использования обратимой внутренней энергии осцилляторов, но и обратимой внутренней энергии электронов молекул вещества, таким образом, полная обратимая энергия обрабатываемого материала, осциллятора и молекулярного электрона записывается уравнением:

$$W_{\text{по}} = W_{\text{ос}} + W_{\text{ом}}, \quad (6.29)$$

где: $W_{\text{ос}}$ — обратимая внутренняя энергия гармонического осциллятора; $W_{\text{ом}}$ — обратимая внутренняя энергия электрона молекулы.

Уравнения (6.24 - 6.28) не учитывают спина электронов, вращательное движение которых делает их магнитными волчками (гироскопами). Как вращающийся гироскоп с осью отклоненной на некоторый угол от вертикального направления, процессирует в гравитационном поле Земли, так и электрон процессирует в концентрированном магнитном поле, приложенном извне. Если бы это движение было не связано с движением других частиц, то электроны должны были бы процессировать под неопределенным углом. В материале присутствие соседних его частиц создает своего рода внутреннее трение, которое приводит к тому, что ось процессирующих электронов совершает спиралеобразное перемещение к направлению поля. Это приводит к выстраиванию электронов по концентрированному магнитному полю, ограничивая их рассеивание в окружающее пространство. Представляется абстрактная возможность наложить на концентрированное магнитное поле добавочное поперечное вращающееся магнитное поле. Электрон в случае совпадения направления процессии и добавочного поля в резонансе вращения поглотит почти всю энергию добавочного поля и нагрузит резонансно КМК. Остается неизвестным, сможет ли высокочастотное добавочное магнитное поле проникнуть в концентрированное магнитное поле через конструктивные устройства между ними и насколько сложно создать излучатель добавочного поля. В случае реализации этого предложения возможны квантово-механические излучатели нового класса.

Движение частиц для нагружения КМК, несмотря на кажущуюся простоту, требует детального моделирования с использованием необходимых уровней абстрактного описания. “В обыденной жизни слова абстрактные исследования, абстрактная теория часто воспринимаются людьми без необходимой математической подготовки как синонимы никому не нужных теоретических построений. Это полностью ложное представление”, так утверждает Кухтенко. Соглашаясь с этим мнением, в настоящем параграфе определены основные направления выбора способа, нагружения системы, сформулированы положения научной достоверности решаемых задач. В первую очередь понадобилось дать ответы на следующие вопросы. Способна ли частица, двигающаяся со спином от внешнего излучателя, пройти через КМК? Может ли любая частица из потока фотонов воздействовать на молекулярные электроны для включения их в процесс высвобождения обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала без существенного нарушения движения молекул? Не менее важным является установление и обеспечение трансформирования спонтанных излучений энергетических уровней в индуцированные, способные вызвать цепные реакции их обратимых внутренних энергий. Для разработки метода создания способа квантово - механической обработки применены современные достижения квантово-механической науки в решении новых производственных задач полезного использования обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала. При этом учтено необходимое условие резонанс-

ного излучения и поглощения обратимой внутренней энергии в функционировании системы БЗ. Буримая порода состоит из множества частиц, имеющих различные свойства, а следовательно, и амплитудно-частотные характеристики. Резонансные и цепные процессы взаимодействия излучений и поглощений обратимой внутренней энергии достигается управляемой модуляцией энергии нагружения. В этом случае вероятностные по частоте, амплитуде и фазе колебания потока энергии нагружения “находят” частицы обрабатываемого материала с такой же модуляцией. Такое нагружение известно как синергетическое, оно обеспечивает функционирование системы БЗ и поэтому включено, как обязательное условие, в схему статистического ансамбля фрактальной системы обработки материала (рис. 6.30.). Практическое обеспечение синергетического нагружения достигнуто управлением модуляцией одного из источников энергий, как это разработано в стенде квантово-механической синергетической обработки материалов (рис. 6.16.) и в синергетическом квантово-механическом буре (рис.6.15.). На стенде могут обрабатываться различной твердости материалы, жидкости и газы. Каждый из них размещается в специальной камере или трубопроводе и подается под излучатели квантово-механической энергий (рис.6.31). В качестве первичного излучателя энергии выбран гидромолот. Его пика 8 (рис.6.32) излучает сложный спектр энергий, в которую входит кинетическая энергия критической массы бойка, потоков фотонов и фононов. Критическая масса пика определяется длиной волны сжатия, а отражение её от конца пика увеличивает вдвое его продвижение по сравнению с начальной упругой деформацией соударения с бойком. Частота нагружения обрабатываемого материала равна собственной частоте колебаний критической массы. Таким образом, единичный удар бойка по пику трансформируется в высокочастотное излучение, что повышает ПГУ в соответствии с резонансной формулой Брейта-Вигнера для одного уровня [2]. Помимо этого правильно выбранная поверхность конца пика обеспечивает нужные концентрации и направления потоков излучения фотонной и фононной энергий. Их совместное и одновременное управляемое воздействие на обрабатываемый материал представляют сложную научную и техническую задачу. Останавливаться только на её решении для достижения качественно новых показателей ПГУ нецелесообразно, из-за больших потерь энергии критической массы пика при встрече инструмента с большой инерционностью поверхностного слоя молекул обрабатываемого материала. Поэтому в методе создания энергетических сберегающих средств обработки особое внимание обращено на воздействие фотонных и фононных потоков энергии на электромагнитные связи обрабатываемого материала.

Возбуждение одного из уровней квантово-механической системы обрабатываемого материала (КМК) не остается локализованным в одном месте, а передается соседним электронам системы (уровням энергии гармонических осцилляторов и

молекулярных электронов) в виде волны возбуждения, у которой есть определенная частота возбуждения и длина волны. В квантовой механике этой волне соответствует квант, который называется квазичастицей. Подобно тому, как электромагнитное излучение из пикки осуществляется в виде совокупности квантов энергии — фотонов, колебания кристаллической решетки пикки — как совокупность квантов колебаний энергии, называемых фононами. Фонон представляет собой так называемую квазичастицу. Основное отличие ее от обычных частиц заключается в том, что они не могут появляться в вакууме. Для своего возникновения и существования они нуждаются в среде, обладающей энергией $h\nu$ и квазиимпульсом hk , где k — волновой вектор.

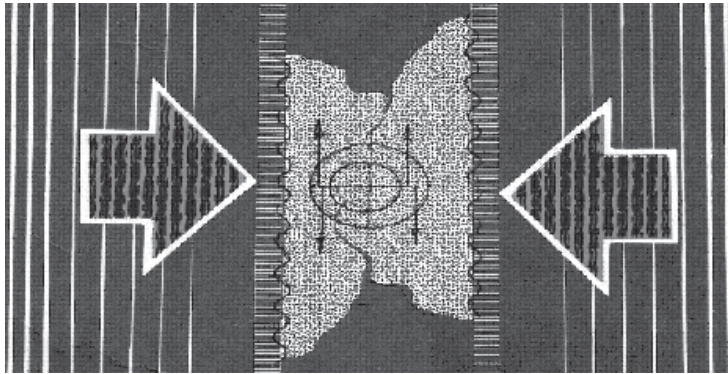


Рис. 6.32. Макросхема синергитического квантово-механического нагружения КМК

Идея нашей работы состоит в том, чтобы спонтанное движение фононных потоков внутренней обратимой энергии машины и КМК перевести в индуцированное на соседние энергетические уровни гармонических осцилляторов и молекулярных электронов.

Частично эта задача выполняется фотонными потоками, излучаемыми пиккой. Ее недостаточность вызвала необходимость увеличения дополнительным потоком концентрированного магнитного поля постоянных магнитов для удержания стабильного индуцированного движения фононов машины и КМК на соседние энергетические уровни.

Теория квантово - механических контуров (см. раздел 1) содержит математические модели, описывающие эти взаимодействия. Они должны и дальше проверяться экспериментом и промышленными испытаниями. Графическое представление экспериментального стенда вызвало трудности в раздельном представлении всех видов энергий в сжатом пространстве. С целью лучшего понимания направленности различных потоков энергий на обрабатываемый материал и упрощения их сложных сочетаний, на рис.6.32 приводится макросхема синергитического квантово - механического нагружения КМК. На этой схеме энергии, излучаемые пиккой гидромолота, постоянными магнитами, пьезокерамикой, плитой и вихревой кавитацией показаны двумя встречными крупными стрелками. Квантовое нагружение создается вихревым и кавитационным потоками жидкости из трубок

Вентури и от пьезокерамических излучателей в концентрированном магнитном поле. Такое сочетание потоков энергии на обрабатываемый материал обеспечивает управляемое синергетическое его нагружение, создающее условия для взаимодействия с нетрадиционной обратимой внутренней энергией машины и обрабатываемого материала, которое практически реализуется на квантово-механическом стенде синергетической обработки материалов в концентрированном магнитном поле с полезным использованием глобальной обратимой внутренней энергии системы (КМСОМ).

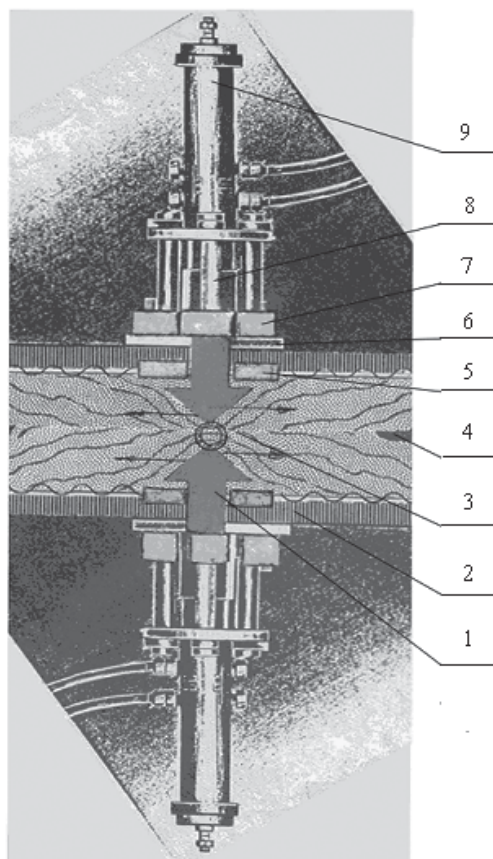


Рис.6.33. Схема стенда КМСОМ:

- 1 – поток энергии; 2 – емкость;
- 3 – вихревая кавитация;
- 4 – обрабатываемый материал;
- 5 – пьезокерамика; 6 – плита;
- 7 – постоянный магнит; 8 – пика;
- 9 – корпус гидромолота

Стенд состоит из канонических и микроканонических ансамблей, имитирующих квантово-механическое бурение и другие процессы. Каждый из них обладает внутренней энергией, из которых необходимо использовать обратимую для обработки материалов. Канонический ансамбль, в который входит гидропривод, корпус, гидромолот, ударник и аккумулятор в обычных условиях рассеивает внутреннюю энергию отдачи корпуса, составляющую 50% всей внешней энергии привода, что характерно для современных буровых машин. Этот недостаток устранен в КМСОМ. Вся энергия отдачи трансформируется специальными устройствами в фотонные потоки энергии и подается, в основном, на КМК. Последний совместно с концентрированным магнитным полем преобразовывает потенциальную энергию осцилляторов и молекулярных электронов материала в обратимую внутреннюю энергию излучения его энергетических уровней в режиме цепной реакции для полезной обработки. Реализация таких новых идей нашла отражение в КМСОМ, общая компоновка которого показана на рис.6.33. Он состоит из двух одинаковых час-

тей, закрепленных симметрично на противоположных стенках емкости 2, через которую пропускается обрабатываемый материал 4. Суммарный поток энергии каждой части направлены навстречу друг другу с равной модуляцией, на рисунке эти потоки условно обозначены крупными стрелками 1. Они состоят из следующих потоков энергии (рис. 6.33): излучение пики 8; плиты 6 от удара по ней пикой 8 и корпусом 9 гидромолота; синергетических потоков энергии, трансформированных стенкой емкости 2 с пьезокерамическими преобразователями 5; вихревых кавитационных потоков внутренней энергии жидкости обрабатываемого материала 3; концентрированного магнитного потока постоянных магнитов 7; внутренних энергий гармонических осцилляторов и молекулярных электронов обрабатываемого материала 4.

Техническая характеристика симметричной части КМСОМ	
Энергия импульса, Дж	1000
Частота следования импульсов, Гц	10
Время импульса, с	$3 \cdot 10^{-4}$
Температурный режим, °С	-30...+30
Габариты исполнительного органа, мм:	
длина	850
диаметр цилиндра	150
Масса исполнительного органа, кг	53

Движение твердого, жидкого или газообразного обрабатываемых материалов должно протекать в условиях их контакта с поверхностями емкости 2. Внешняя энергия от колебаний стенок емкости 2, пьезокерамических излучателей 5, плиты-излучателя 6, концентрированного магнитного потока постоянных магнитов 7 и пики 8 поглощается обрабатываемым материалом. Нарушение этого контакта приведет к потере устойчивости системы КМСОМ. Предотвращается это активной подпиткой емкости 2 кавитационно-вихревыми потоками жидкости через завихрители и трубки Вентури. Энергия жидкости направлена в зону суммирования внешних энергий нагружения в центральной части обрабатываемого материала. Для этого трубки Вентури и закручивающего аппарата вводятся в емкость в плоскости перпендикулярной оси подачи материалов. Направления вращения дополнительных потоков противоположны, как показано на рис. 6.1 – 6.2, тонкими стрелками. Их столкновение приводит к более интенсивному выделению обратной внутренней энергии подпитываемой жидкости. Движение кавитационных пузырьков становится упорядоченным. Они стягиваются центростремительными силами к оси подачи. Такое объединение внешней энергии гидротоков с кавитационно-вихревой внутренней энергией добавочной жидкости обеспечивает кван-

тово - механическое нагружение обрабатываемого материала по всему его объему. Концентрированное магнитное поле от постоянных магнитов совместно с фоновыми потоками других излучателей направляют синергетический поток энергии на КМК обрабатываемого материала. Его обратимая внутренняя энергия трансформируется в индуцированный поток. Последний преобразуется в цепную реакцию разрыва уровней энергии осцилляторов и молекулярных электронов КМК. Этим достигается реализация нового низкоэнергетического процесса обработки материалов с использованием их нетрадиционной обратимой внутренней энергии. При этом в обработку включается больше обратимой внутренней энергии всей системы, что не достигнуто в современных буровых системах ударного действия и в других технологиях. Для практической реализации этого нового направления выполнено математическое моделирование функционирования основных процессов обработки материалов. Такое моделирование вихревого кавитационного потока дополнительной жидкости и пьезокерамического излучателя рассмотрим в следующей главе.

Глава 7.

Энергосберегающая добыча жидких материалов

7.1. Первичные источники энергии интенсификации добычи нефти

Устьевые установки для интенсификации добычи нефти, работа которых описана в настоящей монографии, оснащены гидропневматическими аккумуляторами энергии. Они входят в конструкции гидромолотов различных машин и работают одновременно с насосами. Режим работы привода исполнительных органов с гидропневматическими аккумуляторами партии в значительной мере зависит от конечного давления и степени сжатия газа в аккумуляторе. Теоретически расчеты применительно к подобным исполнительным органам еще не выполнялись, что вызывает известные трудности для научн - обоснованного аналитического расчета привода исполнительных органов. В связи с этим, на первом этапе исследований был применен экспериментальный метод, а затем и аналитический.

Рассмотрим осциллограмму записи мощности электродвигателя 1 и давления газа в аккумуляторе 2 (рис. 7.1. а) при степени сжатия равной 5, и энергии удара 500 кгс·м.

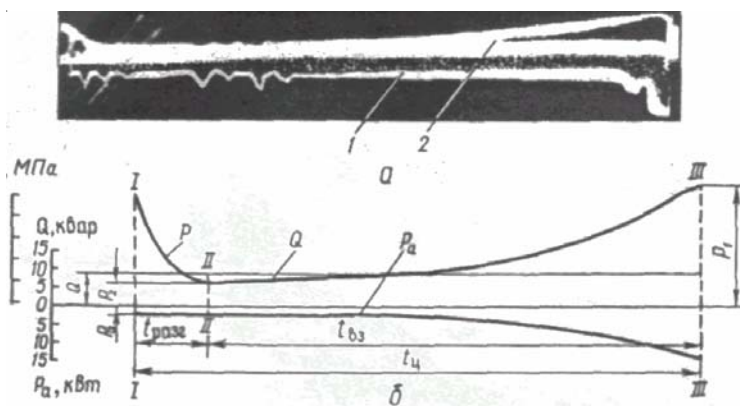


Рис. 7.1. Осциллограмма мощности, потребляемой из сети двигателем привода (а), и изменения давления газа в аккумуляторе (б);
 P – давление газа в аккумуляторе на различных участках рабочего цикла:
 P_a – активная мощность; Q – реактивная мощность

Из положения I—I (рис. 7.1, б) начинается движение ударных масс на излучатель и расширение газа в аккумуляторе. До положения II—II за период в 0,28 с ударник набирает конечную скорость и производит удар, давление газа при этом снижается с 5 до 1 МПа. Затем начинается отвод ударника от излучателя, сопровождающийся в течение 2,52 с сжатием до 5 МПа. Происходящие при этом изменения энергетических показателей работы двигателя привода приведены в табл. 7.1. Из табл. 7.1 видно, что при переходе ударника из положения I—I в положение II—II активная мощность изменяется от 3,9 до 13 кВт, а коэффициент мощности – от 0,35 до 0,81. Таким образом, перепад давления газа в гидропневматическом аккумуляторе в 5 раз приводит к увеличению активной мощности в 3,3 раза, а коэффициента мощности – в 2,3 раза. Двигатель привода в среднем загружен на 65 % от своего номинального значения. Следовательно, режим работы двигателя привода при степени сжатия равной 5, не может быть признан удовлетворительным как по показателю коэффициента мощности, так и по КПД.

Таблица 7.1. Изменение энергетических показателей работы двигателя привода исполнительного органа

Положение ударника	Мощность			Коэффициент мощности COS φ	Коэффициент загрузки двигателя привода
	Активная P_a , кВт	Реактивная Q_1 квар	кажущаяся S , кВ-А		
I - I	3,9	9,5	10,1	0,35	0,65
II - II	13,0		16,1	0,81	

Для выявления причины незагруженности двигателя проанализируем уравнение работы политропического расширения в аккумуляторе:

$$L = \frac{1}{(n-1)\varepsilon^2} p_1 V_2 \left[\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \quad (7.1)$$

где: n – показатель политропы; $\varepsilon = \frac{p_1}{p_2}$ – степень сжатия газа; p_1, p_2 – начальное и конечное давление газа в аккумуляторе; V_2 – конечный объем газа в аккумуляторе.

Как видно, при повышении степени сжатия газа в аккумуляторе увеличивается перепад давления и нагрузка привода в течение рабочего цикла происходит неравномерно. Максимальное значение энергии аккумулятора при постоянных значениях начального давления, конечного объема и оптимальной степени сжатия с точки зрения отдачи энергии аккумулятором определим, исследовав уравнение работы политропического расширения газа на экстремум. Дифференцируя L по ε и приравнявая L к нулю, получаем:

$$\frac{1}{n-1} p_1 V_2 \left[\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{n \varepsilon^n} \right] = 0.$$

Поскольку $\frac{1}{n-1} p_1 V_2 \neq 0$, то

$$\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{n \varepsilon^n} = 0,$$

тогда

$$\varepsilon = n^{\frac{n+1}{n}}. \quad (7.2)$$

Подставив (7.2) в (7.1), получим уравнение, соответствующее максимальной энергии расширяющегося газа:

$$L_{\max} = p_1 V_2 n^{\frac{n}{n+1}}. \quad (7.3)$$

Отношением текущих значений энергии аккумулятора при изменении степени сжатия к максимальному определяется коэффициент отдачи энергии аккумулятора по показателю степени сжатия:

$$K_a = \frac{L}{L_{\max}} = \frac{n^{\frac{n}{n+1}}}{(n-1)\varepsilon} \left[\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (7.4)$$

Коэффициент использования мощности двигателя привода находится как среднее значение его загрузки в течение рабочего цикла:

$$K_d = \frac{1}{2\varepsilon} + 0,5. \quad (7.5)$$

Рассмотрим равенства (7.4) и (7.5) и найдем оптимальную степень сжатия. Приняв, что работа расширения газа в аккумуляторе выражается в единицах СИ, равных $p_1 V_1$, результаты расчетов сведем в табл. 7.2. Оптимальное значение отмени сжатия газа определится из условия максимального использования энергии аккумулятора и наибольшей загрузки двигателя привода.

Из графиков (рис. 7.2) видно, что оптимальное значение степени сжатия газа равно 1,8. Для этого значения степени сжатия газа $K_a = 0,91$, а двигатель при пол-

ном рабочем цикле загружен в среднем на 81 %. При такой его загруженности коэффициент использования мощности двигателя лежит в зоне оптимальных значений. При найденном значении оптимальной степени сжатия газа аккумулятора произведена контрольная запись мощности, потребляемой двигателем из сети (рис. 7.3). Как показали результаты обработки осциллограмм (табл. 7.3) активная мощность в положении ударника I-I возросла более чем в 2 раза, а коэффициент мощности – в 1,8 раза; коэффициент загрузки двигателя стал равным 0,8. Сточки зрения загрузки двигателя привода и использования энергии аккумулятора, целесообразно повышать конечное давление газа при неизменном его начальном значении до величины, соответствующей перепаду давления в 1,8 раза. Таким образом, расчетные данные (табл. 7.4) подтвердились опытом.

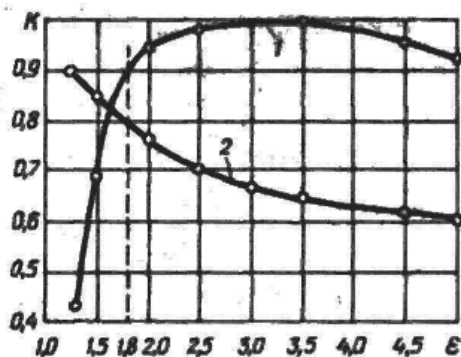


Рис 7.2. Зависимость коэффициентов отдачи энергии аккумулятором K_a (1) и использования мощности двигателя K_d (2) от степени сжатия газа ϵ

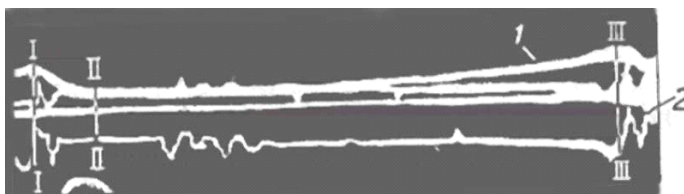


Рис. 7.3. Осциллограмма изменения давления газа в аккумуляторе (1) и мощности, потребляемой из сети двигателем привода (2), при оптимальной степени сжатия

Таблица 7.2.

Коэффициенты отдачи энергии аккумулятором K_a , и использования мощности двигателя привода для различных значений степени сжатия газа

Коэффициент	Степень сжатия ϵ							
	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,0
K_a	4,43	6,84	9,31	9,91	10,12	9,93	9,54	9,16
K_d	0,9	0,883	0,75	0,7	0,67	0,64	0,62	0,6

Таблица 7.3.

Изменение экстремальных энергетических показателей работы двигателя привода исполнительного органа

Положение ударника	Мощность			Коэффициент мощности $\cos \varphi$	Коэффициент загрузки двигателя привода
	Активная P кВт	Реактивная Q_1 квар	Кажущаяся S кВт·А		
I-I	7,6	9,5	12,2	0,63	0,8
II-II	13,2		16,3	0,81	

Таблица 7.4.

Расчетные значения оптимальной степени сжатия газа $\epsilon_{\text{опт}}$, коэффициентов отдачи энергии аккумулятором K_a и использования мощности двигателя привода K_d , для различных показателей политропы

Режим работы	Показатель политропы n					
	1,1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5
$\epsilon_{\text{опт}}$	1,8	1,8	1,85	2,1	2,3	2,5
K_a	0,80	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96
K_d	0,82	0,81	0,80	0,74	0,72	0,70

Аккумулятор выполняет не только функцию накопителя источника энергии, но и роль демпфера энергии отдачи ударника. Значение конечного давления газа оказывает влияние на затухание колебаний системы ударника излучатель (рис. 7.4).

В КА применяются технологические операции, связанные с обработкой различных материалов. Наиболее эффективными для этих работ считаются установки с активными исполнительными органами, перспективными среди которых являются установки, генерирующие ударные нагрузки. Ударные установки с гидравлическим приводом



Рис. 7.4. Осциллограмма динамики исполнительного органа: p – изменение давления газа аккумулятора; V – скорость перемещения ударника; F – сила удара

обладают высоким КПД, низкой металлоемкостью, позволяют достигать большой энергии единичного удара. В последующих разделах монографии дается описание установок для

очистки нефтяных скважин и повышения их продуктивности, в которых в качестве первичных источников используются гидромолоты ГПМ-120.

Недостаток гидроударных установок — повышенная виброактивность, в результате чего снижается прочность конструкции, появляются поломки деталей оборудования, возникает усталость металла и повышается его изнашиваемость. При воздействии вибрации на человека возможны физиологические изменения в его организме, что приводит к профессиональным заболеваниям. Снижение вибрации имеет большое техническое и социальное значение: повышается надежность конструкций, создаются наиболее благоприятные условия эксплуатации скважин, повышается их производительность, устраняются аварии, уменьшается отрицательное воздействие на человека.

7.2. Математическое моделирование ударных установок

Для изучения вибрации, возникающей при функционировании гидромолотов, рассмотрим результирующую силу, действующую на корпус ударного механизма:

$$F_{рез} = F_{б.к} + F_{в.п} + F_{пи}, \quad (7.6)$$

где: $F_{б.к}$, $F_{в.п}$, $F_{пи}$ — силы со стороны соответственно базовой конструкции, внутренних полостей плунжера - излучения ПИ.

Сила, действующая со стороны внутренних полостей в гидропневмоударнике, является результирующей сил от газовой и жидкостной полостей и силы трения, возникающей при движении бойка относительно корпуса. Определим ее из уравнения движения бойка на участках разгона, взвода и торможения;

$$F_{в.п} = m_б \left(\frac{dV}{dt} - g \cos \alpha_n \right), \quad (7.7)$$

где: $m_б$, $x_б$ — соответственно масса и скорость бойка; g — ускорение свободного падения; α_n — угол отклонения оси ударника от вертикали (угол наклона).

Циклограммы скорости бойка гидроударных механизмов подробно рассмотрены в [15]. Типичная циклограмма показана на рис. 7.5, где x_y , $x_{вз}$ — скорости бойка соответственно перед его ударом по инструменту и на участке взвода $t_{разг}$, $t_{разг}$, $t_{упр}$, $t_{вз}$, t_r , $t_{ц}$ — время разгона бойка соответственно на удар, нагружения (разрушения), управления, взвода, торможения и цикла.

Циклограмма силы, действующей на корпус ударника со стороны его внутренних полостей, согласно (7.7), показана на рис. 7.6.

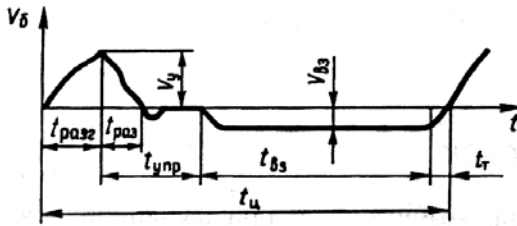


Рис. 7. 5. Циклограмма скорости бойка гидроударника

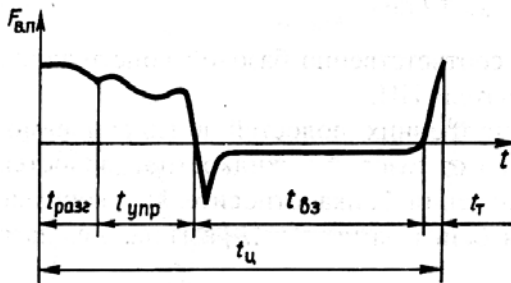


Рис. 7. 6. Циклограмма силы, действующей на корпус со стороны его внутренних полостей

На участке разгона сила $F_{в.п}$ падает. Это объясняется уменьшением давления в газовой полости при ее расширении и увеличении гидравлического сопротивления при росте скорости бойка. На участке нагружения скважины $F_{в.п}$ сначала увеличивается, так как при соударении бойка с ПИ резко уменьшается скорость бойка относительно корпуса и, следовательно, снижается гидравлическое сопротивление. Далее при продвижении бойка полость расширяется и $F_{в.п}$ уменьшается. В момент, предшествующий взводу бойка, происходит переключение в системе управления ударником, сила $F_{в.п}$ меняет знак. Холостой ход бойка показывает, что его скорость при взводе резко изменяется за малое время, порядка нескольких тысячных долей секунды, после чего она изменяется незначительно. Сила, действующая вначале взвода

на корпус ударника в направлении забоя, определяется из выражения

$$I_{вз} = m_b (x_{вз} - x_{от}),$$

где: $x_{от}$ — скорость отскока предшествующая его взводу.

Торможение бойка осуществляется в гидروпневмоударных механизмах той же внутренней силой, что и разгон на удар. Считая движение бойка на участке разгона равноускоренным, получаем соотношения времени торможения и разгона:

$$\frac{t_T}{t_{разг}} = \frac{v_{вз}}{v_y}.$$

Приравняв ход бойка на участке разгона к ходу при его взводе, получим:

$$\frac{v_{вз}}{v_y} = \frac{t_{разг}}{2t_{вз}}.$$

Соотношение времени взвода и разгона у мощных гидropневмударных механизмов приблизительно равно удвоенному коэффициенту асимметрии цикла $\alpha_{\text{ц}}$. Тогда отношение $\frac{v_e}{v_y}$ имеет порядок $0,25 \alpha_{\text{ц}}$. Так, для $\alpha_{\text{ц}} \geq 3$, характерного для гидropневмударников, время торможения и, следовательно, импульс силы, действующей на корпус ударника со стороны внутренних полостей при торможении бойка, составляет менее 10% импульса этой же силы на участке разгона.

Сила, действующая на корпус со стороны инструмента, уравнивает остальные составляющие в случае, когда корпус поджат к ПИ, и равна нулю, если корпус отторгнут от ПИ. При соприкосновении корпуса с ПИ на корпус действует сила удара. На

рис. 7.7 изображена совместная циклограмма координаты корпуса ударника $X_{\text{к}}$, координаты инструмента $X_{\text{и}}$, за положительное направление которых принято направление к забою скважины, и силы, действующей на корпус со стороны ПИ, положительное направление которой — от забоя скважины. На циклограмме показан случай, когда $F_{\text{б.к}}$ превышает $F_{\text{в.п}}$ при разгоне бойка. При этом корпус до удара неподвижен и сила $F_{\text{пи}}$ уравнивает разность $F_{\text{в.п}} - F_{\text{б.к}}$. В начале удара бойка по ПИ силы $F_{\text{в.п}}$ и $F_{\text{б.к}}$ совместно передаются на забой скважины. Плунжер-излучатель отходит от корпуса, и сила $F_{\text{пи}}$ становится равной нулю. Продвижение ПИ сопровождается снижением его скорости с последующим отскоком. Скорость отскока определяется энергией, расходуемой на нагружение упругими, пластическими свойствами столба жидкости в НКТ, забойной зоне массива и силой, действующей на боек со стороны внутренних полостей ударника. После со-ударения корпуса с ПИ (момент $t_{\text{с}}$) их скорость и направление движения изменяются: ПИ движется в сторону забоя, а корпус под действием внешних и внутренних сил совершает посадку на ПИ. В момент посадки $t_{\text{п}}$ когда $X_{\text{к}}$ равно внедрению $X_{\text{вн}}$ корпус под действием силы $F_{\text{пи}}$ теряет накопленную кинетическую энергию. Колебания корпуса после его посадки на ПИ мощных ударных машинах значительно меньше, чем внедрение НИ в НКТ и не оказывают заметного влияния на динамику

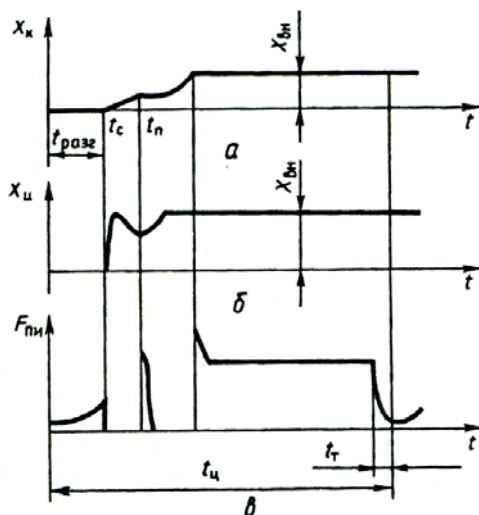


Рис.7.7. Циклограммы координаты корпуса ударника (а), координаты инструмента (б) и силы, действующей на корпус со стороны инструмента (в)

процесса. Далее до окончания цикла сила со стороны ПИ уравнивает разность сил $F_{в.п} - F_{б.к}$.

Нагрузки на корпус ударника вызывают его вибрации. Так, в случаях аппроксимации движения корпуса ударника функцией

$$X_{\kappa} = \begin{cases} 0 & \text{input} \leq t_{\Pi} \\ X_{BH} \cdot \text{input} & t_{\Pi} \leq t_{\Pi} \end{cases} \quad (7.8)$$

среднее квадратическое значение виброскорости на частотах, кратных $\frac{1}{t_{\Pi}}$, равно $X_{BH} = \frac{\sqrt{2}}{t_{\Pi}}$. При заглублении ПИ пропорционально отклонению расстояний от центра вращения до кабины и до оси ударника. При значении этого отношения, равном 3, $X_{BH} = 10^{-2}$ м, $t_{\Pi} = 0,5 \dots 0,2$ с. Среднее квадратическое значение виброскорости находится в пределах $0,94 \cdot 10^{-2} \dots 2,35 \cdot 10^{-2}$ м/с. Данные значения превышают допустимый уровень виброскорости в октавных полосах 4 Гц. Наибольшее превышение от 1,5 до 4 раз приходится на октавную полосу 8 Гц, так как колебания с более высокими частотами демпфируются рабочим оборудованием базовой установки. Функция (7.8) связана только с заглублениями ПИ и не учитывает отдачи при разгоне бойка и при его отскоке. Поэтому реально существующие вибрации превышают допустимые уровни.

Традиционные методы виброзащиты, связанные с использованием пассивных элементов (инерционных, упругих и диссипативных), во многих случаях оказываются неэффективными для применения их в ударных машинах. Они не обеспечивают выполнения требований, предъявляемых к виброзащитным устройствам. Значительное повышение эффективности виброгашения достигается применением управляемых виброзащитных систем.

Рассмотрим функциональную модель ударной установки, которая отражает взаимодействие колебательной и возбуждающей частей.

К колебательной части относится часть установки, участвующая в колебательном процессе, непосредственно не связанном с выполнением основной производственной функции — генерированием силовых импульсов в скважине. В колебательную часть установки входит корпус ударного механизма и все то, что находится за ним в направлении от скважины. В возбуждающей части установки формируется воздействие на колебательную часть, что приводит к возникновению в последней колебательного процесса. Для возбуждающей части характерно цикличное функционирование. В ней происходят взаимосвязанные процессы — разгон бойка удар его по ПИ, взвод и торможение бойка, образующих единичное генерирование ударного импульса скважине и импульса силы в направлении колебательной части установки.

Уравнение движения колебательной части ударной установки с приведенной массой m , на которую действуют периодическая сила $F_{\text{в}}$ со стороны возбуждающей

части, восстанавливающая сила с коэффициентом жесткости c и диссипативная сила с коэффициентом демпфирования h_0 . Пренебрегая членами высших порядков малости относительно отклонения X и скорости X' приведенной массы, получаем:

$$X'' + 2h_0 X' + \frac{c}{m} X = \frac{F_B}{m}. \quad (7.9)$$

Введем безразмерные переменные, определяемые как:

$$\psi = X \frac{\omega^2}{g}; \quad \varphi = \omega t,$$

где $\omega = \sqrt{\frac{c}{m} - h_0^2}$ — частота свободных колебаний.

В безразмерных переменных уравнение (7.9) имеет вид:

$$\psi'' + 2h\psi' + \frac{\omega_0^2}{\omega^2}\psi = \chi_B, \quad (7.10)$$

где $h = \frac{h_0}{\omega}$; $\omega_0^2 = \frac{c}{m}$; $\chi_B = \frac{F_B}{mg}$.

Решив уравнение (7.10), получим:

$$\psi = e^{-h\varphi} [\psi_n \cos \varphi + (\psi'_n + h\psi_n) \sin \varphi] + \psi_0(\varphi), \quad (7.11)$$

где: ψ_n, ψ'_n — значения переменной ψ и ее первой производной в начале цикла ударного механизма;

$$\psi_0(\varphi) = \frac{1}{\omega} e^{-h\varphi} \int_0^\varphi e^{hu} \chi(u) \sin \frac{\omega_0(\varphi - u)}{\omega} du. \quad (7.12)$$

Введем переменную, определяемую равенством:

$$\sigma = \psi' + h\psi. \quad (7.13)$$

С учетом (7.13)

$$\sigma = e^{-h\varphi} (-\varphi_n \sin \varphi + \sigma_n \cos \varphi) + \sigma_0(\varphi), \quad (7.14)$$

где: $\sigma_n = \psi'_n + h\psi_n$; $\sigma_0(\varphi) = \psi'_0(\varphi) + h\psi_0(\varphi)$.

В конечный и начальный моменты цикла переменные ψ и σ взаимосвязаны между собой:

Возведем в квадрат и сложим два последних выражения

$$\bar{\psi}_\kappa^2 + \bar{\sigma}_\kappa^2 = e^{-2h\varphi_\kappa} (\bar{\psi}_\kappa^2 + \bar{\sigma}_\kappa^2),$$

откуда:

$$\sqrt{\frac{\bar{\psi}_\kappa^2 + \bar{\sigma}_\kappa^2}{\bar{\psi}_\kappa^2 + \bar{\sigma}_\kappa^2}} = e^{-h\varphi_\kappa},$$

т. е. отношение отклонений изображающей точки от начала координат $[\bar{\psi}, \bar{\sigma}]$ в момент окончания и начала цикла равно $e^{-h\varphi_\kappa}$. При отсутствии диссипативных сил конечное отклонение равно начальному. Разделив первое уравнение системы

$$(7.18) \text{ на второе с учетом } \bar{\psi}_\kappa = \frac{\bar{\psi}_\kappa}{\bar{\sigma}_\kappa}, \bar{\psi}_\kappa = \frac{\bar{\psi}_\kappa}{\bar{\sigma}_\kappa}, \text{ получим}$$

$$\bar{\psi}_\kappa = \bar{\psi}_\kappa (\bar{\psi}_\kappa + \varphi_\kappa). \quad (7.20)$$

Углы φ_κ и φ_κ — это углы между осью $\bar{\sigma}$ и радиусом-вектором, проведенным к соответствующей точке. Из (7.20) находим:

$$\bar{\psi}_\kappa = \bar{\psi}_\kappa (\bar{\psi}_\kappa + \varphi_\kappa), \quad (7.21)$$

т. е. конечная фаза больше начальной на фазу цикла.

Таким образом, изображающая точка колебательной части ударной установки на фазовой плоскости $[\psi, \sigma]$ поворачивается по спирали с центром в точке $[\psi_y, \sigma_y]$ на угол φ_κ в сторону его увеличения, т. е. по часовой стрелке. При отсутствии диссипативных сил изображающая точка поворачивается по окружности.

На амплитуду колебаний изображающей точки колебательной части ударной установки в конце цикла влияет ее положение на плоскости $[\psi, \sigma]$ в начале цикла. Конечная амплитуда определяется зависимостью:

$$A_\kappa = \sqrt{\psi_\kappa^2 + \sigma_\kappa^2}. \quad (7.22)$$

В (7.22) подставим функции последования

$$A_\kappa = e^{-h\varphi_\kappa} \sqrt{(\psi_\kappa - \psi_\kappa)^2 + (\sigma_\kappa - \sigma_\kappa)^2}, \quad (7.23)$$

где:

$$\psi_\kappa = e^{-h\varphi_\kappa} (-\psi_0 \cos \varphi_\kappa + \sigma_0 \sin \varphi_\kappa); \quad (7.24)$$

$$\sigma_n = e^{-h\varphi_n} (-\psi_0 \sin \varphi_n - \cos \varphi_n).$$

Зависимости A_k , от ψ_n , и σ_n в пространстве $[A_k, \psi_n, \sigma_n]$ представляют собой коническую поверхность с вершиной в полюсе $[\psi_n, \sigma_n]$, где амплитуда равна нулю. Из (7.23) видно, что амплитуда в какой-либо точке численно равна расстоянию от полюса $[\psi_n, \sigma_n]$ до этой точки, умноженному на $e^{-h\varphi_n}$. На рис. 7.9 показана зависимость A_k , от ψ_n, σ_n при $h=0$ в виде сечений данной конической поверхности при A_k , равном $0,5 \cdot A_{k0}; A_{k0}; 1,5 \cdot A_{k0}$, где A_{k0} — амплитуда в конце цикла при запуске ударной установки с нулевых начальных условий.

Геометрическое место точек на плоскости $[\psi_n, \sigma_n]$, соответствующее постоянному A_k — это окружность с центром в полюсе. Поскольку для данного случая амплитуда колебаний численно равна расстоянию от полюса этой точки, то ее значение $A_{k\max}$ в переходном процессе в случае, когда отрезок, соединяющий изображающую точку с точкой установившегося режима, будет продолжением отрезка, соединяющего полюс и точку установившегося режима. С учетом (7.8) амплитуда в переходном процессе

$$A_{k\max} = A_y + \sqrt{(\psi_n - \psi_y)^2 + (\sigma_n - \sigma_y)^2}. \quad (7.25)$$

Используя уравнение (7.25), определяют значение $A_{k\max}$ в зависимости от $\psi_n, \psi_y, \sigma_n, \sigma_y$, что позволяет управлять нагружением системы забой - исполнительный орган.

7.3 Устьевые генераторы

Рассмотрим в качестве примера канонический ансамбль, включающий обрабатываемый материал и нагружатель. Последний представляет собой импульсно-волновой трансформатор (ИВТ). Его действие проявляется в излучении энергии для обработки материала. При этом ИВТ и материал характеризуются волновыми и корпускулярными свойствами. Создание новых и повышение производительности существующих КА требует учета свойств обрабатываемого материала, его собственной частоты колебаний, соответствия интенсивности излучения энергии внешнего источника интенсивности ее поглощения материалом.

Управление энергетическими потоками системы обрабатываемая среда — импульсно — волновой трансформатор (СИВТ) реализовано при повышении производительности нефтегазодобывающих скважин. При этом используется ИВТ (рис. 7.10) который состоит из первичного низкочастотного источника колебаний, например гидропневмомолота ГПМ — 120 с ударником 1 и вторичного высокочас-

тотного плунжера — излучателя 2 (ПИ). Импульсно — волновой трансформатор преобразует низкочастотную энергию единичного удара от первичного источника колебаний в поток энергии высокочастотных колебаний ПИ. Совместная работа с гидравлическим насосом, прокачивающим жидкость по нагнетательному трубопроводу 5, реализует нагружение обрабатываемой среды 4 энергетическими потоками: удара ПИ по закачиваемой жидкости, гидравлического удара при открытии нагнетательного трубопровода 5. Дополнительно в ПИ возникают волновые колебания, распространяющиеся по столбу жидкости 3, а также стенкам насосно-компрессорных труб. Нижний торец ПИ поджимается вверх давлением жидкости от гидравлического насоса. Сила F_1 , возникающая в результате удара, перемещает ПИ вниз. Он перекрывает сечение нагнетательного трубопровода 5. Поток энергии от удара ПИ по жидкости распространяется вниз. При достижении коллектора нефтяного пласта 4 волны напряжений деформируют вмещающие породы образованием микротрещин. Это повышает проницаемость коллектора продуктивного пласта. Обратный ход ПИ открывает поток жидкости гидронасоса с возникновением гидравлического удара.

Расчет силы и времени удара, скорости и перемещения ударника и ПИ проведен методом, учитывающим сжатие приконтактной зоны удара с использованием положений теории упругости. Жесткость приконтактной зоны на порядок больше жесткости основной части ударника. Общие деформации тел меры по сравнению деформациями в области контакта.

В момент времени $t = 0$ ударник со скоростью v_1 сталкивается с ПИ. Удар описывается дифференциальным уравнением второго порядка, правая часть которого равна нулю. Переменной в уравнении является величина α — сближение ударника и ПИ:

$$\alpha'' + \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} c_1 \alpha^{\frac{3}{2}} = 0, \quad (7.26)$$

где: m_1 , m_2 — соответственно масса ударника и ПИ; c_1 — контактная жесткость ударника.

Контактная жесткость ударника и ПИ с учетом линеаризации дифференциального уравнения (7.25) при условии, что ударник имеет сферический выступ, а ПИ — плоский торец [3]:

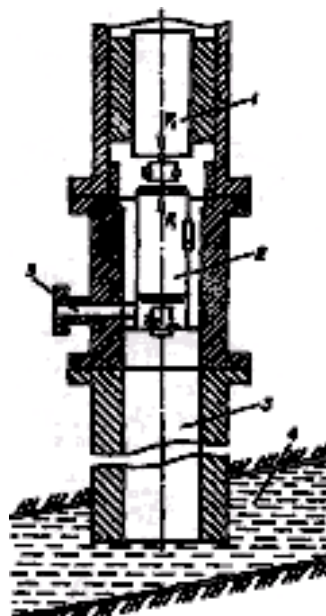


Рис.7.10. Схема системы обрабатываемая среда — импульсно — волновой трансформатор

$$c_1 = 0,865 \left(\frac{\rho a S_1 S_2}{S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1} \right)^{0,2} \left[\frac{\sqrt[3]{R_1 E}}{3(1-\nu^2)} \right]^{0,8} v_0^{0,4}, \quad (7.27)$$

где: ρ – плотность материала ударника и ПИ, кг/м³; a – скорость звука в материале ударника и ПИ, м/с; S_1, S_2 – площадь поперечного сечения соответственно ударника и ПИ, м²; ω_1, ω_2 – собственная частота колебаний соответственно ударника и ПИ, Гц; E – модуль упругости материалов ударника и ПИ, Па; ν – коэффициент Пуассона материала ударника и ПИ; R_1 – радиус торцевой части ударника, м; v_0 – скорость ударника до удара.

Решением дифференциального уравнения удара определены параметры, характеризующие инерционные перемещения ПИ: сближение α ударника и ПИ его скорость v_2 , перемещение x_2 , ударная сила $F = F_1$, время соударения t с учетом $m_1 = \rho_1 S_1 \pi a / \omega_1$, и $m_2 = \rho_2 S_2 \pi a / \omega_2$;

$$\alpha = v_0 \sqrt{\frac{\rho a S_1 S_2}{c_1 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}} \sin \sqrt{c_1 \frac{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\rho a S_1 S_2}} t; \quad (7.28)$$

$$v_2 = \frac{S_1 v_0 \omega_2}{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)} \left(1 - \cos \sqrt{c_1 \frac{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\rho a S_1 S_2}} t \right); \quad (7.29)$$

$$x_2 = \frac{S_1 v_0 \omega_2}{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)} \left(t - \sqrt{\frac{\rho a S_1 S_2}{c_1 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}} \sin \sqrt{c_1 \frac{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\rho a S_1 S_2}} t \right); \quad (7.30)$$

$$F = v_0 \sqrt{\frac{c \rho a S_1 S_2}{(S_1 \omega_1 + S_2 \omega_1)}} \sin \sqrt{c_1 \frac{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\rho a S_1 S_2}}; \quad (7.40)$$

$$t = \pi \sqrt{\frac{\rho a S_1 S_2}{c_1 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}}. \quad (7.41)$$

Определение скорости, энергии и перемещения ПИ дает возможность рассчитывать давление в жидкости и диаметр ПИ для создания гидравлического удара, возникающего при открытии нагнетательного трубопровода. При соударении ударника с ПИ одновременно с инерционными колебаниями возникают волновые. Для их расчетов ПИ представлен упругим телом. При волновых колебаниях вслед-

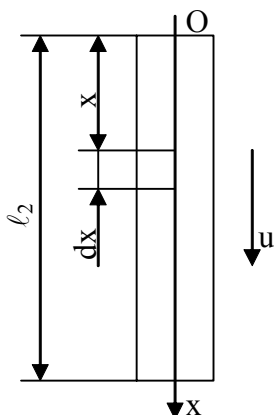


Рис. 7.11. Схема плунжера – излучателя, свободного от нагрузки

ствие их малого периода инерционность позволяет пренебречь диссипацией импульса в ПИ. В случае рассмотрения продольных колебаний поперечные сечения принимаются плоскими и каждая точка поперечного сечения выполняет только осевые перемещения. Длина продольных волн колебаний является большей по сравнению с размерами поперечных сечений ПИ. Схема свободного от нагрузки ПИ длиной l_2 , бесконечно малый элемент которого длиной dx расположен на расстоянии x от верхнего конца, изображена на рис.7.11. Продольное его перемещение записывается уравнением [1]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{a_2^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (7.42)$$

где $a_2 = \sqrt{\frac{E_2}{\rho_2}}$ – скорость распространения звука в

материале ПИ.

Уравнение 7.42 является одномерным волновым, при продольных колебаниях ПИ контур перемещений распространяется в осевом направлении со скоростью звука в материале. Решение 7.42 имеет вид:

$$u = f(x - a_2 t) \quad (7.43)$$

и представляет собой некоторую произвольную функцию от x . Тогда

$$u = X(A \cos \omega_2 t + B \sin \omega_2 t), \quad (7.44)$$

где: X – главная, или нормальная, функция от x , описывающая форму собственных колебаний ПИ; A и B – произвольные постоянные; ω_2 – круговая частота колебаний ПИ. Подставив (7.44) в (7.42), получим:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\omega_2^2}{a_2^2} X = 0, \quad (7.45)$$

откуда:

$$X = C \cos \frac{\omega_2 x}{a} + D \sin \frac{\omega_2 x}{a}. \quad (7.46)$$

В данном выражении для функции X постоянные C и D определяются из условий удовлетворения граничным условиям. Для ПИ с закрепленными концами граничные условия выражаются так:

$$(u)_{x=0} = 0, \quad (u)_{x=l_2} = 0 \quad (7.47)$$

С целью удовлетворения первому из граничных условий в общем выражении (7.46) для нормальных функций примем $l_2=0$. Второе условие дает частотное уравнение вида:

$$\sin\left(\frac{\omega_2 l_2}{a}\right) = 0. \quad (7.48)$$

Решив его, определим значения частот и периодов различных форм колебаний:

$$\omega_{2i} = \frac{i\pi a}{2l_2}; \quad \tau_i = \frac{2\pi}{\omega_{2i}} = \frac{4l_2}{ia}. \quad (7.49)$$

Рассмотрим возмущающую силу $F=f(t)$, приложенную к верхнему концу стержня. Тогда нормальные функции X имеют вид:

$$X = D \sin \frac{\pi x}{2l_2}. \quad (7.50)$$

Перемещение $u=f(x)$ получим, просуммировав перемещения, соответствующие нормальным формам колебаний (7.50). Следовательно, перемещения при колебаниях, обусловленных возмущающей силой F , выражаются в виде ряда:

$$u = \sum_{i=0,1,2}^{\infty} \varphi_i \sin \frac{i\pi x}{l_2}, \quad (7.51)$$

где: φ_i — некоторые неизвестные функции времени.

Чтобы изменить эти функции применительно к случаю вынужденных колебаний, воспользуемся принципом возможной работы. Рассмотрим три вида сил: силу инерции, действующую на каждый малый элемент колеблющегося ПИ; силу упругости, действующую на каждый его элемент и обусловленную деформацией стержня; возмущающую силу, приложенную к концу ПИ. В качестве возможного перемещения взято произвольное продольное перемещение δu , удовлетворяющее непрерывности деформаций и заданному условию жестко закрепленных его концов. Принимаем перемещение в виде нормальных функций, описываемых выражением (7.50). Тогда:

$$\delta u_i = X_i = D_i \sin\left(\frac{i\pi x}{l_2}\right). \quad (7.52)$$

Учитывая, что масса малого элемента ПИ, заключенного между двумя смежными поперечными сечениями, равна $\rho_2 S_2 dx$, определяем работу, совершаемую силами инерции на заданном возможном перемещении:

$$\delta W_u = \int_0^{l_2} \rho_2 S_2 u'' \delta u_i dx = -\rho_2 S_2 \int_0^{l_2} u'' D_i \sin \frac{i\pi x}{l_2} dx. \quad (7.53)$$

Подставляя в (7.53) выражение (7.48) в виде ряда (7.51) и учитывая, что

$$\int \sin^2 \frac{i\pi x}{2l_2} dx = \frac{l_2}{2}, \quad (7.54)$$

получаем:

$$\delta W_u = -\frac{\rho_2 S_2 l_2}{2} D_i \varphi_i''. \quad (7.55)$$

Чтобы рассчитать работу δW_u , совершаемую упругими силами, заметим, что на каждый элемент действует сила $E_2 S_2 u'' dx$. Тогда:

$$\delta W_u = \int_0^{l_2} (E_2 S_2 u'' dx) \delta u_i. \quad (7.56)$$

Подставляя в (7.56) вторую производную (7.51) по x и используя выражение (7.52) имеем

$$\delta W_u = -\frac{i^2 \pi^2 E_2 S_2}{8l_0} D_i \varphi_i. \quad (7.57)$$

При подсчете возможной работы, совершаемой упругими силами, определим энергию деформации тела. Для данного случая перемещение

$$u = \frac{l}{2} \int_0^{l_2} E_2 S_2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx. \quad (7.58)$$

Окончательное выражение для энергии деформации с учетом (7.51) имеет вид:

$$E_d = \frac{i^2 \pi^2 E_2 S_2}{16l} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \varphi_i^2. \quad (7.59)$$

Работа возмущающей силы F , приложенной к концу излучателя $x=l_2$

$$\delta W_u = F D_l. \quad (7.60)$$

Сила для колебаний по первой гармонике:

$$F = \frac{\rho S l_2}{2} \varphi'' + \frac{\pi^2 E_2 S_2}{8l_2} \varphi. \quad (7.61)$$

Решение (7.61) при нулевых начальных условиях перемещения и скорости имеет вид:

$$\varphi = \frac{4}{\pi a_2 \rho_2 S_2} \int_0^l \sin \left[\frac{\pi a_2}{2l_2} (t - t') \right] dt' . \quad (7.62)$$

При подстановке (7.62) в (7.51) выражение для динамических перемещений, обусловленных действием возмущающей силы F , имеет такой вид:

$$u = \frac{4}{\pi a_2 \rho_2 S_2} \sin \frac{\pi x}{2l_2} \int_0^{l_2} F \sin \left[\frac{\pi a_2}{2l_2} (t - t') \right] dt' . \quad (7.63)$$

Тогда амплитуда волновых колебаний $A = u$ с учетом уравнений (7.63) и (7.40)

$$A = \frac{4l_2 v}{\pi a_2 \rho_2 S_2} \sqrt{\frac{c_1 \rho_2 a_2 S_1 S_2}{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}} \left[\frac{\sin \left(C - \frac{\pi a}{l_2} \right)}{Cl_2 - \pi a} - \frac{\sin \left(C - \frac{\pi a}{2l_2} \right) t}{Cl_2 + \pi a} \right] . \quad (7.64)$$

где: $C = \sqrt{\frac{c_1 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\rho_2 a_2 S_1 S_2}}$; l_2 – длина ПИ.

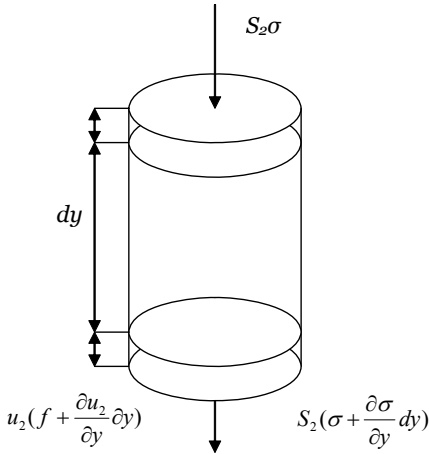


Рис.7.12. Деформация объема жидкости в скважине

Рассмотрим удар плунжера – излучателя по столбу жидкости, находящейся в скважине (рис.7.12). Перемещение поверхности контакта ПИ с поверхностью воды на u_2 найдем из условия равновесия элемента воды на участке его упругого восстановления после деформации сжатия. Относительное удлинение элементарного объема жидкости:

$$\varepsilon = \frac{u_2 + \frac{\partial u_2}{\partial y} dy - u_2}{dy} = \frac{\partial u_2}{\partial y} . \quad (7.65)$$

Разность усилий на противоположных сторонах элементарного объема уравнивается инерционной его составляющей:

$$\left[\left(\sigma + \frac{\partial \sigma}{\partial y} \partial y \right) - \sigma \right] S_3 = S_3 dy \rho_3 \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2}, \frac{\partial \sigma}{\partial y} = \rho_3 \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2}, \quad (7.66)$$

где: σ – напряжение жидкости на поверхности ее контакта с ПИ, Па; ρ_3 – плотность жидкости в скважине, кг/м³; t – время соударения бойка с излучателем, с.

Подставив в (7.66) значение $\sigma = \varepsilon E_3 = E_3 \frac{\partial u_2}{\partial y}$, получим

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} = a_3 \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2}, \quad (7.67)$$

где: $a_3 = \sqrt{E_1 / \rho_3}$ – скорость звука в жидкости, м/с.

Если продольные размеры скважины намного превышают поперечные размеры, то движение сечений столба жидкости с достаточной точностью описывается одномерным волновым уравнением (7.67). Перемещение u_2 и напряжение σ определим с помощью метода Д’Аламбера. Тогда:

$$u_2 = f(a_3 t - y) + f(a_3 t + y). \quad (7.68)$$

Выразим функцию f через функцию g из условия, что перемещение слоев водного столба на расстоянии от излучателя, превышающем $L_3 = a_3 t$, в период удара равно нулю: $u|_{y \geq L_3} = 0$. Обозначив $a_3 t + y = k$, из (7.68) получим:

$$0 = f(k) + g(k - 2L_3); \quad f(k) = -g(k - 2L_3). \quad (7.69)$$

Подставим (7.69) в (7.68) и обозначим $a_3 t - y = z$. Тогда:

$$u_2 = g(z) - g(z - 4L_3). \quad (7.70)$$

Уравнением (7.70) перемещение u_2 выражено через одну функцию g . Так как перемещение слоев жидкости на удалении от ПИ на $4L_3$ отсутствует, то:

$$u_2 = g(z) - g(a_3 t - y). \quad (7.71)$$

Найдем первую и вторые производные u_2 от t и первую производную по y :

$$\begin{aligned} u_2' &= -a_3 [g'(a_3 t - y)]; \\ u_2'' &= a_3^2 [g''(a_3 t - y)]; \\ u_y' &= -g'(a_3 t - y). \end{aligned} \quad (7.72)$$

Найденные значения подставим в уравнение равновесного объема жидкости, охваченного волной напряжения, длина которой $a_3 t$:

$$a_3 t S_3 \rho_3 \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = E_3 \frac{\partial u_2}{\partial y} S_3. \quad (7.73)$$

Подставим в (7.73) значение (7.72):

$$a_3 t [a_3^2 g''(a_3 t - y)] = -a_3^2 g'(a_3 t - y) \quad (7.74)$$

Обозначим

$$g''(a_3 t - y) = p; \quad (7.75)$$

$$g'(a_3 t - y) = p^2.$$

Тогда из (7.73) примет вид

$$a_3 t p(p+1) = 0. \quad (7.76)$$

Корнями характеристического уравнения будут:

$$p_1 = 0, p_2 = -\frac{1}{a_3 t}. \quad (7.77)$$

Решением (7.68) с учетом (7.75) – (7.77) будет:

$$u_2 = C_1 e^{p_1(a_3 t - y)} + C_2 e^{p_2(a_3 t - y)}; \quad (7.78)$$

$$u_2 = C_1 + C_2 e^{-\frac{1}{a_3 t}(a_3 t - y)}.$$

Для граничных условий определим постоянные коэффициенты C_1 и C_2 :

$$u_2 \Big|_{y=0}^{t=0} = 0; \quad 0 = C_1 + C_2; \quad C_1 = -C_2; \quad \frac{\partial u_2}{\partial t} \Big|_{y=0}^{t=0} = v_3.$$

Найдем скорость перемещения частиц столба жидкости при ударе, обозначив $a_3 t = h$:

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = v_3 = 0 + C_2 e^{-\frac{1}{h}(h-y)} \left(\frac{-a_3}{h} \right); \quad (7.79)$$

$$C_2 = \frac{-v_3 h}{a_3 e^{-\frac{1}{h}(h-y)}}, \quad C_1 = \frac{v_3 h}{a_3 e^{-\frac{1}{h}(h-y)}}.$$

С учетом постоянных интегрирования C_1 и C_2 (7.78) примет вид:

$$u_2 = v_3 h \left(e^{\frac{1}{h}(a_3 t - y)} - 1 \right). \quad (7.80)$$

Расход выталкиваемой жидкости без учета собственных колебаний ПИ может использоваться при расчетах нагнетания жидкости в продуктивные пласты для создания или поддержания в них необходимой трещиноватости, обеспечивающей нужную нефтеотдачу.

Передача энергии от первичного источника ИВТ обрабатываемому материалу происходит через один или несколько промежуточных элементов. При этом часть энергии теряется в процессе передачи. Обрабатываемый материал имеет свою собственную частоту колебаний. Воздействие на него с частотой, большей или меньшей собственной, приводит к неполному поглощению подводимой энергии. [1] Часть ее непродуктивно используется на нагрев соударяющихся элементов и окружающей среды, диссипацию. Для лучшего поглощения обрабатываемой средой прикладываемой энергии необходимо создавать нагружение, частота которого приближается к собственной частоте колебаний среды. В этом случае становится возможным использовать резонанс излучаемой и поглощаемой энергий. Взаимосвязь интенсивностей поглощения энергии обрабатываемой средой и ее излучения внешним источником [14] представлена уравнением Брейта - Вигнера и имеет вид:

$$I(\omega) = I(\omega_0) \frac{\left(\frac{1}{2} \tau \right)^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{1}{2} \tau \right)^2}, \quad (7.81)$$

где: $I(\omega)$ — функция, выражающая интенсивность излучения энергии за единицу времени на единичную амплитуду при нагружении с частотой ω , Вт/м²; $I(\omega_0)$ — интенсивность поглощения энергии обрабатываемой средой при резонансе ее собственной частоты с внешней частотой, Вт/м²; τ — продолжительность воздействия внешнего источника на обрабатываемую среду с единичной амплитудой, с; ω — внешняя частота нагружения обрабатываемого материала, Гц; ω_0 — собственная частота колебаний обрабатываемой среды, Гц.

Согласно уравнению (7.81) интенсивность поглощения энергии обрабатываемой средой пропорциональна ее излучению внешним источником, коэффициент пропорциональности которого:

$$k = \frac{\left(\frac{1}{2} \tau \right)^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{1}{2} \tau \right)^2}. \quad (7.82)$$

Интенсивность поглощения энергии максимальна при нагружении обрабатываемого материала, частота нагружения которого $\omega = \omega_0$. При этом достигается резонанс частот внешнего источника с обрабатываемым материалом. Представим (7.81) в виде

$$I(\omega) = I(\omega_0) \frac{1}{4\tau^2(\omega - \omega_0)^2 + 1} . \quad (7.83)$$

Полное поглощение энергии источника нагружения обрабатываемой средой достигается при условии, что коэффициент пропорциональности $k=1$:

$$\frac{1}{4\tau^2(\omega - \omega_0)^2 + 1} . \quad (7.84)$$

Упростим (7.84), преобразовав его к виду:

$$4\tau^2(\omega - \omega_0)^2 = 0 . \quad (7.85)$$

Очевидно, что для соблюдения условия (7.85) необходимо приблизить внешнюю частоту нагружения к собственной частоте колебаний обрабатываемой среды. В таком случае продолжительность воздействия не оказывает существенного влияния на передачу энергии. В случае существенной разности внешней и собственной частот продолжительность воздействия оказывает большое влияние. Чем больше разность частот, тем короче должен быть процесс передачи энергии, и при этом, для лучшей передачи и поглощения энергии, произведение продолжительности воздействия на разность частот нагружения и собственной частоты колебаний должно стремиться к нулю.

Взаимодействующие элементы импульсно-волнового трансформатора (ударник, плунжер-излучатель, обрабатываемая среда) имеют свою собственную частоту колебаний. На макроуровне она определяется геометрическими размерами тела и свойствами его материала. Взаимодействие ударника и плунжера-излучателя, имеющих свои собственные частоты колебаний, приводит к полной передаче энергии при условии равенства этих частот. При этом используется резонанс излучения энергия ударника с поглощением ее плунжером-излучателем. Аналогично передача энергии осуществляется плунжером-излучателем столбу скважинной жидкости. Ограниченный внутренней поверхностью стенки трубы, объем жидкости в скважине имеет свою критическую массу и геометрические размеры. Последними определяется собственная частота колебаний столба жидкости в трубе. Полная передача энергии от плунжера-излучателя критической массе достигается при равенстве их собственных частот. В резонансной формуле Брейта - Вигнера соответствие интенсивности излучения энергии ее поглощению определяется изменени-

ем собственной частоты плунжера-излучателя и критической массы столба жидкости. Собственная частота взаимодействующих тел является функцией длины материала и его свойств (при рассмотрении продольных колебаний ударника, плунжера-излучателя и критической массы, которые имеют место при ударе).

Резонанс на микроуровне определяется собственной частотой колебаний частиц, из которых складывается материал. Частоты собственных колебаний тел и частиц, из которых они состоят, отличаются на десять-двенадцать порядков. Поэтому достижение резонанса между собственными колебаниями обрабатываемой фазы и внешним воздействием — трудно реализуемо в нефтяной промышленности. В импульсно-волновом трансформаторе ПИ стержневого типа с собственной частотой ω_0 взаимодействует с критической массой жидкости в трубе, которая имеет собственную частоту ω_0 . Собственные частоты ПИ и критической массы являются функциями их длины и свойств материала. Длина критической массы столба жидкости, находящегося в трубе, определяется скоростью звука a_0 и временем соударения t : $l_0 = a_0 t$.

Для заданной жидкости длина критической массы зависит от времени соударения, которое, в свою очередь, является функцией геометрических размеров соударяющихся тел и свойств материалов, из которых они изготовлены. Закачиваемая жидкость находится в постоянном контакте с ПИ. При соударении ударника с ПИ в последнем возникает ударная волна, перемещающаяся от места соударения вниз и вверх по взаимодействующим элементам. По окончании удара ударник поднимается вверх для нанесения последующего удара. Ударная волна, проходящая по ПИ, достигнув его нижней части, переходит в жидкость. Скорость перемещения ее определяется модулем упругости жидкости и ее плотностью. За время соударения t ударная волна за t_2 пройдет через ПИ, а за t_0 охватит часть жидкости в скважине. Тогда:

$$t = t_0 + t_2. \quad (7.86)$$

С учетом длины ПИ и критической массы столба жидкости в скважине, а также скорости распространения звука соответственно в жидкости и ПИ:

$$t_0 = \frac{l_0}{a_0}, \quad t_2 = \frac{l_2}{a_2}. \quad (7.87)$$

Подставим (7.87) в (7.86) и определим длину критической массы столба жидкости:

$$l_0 = a_0 \left(\frac{t - l_2}{a_2} \right). \quad (7.88)$$

Интенсивность поглощения энергии ПИ критической массой определяется отношением:

$$I(\omega_0) = \frac{E_2}{tS_0}, \quad (7.89)$$

где: E_2 — энергия ПИ; S_0 — площадь поверхности контакта ПИ и критической массы жидкости.

Энергия плунжера — излучателя представляет собой кинетическую энергию его движения:

$$E_2 = \frac{\rho_2 S_2 a_2 t v_2^2}{2t}. \quad (7.90)$$

Площадь S_2 определяется диаметром ПИ. Интенсивность излучения:

$$I(\omega_2) = \frac{p_2 l_2 v_2^2}{2t}. \quad (7.91)$$

Подставив в выражение интенсивности максимальное значение скорости ПИ и времени соударения его с бойком, получим:

$$I(\omega_2) = \frac{2p_2 a S_1^2 v_0^2 \omega_2}{(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)} \sqrt{\frac{c_1 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{pa S_1 S_2}}. \quad (7.93)$$

Для импульсно — волнового трансформатора с вторичным стержневым излучателем l_2 интенсивность поглощения внешней энергии обрабатываемой средой:

$$I(\omega) = I(\omega_2) \frac{c_1 l_2^2 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\left(\pi \frac{a}{l_2} - \omega_0 \right)^2 4\pi^2 pa S_1 S_2 + c_1 l_2^2 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}. \quad (7.94)$$

Собственная частота колебаний обрабатываемой среды зависит от длины критической массы столба жидкости в скважине. В свою очередь, она определяется зависимостью (7.83). С учетом этого, ее собственная частота:

$$\omega_0 = \frac{\pi}{\frac{t_1 - l_2}{a_2}}. \quad (7.95)$$

Подставив (7.41) в (7.95), получим значение собственной частоты колебаний как функции геометрических размеров взаимодействующих элементов и свойств материала, из которых они изготовлены:

$$\omega_0 = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{paS_1S_2}{c_1(S_1\omega_2 + S_2\omega_1)} - \frac{l_2}{a_2}}} \quad (7.96)$$

Подстановкой (7.46) в (7.94), получим окончательную зависимость интенсивности поглощения обрабатываемой средой энергетического потока ИВТ:

$$I(\omega) = I(\omega_0) \frac{c_1 l_2^2 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)}{\left(\frac{\pi a}{l_2} \sqrt{\frac{paS_2S_2}{c_1(S_1\omega_2 + S_2\omega_1)} - \frac{l_2}{a_2}} \right) \cdot 4\pi^2 paS_1S_2 + c_1 l_2^2 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)} \quad (7.97)$$

При расчетах интенсивности поглощения энергии ИВТ в зависимости от собственной частоты колебаний ПИ принимаем, что ударник и плунжер - излучатель выполнены из одного и того же материала и имеют одинаковые свойства. Упругие акустические прочностные характеристики некоторых материалов, которые могут быть использованы в ИВТ, приведены в табл. 7.4. К ним относятся: модуль упругости E , модуль сдвига G , плотность ρ , коэффициент Пуассона μ , скорость распространения звука a , допустимые напряжения сжатия $[\sigma]$ и сдвига $[\tau]$.

У используемого в качестве первичного источника гидропневмомолота ГПМ-120 ударник имеет длину 0,52 м и диаметр 0,09 м. Радиус закругления ударной части 0,35 м.

Из табл. 7.4 видно, что значения модуля упругости, плотности и скорости распространения звука в материале для различных типов стали практически одинаковы.

Таблица 7.4

Значения параметров материала

Материал	$E \cdot 10^5$ МПа	$G \cdot 10^5$ МПа	$\rho \cdot 10^3$ Кг/м ³	μ	a м/с	$[\sigma]$ МПа	$[\tau]$ МПа
30ХГСА	2	0,8	8	0,3	5000	350	200
12НЗА	2	0,8	8	0,3	5000	520	340
20ХНЗА	2	0,8	8	0,3	5000	520	280
Твердый сплав, W	4...6	1,5	20	0,15	5000	500	130

Поэтому принимаем, что модуль упругости материала ударника и ПИ равный 200 МПа, плотность материала 8000 кг/м³, тогда скорость распространения звука составит 5000 м/с. В качестве обрабатываемой среды принимаем воду, модуль упругости которой 2,0 ГПа, плотность 1000 кг/м³ а скорость распространения звука в ней 1414 м/с.

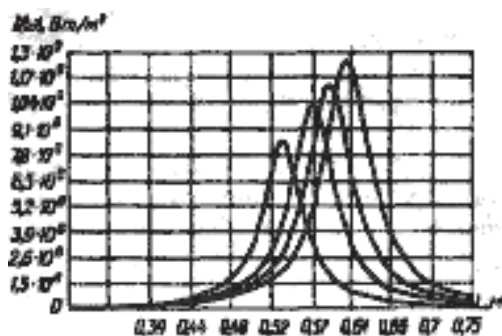


Рис.7.13. Зависимость интенсивности поглощения энергии импульсно – волнового трансформатора столбом жидкости в насосно – компрессорной трубе от



Рис. 7.14 Кавитационно – импульсный волновой трансформатор энергии над нефтяной скважиной

Графические зависимости интенсивности поглощения энергии ИВТ столбом жидкости в насосно-компрессорной трубе от длины ударника (рис. 7.13) имеют колоколообразную форму с пиками на длинах ударника 0,55; 0,57; 0,59 и 0,6 м. Интенсивность излучения энергии ПИ составляет соответственно $8,4 \cdot 10^8$; $1 \cdot 10^9$; $1,1 \cdot 10^9$ и $1,25 \cdot 10^9$ Вт/м².

Таким образом, математическая модель интенсивности поглощения обрабатываемой средой энергетического потока механического импульсно-волнового трансформатора даст возможность выбора геометрических размеров излучателя для обеспечения резонансных режимов передачи энергии, установлении количественного соответствия интенсивного излучения внешнего источника и интенсивности поглощения энергии обрабатываемой средой.

Первый образец кавитационно-импульсного волнового трансформатора энергии (КИВТ) [10] прошел производственные испытания на Ахтырском нефтяном месторождении в 1995 г. На основе его конструкции проведено четыре модификации применительно к различным горно-геологическим условиям нефтяного месторождения. Работает КИВТ вместе с внешними источниками энергии. К внешним источникам энергии, воздействующим на нефтяную скважину и продуктивный пласт, как единую взаимосвязанную систему, относятся гидропневматические аккумуля-

ляторы, долота и насосы. Их совместная работа и взаимное влияние один на другом определяют технологический процесс добычи нефти. Так, одной из особенностей процесса является то, что превышение глубины скважины над ее поперечным сечением в несколько тысяч раз не позволяет в чрезвычайно стесненных условиях рассредоточить по всей глубине скважины необходимое количество энергии для эффективного ее восстановления, очистки и воздействия на нефтяной пласт одним видом энергетического источника, поскольку степень воздействия по известному способу ограничивается прочностью оборудования скважины, габаритами и материалоемкостью источников энергии. Поэтому к механическим источникам энергии добавлены физические и химические.

При разработке установки предусматривалось повышение эффективности воздействия на нефтяной пласт и на скважину по всей глубине без ее разрушения, а также снижение энергетической перенасыщенности неосновных процессов. Это достигнуто тем, что установка излучает молекулярно-волновые колебания на колонну труб в скважине и нефтяной пласт. Одновременно с этим осуществляется молекулярно-волновое воздействие на смоло - парафинистые обложения в колонне труб и столбе жидкости в скважине непосредственно через торцы колонем труб, смоло-парафинистые отложения и столб жидкости в скважине. Дополнительно выполняется совместное механическое и физическое нагружение колонны труб, смоло-парафинистых отложений, столба жидкости в скважине и нефтяного пласта. Механическое воздействие осуществляется также импульсной подачей жидкости в скважину. Физическое нагружение достигается кавитацией по поверхностям раздела колонны труб, смоло-парафинистых отложений и столба жидкости в скважине противофазными молекулярно-волновыми, поперечными (относительно оси скважины) колебаниями при сдвиге фаз между импульсами напряжений сжатия и растяжения, равно $\frac{\pi}{2}$. Механическое и физическое воздействия на нефтяной пласт осуществляются приложением к нему гидравлических ударов, возникающих при наложении на прямые импульсы напряжений в столбе жидкости обратных импульсов напряжений, отраженных от забоя скважины.

Общий вид размещения кавитационно-импульсного волнового трансформатора (КИВТ) энергии над устьем скважины показан на рис.7.15.

Исполнительный орган машины для восстановления скважины (рис.7.15) состоит из ударника и излучателя 1, упруго соединенного с корпусом 1 ударника. Преобразователь управляемых импульсных нагрузок в молекулярное волновые колебания 7 выполнен за одно целое с передатчиком молекулярно-волновых колебаний 10 на смоло-парафинистые отложения и столб жидкости, в скважине и излучателем молекулярно-волновых колебаний 12 на колонну труб в скважине. Передатчик 10 изготовлен в виде плунжера, диаметр которого равен внутреннему диаметру колонны труб.

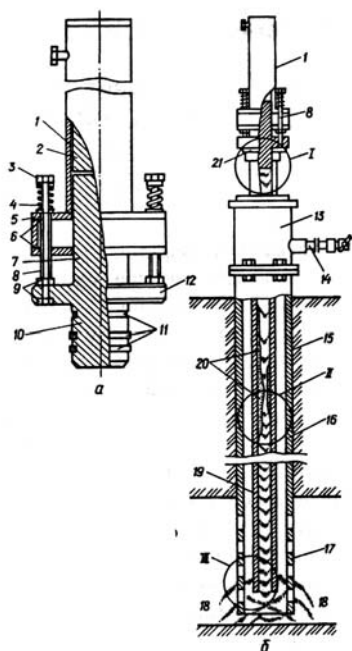


Рис. 7.15. Продольный разрез кавитационно – импульсного волнового трансформатора энергии (а) и скважины (б), над устьем которой он вмонтирован

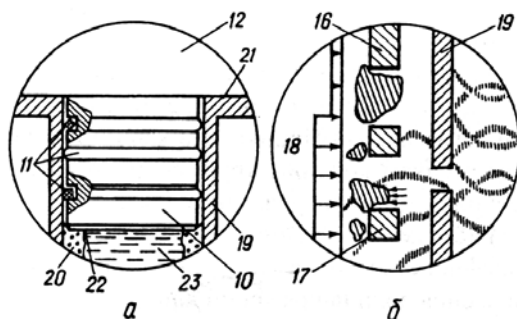


Рис. 7.16. Фрагменты I (а) и II (б) разреза скважины согласно рис 7.16

На наружной поверхности плунжера размещены уплотнения 11 для более плотного прилегания его к внутренней поверхности колонны труб 19. Преобразователь 7 имеет вид удлиненного хвостовика, а излучатель 12 – выступа наружной поверхности плунжера в месте его перехода в удлиненный хвостовик цилиндрической формы.

Излучатель 12 упруго соединен с корпусом 1 ударника шпильками 8, жестко закрепленными гайками 9 с выступом на наружной поверхности плунжера и поджатых пружинами 4 к корпусу 1 ударника гайками 3 на шпильках 8 и фланца 5 на корпусе 1. При этом шпильки 8 свободно пропущены через отверстия на фланце 5. Излучатель I (рис. 7.16) монтируется на верхнем конце колонны труб 19 так, что его плунжер плотно входит во внутренний канал колонны труб 19. Корпус 1 ударника расположен выше хвостовика излучателя, а его выступ на наружной поверхности плунжера – на верхнем торце 21 колонны труб 19. На обсадной колонне 16 с фильтровой частью 17 напротив нефтяного пласта 18 смонтирована головка 13 с нагнетательной магистралью 14 для подключения насосов. На смоло-парафинистых отложениях 20 колонны труб 19 может находиться нефтяная пленка 22.

Ударник бойком 2 наносит удары по преобразователю 7, управляемые импульсные нагрузки в котором трансформируются в молекулярно-волновые колебания, а затем передаются в излучателе 10 и 12. Молекулярно-волновые колебания одновременно распространяются по этим средам с

различными по плотности материалами колонны труб 19, столба жидкости 23 и смоло-парафинистых отложений 20, вызывая в них перемещение волн молекулярно - волновых импульсов сжатия и растяжения с различными фазовыми скоростями. Это приводит к непрерывному перемещению фаз импульсов сжатия и растяжения один относительно другого по оси скважины в различных средах. В результате такого движения – последовательно совмещаются амплитуды колебаний, как по фазам, так и в противофазах. В первом случае возникает двукратное локальное повышение давлений на границах раздела материалов, а во втором – двукратно понижение давлений на этих границах. Суммарные четырехкратные перепады давлений происходят при сдвиге соседних волн на симультанно. Они вызывают периодически чередующиеся перегрузки электромагнитных связей между молекулами различных сред, приводящие к их разрыву. Отраженные от забоя скважины волны деформации совместно с прямыми образуют гидравлический удар в зоне нефтяного пласта.

Мощность взаимодействия волн колебаний при использовании КИВТ повышается до 201вт/см и выше. Как известно [6], приложение такой мощности вызывает кавитацию. Эта кавитация жидкости, прилегающей к внутренним стенкам колонны труб, сопровождается и молекулярно-волновыми колебаниями, амплитуда давления которых в зоне стенок колонны достигает 40 тыс. атм при захлопывании кавитационных пузырьков.

Отделение смоло-парафинистых отложений происходит последовательно по направлению движения волн напряжений длиной:

$$L=Vt, \text{ м},$$

где: V – скорость звука в столбе жидкости, $V = 2000 \text{ м/с}$; t – время соударения бойка с преобразователем волновой энергии, $t = 0,003 \text{ с}$. Тогда:

$$L = 2 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ м}.$$

Площадь нагружения трубы волной напряжений:

$$S = pDL = 3,14 \cdot 600 \cdot 6 = 11300 \text{ см}^2.$$

Мощность волны, необходимая для появления кавитации:

$$N = 20 \cdot 11,3 \cdot 10 = 226 \text{ кВт}.$$

Энергия единичного удара гидромолотом ГПМ – 120:

$$A = 120 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Мощность единичного удара гидромолотом:

$$N_1 = \frac{A}{t} = \frac{120}{0,003} = 4 \cdot 10^4 \text{ кВт.}$$

Мощность единичного удара превышает мощность, необходимую для кавитации, в $\frac{4 \cdot 10^4}{226} = 177$ раз. Этой мощности достаточно, чтобы обработать скважину на глубину

$$L_1 = 6 \cdot 177 = 1062 \text{ м.}$$

По всей этой глубине кавитация возникает только от механической мощности гидромолота. В этом случае не учтены потери диссипации механической энергии, которые для данного случая практически пока еще невозможно рассчитать. Примем из опыта коэффициент потерь энергии при движении жидкости по трубам $K = 0,6$. Тогда мощность, способная вызвать молекулярно — волновые колебания в скважине и кавитацию столба жидкости в колонне труб, распространяется на глубину скважины до:

$$L_2 = KL_1 = 0,6 \cdot 1062 = 637,2 \text{ м.}$$

Как видно, механической мощности гидромолота недостаточно, чтобы эффективно воздействовать на забой скважины, если нефтяной пласт расположен на глубине более 637 м. Поэтому применяются еще дополнительные мощности — насоса N_n , физическая N_ϕ и химическая N_x мощности воздействия. Суммарная мощность, подаваемая в скважину для ее восстановления составит:

$$N_c = N + N_n + N_\phi + N_x.$$

Этой мощности достаточно, чтобы вызвать критические нагрузки на забой нефтяного пласта, стенки колонн труб и столб жидкости в них. Эти нагрузки регулируются и проявляется в виде или кавитации, или молекулярно — волновых колебаний с амплитудами, превышающими d_k связей между молекулами в активном веществе вершин трещин нефтяного пласта. Значения N_x и N_ϕ подбираются для конкретных условий эксплуатации скважины. От них в значительной мере зависит эффективности воздействия на нефтяной пласт. Незначительные перепады давления на больших глубинах от воздействия механических энергий способствует проникновению молекулярно — волновых колебаний физического и механического происхождения в поры и трещины нефтяного пласта.

Дополнительная мощность насоса прикладывается импульсной подачей жидкости в скважину через нагнетательную магистраль 14 в головку 13 (см. рис. 7.16). Это приводит к возникновению дополнительных колебаний в столбе жидкости,

заполняющей колонну труб 19. Кроме того, подача жидкости в скважину позволяет постоянно поддерживать контакт верхнего ее уровня в колонне труб 19 с излучателем молекулярно — волновых колебаний 10 даже в случае частичного поглощения жидкости, предотвращая тем самым снижение уровня жидкости в колонне труб 19.

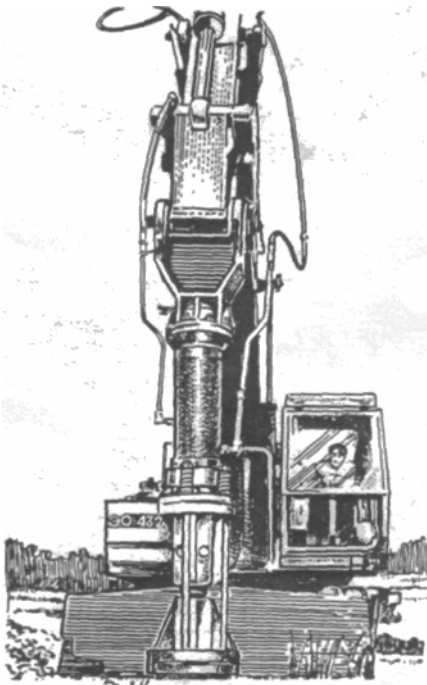
Снижение энергетической перенасыщенности под воздействием механического нарушения необходимо осуществлять при соударении бойка с излучателем. Аналогичные явления могут возникать при взаимодействии излучателя I с верхними торцами 21 колонны труб. Устранение этого недостатка достигнуто снижением энергий соударения генератора преобразованием ньютоновского соударения бойка 2 и излучателя 7 в лапласовы волны упругих деформаций. Последние трансформируются в молекулярно — волновые колебания критических масс преобразователя 7, излучателей 10 и 12, а затем колонны труб 19, смоло-парафинистых отложений 20 и столба жидкости. Эти колебания распространяются по конструкции скважины, не вызывая в ней остаточных деформаций, и выполняют полезную работу, с малым рассеиванием энергий. Снижение почти в три раза механической энергии воздействия на скважину устранило ее перенасыщенность на неосновных процессах, а совокупное нагружение тремя сниженными по величине видами энергий повысило эффективность воздействия на призабойную зону скважины и парафиновые отложения в НКТ. Одним из преимуществ способа является проявление обратимости процессов нагружения нефтяной скважины и нефтяного пласта, обеспечивающее квазистатическое их протекание. Ослабление и разрывы электромагнитных связей между молекулами обрабатываемого материала являются источниками спонтанных и индуцированных излучений потоков энергий. Эти потоки, особенно индуцированные, резонансно воздействуют на соседние электромагнитные связи между молекулами, вызывая цепные реакции при переходах в уровнях энергий. Этот физический процесс включает в полезную работу большие запасы обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала, пополняя недостающую энергию внешних источников. Механическое и физическое воздействия осуществляется комбинированным кавитационно-волновым трансформатором максимальной энергии, импульсной подачей жидкости в скважину и гидроударами, в призабойной зоне, а химическое — подачей в скважину жидких химических реагентов.

Таким образом, разработанный способ восстановления производительности скважины позволил повысить эффективность воздействия на нефтяной пласт и на скважину по всей глубине, снизить энергетическую перенасыщенность неосновных процессов, а также использовать обратимую внутреннюю энергию обрабатываемого материала для интенсификации добычи нефти. Этот процесс обоснован разработанными теориями интерпретационного моделирования [12] и квантово-механических контуров, приведенной в настоящей монографии.

Применение импульсных молекулярно-волновых систем позволяет создать необходимые перепады давления заданной амплитуды и частоты. Молекулярно-волновые колебания одновременно воздействуют как на физико-механические свойства обрабатываемого материала, так и на реологические, поверхностные, капиллярные и другие характеристики и пород в пластовой системе. Импульсно-колебательное воздействие на электромагнитные связи между частицами пород и нефти снижает вязкость жидкости и поверхностное натяжение, повышает проводимость пластовых систем под влиянием ударных волн молекулярно-волновых нагружений, зарождающихся новых и развивающихся старых трещин при очистке призабойной зоны пласта. Известные методы пласта в результате применения импульсного нагружения способствуют выделению обратимой внутренней энергии нагружаемого материала с полезным ее использованием, что подтверждает их экономическую целесообразность. Однако широкого применения даровой энергии обрабатываемого материала все еще не найдено. Одна из причин этого — отсутствие способов и средств по фрактальной молекулярно-волновой

технологии очистки, повышения производительности скважин и нефтеотдачи продуктивного пласта из-за недостаточной их изученности. Важными факторами являются расход жидкости и давление закачки. Например, для гидравлического вибратора золотниковой типа ГВЗ-135 с увеличением расхода жидкости от 7 до 50 л/с давление повышается с 1,1 до 18 МПа, частота импульсов от 60 до 500 Гц, а необходимый эффект не достигается. Это связано, прежде всего, с макроопределением условий и параметров без учета микропараметров и волновых функций на фундаментальном уровне.

Разработанный импульсный молекулярно-волновой трансформатор МВТ-300 (рис.7.17) позволяет существенно стабилизировать процесс воздействия на рабочую среду, делая возможным его независимость от возмущающих технологических параметров, настраивающихся на микропараметры и свойства рабочей среды. Обеспечивается универсальность работы установки симуль-



**Рис.7.17. Молекулярно –
волновой трансформатор
МВТ - 300**

танно с различными видами энергии. Повышается КПД за счет использования отдачи гидромолота и обратимой внутренней энергий нагружаемого материала, а также выдерживаются экологические условия ее эксплуатации.

Манипулятор предназначен для создания комбинированного нагружения на рабочую среду, которая состоит из технологического оборудования скважины, вязкой рабочей жидкости и породного пласта. Как известно, наличие вязкой нефти затрудняет, а порой делает невозможной ее добычу существующим оборудованием. Поэтому понадобилось значительно повысить энергию излучателя. Если в КИВТ был применен гидромолот ГПМ-120, энергия одиночного удара которого составляла 120 кгс·м, то в МВТ-300 использован гидромолот ГПМ-300 с энергией одиночного удара 300 кгс·м. Комбинированное нагружение энергиями больших ударов обеспечивает добычу вязкой нефти.

Комбинированное нагружение представляет собой текущий спектр макро- и микровоздействий. Макровоздействие носит импульсный периодический характер, связанный с гидроударом, который генерируется рабочим органом манипулятора. При этом давление в рабочей жидкости достигает уровня 35 ... 45 МПа форма генерируемого импульса и вторичные (индуцируемые) колебания технологического оборудования НКТ обеспечивают рациональные условия для проводимости импульса с минимальным затуханием по глубине скважины.

Микровоздействие состоит в генерации излучателем рабочего органа высокочастотных колебаний $10^5 \dots 10^6$ Гц, лежащих в диапазоне ультразвуковых колебаний, но имеет амплитуду в десятки раз выше, чем ультразвуковые. Такие частоты колебаний вызывают микроволновые взаимодействия молекул рабочей среды и способствуют разрушению межмолекулярных электромагнитных связей участков

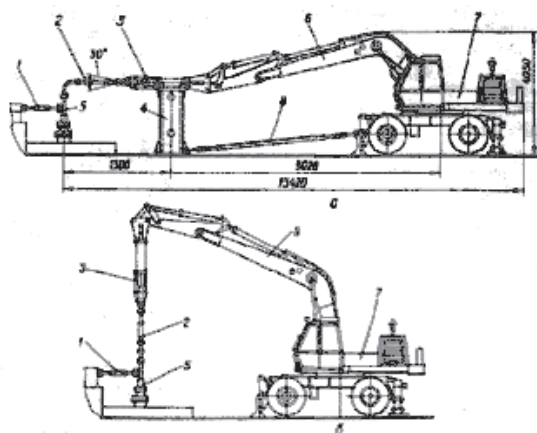


Рис.7.18. Расположение МИМВ на удалении от скважины (а) и над ее устьем (б)

и межмолекулярных связей парафиновых пробок на границе их раздела с НКТ. Комбинированное взаимодействие достигает максимальной эффективности в призабойной зоне и способствует гидроразрыву участка при нагнетании в пласт воды и химических реагентов.

Импульсный молекулярно-волновой манипулятор (рис.7.18) состоит из генератора импульсов 3, оборудования гибкого

соединения 2, опоры 4 и фиксаторов насосно-компрессорной трубы 5. Манипулятор агрегируется с базовой машиной гидравлическим экскаватором, имеющим связь с гидромолотом посредством рабочего оборудования 6 и связь с опорой посредством тяги 8. Стыковка МИМВ с НКТ осуществляется гибким соединением, а с рабочим оборудованием экскаватора – узлами навески гидромолота, входящего в генератор колебаний.

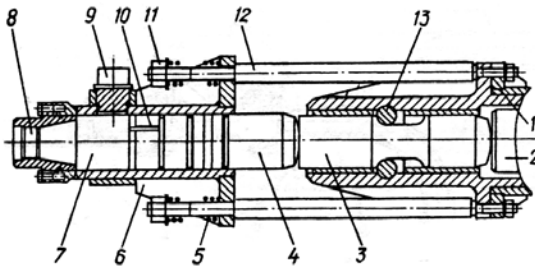


Рис.7.19. Генератор колебаний

менту 3, ограниченному в перемещении фиксатором 13. Инструмент 3 воздействует на волновой трансформатор 6 через излучатель 4. С боковой стороны волновой трансформатор имеет возможность гидравлической связи с насосом через отверстие в корпусе с пробкой 9. Связь трансформатора с гидромолотом осуществляется посредством тяг 12 с пружинами 5 и элементами крепления 11. В излучателе 4 предусмотрен импульсный дроссельный канал 10 для связки камеры мультипликации 7 с гидронасосом через радиальное отверстие в корпусе при снятии

в генератор колебаний. При этом возможно расположение МИМВ как на удалении от скважины, так и над ней. Во втором случае существенно улучшаются условия передачи ударного импульса и повышается производительность манипулятора.

Генератор колебаний (рис.7.19) состоит из гидромолота 1, который бойком 2 периодически наносит удары по инстру-

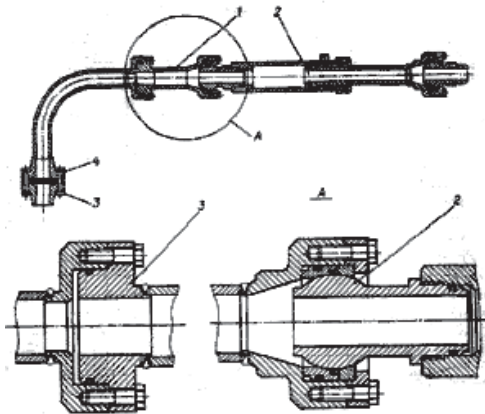


Рис.7.20. Оборудование гибкого соединения

пробки 9 и соединении трансформатора 6 с насосом. Камера мультипликации 7 плавно переходит в выходной патрубок 8, обеспечивающий стыковку генератора импульсов с оборудованием гибкого соединения.

Оборудование гибкого соединения (рис.7.20) состоит из поступательного шарнирного соединения 1, двух вращательных шарниров 2, фланцевых стыковых соединителей 3 и 4. Особенностью работы такого соединения является обеспечение возможности пространственного перемещения генератора без нанесения повреждаю-

шего воздействия на НКТ скважины. При этом применение комбинированных резинофторопластовых уплотнений обеспечивает передачу жидкости по трубам в условиях высоких давлений.

При добыче нефти на стенках НКТ происходит отложение парафина и асфальтосмолистых веществ. Очистка НКТ может быть произведена двумя способами: без подъема труб, непосредственно в скважине, и при подъеме труб, на стеллажах. Предполагается две технологии очистки НКТ для повторного использования. Применение первой технологии возможно, когда внутренняя поверхность НКТ не полностью заполнена парафиновой пробкой, т. е. внутри трубы имеется сквозное осевое отверстие в парафиновых отложениях, а второй — при полном заполнении НКТ. Для не полностью заполненной трубы предлагается усовершенствование процесса тепловой очистки паром передвижной паровой установки (ППУ). Особенностью предлагаемой технологии является герметизация патрубка паровой установки и муфты НКТ зажимом, что повышает безопасность ведения работ по очистке. Перед началом работ оператор с помощью зажима закрепляет паровой патрубок в муфте НКТ. После запуска ППУ очистка НКТ подводимым паром происходит без участия человека — это дает возможность повышать используемую для ведения работ мощность ППУ.

При полностью заполненном сечении НКТ парафиновыми отложениями очистку предлагается проводить комбинированным теплоимпульсным воздействием. Для этого предусмотрено совместное и одновременное использование паровой установки и импульсно - волнового трансформатора (ИВТ). Он состоит из низкочастотного первичного источника, например отбойного молотка МО — 39, и вторичного высокочастотного источника импульсно — волнового нагружения - волновода — излучателя, выполняющего функции направляющей волновых нагрузок, которые передаются НКТ. Совокупность теплового и высокочастотного нагружения способствует интенсивному разрушению парафиновых отложений с внутренней металлической поверхности НКТ. Волны напряжений, перемещаясь по НКТ, разрушают электромагнитные связи между стенкой и отложениями. Простота конструкции ИВТ, технологии обработки и обслуживания достигнута за счет использования серийных отбойных молотков, дополненных волноводом - излучателем. Несложность монтажа и демонтажа ИВТ на НКТ обеспечивает быстрое переключение с одной НКТ на другую. Узел крепления для подключения трубопровода от ППУ обеспечивает очистку без участия человека и тем самым повышает безопасность ведения работ. Совокупное комбинированное теплоимпульсное нагружение НКТ снижает время, удельную энергоемкость и трудоемкость ее очистки. Устройство для очистки насосно- компрессорной трубы со сквозным осевым отверстием внутри показано на рис.7.21. Оно имеет захват 1, предназначенный для монтажа и герметизации патрубка 4 ППУ к муфте НКТ. Рычагом 2 обеспечивается плотная стыковка устройства с НКТ. Работает оно следующим образом.

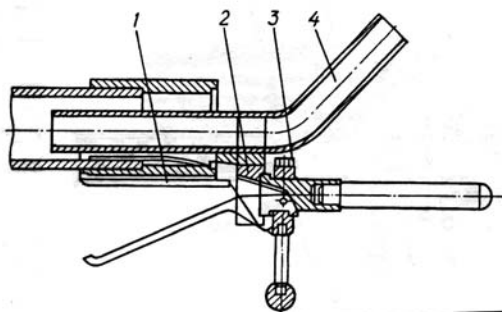


Рис.7.21. Устройство для очистки насосно- компрессорной трубы со сквозным осевым отверстием внутри парафиновых отложений

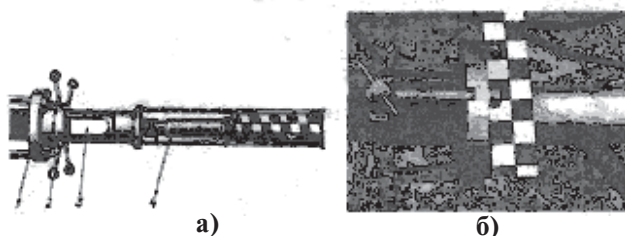


Рис.7.22. Устройство для очистки насосно – компрессорной трубы без осевого отверстия в парафиновых отложениях: а – схема; б – общий вид

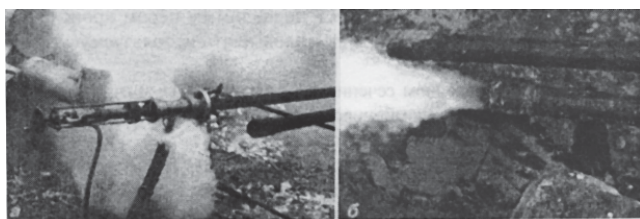


Рис.7.23. Устройство для очистки насосно – компрессорной трубы в работе: а – общий вид; б – выброс продуктов засорения

Предварительно отобранные НКТ со сквозными отверстиями в парафиновых отложениях на внутренних поверхностях укладываются горизонтально на стеллажные подставки. Оператор вводит конец патрубка внутрь НКТ со стороны муфты. Вращением маховика 3 задний торец муфты соединяется с устройством очистки, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала.

Устройство для очистки НКТ, внутри которой в парафиновых отложениях нет сквозного отверстия, показано на рис. 7.22. Оно состоит из зажима 1 с маховиком 2, отверстия для патрубка 3, через который подается подогретый пар от ППУ и импульсно-волнового излучателя энергии 4. Оператор закрепляет очистное устройство на горизонтально уложенном стеллаже НКТ. Вращением маховика 2 осуществляется подача первичного источника колебаний ИВТ – отбойного молотка МО-39 на НКТ. Затем оператор через отверстие 3 вводит и закрепляет патрубок от ППУ в НКТ. На этом монтаж и подготовка устройства очистки закончены. Оператор отходит от устройства на безопасное расстояние и дает команду на включение ППУ

и первичного источника колебаний ИВТ, которые работают далее без участия человека. Общий вид установки в работе по очистке НКТ на поверхности показан на рис. 7.23.

Комбинированный комплекс “Импульс-79” предназначен для увеличения притока жидкости в добывающих скважинах улучшением коллекторных свойств призабойной зоны пласта. Это достигается очисткой призабойной зоны от загрязняющих частиц, проникших в эту зону при фильтрации глинистого раствора, жидкостей глушения, механических частиц, находящихся в закачиваемой в нагнетательные скважины воде, а также созданием в призабойной зоне микротрещиноватости. В основу работы комплекса положен синергетический эффект, сущность которого состоит в следующем. Благодаря интенсивному обмену энергией и веществом с окружающей средой в неравновесных условиях возрастает степень

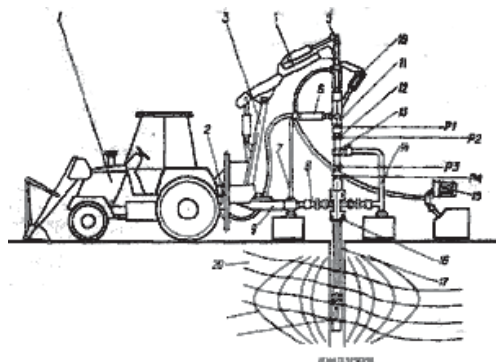


Рис.7.24. Схема комбинированного комплекса “Импульс-7S”

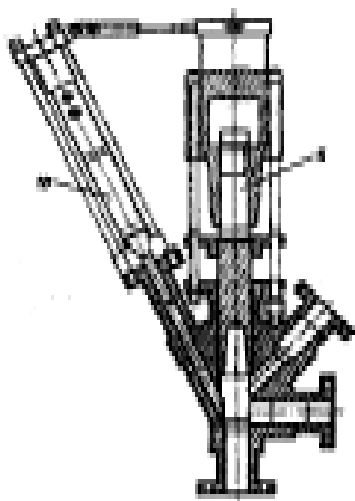


Рис.7.26. Синергизатор с низкочастотным 5 и высокочастотным 10 гидромолотами

упорядоченности, уменьшается энтропия. Комбинация энергетических и материальных потоков при функционировании “Импульс-7S” позволяет отнести его к комплексным установкам устьевого и глубинного воздействия на продуктивный пласт. Комплекс генерирует импульсные полигармонические нагружения, используя энергию потока рабочей жидкости, протекающей через него, вдобавляющих и нагнетательных скважинах диаметром 127 и 152 мм. Частота низкочастотных импульсов от гидромолота ГПМ-120 составляет 80 ... 70 мин⁻¹, а высокочастотных – 1200 ... 1800 мин⁻¹. Резьба на погружном резонаторе насосно-компрессорных труб – по ГОСТ 6211-81. Габаритные размеры комплекса при установке на устье скважины, м: высота – 4,52, длина – 6,9, ширина – 2,9. Масса навесного оборудования 650 кг.

Комплекс “Импульс-7S” в рабочем положении устанавливается на устье скважины (рис.7.24). Он навешивается на экскаватор 1 ЭО-2621. Рабочее оборудование экскаватора состоит из стрелы 3, рукоятки 4 и низкочастотного гидромолота 5ГПМ-120.

В кабине экскаватора расположена гидрораспределительная система управления, а снаружи — вентильная система 2 переключения распределителей управления. Навесное оборудование состоит из синергизатора 11 (его схема изображена на рис. 7.25), к которому пристыкованы низкочастотный 5 и высокочастотный 10 гидромолоты и переходной патрубок 6 для подключения насоса 15 или насосного агрегата, переходной патрубок 7 для подключения в систему устройства импульсного выхлопа 9. В нижней части синергизатор 11 стыкуется через фланцевое соединение 12 с фонтанной арматурой 13. В зависимости от технологических условий фланцевое соединение 12 устанавливается по одному из разъемов *P1*, *P2*, *P3*, *P4*. Подачу рабочей жидкости от агрегата можно осуществить также через выходы 8, 14 в фонтанной арматуре с последующей прокачкой через НКТ 16 или затрубное пространство 17.

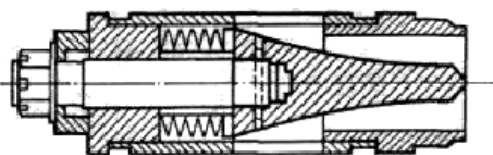


Рис. 7.26. Резонатор

В нижней части скважины, на уровне интервала перфорации, к НКТ крепится через муфту погружной резонатор 18 (его схема изображена рис. 7.26). Резонатор имеет корпус с отверстиями, периодически перекрывающимися колеблющимся плунжером и передающими гидроударные нагрузки на призабойную зону 19 пласта 20.

Экскаватор подъезжает к скважине и пристыковывается к фонтанной арматуре с установкой фланцевого соединения 12 синергизатора по одному из разъемов *P1*, *P2*, *P3*, *P4*, подготовленных предварительным демонтированием части фонтанной арматуры. Для закачивания рабочей жидкости в скважину к фонтанной арматуре подключается насосный агрегат АНЦ-320 или ЦА-700. Подачей рабочей жидкости в скважине поднимается давление. При его увеличении осуществляется взвод плунжеров-излучателей синергизатора и, при соответствующем положении золотников - распределителей экскаватора, включаются гидромолоты 5 и 10. Частота собственных колебаний плунжера резонатора 18 лежит в области частот импульсов давления, что способствует возникновению резонансных колебаний плунжера и резкому перекрытию радиальных каналов в его корпусе с генерацией гидроударов, воздействующих на призабойную зону и на электромагнитные связи между молекулами породы пласта и насыщающих пласт флюидов.

Для повышения эффективности гидроимпульсного нагружения предусмотрено подключение устройства импульсного выхлопа. При этом вентили подключения высокочастотного гидромолота 10 перекрываются, а к освободившимся гидролиниям подключается устройство импульсного выхлопа 9; давление в скважине повышается до предварительной ее опрессовки с последующим снятием

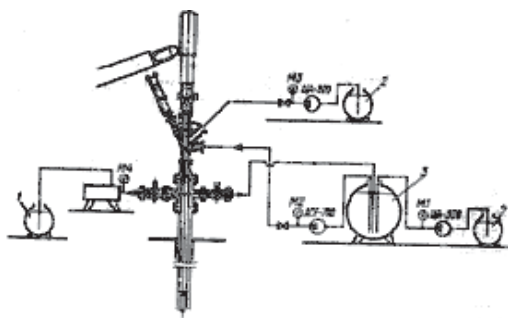


Рис.7.27. Схема расположения технологического оборудования:
Емкости сборная (1), кислотная (2),
с ПВА (3) и доливочная (4)

25 МПа. Воздействие на пласт энергией импульса — 1,2 кДж — может представлять опасность для обслуживающего персонала, поэтому, до включения “Импульса-7S” необходимо все трубопроводы и оборудование опрессовать на давление, в 1,25 раза превышающее рабочее. Агрегаты, закачивающие рабочую жидкость в НКТ, при установке “Импульса-7S” находятся на расстоянии 10 м от устья скважины.

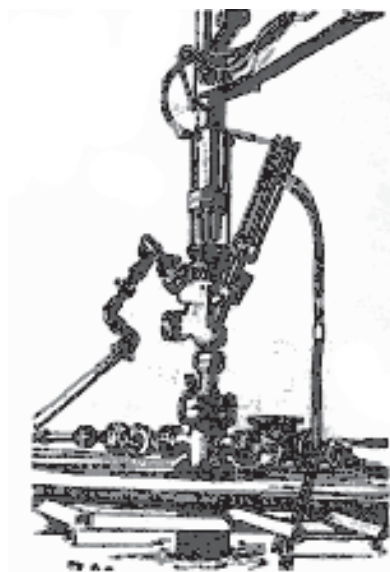


Рис.7.28. Комплекс “Импульс-7S”, смонтированный над скважиной

гидрозамков с гидроцилиндра устройства выхлопа. Резкая депрессия на выходе скважины приводит к движению жидкости на дренаж и к возникновению дополнительного гидроудара, передающегося через НКТ и резонатор в призабойную зону 19. На скважинах, глубина которых превышает 2500 м, предусмотрена замена синергизатора 11 на вариант, корпуса с прямоточным подключением гидромолота (низкочастотного или высокочастотного) с давлением более

Расположение оборудования с комплексом “Импульс-7S” зависит от технологических особенностей его эксплуатации. Рекомендуемая схема расположения оборудования с комплексом “Импульс-7S” показана на рис 7.27. В зависимости от горно — геологических условий и свойств добываемой нефти комплекс может работать с одним из гидромолотов, без резонатора или без насоса, или без устройства импульсного выхлопа. Они работают в различных сочетаниях, что расширяет комбинированные свойства комплекса. Комплекс показал свою работоспособность комбинированного воздействия на пласт устьевым и глубинным генераторами в резонансном режиме. Однако надежность крепления к синергизатору высокочастотного гидромолота оказалось недостаточной. Под воздействием ударов низкочастотным гидромолотом оно дефор-

мировалось. Общий вид комплекса “Импульс-7S”, установленного над скважиной изображен на рис.7.28.

7.4 Глубинные генераторы

Повышение продуктивности нефтяных и газоконденсатных скважин за счет более качественной очистки призабойной зоны скважины и снижение уровня смоло - парафинистых отложений в колонне труб и скважине при уменьшении энергозатрат достигается глубинным генератором колебаний. Подаваемая через генератор рабочая жидкость поочередно воздействует на призабойную зону пласта двумя потоками: одним — от периодического перекрытия столба жидкости, другим - от периодически генерируемых преобразователем энергии импульсов. Глубинный генератор колебаний (рис.7.29) содержит источник энергии (насос на рисунке не показан) и подключенный к нему преобразователь энергии в молекулярно - волновые колебания, выполненный в виде генератора импульсов и состыкованного с ним молекулярно — волнового кавитатора.

Генератор импульсов состоит из корпуса 22, в котором соосно расположены поршень пульсатора 19, подпружиненный клапан 21 и центральный шток 24. С торцов корпус 22 стыкуется с колонной насосно - компрессорных труб и молекулярно-волновым кавитатором.

В корпусе 22 параллельно установлены дроссель 11 и обратный клапан 16. В поршне 19 имеются радиальные каналы 17 и полость 7. Клапан 21 в сочленении с поршнем 19 образует камеру 6, попеременно гидравлически связанную с затрубным пространством 9

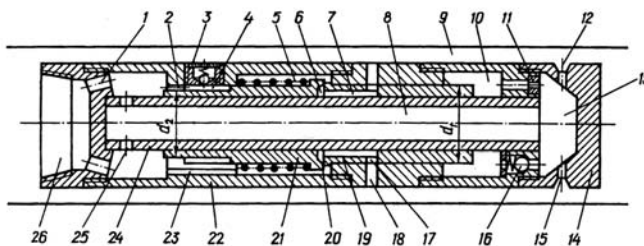


Рис.7.29. Схема глубинного генератора колебаний

посредством полости 7 радиальных каналов 17 и каналов 18 в корпусе 22 в зависимости от положения сочлененных поршня и клапана. В торцевой части клапана 21 между ним и корпусом 22 образуется полость 4, которая через предохранительный клапан 3 гидравлически связана с затрубным пространством. Камера 5, ограниченная торцевой частью поршня и поверхностью 20 клапана, постоянно связана с линией подачи 26 через каналы 1 и 23. К торцевой части корпуса 22 крепится кавитатор 14 с радиальными каналами 15 и канавкой 12. Между корпусом 22 и кавитатором 14 образуется камера 13, имею-

щую полость 4, которая через предохранительный клапан 3 гидравлически связана с затрубным пространством. Камера 5, ограниченная торцевой частью поршня и поверхностью 20 клапана, постоянно связана с линией подачи 26 через каналы 1 и 23. К торцевой части корпуса 22 крепится кавитатор 14 с радиальными каналами 15 и канавкой 12. Между корпусом 22 и кавитатором 14 образуется камера 13, имею-

шая постоянную связь с камерой пульсации 10 и попеременную гидравлическую связь, в зависимости от положения клапана 21, через осевой канал 8 и радиальные каналы 25 в штоке 24 и каналы 1 с линией нагнетания 26. Рабочая жидкость подается по трубам в камеру нагнетания 4. Полость 4 гидравлически связана с линией нагнетания через дроссель 2. В начальном положении поршень 19 и клапан 21 образуют полость 6. Рабочая жидкость поступает через осевой канал 8 в камеру 13 кавитатора 14, дросселируется в радиальных каналах 15 кавитатора и создает перепад давления между ливней нагнетания и затрубным пространством. Конструктивно $d_1 > d_2$ и поэтому сосочленные поршень и клапан перемещаются в противоположную от камеры 13 сторону до тех пор, пока радиальные каналы 17 не выйдут в камеру 20. Тогда давление в камере 6 возрастает до давления нагнетания и клапан с поршнем расстыковываются. После расстыковки клапан 21 продолжает двигаться в том же направлении и в конце хода перекрывает каналы 25 в штоке 24. После этого весь поток поступает в камеру 20 и поршень 19 перемещается в сторону камеры 10. Скорость перемещения поршня пульсатора определяется расходом жидкости, поступающей в камеру 5, и в процессе ее перемещения в камере 13 генерируется импульс давления, величина которого определяется выбором дросселя 11. После полного хода поршня, камера 20 через полость 7 и каналы 17 и 18 соединяется с затрубным пространством и давление в камере падает. Под действием пружины клапан 21 состыковывается с торцом поршня 19 и далее цикл повторяется. Таким образом, рабочий поток в одном цикле воздействует на кавитатор дважды: от резкого открытия предварительно заторможенного потока через центральный канал 8 и от генерации импульсов давления в камере 10.

Общий вид глубинного генератора с манометром для замера давления на входе жидкости в генератор и на выходе из него показан на рис. 7.30а, а на рис. 7.30б — осциллограмма записи давления нагнетания 1 и, давления жидкости 2 на выходе из генератора. Истекающие струи выделяют обратимую внутреннюю энергию жидкости в виде кавитации, возникающей при протекании ее через трубки Вентури 15 (см. рис. 7.29), оснащенные пьезокерамическими преобразователями. Как видно из осциллограммы генератор повышает давление на выходе импульсными струями почти в 1,5 раза.

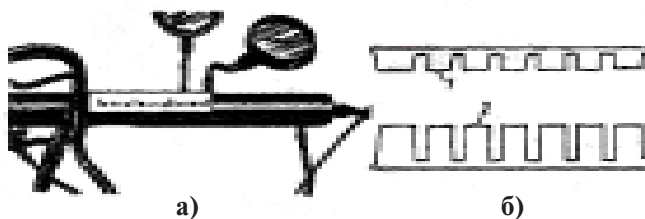


Рис. 7.30. Общий вид глубинного генератора

Как обработать подлежащий вторичной добыче объем нефти? В этом направлении проведены работы по взрывной дилатансии, электромагнитной, аку-

стической, химической и молекулярно-волновой обработкам продуктивного пласта. Создание в нем макро – и микротрещин основано на разрушении пласта.

Для примера возьмем участок объемом $V = 1000 \cdot 1000 \cdot 10 = 10^7 \text{ м}^3$, из которого надо добыть нефть. Учитывая, что он находится на глубине около 2000 м, удельную энергоемкость его разрушений можно принять $q = 10 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$. В случае использования для ослабления массива мощности $N = 100 \text{ кВт}$ производительность массива мощности составит около:

$$Q = \frac{100 \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{10 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}} = 10 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Чтобы обработать весь пласт одним из способов, понадобится

$$t = \frac{V, \text{ м}^3}{Q, \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}} = \frac{10^7 \text{ м}^3}{10 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}} = 10^6 \text{ ч},$$

или

$$t_{\text{сут}} = \frac{10^6 \text{ ч}}{24 \text{ ч}} = \frac{100 \cdot 10^4}{24} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ сут};$$

$$t_{\text{сут}} = \frac{42 \cdot 10^3}{12} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ мес};$$

$$t_{\text{г}} = \frac{1,8 \cdot 10^2}{12} = 1,5 \cdot 10^2 \text{ лет}.$$

Если пласт не пропускает нефть, то его нужно дилатансировать примерно 150 лет. В этом случае не учтены такие факторы, как естественная, сохранившаяся дефективность массива, его обратимая, внутренняя энергия и другие, которые несколько уменьшают длительность обработки пласта. Для достижения необходимой нефтеотдачи не следует доказывать, какой из этих методов лучше или хуже для повышения нефтеотдачи пласта. Каждый из них в энергетическом отношении имеет недостатки в определенных условиях. Сокращение срока обработки принятого объема нефтяного участка до приемлемого промышленностью нуждается в энергетической и технологической оценках. Исходя из основных способов и средств обработки продуктивных пластов, целесообразно проанализировать возможности синергетического воздействия на пласты существующими средствами.

Синергетика отражает совместное действие нескольких причин (колебаний), повышающих добычу нефти и газа. Эти действия достигаются избирательно – резонансным высвобождением обратимой внутренней энергии обрабатываемого пласта и нефтяных скважин. Рассмотрим вариант ее функционирования.

Особенность технологии состоит в обеспечении продуктивного пласта и достаточной энергией совместного воздействия вибросейсмическим, взрывным, фотонным и электродинамическим потоками энергии. В ее концепцию положено представление продуктивного пласта и средств его обработки как взаимодействия канонических и микроканонических ансамблей. Продуктивный пласт со скважинами характеризуется микроканоническим ансамблем с бесконечным множеством его членов, обладающих различными энергиями свободных колебаний, а оборудование для обработки продуктивного пласта – каноническими ансамблями с регулируемыми самонастраивающимися энергиями излучения колебаний.

Совместное функционирование канонического и микроканонического ансамблей рассматривается как взаимодействие энергий их колебаний в единой системе: скважина – продуктивный пласт нагрузителя (СПН) с использованием синергетического эффекта избирательно – резонансного самонастраивающегося нагружения пласта и скважин. В этой системе достигается резонансное взаимодействие макро- и микрочастиц, слагающих пласт с самонастраивающимися формами энергий колебаний нагрузителей. Самонастройка частот внешних нагруженный на собственные частоты членов ансамбля продуктивного пласта и скважин осуществляется последовательным суммированием волн колебаний нагрузителей и их концентрацией на связях частицами ансамбля, оказывающих наибольшее сопротивление движению нефти и газа к добычной скважине. Избирательное воздействие на продуктивный пласт и скважины ограничивается электромагнитными связями между молекулами обрабатываемого материала. Их разрыв создает необходимые условия для последующей реструктуризации строения пласта, насыщающих пласт флюидов и парафиновых отложений в скважине. Поэтому все формы колебаний дополняются фотонными колебаниями, которые концентрируют суммарную энергию на разрыв электромагнитных связей между молекулами флюидов, насыщающих пласт, и составляющей его породой.

Управление самонастройкой по всему каноническому ансамблю проводится изменением частотных характеристик одного или нескольких излучателей. Непрерывно изменяющееся множество форм колебаний, излучаемых комплексным оборудованием, проникают через весь пласт, выборочно взаимодействуя с их элементами, имеющими близкие к равным частотные характеристики колебаний. Возникающие локальные резонансы по продуктивному пласту и скважинам поражают их “ковровыми” флуктуациями, высвобождая нефть и газ с использованием внутренней энергии пласта и насыщающих его флюидов. Вибросейсмический, электродинамический, взрывной, химический и фотонный *методы интенсификации добычи нефти* уже прошли промышленные испытания на нефтяных промыслах. Каждый из них в отдельности дал положительные результаты в конкретных условиях. Но все они порознь пока не достигают необходимых результатов

увеличения нефтеотдачи продуктивного пласта. Сложность геологических условий и отсутствие необходимого оборудования указывают на целесообразность разработки каждого в отдельности из опробованных способов и средств для эффективной добычи остающихся нефти, конденсата, газа из-за недостаточной их энерговооруженности для продуктивного функционирования системы СПН. В основу вибросейсмического метода положено циклическое площадное воздействие на скелет пласта низкочастотными упругими колебаниями в диапазоне частот, соответствующих резонансу пласта. Осуществляется он установкой в индуцирующей скважине самонастраивающегося на пластовые резонансные частоты забойного широкополосного излучателя колебаний, соединенного посредством волновода с устьевым наземным виброисточником. От упругих колебаний капли нефти становятся подвижными, а высвобожденный в виде мелких пузырьков газ двигается с водой с той же или большей скоростью в зависимости от их количества. При этом число скважин, одновременно охваченных воздействием, достигает 25...50. Электродинамический метод включает в себя электрокинетический и электрохимический методы, обеспечивающие одновременное и совместное воздействие на пласт повышенной депрессии и постоянного электрического поля высокого напряжения. В капиллярной среде проявляются электрохимические, электрокинетические и тепловые нагружения, вызывающие разрыв стенок капилляров вследствие электроосмоса. Химическому и взрывному методам обработки продуктивного пласта наряду с известными преимуществами присущи также и недостатки. Фотонная обработка нефтяных пластов и скважин заключается в трансформировании механических и физических низкочастотных нагрузок в потоки фотонных, воздействующих резонансно на электромагнитные связи между молекулами обрабатываемого материала, в том числе и насыщающих пласт флюидов.

Перечисленные методы имеют свои отличительные особенности. Так, вибросейсмика работает на частотах колебаний; значительно меньших, чем фотонные. Электродинамика сопровождается щелочными и кислотными реакциями, электроосмотическим давлением, чего нет в других методах. Электромагнитное поле активизирует движение фотонных, а фотонные потоки — кислотные и щелочные реакции. Повышение температуры при электродинамическом методе ослабляет электромагнитные связи между молекулами обрабатываемого материала, что облегчает их разрыв, снижая непродуктивные энергозатраты. Если низкочастотное нагружение осуществляет, в основном, макропроцессы - кластеризацию и высвобождение газов в виде мелких пузырьков, то фотонное — микропроцессы, воздействующие на электромагнитные связи между молекулами вещества.

Неполный перечень рассмотренных методов свидетельствует о возможности их синергетического совмещения в единый. Такое совмещение зависит от физи-

ческой и технической целесообразности реализации нового метода, объединяющего рассмотренные методы в единый. Физическая целесообразность находит свое подтверждение в выравнивании энергетических уровней излучения и поглощения. Она достигается увеличением суммарных значений импульсов нагружения, обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала, длиной волны де Бройля, снижением эффективного сечения упругого столкновения и длительности жизни верхнего возбужденного уровня энергии молекул нагружаемого материала. При этом функционирующие механические, физические и химические виды энергии, взаимодействуя, интенсифицируют нефте- и газоотдачу, продуктивного пласта. Техническая реализация такого предложения представляет определенные трудности, так как основные, узлы объединенного устройства серийно промышленностью не выпускаются, что связано с большими финансовыми затратами и сложностью монтажа.

При движении жидкости (газа) в скважинах и продуктивном пласте возникают случайные колебания (флуктуации), вызванные случайным изменением взаимодействия потока с окружающей средой. Такого рода движения трактуют как вынужденные колебания, поскольку возбуждения в них не зависят от того, приводят они к возникновению колебаний или нет. Такие процессы с трудом поддаются точному описанию и могут рассчитываться с использованием теории вероятности – методом осреднения. Особенно эта задача осложняется при попытках получения самовозбуждающихся (автоколебательных) колебаний материала скважины и пласта. Они отличаются от вынужденных колебаний, тем что при отсутствии колебаний отсутствует и возбуждение, системы СПН осуществляется вынужденными колебаниями особого рода: в его канонических и микроканонических составляющих одновременно находится множество форм практически одинаковой близости к резонансу или в резонансе. Сейсмические и взрывные колебания резонируют с макрочастицами канонического ансамбля, акустические — с его макро- и микрочастицами, а фотонные — с электромагнитными связями между молекулами микроканонического ансамбля. Это приводит к локальным деформациям системы СПН в зонах действия возбуждения. Такие колебания нельзя отнести ни к свободным, ни к вынужденным, ни к автоколебаниям — они являются сложными колебаниями. Строго говоря, весь канонический ансамбль претерпевает изменения, но эти изменения нельзя признать фатальными, особенно на микроканоническом уровне. Уровни их энергий остаются практически постоянными; их масса, постоянная демпфирования, жесткость, собственная частота и амплитуда колебаний большинства членов ансамбля в процессе добычи нефти и газа практически не изменяются.

Приняв допущения о постоянстве основных характеристик системы СПН, можно характеризовать ее как сложную систему с постоянными характеристика-

ми, имеющими свои собственные частоты и формы свободных колебаний. В такой системе действуют синусоидальные возбуждения — сейсмическое, взрывное, акустическое и фотонное. Поэтому движения частиц системы также будут следовать закону синуса с частотами, равными частотам возбуждения. Особенности вынужденных колебаний зависят от характеристик членов микроканонического ансамбля, а энергия колебательного движения — от энергии возбуждения. При таких условиях движения канонического и микроканонического ансамблей будут устойчивым.

Принятое допущение о постоянстве основных характеристик канонического и микроканонического ансамблей процесса разработки месторождения позволяет решить практические задачи интенсификации добычи нефти (газа). При этом открываются возможности выбора сочетания внешних колебаний с вынужденными. Внешние колебания создаются электромагнитным полем постоянного тока, устьевым и глубинным излучателями энергии в виде фотонных потоков энергии, сейсмическим и акустическим излучателями, а также взрывом. Эти излучатели воздействуют на скважину и продуктивный пласт отдельно и выборочно совместно. Таким образом, канонический и микроканонический ансамбли нагружаются синергетически почти всеми необходимыми видами колебаний. В этом одно из существенных преимуществ обработки ансамблей: он позволяет войти в резонанс с различными участками канонического и микроканонического ансамблей, передать им необходимый объем энергии для движения нефти и газа в поровом пространстве и в НКТ. Многогранный спектр уровней — энергий нагружателя определяет вынужденные резонансные колебания частиц ансамблей, обеспечивающие максимальное энергии обрабатываемым материалом с максимальным КПД. Помимо этого достигается использование обратимой внутренней энергии этого материала в полезной деятельности — она выделяется из пласта и скважин в резонансных колебаниях их частиц и принимает участие в нагружении обрабатываемого материала. Объединение рассмотренных способов предусматривает функциональную взаимосвязь отдельных видов оборудования, которые энергетически обогащают один другого, выравнивают энергетические уровни излучения и поглощения с полезным использованием обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала, повышением КПД скважины и продуктивности пласта. Так, вибросейсмическое устройство объединяется с фотонным излучателем, последний работает совместно с электродинамическим и виброакустическим нагружателями. Такая взаимосвязь функционирования элементов оборудования в едином по назначению и принципу функционирования комплексе показана на рис. 7.31. Комплекс состоит из источников энергии: устьевого фотонного излучателя (320 кгс·м) 1, гидропневматического аккумулятора 2, водяного насоса 3, трансформатора постоянного тока (40 кВт) 4, глубинных генераторов — акустического (50 кгс·м) 5 и сейсмического (50 кгс·м) 6.

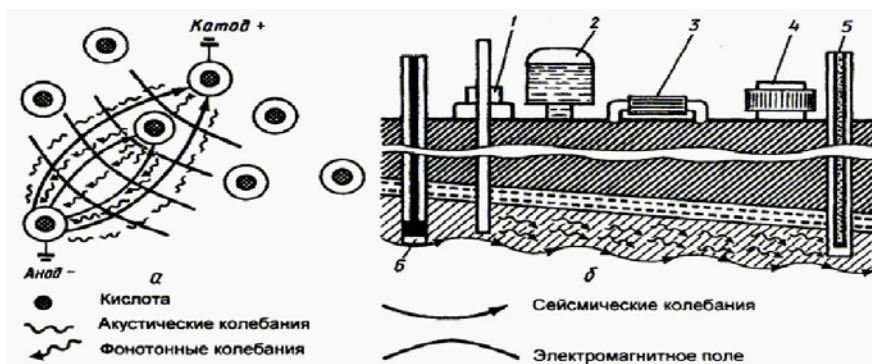


Рис.7.31. Схема синергетической интенсификации добычи нефти и газа: (а) – вид сверху, (б) – вид сбоку

Сочетание механических, физических и химических частей комплекса определяет более эффективные показатели работы каждого из них в отдельности. Под влиянием электромагнитного поля молекулы вещества несмотря на их тепловые движения, ориентируются в соответствии со своей полярностью. Вещество стремится приобрести свойства одноосного кристалла, оптическая ось которого расположена в направлении электромагнитного поля (эффект Керра). Элементы такого действия электромагнитного поля имеют место в случае его взаимодействия с составляющими нефтеносного пласта и с нефтью. Скорость распространения в ней фотонов зависит от того, совпадает ли плоскость колебание фотона с направлением поля или перпендикулярна к нему. Скорости распределения этих потоков обозначим соответственно c_1 и c_2 , а коэффициент преломления n_1 и n_2 . Фотонные устьевые и глубинные излучатели проникают в продуктивный пласт перпендикулярно к направлению электромагнитного поля, распространяющегося вдоль пласта. Глубина поля L равна мощности продуктивного пласта. Пусть λ_f – длина волны фотона, c – скорость его распространения в продуктивном пласте. В результате двойного преломления обыкновенный и необыкновенный потоки после выхода из пласта имеют разность хода d и разность времени их пробега τ :

$$d = c\tau; \quad \tau = \frac{L}{c_1} - \frac{L}{c_2}.$$

Как установил Дж. Керр, количество волн в отрезке разности хода d пропорционально постоянной материала B (постоянная Керра), которая, в свою очередь зависит от длины волны фотона и температуры, вещества, глубины поля и квадрата напряженности:

$$\Phi = BLH^2$$

Количество волн на отрезке d отражает частоту колебаний, выходящих из пласта фотонотон. Эта частота зависит от напряженности электромагнитного поля в квадрате, что подтверждается эффектом Коттона - Мутона. Сущность этого эффекта состоит в возникновении у изотропных веществ (жидкостей, стекол) искусственной оптической анизотропии, происходящей под действием однородного внешнего магнитного поля. Разность показаний преломления для обыкновенных и необыкновенных лучей (потоков) в направлении, перпендикулярном к оптической оси, зависит от напряжения магнитного поля:

$$n_1^2 - n_2^2 = kH^2.$$

Из уравнения видно, что наложение на продуктивный пласт электромагнитного поля постоянного тока увеличивает частоту колебаний фотонотон в продуктивном пласте. Следовательно, совместное нагружение продуктивного пласта различными источниками энергии — устьевым трансформатором — излучателем 1 и глубинным генератором 5 совместно с электромагнитным полем трансформатора постоянного тока 4 даст новый эффект повышения частот колебаний фотонотон, что должно снизить расход энергии производственного процесса.

Сейсмический генератор и взрыв благодаря большой длине волн сейсмических колебаний увеличивают дальность действия составляющих элементов объединенного комплекса оборудования. Энергетический поток, излучаемый сейсмическим генератором, обладает большой амплитудой колебаний, обеспечивающих разрыв кристаллических решеток материалов продуктивного пласта. Он увеличивает фильтрацию нефти и газа в образующихся разрывах, через которые они проталкиваются акустическими и фотонными потоками других источников энергии. В свою очередь, эти составляющие комплекса повышают энерговооруженность сейсмического потока энергии, увеличивая нагрузку на продуктивный пласт и скважины. Такая энергетическая взаимосвязь элементов комплекса выводит его на новый уровень высокопроизводительного устройства, сберегающего энергию на добычу нефти и газа. Она проявляется в универсальном свойстве природы - в изменении колебательных свойств протекающих в ней процессов. Суммарный спектр колебаний не только количественно, но и качественно изменяет свойства энергии колебаний. Ее частотно — и амплитудно -модулированные характеристики, проявляющиеся при взаимодействии электромагнитных вибросейсмических, электродинамических и фотонных колебаний, повышают их резонансные свойства, комбинированные из четырех излучателей энергии. При этом поглощение энергии обрабатываемыми флюидами, насыщающими пласт, и продуктивным пластом возрастает, снижая общие энергетические затраты.

Таким образом, совмещение различных по характеристикам колебательных нагружений на скважину и продуктивный пласт не является простой суммой их

энергий. Оно изменяет их качество, модулирует новые амплитудно — частотные характеристики, повышает добротность, снижая энергозатраты процессов разработки месторождений.

Несмотря на преимущества физических явлений, протекающих при синергетической обработке продуктового пласта, реализация его суммированием существующих средств обработки остается проблематичной. Однако ее анализ дал возможность найти на базе абстрактных поисков и здравого смысла реальную возможность осуществить новую синергетическую обработку продуктивного пласта. При этом изложенное обоснование остается неотъемлемой частью дальнейшего совершенствования синергетической обработки. На базе этого анализа обобщены преимущества и недостатки схематического решения синергетической обработки. К существенным его недостаткам, относятся отличные одна от другой конструкции отдельных машин, сложность их взаимодействия и отсутствие серийных образцов. Устранение этих недостатков достигнуто созданием машины, которая обеспечивает все проанализированные синергетические преимущества. С помощью такой машины впервые предложена автоматизация процесса обработки скважин и продуктивного пласта, особенности которой изложены в следующем разделе.

7.5 Гироскопическая стабилизация добычи

Движение нефти осуществляется энергией, создаваемой насосами и давлением в продуктивном нефтяном пласте. При отсутствии рассогласования скважина и пласт функционируют как саморегулируемая система: увеличение одного из параметров повышает выходной показатель, в нашем случае — производительность, и наоборот — уменьшение одного из них снижает производительность. Но такие благоприятные условия работы системы скважина — пласт (СП) маловероятны. Система чувствительна к неуправляемым внешним воздействиям, например к снижению, проницаемости продуктивного пласта, отклонениям в НКТ. Не создается необходимый перепад давления между скважиной и продуктивным пластом, в результате чего теряется возможность вывести систему на оптимальный уровень ее эксплуатации. Между скважиной и пластом образуется разрыв прямых и обратных связей, восстанавливать которые в процессе эксплуатации системы трудно. Устранение этого недостатка возможно усовершенствованием существующих технологий добычи нефти и газа. Одним из таких решений является внесение в конструкцию скважин управления стабилизацией существующих процессов синергетическим нагружением пласта полезным использованием внутренней энергии обрабатываемого материала.

В мировой практике существуют месторождения нефти и газа с различными режимами эксплуатации залежей. Применяются технологические процессы уве-

личения нефтегазоконденсатотдачи, как вторичные, так и третичные. В их основу положены различные механизмы воздействия (механические, физические, химические) на пласт и насыщающие его флюиды. В процессе разработки месторождений ухудшаются фильтрационные характеристики продуктивных пластов в призабойных зонах добычных и нагнетательных скважин. Как правило, при разработке нефтяных месторождений на поздних стадиях происходит отложение парафиновых и асфальтосмолистых веществ не только на скважинном оборудовании (НКТ, штанги), но и в призабойной зоне пласта. Для восстановления фильтрационной характеристики продуктивного пласта в призабойной зоне нагнетательных и добычных скважин и предотвращения отложения парафиновых и асфальтосмолистых веществ предлагается устройство и способ молекулярно - волнового воздействия с авторегулированием в зависимости от изменения дебета скважин. В основу способа и устройства положен энергосберегающий механизм равенства интенсивностей энергий излучения внешним источником и поглощения гравитационными и электромагнитными связями обрабатываемого пласта и насыщающих его флюидов в резонансном режиме синергетического потока энергии. Универсальность метода и устройства состоит в том, что он применим для любой нефти — маловязкой, высоковязкой — с использованием применяемого оборудования и конструкции скважин. В способе и устройстве для очистки пласта в призабойной зоне и скважинного оборудования предусмотрено автоматическое саморегулирование совместной оптимальной работы пласта и скважины гироскопическим маятником.

Таким образом, система СП представляет собой замкнутую автоматическую систему, основной задачей которой является поддержание производительности скважины в заданных оптимальных границах. На производительность скважины гироскопический маятник реагирует углом отклонения подвески от оси скважины. Возникающая при этом нутация (совместное обращение оси маятника и мгновенной оси вокруг оси вращательного импульса) определяет энергию маятника, стабилизирующую производительность скважины при оптимальном расположении оси. Снижение производительности скважины по нефти и газу уменьшают нутацию маятника, увеличивая его энергию удара по обсадной трубе и НКТ, что повышает излучение их внутренней энергии потока фотонотонов в окружаю-

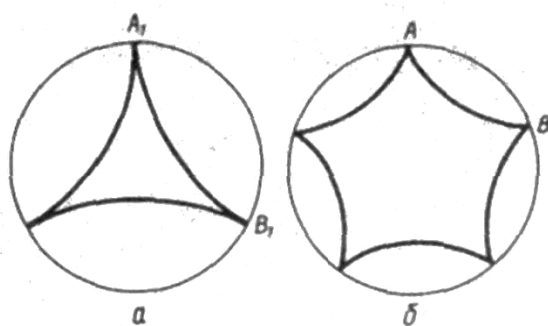


Рис.7.32. Увеличение (а) и уменьшение (б) нутации при убывании вращательного импульса волчка

ющей оси вокруг оси вращательного импульса) определяет энергию маятника, стабилизирующую производительность скважины при оптимальном расположении оси. Снижение производительности скважины по нефти и газу уменьшают нутацию маятника, увеличивая его энергию удара по обсадной трубе и НКТ, что повышает излучение их внутренней энергии потока фотонотонов в окружаю-

шую среду (призабойную зону продуктивного пласта, насыщающие его флюиды, скважинное оборудование). Разорванные гравитационные и электромагнитные связи выделяют обратимую синергетическую энергию, которая приводит к очистке призабойной зоны пласта и НКТ от парафиновых и асфальтосмолистых отложений. Особенность giro-стабилизации функционирования системы СП состоит в следующем. Чем больше вращательный импульс волчка, тем меньше его нутация, причем она может быть практически незаметной. Такая прецессия называется псевдорегулярной. Противоположной ей является регулярная настоящая прецессия, при которой малые нутации, вызываемые внешним вращательным моментом, уничтожаются. С уменьшением вращательного импульса снижается угловая скорость вращения вокруг оси фигуры гироскопа, а нутация выступает резче (рис.7.32 а). Конец оси волчка описывает кривые A_1B_1 (рис.7.32б).

Работа удара бойка по обсадной трубе больше при снижении производительности скважины. Возрастая, импульс соударения вызывает выравнивание интенсивностей энергий, снижая вероятность столкновения частиц потока с частицами материала, которая выражена волновой теорией рассеивания уравнением [10]:

$$(\sigma_e)_{\max} = 4\pi \left(\frac{h}{p} \right)^2. \quad (7.98)$$

Из (7.98) следует, что рассеивание энергии обратно пропорционально квадрату импульса нагрузки p . Гироскопический маятник передает большой импульс при ударе, т. е. рассеивание незначительно. Аналогично действует и внутренний маятник двойного волчка. Поток нефти, двигаясь через гироскоп, проходит магнитное поле, благодаря чему частицы жидкости получают отрицательные заряды, отталкиваются друг от друга и от стенок НКТ, предотвращая отложения парафиновых и асфальтосмолистых веществ, не допуская снижения пропускной способности НКТ. Добыча нефти с использованием гироскопических устройств упорядочивает суперпозицию и создает эффективную суперпозицию наложения нагрузочных полей действующих скважин месторождения, что достигается управляемой нутацией гироскопов, установленных в каждой скважине. В случае равенства нутаций гироскопов всех скважин векторы энергетических потоков соседних скважин направлены навстречу один другому в зависимости от формы нутации (рис. 7.34) При обустройстве нагнетательных и эксплуатационных скважин глубинными молекулярно-волновыми генераторами с использованием гироскопического маятника обеспечивается возможность подвергать молекулярно-волновому воздействию участки пласта между нагнетательными и эксплуатационными скважинами.

Как видно из (рис. 7.33) не весь продуктивный пласт охватывается волновыми нагрузками и с ростом нутации эти нагрузки снижаются. Для последователь-

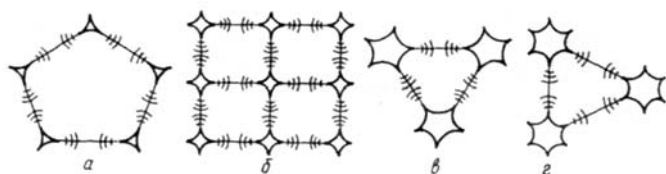


Рис. 7.33. Поле взаимодействия энергетических потоков промышленного участка с нутациями гироскопа:
а – треугольной; б – четырехугольной; в – пятиугольной;
г – шестиугольной

ного нагружения пласта нет необходимости достигать равенства нутаций всех гироскопов. Любая из них может отличаться одна от другой и не быть постоянной во времени и пространстве.

Каждый гироскопический маятник должен иметь свою прецессию. В этом случае мгновенная ось вращения гироскопического маятника непрерывно меняет свое положение. Вершина нутации, в которой происходит соударение маятников с корпусом и обсадной трубой, вращается и перемещается по конусу. Пучок потока энергии от соударения с обсадной трубой охватывает последовательно часть продуктивного пласта. Другие скважины, оснащенные гироскопами с двумя маятниками, также излучают переменные по направлению потоки энергии. Они непрерывно взаимодействуют между собой, повышая нагрузку на продуктивный пласт. Таким образом, продуктивный пласт подвергается импульсивным, циклическим нагрузкам различной модуляции. Такие нагрузки являются синергетическими с резонансными колебаниями излучаемых волн гироскопическими устройствами и внутренними обратимыми энергиями активного вещества вершин трещин, капилляров и пор пласта. Взаимодействие волн излучения энергии гироскопическими устройствами с колебаниями обратимой внутренней энергии продуктивного пласта и насыщающих его флюидов увеличивает подвижность нефти, что в конечном итоге приводит к увеличению нефтеотдачи пласта. Одновременно с этим гироскопический стабилизатор совместно с турбинами, трубками Вентури, завихрителями, синергетическими добавочными ударными волнами воздействует на нефть непосредственно в скважине, переводя структуру углеводородов из неразветвленной в разветвленную.

Гироскоп – быстровращающееся твердое тело, ось вращения которого может изменить свое направление в пространстве. Свойства гироскопа проявляются при выполнении двух условий: ось вращения гироскопа должна иметь возможность изменять свое направление в пространстве; угловая скорость вращения гироскопа вокруг своей оси должна быть большей по сравнению с той угловой скоростью, которую имеет сама ось при изменении своего направления. Гироскопы делятся на два вида – гироскопы с двумя и с тремя степенями свободы, т. е. гироскоп может совершать соответственно два и три независимых поворота вокруг сво-

ей оси. Первое свойство гироскопа состоит в том, что его ось стремится устойчиво сохранять в пространстве сообщенное ей первоначальное направление. Второе свойство гироскопа проявляется в случае, когда на его ось действует сила тяжести P или пара сил, стремящихся привести ось в движение (создающая вращающий момент относительно центра подвеса). Под действием этой силы конец гироскопа отклоняется не в сторону действия силы, а в направлении, перпендикулярном к этой силе, в результате гироскоп вращается вокруг оси DE (рис. 7.34) с постоянной угловой скоростью. Это вращение называется *прецессией*; оно происходит тем медленнее, чем быстрее вращается вокруг своей оси AB сам гироскоп. Если в какой-то момент времени действие силы прекратится, то одновременно прекратится и прецессия, т.е. прецессионное движение гироскопа безинерционно. Оно складывается из вращения с угловой скоростью Ω вокруг оси Oz' , неизменно связанной с телом, и вращения с угловой скоростью ω вокруг оси Oz (рис. 7.35). Оси Ox, Oy, Oz неподвижны, по отношению к ним рассматривается движение тела; ON - прямая, перпендикулярная к плоскости zOz' . Наряду с прецессией тело совершает также нутационное движение, при котором происходит изменение угла нутации $Q = \angle OzOz'$. Под *нутацией гироскопической системы* понимается периодическое изменение углов, определяющих положение системы. Под действием сил трения нутационные колебания затухают, после чего происходит прецессионное движение. Но при малой скорости прецессионного движения нутационные колебания возрастают. Если во время движения $Q = const$, то нутация отсутствует и величины Ω, ω остаются постоянными. Такое движение называется *регулярной прецессией*. Ось Oz' описывает вокруг оси прецессии Oz прямой круговой конус. Такую прецессию при произвольных начальных условиях совершает зак-

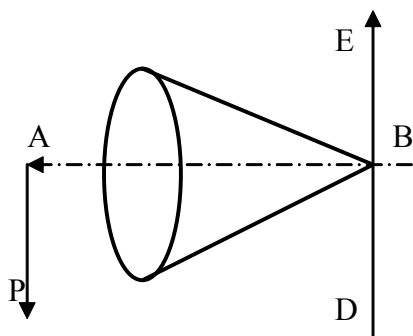


Рис. 7.34. Схема движения гироскопа

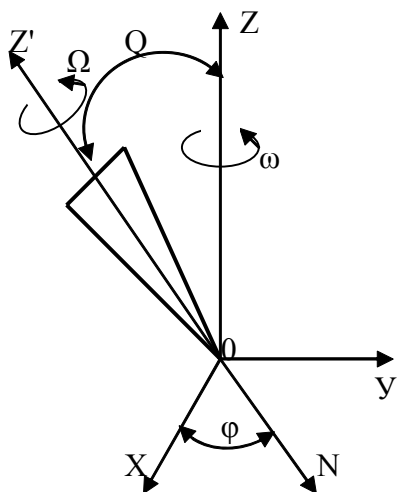


Рис. 7.35. Схема прецессии гироскопа

репленный в центре тяжести гироскопа, на который никакие силы, создающие момент относительно закрепленной точки, не действуют. Осью прецессии в этом случае является неизменное направление кинетического момента тела.

Нутация происходит одновременно с прецессией. Угол между осью вращения тела и осью, вокруг которой совершается прецессия, называется углом нутации. У гироскопа, движущегося под действием силы тяжести P (рис.7.36), нутация представляет собой колебание оси гироскопа, амплитуда и период колебаний которой тем меньше, чем больше угловая скорость собственного вращения. При больших скоростях собственного вращения амплитуда $Q_1 - Q_0$ и период колебаний t нутации приблизительно равны:

$$Q_1 - Q_0 \approx \frac{2Pa \sin Q_0}{I^2 \Omega^2}; t \approx \frac{2\pi I}{I\Omega}$$

где: $Q_1 - Q_0$ — пределы измерения угла Q ; a — расстояние от неподвижной точки до центра тяжести; I — момент инерции гироскопа относительно его оси симметрии; J — момент нутации относительно оси, перпендикулярной к оси симметрии и проходящей через неподвижную точку.

Для получения оптимальной энергии удара нужна такая скорость движения, чтобы нутационные колебания достигли оптимальных размеров. Угловая скорость прецессии определяется по формуле:

$$\omega = \frac{M}{I\Omega \sin \alpha},$$

где: M — момент силы P относительно центра тяжести гироскопа, $M = Ph$; P — сила, приложенная к гироскопу; h — расстояние от точки приложения силы до центра подвеса; I — момент инерции гироскопа относительно оси собственного вращения, $I = Vhp$ или $I = Ma$; V — объем тела; ρ — его плотность; a — угловое ускорение,

$a = \frac{d\Omega}{dt}$; ω — угловая скорость собственного вращения вокруг своей оси, $\Omega = \frac{dI}{dt}$;

α — угол между осью вращения гироскопа и плоскостью его вращения.

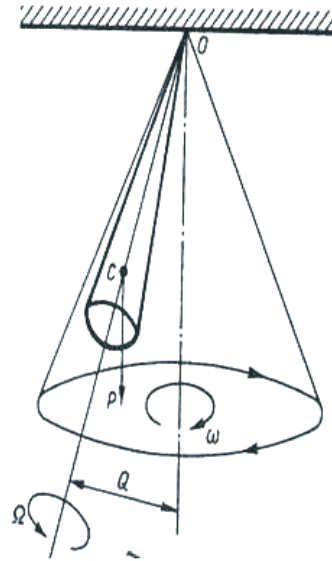


Рис. 7.36. Схема нутации гироскопа

Гироскопические генераторы в нагнетательных и эксплуатационных скважинах на уровне продуктивных интервалов нефтегазонасыщенных пластов подвергаются их комплексному постоянному воздействию, что снижает потери давления при движении флюидов в поровом пространстве пласта и НКТ. Энергия излучения системы собственными колебаниями резонирует с колебаниями внутренних энергий породы пласта и насыщающих его флюидов, увеличивая подвижность последних и обеспечивая их извлечение из застойных слабодренированных зон. Оно достигается при комплексном воздействии на месторождения со значительным истощением пластовой энергии на поздних этапах их разработки.

Передача колебаний от гироскопических излучателей по продуктивному пласту осуществляется более чем из двух точек одновременно, при этом используется эффект интерференции волн, синергетические, внешние, молекулярно-волновые колебания вихревых, кавитационных потоков, дополнительные ударные волны и электрохимические нагрузки, которые действуют на капилляры, поры, активное вещество вершин трещин обрабатываемого материала. Они вызывают в материале резонансные собственные вынужденные колебания, излучают полезную обратимую внутреннюю энергию и дополнительные диффузионные колебания, которые нутационно трансформируются в резонансные симультанные колебания частей стенок обсадных труб и передаются обрабатываемому материалу. Передатчики молекулярно-волновых и электромагнитных колебаний находятся в призабойной зоне продуктивного нефтяного пласта, при этом угол действия на продуктивный пласт постоянно изменяется, охватывая всю его толщину. Передатчик фотонных колебаний имеет двойной маятник, гироскопический ударник, нутационно действующий на внутреннюю стенку корпуса и часть обсадной трубы. Вихревой излучатель в виде двух турбин закреплен на оси внутреннего маятника. Турбины имеют отверстия с трубками Вентури. Вихревое вращение и действие на внешнюю среду осуществляется движением нефти на поверхность и принудительной подачи воды в скважину насосом. На корпусе гироскопа установлены пьезокерамические трансформаторы, преобразующие низкочастотные удары маятника в фотонные колеба-

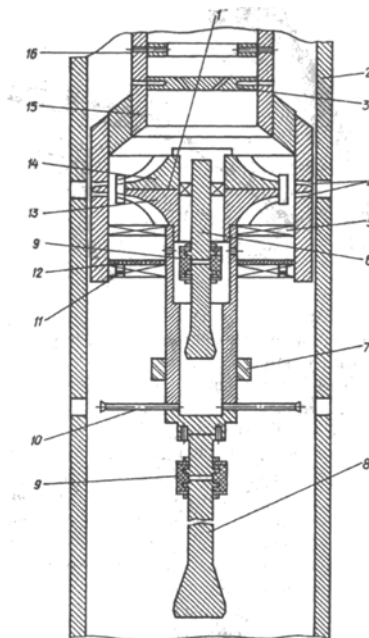


Рис. 7.37. Схема синергетического генератора

ния, и постоянные магниты для получения электродвижущей силы. При этом уменьшается засоряемость НКТ. Турбины создают вихревой поток нефти, который с другими нагрузками частично разрушает предельные углеводороды в непредельные. Такая реструктуризация нефти в условиях забоя дает возможность получить в процессе последующей ее переработки бензин с повышенным октановым числом. Благодаря резонансным колебаниям создается фотонный поток энергии, действующий на продуктивный пласт и насыщающие его флюиды. Суммарным взаимодействием внешней и обратной внутренней энергий продуктивного пласта создается достаточная энергетическая вооруженность процесса для стабилизации добычи и очищения НКТ от смоло-парафинистых отложений. При этом снижается вязкость нефти, повышается производительность и уменьшается возможность налипания смоло-парафинистых отложений на стенках НКТ.

Синергетический генератор (рис. 7.37) состоит из верхней и нижней турбин 1, обсадной трубы 2, направляющего аппарата 3, турбинных 4 и нижних 10 трубок Вентури, верхнего и нижнего подшипников 5, внутреннего 6 и внешнего 8 гироскопов, пьезокерамического трансформатора энергии 7, гибкого соединения 9, фильтра, 11, клапана 12, нижних 13 и верхних 14 лопастей турбин, насосно-компрессорной трубы 15 и магнитного насоса 16.

Работа генератора осуществляется в два этапа. На первом этапе производится дилатация продуктивного пласта и подготовка его и скважины к добыче нефти, а на втором генератор автоматически управляет дебитом скважины, удерживая его в оптимальном режиме.

Для осуществления первого этапа жидкость с поверхности подается в НКТ под давлением 200 МПа, проходит через магнит 16 и направляющий аппарат 3 на лопасти 14 верхней турбины во входные протоки трубок Вентури 4. Под действием центробежной силы поток жидкости устремляется в зазор между верхней турбиной и ее корпусом, создавая в них гидравлический удар и кавитацию. Они совместно воздействуют на продуктивный пласт через перфорационные каналы в обсадной трубе. Расход жидкости через верхнюю турбину превышает расход через трубки Вентури в корпусе. Избыток жидкости поступает на лопасти нижней турбины, далее через полость между подшипниками выходит под напором в нижние трубки Вентури 10, которые вращаются совместно с нижней турбиной. Завихренный кавитационный поток из трубок Вентури 10 воздействует через перфорационные каналы в обсадной трубе на продуктивный пласт.

Таким образом, на первом этапе поток жидкости в скважине трансформируется в импульсный завихренный кавитационный поток, воздействуя на пласт переменными по амплитуде и частоте нагрузками. Кавитация преобразует обратимую внутреннюю энергию нефти в фотонные потоки спонтанного и индуцированного излучений. Они воздействуют в резонансном режиме на гравитационные и

электромагнитные связи между частицами породы продуктивного пласта. Последний также излучает свою обратимую внутреннюю энергию, которая повышает энергосберегающий процесс дилатансии. Энергия, израсходованная на движение двойного гироскопа, трансформируется в энергию ударов внешнего гироскопа δ по обсадной трубе и энергию ударов внутреннего гироскопа δ через его корпус по пьезокерамическому трансформатору энергии 7. Совместное излучение энергий трубками Вентури, завихренным потоком, гидравлическими ударами, сейсмическими, акустическими, электромагнитными и фотонными потоками обеспечивает создание синергетического потока энергии.

Такой поток всегда входит в резонансные взаимодействия с собственными частотами колебаний частиц, слагающих продуктивный пласт. Таким образом, создаются необходимые условия для привлечения большого объема внутренней энергии продуктивного пласта к ее участию в дилатансии. Управление нутацией гироскопов направляет синергетические потоки на соседние скважины, где установлены такие же генераторы. Интерференция синергетических волн между соседними скважинами дилатансирует продуктивный пласт. Второй этап работы генератора обеспечивается потоком нефти из продуктивного пласта в скважину. Нефть проходит через нижние трубки Вентури 10, поднимает клапан 12 и входит в лопасти 13 нижней турбины, которые выбрасывают с гидроударами часть кавитационного потока, а другую часть перемещают к магниту 16. Магнит превращает турбулентный поток в ламинарный, выполняя роль насоса. Заряженные парафиновые и асфальтосмолистые частицы нефти, прошедшие через магнитное поле, не откладываются на стенках НКТ. Вращение нижней турбины от потока добываемой нефти приводит в действие двойной гироскоп, который совместно с пульсирующей от гидроударов кавитацией, выделяемой трубками Вентури нижней турбины, синергетически нагружает продуктивный пласт.

С уменьшением подачи нефти нутация гироскопов более интенсивно воздействует на пласт, автоматически поддерживая оптимальный режим работы системы скважина — пласт. Синергетический генератор может обеспечить:

- синергетическое нагружение продуктивного пласта;
- высвобождение внутренней энергии нефти и пласта для его дилатансии;
- автоматизированную совместную работу скважин и пласта;
- устранение необходимости в чистке НКТ в период эксплуатации скважин;

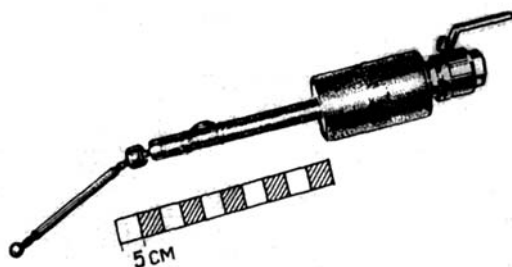


Рис.7.38. Синергетический генератор

- стабилизированную добычу нефти из продуктивного пласта с необходимой продуктивностью.

Внешний вид образца скважинного синергетического генератора показан на рис.7.38.

Генератор излучает сейсмические, акустические, кавитационные и фотонные потоки энергии, направленные на встречные резонансные потоки аналогичных энергий от соседних скважин. Такое синергетическое нагружение, управляемое спонтанно и индуцированно, высвобождает обратимую внутреннюю энергию активного вещества вершин трещин обрабатываемого нефтяного пласта.

Суммарная энерговооруженность воздействия на продуктивный нефтяной пласт позволяет улучшить подвижность нефти, особенно в низкопроницаемых и обводненных пропластках, что в конечном итоге увеличивает коэффициент нефтеотдачи. Применение разработанных скважинных генераторов обеспечивает поддержание оптимальных условий работы системы скважина-пласт в автоматическом режиме.

7.6. Очистка жидкостей

Процессы макроскопического мира, в том числе и очистки вод, связанные со свойствами элементарных частиц и их взаимодействий. Разработка технических средств, новых энергосберегающих технологий для их осуществления, а также создание средств очистки воды проведены с учетом квантовой механики. Сравнение результатов решений квантовой и классической механики разрешило раскрыть новые явления и предложить оригинальные технические разработки для интенсификации и повышения качества очистки вод. Существующие внешние средства нагрузки жидкости при очистке не отвечают их внутренним сопротивлениям, в результате чего происходит чрезвычайно большое рассеяние энергии и недостаточно используется даровая энергия природы. Распределение загрязнений по обрабатываемому объему жидкости неравномерное, что приводит к ее перенасыщению на второстепенных и нехватки на основных участках процесса. В результате этого внешняя энергия непродуктивно расходуется на увеличение необратимой внутренней энергии жидкости, а ее обратимая энергия полезно не используется. Существующие технологии очистки не способны рационально распределять и группировать разнообразные потоки энергий в больших массах жидкости, не используют их резонансные взаимодействия. Отличительной особенностью этой разработки является прямая нагрузка потоком глобальной энергии фотонных электромагнитных связей между частицами жидкости, которая обеспечивает ее очистку потоками внешней и ГОВЭ технологического комплекса в местах субрезонансной модуляции с уровнями энергий гармоничных осцилляторов воды.

Естественные и сточные воды характеризуются наличием в ней ряда примесей. Очистка ее от каждого вещества в отдельности громоздкий процесс и, с экономической точки зрения, невыгодный. Поэтому все загрязнения объединяют в несколько групп по размерам частиц и возможностью их образовывать с водой однородную гомогенную или неоднородную гетерогенную системы. Технологические приемы удаления загрязнений основываются на этой фазово-дисперсной характеристике. Очищаются в жидкости две гомогенные, что дают с водой молекулярные и ионные растворы и две гетерогенные, в которых частицы загрязнения не полностью смешиваются с водой, а присутствуют в ней в виде суспензий, коллоидов и высокомолекулярных соединений. В первую группу объединены вещества, которые диссоциируют в воде на ионы: соли, кислоты, основания, которые передают воде щелочность или кислотность, соленость, жесткость. Они образуют в воде гомогенные растворы. Основными силами между ионами являются электростатические силы. Техника очистки воды от веществ этой группы сводится к связыванию подлежащих удалению ионов с помощью добавленных в раствор противоположно заряженных в малодиссоциированные или малорастворимые соединения. Одним из процессов их очистки является перевод ионов в малодиссоциированные соединения нейтрализацией комплексных ионов. При этом ионы превращаются в безвредные соединения, но не выводятся из воды. Преобразование ионов в малорастворимые соединения сопровождается образованием малорастворимых солей гидратов, окислов цветных и тяжелых металлов, закисных форм металлов. Оно осуществляется, если нежелательные ионы должны быть удалены из воды преобразованием их в малорастворимые соединения, которые выпадают в осадок. Этот осадок задерживается в отстойниках и фильтрах.

Применяют ионообменные реакции. Они происходят на поверхности твердой фазы и их используют, если ионы, которые выводятся, необходимо удержать на нерастворимом в воде материале, заменив их безвредными ионами. При этом ионы остаются на ионообменном материале и не засоряют отстойники и фильтры. Удаление загрязнения достигается также изменением фазового состояния системы, переводом ее в твердую фазу (вымораживание, образование газгидратов, дистилляция, экстракция), добавление вещества, которое не перемешивается с водой, для образования двух прослоек воды и растворителя, в котором и накапливаются эти примеси, и отдаляются из воды в виде рассола, который образует отдельную фазу.

Во вторую группу входят растворенные в воде газы и органические соединения, которые придают воде привкусы и запахи. Это разнообразные продукты жизнедеятельности и отмирания плесневых грибов, бактерий, водорослей, а также фенолы, нафтолы и другие органические соединения. Некоторые из них имеют токсичность. Эти соединения с ковалентной связью ведут себя как молекулярно -

растворимые. Тем не менее рН среды, соляной и прочие факторы могут изменять их агрегатное состояние. Некоторые из них легко образуют коллоидные растворы и даже грубые суспензии. Размер этих веществ составляет $10^{-5} \dots 10^{-7}$ см. Удаляются из воды эти примеси аэрированием, окислением, адсорбцией. Растворенные в воде газы и летучие органические вещества, такие как бензины, некоторые органические сернистые соединения, низкомолекулярные эфиры и карбонатные соединения удаляются аэрированием воды, механическим выдуванием газов воздухом, окислением кислорода. Растворимые в воде одноатомные и многоатомные фенолы, большинство продуктов органического синтеза и фульвокислоты разрушаются под действием сильных окислителей. Используют угольные адсорбенты - активированный уголь марок КАД, БАУ, СУ, А. Применение угля основанное на том, что молекулы растворенных в воде примесей вступают в межмолекулярное взаимодействие с высокопористой поверхностью угля и крепко на ней закрепляются. Углеводные нефти, ароматические соединения и их производные (фенол, хлорфенол), хлорированные углеводы создают гидрофобные соединения. Гидрофильные соединения, низкие спирты, альдегиды, карбоновые кислоты, углеводы и другие номерные алифатичные соединения сорбируются хуже гидрофобных. Для низкомолекулярных соединений применяют мелкопористые углероды КАД и БАУ, для более значительных молекул - крупнопористые углероды ОУ и А. Фенолы обнаруживаются в водах водохранилищ по запаху и вкусу при минимальных концентрациях 0,01—0,1 мг/л. Под действием хлора, применяемого при дезинфекции питьевой воды они образуют хлорфенолы, которые имеют значительно более сильные запахи и вкусы, и тогда их минимальная концентрация снижается.

Третья группа объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси, которые находятся в воде в состоянии золи, а также высокомолекулярные вещества и детергенты. Степень дисперсности их частиц равняется $10^{-5}—10^{-6}$ см. К этим веществам относятся коллоидные минеральные и органоминеральные частицы грунтов а также недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ ($\text{pH} < 7$), которые предают воде окраску. К этой группе относят вирусы, споры и болезнетворные бактерий, которые размерами приближаются к коллоидным частицам. Гумус вымывается из лесных, болотистых и торфяных грунтов в естественные водоемы или получается в водоемах в результате жизнедеятельности водных растений и водорослей. Высокомолекулярные гумусовые соединения представлены в воде гуминовыми фульвокислотами и их солями. Гуминовые фульвокислоты, вещества по строению фенолокислоты и содержат карбоксильные ($-\text{COOH}$) и фенольные группы ($-\text{OH}$). Кроме этого они имеют карбонные ($=\text{CO}$) и эфирные ($-\text{O}-$) группы. Наличие карбоксильных групп придает им кислотные свойства. Они вступают в реакции нейтрализации и образуют кислые и нейтральные соли-гуматы, фульваты щелочных и щелочноземельных металлов Na^+ , K^+ ,

NH^{4+} , Ca^* и др. В щелочной среде соли этих соединения хорошо растворяются в воде. Соли кальция плохо растворимые в воде и легко выпадают в осадок. В щелочной среде они являются электролитами и к ним можно применять методы очистки те же самые, что и для первой группы загрязнений. Но практически это не рационально, так как это приводит к получению щелочных вод. Загрязнения этой группы обрабатываются высокими дозами окислителей: хлорирование едким хлором или его соединениями; озонированием озонозовоздушной или озон-кислородной смесью. Хлорирование образует полигалоидные соединения, которые имеют канцерогенные свойства. Увеличение дозы активного хлора при обработке вод вызовет появление заметного количества остаточного хлора, токсичного для разнообразных форм жизни в водных объектах. Озон перспективный дезинфекант, менее вредный для окружающей среды. Он требует небольшого времени контакта, улучшает качество воды, снижает цветность, уничтожает микроорганизмы. При его применении достаточно просто обеспечивать безопасную эксплуатацию. Поскольку этот процесс имеет высокую стоимость, то интенсификация процессов, которые протекают при озонировании, является сложной задачей. В водных растворах, которые содержат достаточное количество солей кальция используют коагулянты $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; FeSO_4 ; FeCl_3 . Соли кальция гидролизуются с образованием коллоидных растворов гидратов $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Если в воде недостаточно солей кальция (мягкая вода) добавляется немного извести или соды. Гидроокиси алюминия и железа коагулируют, давая при этом обволакивает взвешенные в воде частички и бактерии и захватывает их на дно отстойника. Гидролиз коагулянтов зависит от pH среды, количества солей и температуры. Особенно чувствителен к этим факторам $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, менее чувствителен FeCl_3 . Добавление окислителей ускоряет процесс коагуляции за счет распада органических веществ, которые содержатся в воде, оказывая содействие образованию значительных частичек гидроокиси металлов и полного их оседания. Широкая гамма загрязнителей задерживается смешанным коагулятором ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeCl}_3$). Данный процесс проходит в более широком интервале pH и низкой температуре. Повышение процесса коагуляции происходит при введении флокументов, в особенности активной кремниевой кислоты. Введение небольшого ее количества приводит к ускорению образования частиц, улучшению структуры, быстрому и полному осветлению воды. Также используют для очистки контактную коагуляцию в толще песка.

В четвертую группу входят нерастворимые кинетически стойкие суспензии с размером частиц $10^{-5} \dots 10^{-4}$ см. Они обуславливают мутность воды. К ним относятся глинистые вещества, ил, мелкий песок, суспензии органических веществ, детрит, планктон. В основе приемов очистки воды от примесей этой группы лежат

физико - химические процессы - адгезия, которая устраняет вещества на поверхности частиц нерастворимых веществ. На поверхности взвешенных частиц могут находиться болезнетворные бактерии, споровые микроорганизмы, сорбируются радиоактивные вещества. Суспензии бывают токсичными соединениями. Для их очистки отстаиванием применяют замутняющие добавки: известь, соду, монтмориллонитовую глину, угольную суспензию. Также используют флотацию суспензий, сине - зеленых водорослей и хлопьевидных взвешенных веществ; фильтрование воды через взвешенную прослойку гидроокиси алюминия и мела, гидроокиси алюминия и железа с флокументами, через двойную прослойку фильтра из песка с антрацитовой крошкой и песка с мраморной крошкой. Получил распространение баромембранный способ очистки воды. Различают микрофильтрацию (МФ), ультрафильтрацию (УФ) и обратный осмос (ОО). Эти процессы имеют много общего: в них используются полупроницаемые мембраны из одного и того же материала, но с разнообразным размером пор, которые имеют аналогичные по конструкции аппараты и установки для проведения этих процессов. При МФ происходит деление между растворимыми и нерастворимыми веществами. Этот процесс занимает промежуточное положение между УФ и обычной фильтрацией без резко выраженных границ. Применяют МФ, как подготовительный этап перед проведением процессов УФ, ОО. УФ — процесс фракционирования и концентрирования растворов, при котором происходит деление между низкомолекулярными и высокомолекулярными веществами. При ОО через мембрану проникают преимущественно только молекулы воды, вода обезсоливается и очищается от разнообразных растворимых веществ. Применение магнитной обработки для очистки воды от разных суспензий проверен не только в лабораторных, но и в промышленных условиях. После магнитной обработки на некоторых водохранилищах скорость оседания тонкодисперсных суспензий, которые содержатся в ней, увеличивается на 20...90 %. При невысокой мутности воды и низкой температуре достаточна напряженность поля всего 2...8 кА/м. Такой эффект обнаруживается и в случае добавления к намагниченной воде коагулянтов — сернокислого железа, сернокислого алюминия. При этом наблюдается уменьшение электрического потенциала полей, гидрооксидов аммония. При мутности воды выше 500 мг/л, эффект не значительный.

А. И. Шахов и А.С. Аветисов [33] исследовали возможность магнитной обработки воды Днепра после ее известкования. Они воспользовались аппаратом с электромагнитами, в катушки которых подавали постоянный ток импульсами частотой 2...6 Гц. Аппарат производительностью 100 м³/г был установлен на напорном трубопроводе, который подает воду в цех химического очищения воды; известкование проводили по обычной для тепловых электростанций схеме. Увеличение скорости оседания суспензий достигалось при частоте пульсации 6 Гц.

Положительные результаты получены интенсификацией отстаивания бытовых сточных вод. Скорость оседания суспензий выросла в 1,4...2,6 раза. Авторам не выпала возможность увеличить частоту нагрузки больше 6 Гц, поэтому нельзя судить об оптимальности этой частоты. Очевидна необходимость изучения влияния частоты колебаний магнитного поля на загрязненные жидкости.

Ю.Г. Хохлов [34] исследовал очистку воды на каскаде Днепр-Кировоград при добавлении сернокислого аммония с последующей магнитной обработкой. Установлена целесообразность последней, что позволяет повысить качество питьевой воды, снизить затрату коагулянта. Подавая магнитной обработке растворы сернокислого аммония, С. С. Душкин В. А. Сирова [33] улучшили качество воды, на 25...40 % снизили затраты этого реагента. Промышленная проверка на очистительных сооружениях водопровода показала, что намагничивание воды на 28... 60 % снижает объем взвешенных веществ на 32...50 %, уменьшает ее цветность. В. Д. Сушковский исследовал возможность улучшения очищения сточных вод гальванического производства. Почти двукратное увеличение динамической обменной экологии наблюдалось при поглощении катионами из раствора никеля; повышение сорбции ионов кальция и сульфата не превышало 25 %. Р. А. Фридман [33] установила, что магнитная обработка сточных вод производства эпиксидной смолы и других органических продуктов разрешают интенсифицировать процессы биохимического окисления. При намагничивании этих вод перед биохимической очисткой на 30 % повышается их качество. В основном магнитную обработку применяют для уменьшения образования накипи в незранированных котлах низкого давления, преимущественно с большим водным объемом, бойлерах, разнообразных технообменниках, тепловых сетях отопительных котлов, местных системах горячего водоснабжения, конденсаторах паровых турбин, компрессорах, двигателях внутреннего сгорания и дистилляторах. В выборе намагничиваний воды или ее химической очистки на Na-катионовых фильтрах часто решают вопросы в пользу намагничивания.

Эффективность магнитной обработки артезианских вод, которые содержат кроме бикарбоната кальция значительное количество аморфных частиц гидрооксида железа снижается тем, что эти частицы оседают на поверхности, захватывая с собою большое количество карбонатной извести. В этом случае полезно объединить намагничивание воды с ее предшествующим обезжелезнением. В теплоснабжении намагничивание воды применяют в открытых тепловых сетях, при отоплении и горячем водоснабжении. Температура подпиточной воды в открытых сетях достигает 150°С, ее количество составляет 40...50% от общего количества циркулирующей воды. Магнитная обработка питьевой воды применяется с термической деаэрацией, которая предотвращает коррозию оборудования сетей и появление отложений оксидов железа. При наличии в исходной воде разнообразных твердых суспензий ее предварительно осветляют с помощью коагуляции и осаж-

дения суспензий. В этих случаях последовательность операции такая: контакт воды с коагулянтом => осаждение суспензии => магнитная обработка осветленной воды => подогрев I и II степеней => деаэрация воды => подача ее в сеть. Следует отметить, что в открытых тепловых сетях сильно минерализованные воды жесткостью выше 4 мг-экв/л и минерализацией более 500 мг/кг выделяют после магнитной обработки столько тонкодисперсных карбонатных частиц, что это вызывает опасность их оседания на участках со скоростью течения меньше 0,5 м/с. Это необходимо учитывать при гидродинамическом расчете системы.

В закрытых тепловых сетях для бытовых целей используют воду, подогретую до 60...70°C. Накипь на трубах подогревателей через несколько месяцев эксплуатации необходимо очищать. В этом случае магнитная обработка имеет преимущество перед реагентной очисткой и Na-катионовой подготовкой воды, поскольку затраты снижаются в 3...4 раза. Так как вода в этих сетях имеет меньшую температуру, чем в пароводяных бойлерах, практически исключается возможность накипания суспензии к поверхности нагрева даже при невысокой скорости потока воды. В отопительных системах с чугунными водогрейными котлами существуют секционные котлы в комплексе с магнитными аппаратами системы ПМУ. Особенностью этих систем является циркуляция в них на протяжении всего отопительного сезона практически одной и той же воды, потери воды в системе не превышают 1...2 %. Поэтому происходит накопление в системе суспензий. В системах охлаждения конденсаторов турбин, двигателей внутреннего сгорания, компрессоров и других им подобных устройств используют магнитную обработку 25...80% всей питьевой воды, а также оборотной воды после градирен. В последнем случае, поскольку вода, которая проходит через градирню или брызгальный бассейн, теряет часть диоксида углерода и образует нестойкий раствор карбонатных соединений, она дает положительный эффект.

Для обработки морских и высокоминерализованных вод, все больше применяемых в энергетике, отдают предпочтение намагничиванию. Особенностью морской воды является высокое содержание хлоридов и сульфатов натрия, магния и кальция. Отмечается, что присутствие ионных ассоциаторов обуславливает высокое перенасыщение растворов. Кристаллизация сульфата кальция зависит от температуры: до 100°C выделяется из раствора преимущественно дигидрат и полугидрат, до 100...130 °C — полугидрат и при более высокой температуре — ангидрат. Последний наименее растворимый в воде и потому составляет главный компонент накипи. Источником магнитного поля могут служить постоянные магниты и электромагниты. В связи с этим, магнитные аппараты подразделяются на две основных группы: аппараты с постоянными магнитами и электромагнитами. Подлежащая обработке вода проходит в зазоре аппаратов пересекает силовые линии испытывая влияния магнитного поля. Аппараты с постоянными магнитами простые в изготовлении и не нуждаются в потреблении электроэнергии. Постоянные магниты

изготавливаются из магнито — твердых сплавов типа ЮНДК- 24, АНИ - 3, АНКО -2.

В аппаратах с электромагнитом на сердечник наматывают катушки, которые создают магнитное поле. Сердечник с катушками помещают в диамагнитный герметичный кожух и устанавливают в корпусе аппарата. Между полюсами магнитов и корпусом аппарата образуется рабочий зазор. Эффективность обработки воды магнитным полем определяется напряженностью магнитного поля в зазоре, его интенсивностью излучения и скоростью следования воды. Общеизвестных нормативов для проектирования аппаратов, основанных на научных исследованиях еще нет. Они создаются по данным практики эксплуатации существующих установок с последующим нахождением оптимального режима работы аппарата. После магнитной обработки в воде происходят изменения физико-технических процессов: ускорение слипания взвешенных в воде твердых частиц; образование кристаллов солей при выпаривании; изменение смачивания твердых поверхностей и изменение концентрации растворенных газов. Взвешенные твердые частицы в обычной воде оседают медленно. Если воду или лучше водную суспензию пропустить в определенном режиме через магнитные поля, то частицы коагулируют, то есть слипаются одна с другой, создавая грудки. После магнитной обработки они становятся более прочными и тяжело удаляются из осадка. Улучшение коагуляции и слипания твердых частиц в намагниченной воде может найти практическое применение при очищении воды от суспензий. Слипание частиц минералов возрастает в 2...4 раза. Для этого подбираются определенные значения напряженности магнитного поля, интенсивности его излучения и скорости течения в нем воды или суспензии. Выпадение кристаллов солей из нагретой воды с помощью магнитного поля основывается на образовании большого числа кристаллов и уменьшении их размеров. При этом учитывается режим обработки воды магнитным полем в зависимости от вида и концентрации растворенных в воде примесей. Увеличение скорости растворения солей магнитной обработкой применяется в практике для борьбы с накипью и в медицине.

Характеристика магнитного поля только по его напряженности оказалась приближенной. Если поток воды или суспензии пересекает магнитное поле, ему приходится проходить через участки разной напряженности. В этих условиях магнитное поле неоднородное и его оценка по размеру максимальной напряженности недостаточна. На первый план выступает характеристика магнитного поля, как градиент его напряженности — возрастание или снижение напряженности магнитного поля на единицу расстояния. Попадая в неоднородное магнитное поле вещество поддается действию силы f :

$$f = \chi \cdot H \cdot d / dx,$$

где: χ — магнитная восприимчивость единицы объема вещества; H — напряженность магнитного поля.

Качество воды определяется государственными стандартами: ГОСТ 87893 “Воды минеральные питьевые. Технические условия”; ГОСТ 2874-82 “Вода питьевая. Контроль за качеством”; ГОСТ 29183-91 “Вода для хозяйственно-питьевого и промышленного назначения. Отбор, хранение и транспортирование”; ГОСТ 18963-73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа”; ГОСТ 3301-74 “Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности, мутности”; ГОСТ 2991-95 “Воды минеральные питьевые. Транспортирование”. По концентрации солей воду различают: пресную (до 1 г/кг); солоноватую (до 25 г/кг); соленую (>25 г/кг). По степени минерализации: осадки (10..20 мг/кг); пресные озера (50..1000 мг/кг). Питьевая вода должна быть безопасной в эпидемическом отношении, безвредной по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Лабораторно - производственный контроль над качеством воды перед поступлением в сеть проводят по показателям, которые приводятся в таблицах 7.5 – 7.9.

Таблица 7.5

Микробиологические показатели питьевой воды

№	Наименование	Норматив, не больше	Метод испытания
1	Число микроорганизмов в 1 см ³ воды	100	ГОСТ 18963
2	Число бактерий группы кишечной палочки в 1 литре	2	ГОСТ 18963

Таблица 7.6

Химические показатели питьевой воды

№	Наименование вещества	Норматив, не менее	Метод испытаний
1	Алюминий (Al) остаточный, мг/л	0,5	ГОСТ 18165-81
2	Бериллий (Be), мг/л	0,002	ГОСТ 18294-81
3	Молибден (Mo), мг/л	0,25	ГОСТ 18308-72
4	Мышьяк (As), мг/л	0,05	ГОСТ 4152-81
5	Полиакриламид остаточный, мг/л	2,0	ГОСТ 19355-84
6	Нитраты (NO ₃), мг/л	45,0	ГОСТ 18826-73
7	Свинец (Pb), мг/л	0,03	ГОСТ 18793-73
8	Стронций (Sr), мг/л	7,0	ГОСТ 23950-80
9	Фтор (F), мг/л по климатическим районам:		
	1 и 2	1,5	ГОСТ 43 86-81
	3	1,2	ГОСТ 4386-81
	4	1,7	ГОСТ 43 86-81

Концентрация других веществ, которые находятся в питьевой воде, не должны превышать единицу.

Таблица 7.7

Органолептические показатели питьевой воды

№	Наименование	Норматив, не менее	Метод испытания
1	Запах при 200 С и при нагревании до 600 °С, баллы	2,0	ГОСТ 3351-74
2	Вкус, привкус при 200 С, баллы	2,0	ГОСТ 3351-74
3	Цветность, градусы	20,0	ГОСТ 3351-74
4	Мутность за стандартной шкалой, мг/л	1,5	ГОСТ 3351-74
5	Три полифосфат, мг/л	5,0	ГОСТ 3351-74

Таблица 7.8

Концентрация химических веществ, которые влияют на органолептические свойства

№	Наименование химического элемента	Норматив, не менее	Метод испытаний
1	Железо (Fe) остаточный, мг/л	0,3	ГОСТ 4011-72
2	Водородный показатель, pH	0,6...9,0	pH метод
3	Жесткость общая, мг/л	7,0	ГОСТ 4151-72
4	Марганец (Mn), мг/л	0,1	ГОСТ 4972-72
5	Медь (Cu), мг/л	1,0	ГОСТ 4388-72
6	Полифосфаты остаточные (P04), мг/л	3,5	ГОСТ 183 09-72
7	Сульфаты (SO4-), мг/л	500,0	ГОСТ 4389-72
8	Сухой остаток, мг/л	1000,0	ГОСТ 18164-72
9	Хлориды (Cl-), мг/л	350,0	ГОСТ 4245-72
10	Цинк (Zn), мг/л	5,0	ГОСТ 18293-72

Таблица 7.9

Удержание остаточного хлора в воде после резервуаров

№	Хлор остаточный	Концентрация, мг/л	Необходимое время контакта хлора с водой, мин.
1	Свободный	0,3...0,5	30
2	Связанный	0,8...1,2	60

Предложенный способ очистки воды электромагнитным полем от загрязняющих примесей базируется на изменении заряда на их поверхности электрическим полем. Перемещаясь в электрическом поле, молекулы примесей приобретают разные заряды. После размещения заряженного водного потока в электромагнитном поле происходит раздел траекторий разных частиц в зависимости от поверхност-

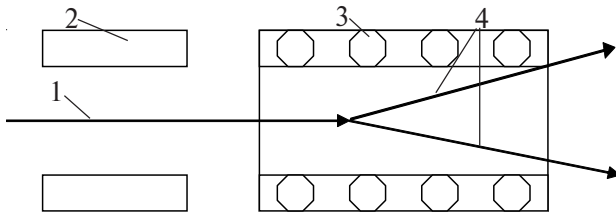


Рис. 7.39. Схема способа очистки воды от загрязняющих примесей: 1 – поток жидкости с примесями; 2 – источник электрического поля; 3 – источник электромагнитного поля; 4 – разделенные потоки примесей

ного заряда молекул примесей. При большем поверхностном заряде молекула примесей отклоняется от горизонтального направления на большее расстояние.

Расчет зарядов на поверхности примесей и величины отклонения молекул от начального направления движения под действием электромагнитного поля выполнен в соответствии с рисунком 7.39.

Приведем пример инженерного расчета удельных примесей алюминия, которого, согласно ГОСТ 18165-81, в питьевой воде должно быть не больше 0,5 мг/л. Масса одного атома примесей алюминия с учетом того, что радиус действия атомных сил притяжения описывает сферическую поверхность:

$$m = r \cdot V = r \cdot \rho \cdot (2 \cdot a_0)^6 = 2700 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-10})^6 = 0,297 \cdot 10^{-25} \text{ кг},$$

где: $r = 2700$ — плотность алюминия, кг/куб.м; $a_0 = 1,38 \cdot 10^{-10}$ — радиус действия межатомных сил притяжения [43].

Количество атомов алюминия в одном литре воды:

$$N(A1) = m(A1) \cdot N_A / M(A1) = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / 26,98154 = 0,1116 \cdot 10^{20} \text{ шт.},$$

где: $m(A1) = 0,5 \cdot 10^{-3}$ — допустимое содержимое примесей алюминия в воде, г/л, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ — число Авогадро, 1/моль, $M(A1) = 26,98154$ — атомная масса алюминия.

Согласно предложенному способу, поток питьевой воды диаметром $d = 0,02$ м с примесями алюминия проходит между пластинами с разностью потенциалов $Dj = 3000$ В. При действии электрического поля напряженностью E гравитационная сила $P[A1] = m \cdot g$ уравнивается электрической силой $F = q \cdot Dj/d$. Согласно этим условиям, заряд одного атома алюминия в данном электрическом поле будет равен:

$$q = Pd/Dj = mjd/Dj = 0,297 \cdot 10^{-25} \cdot 9,8 \cdot 0,02 / 3000 = 1,94 \cdot 10^{-30} \text{ Кл.}$$

Общий накопленный заряд на всех молекулах примесей алюминия:

$$q(A1) = 1,94 \cdot 10^{-30} \cdot 0,1116 \cdot 10^{20} = 21,65 \cdot 10^{-12} \text{ Кл.}$$

Количество электронов, которые образуют накопленный заряд:

$$NE(A1) = q(A1)/e = 21,65^{-12}/1,6E^{-19} = 13,53^7 \text{ шт.}$$

Отклонение S примесей алюминия от горизонтального направления при прохождении гидравлического заряженного потока в электромагнитном поле, создаваемом системой отклонения при скорости потока $V_0 = 1 \text{ м/с}$ и длине $L = 0,1 \text{ м}$:

$$S = at^2 = q_{ал} \cdot Dj \cdot l^2 / (2 \cdot d \cdot m(A1) \cdot V_0) = 3000 \cdot 21,65^{-12} \cdot 0,12 / (2 \cdot 0,02 \cdot 0,5E^{-6} \cdot 12) = 3,2475E^{-2} \text{ м}$$

где: $a = F/m(A1) = Dj \cdot q(A1) / (d \cdot m(A1))$ — ускорение молекул примесей алюминия; $F = E \cdot e = Dj \cdot q(A1)/d$ — сила, действующая на примеси алюминия; E — напряженность поля; e — заряд электрона; $t = L/V_0$ — время прохождения молекулами примесей алюминия электромагнитного поля системы отклонения.

Расчет отклонений других примесей проводится аналогично. Для проведения расчетов выбраны следующие начальные данные: разность потенциалов между пластинами источника электрического поля $dU = 3000 \text{ В}$; диаметр потока неочищенной питьевой воды $d = 0,02 \text{ м}$; длина отклоняющих катушек источника электромагнитного поля $L = 0,1 \text{ м}$; скорость потока воды $V_0 = 1 \text{ м/с}$; число Авогадро $NA = 6,02E23 \text{ 1/моль}$. Начальные данные по примеси воды сведены в таблицу.

Таблица 7.10

Исходные данные свойств воды

№	Наименование примесей	Допустимое содержание мг/л	Нормативный Документ	Радиус действ. атомн. сил, м	Удельный вес примесей, кг/м ³
1	Алюминий, Al	0,5	ГОСТ 18165081	1,38	2,700
2	Бериллий, Be	0,002	ГОСТ 18294-81	1,11	1,850
3	Молибден, Mo	0,25	ГОСТ 18308-72	1,08	10,200
4	Мышьяк, As	0,05	ГОСТ 4152-81	1,48	1,720
5	Свинец, Pb	0,03	ГОСТ 18793-72	1,75	11,340
6	Стронций, Sr	7,0	ГОСТ 23950-80	2,15	2,630
7	Фтор, F	1,5	ГОСТ 18165081	0,64	1,100
8	Железо, Fe	0,3	ГОСТ 18294-81	1,37	7,800
9	Марганец, Mn	ОД	ГОСТ 18308-72	1,32	7,440
10	Медь, Cu	1,0	ГОСТ 4152-81	1,28	8,960
11	Цинк, Zn	5,0	ГОСТ 18793-72	1,33	7,130
12	Полиакриламид	2,0	ГОСТ 23950-80	1,38	2,700
13	Хлориды, Cl ⁻	350,0	ГОСТ 18165081		
14	Сульфаты, SO ₄ ²⁻	500,0	ГОСТ 18294-81		
15	Полифосфаты, PO ₄ ³⁻	3,5	ГОСТ 18308-72		
16	Нитраты, NO ₃	45,0	ГОСТ 18826-73		
17	Сухой остаток	1000,0	ГОСТ 18164-72		

Результаты расчета поверхностного заряда в электрическом поле и отклонение ее в электромагнитном поле представленные в таблице 7.11.

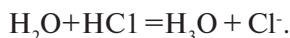
Особенностью солей сильных кислот является способность диссоциировать практически полностью. К сильным электролитам относятся почти все соли; к важнейшим кислотам и основаниям к ним относятся: HNO_3 , H_2SO_4 , HCl , HBr , HI , KOH , NaOH , $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Если кристалл соли, например, хлорида калия, попадает в воду, то размещенные на его поверхности ионы притягивают к себе полярные молекулы воды. К ионам калия молекулы воды притягиваются своими отрицательными полюсами, а к хлорид — ионам — положительными. Но, если ионы притягивают к себе молекулы воды, то и молекулы воды с такой же силой притягивают к себе ионы. В то же время притянутые молекулы воды ощущают воздействия со стороны других молекул, которые двигаются. Сила взаимодействия вместе с тепловыми колебаниями ионов в кристалле достаточна для обособления ионов от кристалла и перехода их в раствор. Вслед за первым пластом ионов в раствор переходит следующий пласт и таким образом проходит постепенное растворение кристалла.

Таблица 7.11

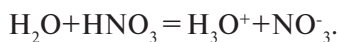
Отклонение загрязнений воды в электромагнитном поле

№	Название примесей	Масса атома примеси, кг	Кол-во атомов примеси в 1 л, шт.	Заряд атома в эл. голе, Кл	Накопленный заряд примеси, Q_s , Кл	Количество электронов в накопленном заряде, шт.	Величина отклонения примеси в электромагнитном поле, S, см
1	Алюминий, Al	$2,97 \cdot 10^{-26}$	$1,116 \cdot 10^{19}$	$1,94 \cdot 10^{-30}$	$2,17 \cdot 10^{-11}$	$1,35 \cdot 10^8$	3,25
2	Бериллий, Be	$1,06 \cdot 10^{-26}$	$1,336 \cdot 10^{17}$	$6,92 \cdot 10^{-31}$	$9,25 \cdot 10^{-14}$	$5,78 \cdot 10^5$	3,47
3	Молибден, Mo	$5,38 \cdot 10^{-26}$	$1,569 \cdot 10^{18}$	$3,52 \cdot 10^{-30}$	$5,52 \cdot 10^{-12}$	$3,45 \cdot 10^7$	1,65
4	Мышьяк, As	$2,34 \cdot 10^{-26}$	$4,018 \cdot 10^{17}$	$1,53 \cdot 10^{-30}$	$6,13 \cdot 10^{-13}$	$3,83 \cdot 10^6$	0,92
5	Свинец, Pb	$2,55 \cdot 10^{-25}$	$8,716 \cdot 10^{16}$	$1,66 \cdot 10^{-29}$	$1,45 \cdot 10^{-12}$	$9,06 \cdot 10^6$	3,62
6	Стронций, Sr	$1,09 \cdot 10^{-25}$	$4,809 \cdot 10^{19}$	$7,15 \cdot 10^{-30}$	$3,44 \cdot 10^{-10}$	$2,15 \cdot 10^9$	3,69
7	Фтор, F	$1,21 \cdot 10^{-27}$	$4,753 \cdot 10^{19}$	$7,89 \cdot 10^{-32}$	$3,75 \cdot 10^{-12}$	$2,34 \cdot 10^7$	0,19
8	Железо, Fe	$8,40 \cdot 10^{-26}$	$3,234 \cdot 10^{18}$	$5,49 \cdot 10^{-30}$	$1,78 \cdot 10^{-11}$	$1,11 \cdot 10^8$	0,44
9	Марганец, Mn	$7,17 \cdot 10^{-26}$	$1,096 \cdot 10^{18}$	$4,68 \cdot 10^{-30}$	$5,13 \cdot 10^{-12}$	$3,21 \cdot 10^7$	0,38
10	Медь, Cu	$8,78 \cdot 10^{-26}$	$9,477 \cdot 10^{18}$	$5,14 \cdot 10^{-30}$	$4,87 \cdot 10^{-12}$	$3,05 \cdot 10^8$	0,37
11	Цинк, Zn	$7,03 \cdot 10^{-26}$	$4,607 \cdot 10^{19}$	$4,59 \cdot 10^{-30}$	$2,12 \cdot 10^{-11}$	$1,32 \cdot 10^9$	0,32
12	Хлориды, Cl						
13	NaCl	$1,12 \cdot 10^{-26}$	$3,675 \cdot 10^{21}$	$7,28 \cdot 10^{-31}$	$2,68 \cdot 10^{-09}$	$1,67 \cdot 10^1$	0,57
14	KCl	$1,39 \cdot 10^{-26}$	$3,264 \cdot 10^{21}$	$9,11 \cdot 10^{-31}$	$2,97 \cdot 10^{-09}$	$1,86 \cdot 10^1$	0,64
15	AgCl	$1,29 \cdot 10^{-26}$	$1,523 \cdot 10^{21}$	$8,40 \cdot 10^{-31}$	$1,28 \cdot 10^{-09}$	$8,00 \cdot 10^9$	0,27

По-иному проходит диссоциация полярных молекул. Молекулы воды, которые притянулись к концам полярных молекул, вызовут размежевание ее полюсов, поляризуются молекулы. Такая поляризация вместе с колебательным тепловым движением атомов в молекуле, а также с тепловым движением окружающих его молекул воды приводит, в конечном результате, к распаду полярной молекулы на ионы. Как и в случае растворения ионного кристалла, эти ионы гидрируются. При этом ион водорода H^+ связывается с молекулой воды в ион гидроксида H_3O^+ . Таким образом, растворение в воде хлороводорода происходит в процессе, который выражается уравнением:



Подобным образом процессы происходят и при растворении в воде других кислот, например, азотной:



Перейдя в раствор, ионы остаются связанными с молекулами воды и образуют гидраты ионов. Иначе говоря, в результате диссоциации получаются не свободные ионы, а соединения ионов с молекулами растворителя. Эти соединения называются сольватами ионов.

По данным АО „Киевводоканал” концентрация многоатомных молекул загрязняющих примесей неорганического происхождения и соединений хлора не должна превышать 60,0 мг/л. Основными примесями в питьевой воде являются: Mg, NaCl, NaBr, KCl, Cu, Zn. В таблице 7.12 представлены примеси хлоридов в питьевой воде. При загрязнении питьевой воды хлоридами электроны распределяются не симметрично и степень “ионности” связи характеризуется дипольным моментом молекулы как векторной суммы моментов отдельных пространственных конфигураций атомов в многоатомной молекуле. Суммарное усилие связей многокомпонентных примесей сведены в таблицу 7.12. Отклонение загрязняющих примесей от горизонтальной оси трубопровода изучается при прохождении электромагнитного поля, длиной $l = 0,1$ м, с расстоянием между полюсами $d = 0,02$ м, гидравлическим заряженным потоком в системе, которая отклоняется при скорости течения $V_0 = 1$ м/с и разностью потенциалов между полюсами 3000 В (таблица 7.11) и изменяется от 0,19 см - для фтора, до 3,69 см - для стронция.

Таблица 7.12

Суммарное усилие связей многокомпонентных примесей

№	Наименование примеси	Удельная поверхностная энергия Дж/м ²	Радиус иона элемента примеси, А°	Удельное усилие связи двух ионов примеси $1 \cdot 10^{-10}$ Н	Количество ионов примесей в 1 л питьевой воды, $1 \cdot 10^{20}$ шт	Суммарное усилие связи в молекулах примеси, ГН
1	Хлорид натрия, NaCl	0,310	Ka-0,98	1,6	36,12	400,93
2	Хлорид серебра, AgCl	0,230	Cl-1,81	1,00	15,23	15231
3	Хлорид калия, KCl	0,318	Ag - 1,13	1,53	28,26	430,44
4	Оксид магния, MgO	1,310	K - 1,13	3,94	8,96	353,02
5	Бромид натрия, NaBr	0,248	Mg -0,74	1,18	3,51	41,42
6	Оксид меди, CuO	0,590	O - 1,36	4,94	4,54	224,32
7	Оксид цинка, ZnO	0,185	Br - 1,96	0,59	4,44	26,19

Эти отклонения для одноатомных примесей металлов отличны одна от другой более чем на порядок. Для распространенных видов загрязнений двухатомными молекулами хлоридов они изменяются от 0,57 см - у поваренной соли, до 0,64 см - для хлорида калия. Численные значения отклонений группы одноатомных металлических примесей составляют: железа - 0,44 см; марганца - 0,38 см; меди - 0,37 см; цинка - 0,32 см. Эти размеры отклонений коррелируют с численными значениями отклонений двухатомных молекул хлоридов.

Наличие таких отклонений свидетельствует о возможности осуществления деления потока жидкости по свойствам его составных частиц. Они могут быть использованы при разработке очистителей питьевой воды в быту. Технически более сложнее применять их в промышленных производствах с большим расходом жидкости. Эти сложности устраняются увеличением энергетических характеристик установок с использованием новых физических процессов, которые в виде технического предложения излагаются в настоящем параграфе.

Данные таблицы 7.12 показывают, что суммарные усилия связей в двухатомных молекулах примесей изменяются от 26,19 ГН для окиси цинка, до 430,44 ГН для хлорида калия. Разрыв межмолекулярных связей осуществим, соответственно данным таблицы 7.13 разрядным потенциалом от 32,38 кВ для хлорида серебра, до 76,78 кВ для окиси магния.

Таблица 7.13.

Потенциал для разрыва многокомпонентных примесей

№	Наименование примеси	Удельная Поверхностная Энергия Дж/м ²	Модуль упругости в плоскости 100, ГПа	Радиус атома элемента примесей, А ⁰	Расстояние между плоскостями спайности 10 ⁻¹ , м	Потенциал внешнего источн., кВ
1	NaCl	0,310	43,7	1,40	2,81	37,38
2	AgCl	0,230	32,1	1,43	2,87	32,38
3	KCl	0,318	48,0	1,57	3,14	41,56
4	MgO	1,310	245,0	1,05	2,10	76,78
5	NaBr	0,248	34,8	1,48	2,97	34,30
6	CuO	0,590	66,7	1,28	1,81	52,61
7	ZnO	0,185	125,0	1,33	2,46	64,19
8	SiO ₂	1,350	131,0	1,17	1,35	

Это указывает на практическую возможность создания технологических процессов с использованием таких потенциалов. В практике обработки жидкостей известны средства воздействия на нее высоким напряжением между электродами. Так у электрогидратора ЕГ-200-10 для глубокого обезвоживания и обессоливания нефти на установках подготовки нефти в шифре приняты такие обозначения: ЕГ — электрогидратор, первое число — объем емкости в куб.м, второе — рабочее давление, кг/см². ЕГ-200-10 оснащен двумя электродами высокого напряжения промышленной частоты.

Под действием сил электрического поля глобулы воды в эмульсии подвергаются деформации, которая оказывает содействие эффективному разрушению эмульсий. Техническая характеристика ЕГ-200-10:

Объем аппарата, м ³	200
Масса, т	55
Рабочая среда нефть, пластовая вода, давление МПа:	
-техническое.....	0,8
-расчетное (рабочее).....	1,0
Температура рабочей среды °С.....	до 100
Температура окружающей среды, °С	от — 40 + 50
Пропускная способность, м /ч	500
Мощность трансформатора, кВА	100
Максимальное напряжение между электродами, кВ	44.

Как видим из технической характеристики, напряжение на электродах электрогидратора - 44 кВ достаточно для деления распространенных молекул загрязнения хлоридом натрия - 37,38 кВ, хлоридом калия - 41,6 кВ. Необходимый разряд-

ный потенциал из внешнего источника, приведенный в таблице 7.9., практически совпадает с данными серийных электрогидраторов. Это позволяет использовать узлы ЕГ-200-10 в конструкции фотонно-кавитационного очистителя жидкости. Одним из вариантов этого использования является подключение камеры фотонно-кавитационного очистителя жидкости к трубопроводу подачи эмульсии в ЕГ-200-10. Этим достигается предшествующая обработка жидкости со следующей ее качественной очисткой в аппарате типа ЕГ-200-10. Тем не менее, такие аппараты высокоэнергетичны с низкими экономическими показателями эксплуатации. Поэтому предложение направлено на объяснение нетрадиционного средства очистки жидкостей.

Анализ данных в предшествующих параграфах показывает:

1. Отклонение одноатомных молекул загрязнений жидкости в изученных условиях эксплуатации коррелируют и имеют почти десятикратный разброс данных. Это позволяет разрабатывать технологию очистки без строгого деления потока жидкости с одноатомными и многоатомными частицами загрязняющих примесей.

2. Усилие межмолекулярных связей двухатомных молекул загрязнений достигают нескольких сотен ГН. Преодоление таких больших усилий связи вызывает необходимость привлечения дополнительных нетрадиционных источников энергии. В качестве таких источников предлагается ГОВЭ среды и исполнительного органа машины.

3. Разрядный потенциал внешнего источника для разрыва межмолекулярных связей двухатомных молекул загрязнений достигает нескольких десятков киловольт. Снижение этого разрядного потенциала предлагается достигать прямым влиянием на связь резонансными электромагнитными (фотонными) колебаниями комбинированных внешних и внутренних источников энергии, которые повышают коэффициент полезного действия процесса очистки.

Приведенные результаты свидетельствуют о недостаточности энергии существующих внешних источников для промышленной очистки жидкостных сред. Энергия расходуется на зарядку неорганических и органических частиц загрязняющих примесей, разрыв межмолекулярных связей многоатомных молекул и отклонения их от прямолинейного следования по оси трубопровода. Кроме этого энергия расходуется на уничтожение болезнетворных бактерий и очищение воды от органических веществ. Такой перечень операций, связанный с очисткой воды, убеждает в ее сложности. Изучение технической литературы указывает на отсутствие однозначного его решения и необходимость разработки новой концепции для ее реализации. Предложенная концепция предусматривает сосредоточение комбинированных источников энергии в местах ее резонансной модуляции. Недостаток энергии пополняется использованием ГОВЭ обрабатываемого материала и повышением КПД. Комби-

нированная управляемая синэргетичность влияния на обрабатываемую среду внешних и обратимых внутренних энергий в резонансном режиме устраняет дефицит энергии, разрешает использовать существующие установки для создания нового универсального промышленного оборудования.

Внешний источник энергии излучает ударные, молекулярно-волновые, электромагнитные, пьезокерамические, кавитационные и турбулентные динамозлектрические нагрузки. Обратимая внутренняя энергия представляет собой сумму уровней энергий межмолекулярных взаимодействий и энергии теплового движения молекул жидкости. Используется она в соответствии со вторым законом термодинамики. Идея предложения состоит в том, чтобы обеспечить концентрированное, управляемое влияние вышеперечисленных видов нагрузки на частицы разнообразных материальных сред и их электромагнитные связи организованным потоком ГОВЭ фотонов, фононов и фонотонов из излучателей внешней и внутренней энергий. Такое влияние увеличивает энерговооруженность нагрузки и повышает КПД процесса очистки. Этим устраняется недостаток энергии и приближается технология обработки загрязненной жидкости к условиям реального применения ее в промышленности.

Представляет интерес изучение отклонения металлических компонентов (Na, K, Ag) хлоридов. Если на них расходуется энергия соизмеримая с энергией на отклонение таких металлов, как Al, Be, Pb, Sr, то разрыв молекул хлоридов перед их делением нецелесообразен из-за предотвращения выпадания осадков на поверхности производственных аппаратов. В этом случае одноатомные неорганические частицы загрязнений надежно выходят из потока, а болезнетворные бактерии уничтожаются и с органическими частицами отделяются из потока жидкости. Концепция предусматривает разрыв связей многоатомных молекул, которая снижает энергозатраты на их зарядку и отклонение от оси трубопровода. Чистая вода, которая несет наименьший электрический заряд в сравнении с загрязняющими частицами, движется практически прямолинейно по оси трубопровода к потребителю. Для реализации этого возникла необходимость поиска новых способов и средств его достижения.

В качестве внутренней энергии потока используется кавитация вихревого излучателя. Поток этой энергии трансформируется через пьезострикционные преобразователи в поля фотонов и фононов, превращается в фонотонное поле. Пьезострикционные преобразователи размещаются на входе и выходе из вихревого излучателя. Входной аппарат одновременно закручивает поток в излучателе, а аппарат на выходе его выпрямляет. Эти аппараты размещаются в электромагнитном поле генератора импульсных напряжений (ГИН), которое суммируется с полями фононов. В соседнем электромагнитном поле осуществляется деление многоатомных молекул на составные, их зарядка с последующим отклонением от оси трубопро-

вода. Далее направленный поток жидкости поступает в камеру деления на отдельные составные частицы и отклонение их по траекториям движения. Разделение потока обратно пропорциональный квадрату его скорости. Изменение скорости перемещения загрязненных частиц в жидкости достигается встречным направлением электромагнитного поля от искровых разрядников ГИН. Схема предложенного фотонно - кавитационного очистителя (ФКО) представленная на рис. 7.40. ФКО состоит из: насоса 1; трубопровода 2; аппарата 3, закручивающего поток жидкости; золотника 4 вихревого излучателя; вихревого излучателя 5; кавитационной камеры 6; электродов 7 разрядника кавитационной камеры; аппарата 8 поток жидкости с лопатками, которые излучают фотоны, фононы и фотонны-камеры 9 для разделения и отклонения от траектории следования легких, положительно и отрицательно заряженных частиц загрязнения воды; генератора импульсов напряжения (ГИН) 10; распределителя и регулятора импульсов напряжения II; патрубка 12, для отвода очищенной воды; патрубков 13, для отвода загрязненной воды электродов разрядников 14; разделительной камеры, постоянных магнитов 15; трубок Вентури 16 и лопаток 17, вращающих золотник 4.

Устройство работает следующим образом. От насоса 1 загрязненная жидкость поступает по трубе 2 в аппарат 3 закручивания потока. В этом аппарате направляющие лопаты изготовлены из пьезокерамического активного материала. При натекании на них жидкости, они излучают фононы, фотоны, которые частично соединяются в фотонны. Электромагнитное поле этого излучения имеет собственную частоту колебаний близкую к частоте колебаний связей частиц загрязнений с водой.

Осевая решетка закручивает поток ФКО многоатомных молекул. Благодаря этому часть частиц отделяется от воды и атомов разорванных многоатомных молекул и поступает через золотник 4 в вихревой излучатель 5. На выходе излучателя поток жидкости превращается в кавитационный вихрь. Он дополнительно дробится импульсными кавитационными струями, которые выбрасываются из трубок Вентури 16.1 Пульсация потока трубок Вентури гидравлическими ударами создается перекрытием входных отверстий у трубки вращающимся золотником излучателя 4. Необходимая скорость вращения золотника, скважность импульсов и затрата жидкости регулируются лопатками 17. Кавитационный вихрь в камере 6 взаимодействует с электромагнитным полем между разрядниками 7 и пьезокерамическими лопатками аппарата выпрямления 8 потока, которые также излучают фотоны, фононы, которые частично соединяются в фотонны.

Гидромеханика аппаратов закручивания 3 и выпрямления 8 влияет на генерирование из их лопаток потоков обратимой внутренней энергии электромагнитных полей. Эти аппараты функционируют по законам осевых решеток лопаток турбин. Входной аппарат ФКО работает по принципу статора проточной гидро-

машины. С изменением расхода жидкости в ФКИ изменяется скорость и направление его натекания на лопатки C_m . При этом создаются разнообразные режимы обтекания лопат аппаратов. С увеличением скорости натекания возникает зона интенсивных вихрей на лицевой стороне лопатки. Со снижением скорости натекания развивается вихреобразование на ее тыльной стороне. Эти вихреобразования являются дополнительным источником преобразования низкочастотной энергии потока в высокочастотную энергию электромагнит-

ных излучений из активного вещества лопаток. Происходит трансформирование энергии потока жидкости в излучение ГОВЭ активного вещества лопаток, которые закручивают и выпрямляют поток. Средняя векторная скорость потоков в аппаратах $C_m = 0,5(C_1 + C_2)$. С ее участием рассчитывается угловая скорость выхода жидкости из вихревого излучателя. Понимание физического процесса натекания жидкости на лопатки из активного вещества связывается с соотношением радиуса капли R и средней длины λ свободного пробега молекул кавитации. Отношение длины свободного пробега к диаметру капли называется числом Кнудсена $K_n = \lambda / 2RK$. Он ограничивает области, в которых процессы следует рассматривать как микроскопические или макроскопические. Условия, при которых обратимая внутренняя энергия обрабатываемой жидкости реализуется в меньшей мере протекают в макроскопических процессах. Капли жидкости или твердые частицы загрязнения отклоняются от траекторий основного потока, их следует рассматривать как индивидуальные аэрозоли под влиянием силового взаимодействия с потоком. Поскольку лопатки изготавливаются из ценного активного материала, то меры надежности их работы важны. От эрозии больше всего страдают входные края лопаток. Удар капли о твердую поверхность аналогичен гидравлическому удару. В момент столкновения с поверхностью лопатки капля изменяет

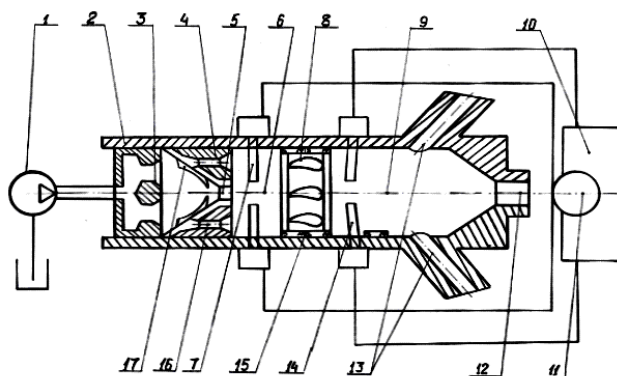


Рис.7.40. Фотонно - кавитационный очиститель
 1 – насос; 2 – трубопровод; 3 – аппарат закручивания потока; 4 – золотник; 5 – вихревой излучатель; 6 – камера разделения; 7 – разрядники; 8 – аппарат спрямления потока; 9 – камера сепарации; 10 – генератор импульсов напряжения (ГИН); 11 – регулятор импульсов напряжения; 12, 13 – патрубки; 15 – постоянный магнит; 16 – трубы Вентури; 17 – лопатки.

форму, и это влияет на продолжительность контакта. Его давление находится из уравнения:

$$P_{y\partial} = V \cdot p \cdot \varpi_{y\partial},$$

где: $V=dx/dl$ – скоростью ударной волны, возникающей при ударе кавитационных капель; ρ – плотность жидкости, кг/м³; $\omega_{y\partial}$ – начальная скорость удара капли на лопатку, м/с.

При больших скоростях (500 м/с) капли обладают большой разрушительной силой. Это указывает на возможность использования в ФКО преимущественно макроскопических процессов. Область под каплей, как под штампом, осуществляет сжатие. Полоса, которая примыкает к ней по кругу – растяжение. Последнее служит причиной образования трещин. Большинство исследователей считают, что эрозионный износ зависит от скорости соударения в степени превышающей 2...3. Опыт эксплуатации гидротурбин указывает на нецелесообразность увеличения $\omega_{y\partial} > 150$ м/с. [37] Тем не менее, конкретные условия производства могут обуславливать преобладающее применение макропроцессов. Так, например, грубая очистка жидкостей проводится с участием капельной обработки активных лопаток. В случае энергоемких технологий, как очистка воды, желательна кавитационное воздействие не только на лопатки, но и на воду. Такая разносторонность применения ГОВЭ потока жидкости и активного материала для конкретных условий физического процесса ее натекания на активные лопатки подтверждает обоснованность принципа очистки жидкости от загрязнений. Оно дает право выбора его реализации по микропроцессу с использованием энергии ударов капель по активному веществу.

Аппарат закручивания потока 3 перед входом в камеру 6 разрыхляет связи между частицами загрязненной жидкости, предопределяя их разрыв в камере 6. Аппарат выпрямления потока 8 перед входом в камеру 9 завершает разрыв связей между загрязняющими частицами жидкости. При разрыве капельной жидкости образуются пустоты - кавитационные пузырьки, их захлопывание обеспечивает частоту колебаний близкую к собственной частоте колебаний жидкости, которая оказывает содействие возникновению резонансных колебаний в системе. Кавитационные пузырьки образуются в тех местах, где давление в жидкости становится ниже критического. Одним из основных параметров, которые характеризуют кавитацию, есть число кавитации.

Скорость молекул отрицательно влияет на их отклонение от оси трубопровода и положительно – на разрыв межмолекулярных связей. Поэтому использование этой скорости в технологическом процессе должно учитываться для конкретных условий. Обратимая внутренняя энергия кавитационных пузырьков суммируется с внешней энергией электромагнитного поля ГИН. Постоянный магнит 15 оказы-

вает содействие объединению фотонов, фоонов в фотонны, увеличивая нагрузки частиц и электромагнитных полей суспензии в камере 9. Частоты колебаний ГОВЭ близки к частотам колебаний атомов и связей, которые обеспечивают их разрыв и отклонение от оси трубопровода. Нагрузка этим полем болезнетворных бактерий приводит к разрушению их оболочек и уничтожению. Жидкость, раздробленная синергетической нагрузкой внешней и внутренней ГОВЭ представляет собой в камере 6 совокупность мелких частичек, которые эффективно заряжаются электрическим полем. При выходе их из аппарата 8 выпрямленный поток жидкости с заряженными частицами загрязнения отклоняются от прямолинейного направления встречным потоком электромагнитного поля, которое создается между разрядниками 14. Вектор направленности этого поля влияет на картину траектории движения частиц. На отклонение частицы влияет и направление скорости ударной волны при искровом разряде.

Ударная волна при искровом разряде влияет и на активное вещество направляющих лопаток аппарата 8, вызывая дополнительные электромагнитные излучения. Последние активизируют разрыв многоатомных молекул и оказывают содействие искривлению траектории движения заряженных частиц. Поток, который выходит из выпрямляющего аппарата 8 содержит отрицательно заряженные частицы одноатомных молекул металлов, положительно и отрицательно заряженных неметаллов, нейтральных легких органических частиц, в том числе и безжизненных бактерий и нейтральных молекулах чистой воды. Водород воды связывает атомы кислорода. Н-связь менее стойкая, она составляет 5 ккал/моль, что более чем на порядок превышает энергию связи ван-дер-ваальсовых сил, и в то же время почти на порядок меньше химических связей. Поэтому кавитация в состоянии разорвать Н - связь с выделением кислорода, который необходим для озонирования воды. Противоположно заряженные частицы примесей смешаются к соответствующим электродам разрядника и в дальнейшем эвакуируются через патрубки 13. Очищенный поток жидкости поступает в патрубок 12.

Предложенное средство и устройство очистки жидкостей универсально. В случае очистки сточных вод от болезнетворных бактерий достаточно применять ФКО без генератора импульсных напряжений ГИН. При этом камера 9 служит для коагуляции болезнетворных бактерий и других органических веществ, которые при выходе из ФКО отфильтровываются. Для разделения стойких суспензий, эмульсий и растворов, таких как нефть с пластовыми водами, урановых руд с кислотами, серы с водой и с другими подключается искровой разрядник ГИН. В камере 9 разрядники работают под потенциалом без искрового разряда, интенсифицируя электромагнитным полем расхождение разделенных частиц обрабатываемой среды. Наиболее энергоемкий процесс очищения воды от органических и неорганических примесей выполняется с участием разрядников в камере 6. Последовательность и скважность работы каждой пары разрядников зависит от качества обраба-

тываемой жидкости и регулируется устройством 11. Кроме этого, настройка ФКО под необходимые условия работы осуществляется насосом 1 и расположением направляющих лопаток 8, 17.

Для достижения необходимых производственных граничных условий получения холодного крекинга и очистки воды разработаны следующие предложения перспективного развития и разностороннего усовершенствования выбранного научного направления очистки и переработки жидких материалов.

1. Использовать глобальные энергии системы «излучатель обрабатываемый материал», к которым относятся: Глобальная энергия электрических разрядов, воды, газа и органических соединений, выделяемая при их взаимодействии в камере подготовки, смешивания и разделения в концентрированном магнитном поле. Глобальная энергия воды и газа, подаваемых в сферу, ее закручивание и пропускание через трубку Вентури в концентрированном магнитном поле с сохранением от разрушения сферы. Глобальная энергия смеси органических соединений, воды и газа, обработанных кавитацией в концентрированном магнитном поле в сфере без повреждения сферы кавитацией. Глобальная энергия смеси перед выходом из сферы через трубку с электрическими разрядами в концентрированном магнитном поле с цепными реакциями квантовых потоков через уровни энергии гармонических осцилляторов обрабатываемого материала. Глобальная энергия завихрений и кавитирующей смеси, выделенная зарядкой её частиц при прохождении через электрическое поле устройства разделения на товарные продукты.

2. Использовать синергетическое нагружение смеси, которое создаётся в следующих условиях функционирования способа и устройства крекинга органических соединений и очистки воды: Синергетическое нагружение совместных взаимодействий искровых разрядов, концентрированного магнитного поля и обратимых внутренних энергий органических соединений, воды и газа, в период их начального смешивания. Синергетическое нагружение смеси при входе в сферу, её закруткой и прохождением через трубку Вентури и концентрированное магнитное поле, что обеспечивает вероятностное нагружение всех электромагнитных и гравитационных связей частицами потока смеси. Синергетическое нагружение смеси в сфере закрученным потоком кавитирующей смеси от внешних нагружений пьезокерамикой и трубками Вентури в концентрированном магнитном поле с учётом эффектов Зеемана, Лармора, Лоренца. Синергетическое нагружение кавитирующей смеси гидравлическими ударами перекрытием потока в трубках Вентури в концентрированном магнитном поле. Синергетическое нагружение смеси при выходе из сферы электрическими разрядами в концентрированном магнитном поле. Синергетическое нагружение кавитирующей смеси гидравлическими ударами перекрытием потока в трубках Вентури в концентрированном магнитном поле. Синергетическое нагружение кавитирующей среды разрядами Юткина,

вызывающими встречные и попутные потоки смеси в концентрированном магнитном поле. Применение закона Д.И. Менделеева о преобразовании свойства вещества вследствие изменения количества электронов на его молекулярных орбитах.

3. Использовать концентрированное магнитное поле в следующих условиях функционирования системы: Концентрированное магнитное поле в подготовке смеси к крекингу и очистке воды. Концентрированное магнитное поле в обработке смеси. Концентрированное магнитное поле в разделении смеси на товарные продукты. Разработка способа и устройства крекинга органических соединений и очистки воды позволяет разделить их смеси с использованием следующих научно-технических решений: разделение смеси на газообразные, лёгкие жидкие и тяжёлые жидкие фракции и чистую воду их многократным нагруженным различными видами энергии: механической, физической, акустической, квантовой, химической, глобальной. Они реализовались следующими конструктивными разработками с выделением глобальной энергии системы «излучатель – обрабатываемый материал»: закручиванием потока, кавитацией через трубки Вентури и стоячей волной в сфере, концентрированным магнитным полем, электрическим полем, эффектом Юткина, гидроударами вследствие перекрытия трубок Вентури и сохранением разделённых частиц от смыкания на всём пути их движения в установке. Это обеспечило расслоение смеси в электромагнитном поле на три его основные составляющие и перемещение по трубопроводу с тремя торцевыми выходами на разных уровнях к его оси.

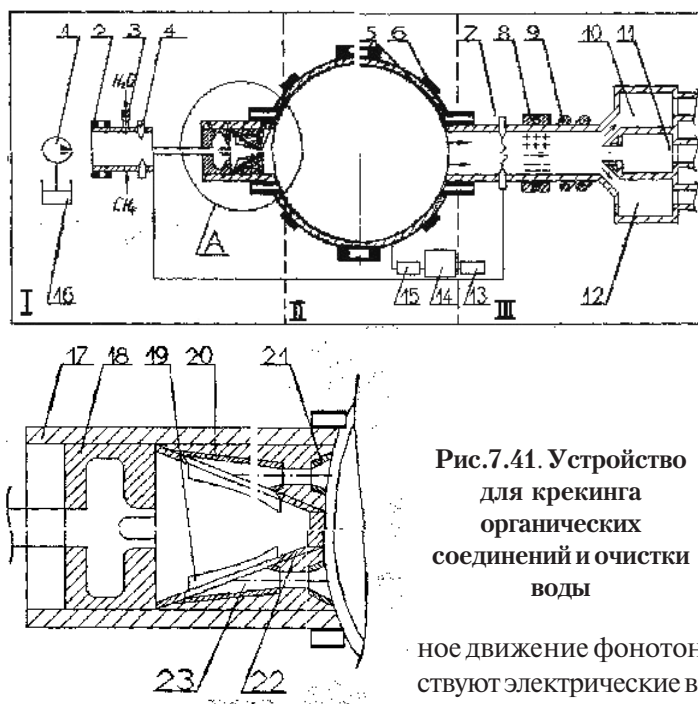
Применение перечисленных новых решений здравого смысла позволило разработать схему способа крекинга органических соединений и очистки воды, приведённую на рис. 7.42. Машина, созданная по этой схеме позволяет повысить её производительность, удельную энергоёмкость, качество и коэффициент полезного действия крекинга органических соединений и очистки воды, обеспечивая основные требования современности — энергосбережение процессов добычи и обработки материалов.

В устройство для крекинга органических соединений и очистки воды согласно рис. 7.41 входят:

I — Узел подготовки сырья: 16 — сырьевая ёмкость; 1 — насос; 2 — постоянные магниты; 3 — трубка Вентури с пьезокерамикой на входе и постоянными магнитами на выходе; 4 — разрядники; 17 — трубопровод; 18 — аппарат закручивания потока; 19 — лопасти; 22 — золотник; 20 — пьезокерамика на входе в трубку Вентури; 21 — постоянный магнит на выходе из трубки Вентури; 23 — трубка Вентури.

II — Узел обработки сырья: 5 — постоянные магниты; 6 — пьезокерамические пластины; 13 — фильтрующий узел; 14 — многоканальный генератор; 15 — блок управления и защиты.

III — Узел разделения сырья на товарные продукты: 7 — электрический разрядник; 8 — источник электрического поля; 9 — источник электромагнитного поля;



**Рис.7.41. Устройство
для крекинга
органических
соединений и очистки
воды**

10 — ёмкость для лёгких продуктов; 11 — ёмкость для бензина или очищенной воды; 12 — ёмкость для тяжёлых продуктов.

Для работы узла подготовки сырья подается в него насосом 1 из сырьевой емкости 16. Поступая в смеситель, оно попадает под воздействие концентрированного магнитного поля постоянных магнитов 2, индуцируя спонтанное движение фоновых тонов. Также на сырье действуют электрические волны, созданные разрядниками 4. Они нагружают смесь механической,

физической, химической, акустической и глобальной энергиями, разделяя её синергетически на товарные фракции. В зону подготовки вводится вода и метан для получения органических соединений и кислорода с катализаторами для очистки воды. Вода проходит через трубку Вентури 3 с закручивающим аппаратом, что позволяет получить завихренный кавитационный поток, навстречу которому подается поток метана. Таким образом, способствуя получению глобальной энергии воды, газа и органических соединений. Встречные фронты образуют синергетическое нагружение обрабатываемого материала, необходимое для резонансного разрушения электромагнитных связей между частицами с использованием глобальной энергии устройства, определяемой изменением массы электронов при их излучении и поглощении уровнями энергий гармонических осцилляторов вещества.

Направленный концентрированным магнитным полем поток органического соединения или воды далее поступает в трубопровод 6, проходит через аппарат закручивания потока 18 на лопасти 19, которые вращают золотник 22. Золотник имеет отверстия, которые периодически со входами трубок Вентури 23, создавая гидравлические удары для синергетического нагружения смеси. Трубки Вентури содержат пьезокерамические пластины, интенсифицирующие кавитационные про-

цессы. Постоянные магниты на выходе концентрируют синергетический кавитационный поток на квантово-механических контурах обрабатываемого материала, выделяя из него глобальную энергию в цепном режиме, предохраняют установку от разрушения, повышают её производительность, удельную энергоёмкость, качество и коэффициент полезного действия.

Из трубок Вентури завихренный поток фотонов поступает в узел обработки, который представляет собой сферическую ёмкость, IXскомпонованную из двух полусфер, фокусирующую энергию излучения в их центре. Они соединены между собой. Внешняя поверхность ёмкости для обработки сырья обклеена пьезокерамическими пластинами 6, излучающими высокочастотные колебания в центр сферы. На них подается напряжение от многоканального генератора 14 с фильтрующим узлом 13 и блоком управления защиты 15. Излучение пластин обеспечивает резонансное нагружение обрабатываемого материала, разрыв его электромагнитных связей и полезное использование глобальной энергии. Фотография узла обработки приведена на рис 7.42.

Завихренный поток фонотонов в зоне обработки попадает под действие концентрированного магнитного поля, созданного постоянными магнитами 5, превращая его из спонтанной в индуцированный, учитывая эффект Зеемана, Лармора, Лоренца. Обработка органического соединения синергетическим воздействием формирует встречные фронты волн на нескольких частотах со сдвигом фаз, что



Рис. 7.42. Фотография узла обработки сырья устройства для кренинга органических соединений и очистки воды

обеспечивает образование в центре ёмкости кавитационной полости. Взаимодействие между собой встречных колебаний образуют стоячие волны, длина которых равна диаметру сферы. Это создает в обрабатываемом сырье условия для выделения глобальной энергии из захлопывающихся пузырьков и электромагнитных связей обрабатываемого продукта, что снижает энергозатраты, увеличивает производительность, коэффициент полезного действия и качество продукта. Сформированный эффективными характеристиками поток направляется в концентрированном магнитном поле в зону разделения.

У смеси, выходящей из узла обработки, межмолекулярные связи разрушаются с участием дополнительной глобальной энергии в резонансном режиме цепных реакций. Постоянные магниты, расположенные у выхода узла обработки. Образуют концентрированное маг-

нитное поле, направляющие фотонны в узел разделение смеси к электрическому разряднику 7. При этом на обрабатываемый материал синергетически действует физическая, химическая, механическая и акустическая энергии в концентрированном магнитном поле. Они обеспечивают выделение из ещё необработанных частиц смеси глобальной энергии и совместно с ней производят окончательную обработку материала. Электрические разряды разрушают межмолекулярные связи, которые не разрушились в узлах подготовки и обработки материалов. Затем фотонны и частицы смеси продвигаются к источнику электрического поля 8 и под действием этого поля они заряжаются.

Заряженный поток поступает в электромагнитное поле, которое делит его на положительный, отрицательный и нейтральный потоки. Положительные частицы оседают в специально предназначенную для них емкость 12. Отрицательные частицы поднимаются и наполняют емкость для легких продуктов 10. Нейтральные частицы движутся вдоль оси в емкости для бензина или очищенной воды 11.

Научное обоснование синергетического крекинга и очистки воды глобальной энергией в концентрированном магнитном поле выполнены фундаментальными теориями КМК и интерпритационного моделирования сопротивляемости разделения исходного сырья на составляющие товарные продукты. Согласно этих теорий сопротивляемость обрабатываемого сырья разрыву по межмолекулярным связям выражается уравнением [26];

$$\sigma_p = 1.8 \cdot 10^6 \frac{mh^2v^2MR}{d^3Dp^2tT_{abc}^3} K,$$

где: m — масса молекулы вещества; h — постоянная Планка; n — частота колебания молекулы; M — масса активного вещества разрыва; R — газовая постоянная; d — расстояние между молекулами; D — постоянная ЛПД; p — импульс молекулы; t — продолжительность разрыва связей между молекулами на ЛПД; T_{abc} — абсолютная температура обрабатываемого вещества; K — коэффициент пропорциональности.

σ_p четырьмя переменными параметрами n , T_{abc} , p , t которого можно управлять синергетическим крекингом и очисткой воды с использованием глобальной энергии, концентрированного магнитного поля в резонансных условиях цепных реакций разделения органических веществ и загрязненной воды на составляющие товарной продукции. При этом свойства некоторых загрязняющих веществ целенаправленно изменяются переменной количества электронов на молекулярных орбитах в соответствии с законом Д. И. Менделеева. Примером такой очистки предварительно хлорированной воды от хлора является изменение его свойства количеством электронов на молекулярных орбитах в соответствии с теорией квантово - механических контуров А. Ф. Кичигина.

Глава 8. Энергосберегающая добыча газообразных материалов

8.1. Моделирование установки для обработки газовых скважин и пластов

При использовании ударной установки для обработки метановых скважин и продуктивных пластов ее базовая часть в рабочем положении выжимается на гидроударнике, создавая необходимое для его работоспособности усилие поджатия. Известно, что жесткости составных элементов базовой установки и рабочего оборудования на несколько порядков выше жесткости, применяемой в амортизаторе. Поэтому систему базовая установка – рабочее оборудование – рукоять ударника примем за абсолютно жесткую. Учитывая особенности конструкции, колебатель-

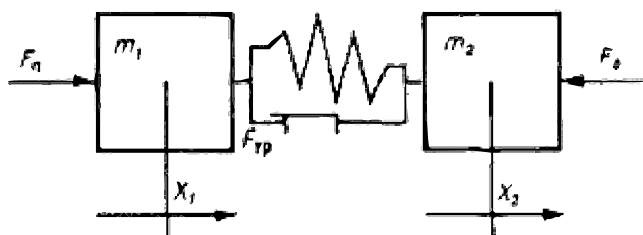


Рис. 8.1. Схема колебательной части ударной установки ГПМ-120

ную часть установки можно представить как систему (рис. 8.1) массы рукоятки ударника с приведенной к ней массой рабочего оборудования и базовой установки m_1 и массы корпуса ударника m_2 , соединенных амортизационной жесткостью и элементом сухого трения с силой $F_{тр}$.

На приведенную массу действует сила поджатия F_n , на массу корпуса ударника – сила F_d со стороны возбуждающей части установки. Отклонение приведенной массы и корпуса ударника от начального положения соответственно обозначено X_1 , X_2 . При вывешивании базовой машины ЭО-2621А сила поджатия гидроударника ГПМ-120 к скважине оказывается больше силы, действующей на корпус ударника со стороны внутренних полостей в период рабочего хода. В результате

этого корпус неподвижен в период разгона бойка до момента его удара по ПИ. С началом удара он рассоединяется с корпусом ударника. Далее под действием результирующей силы, направленной к скважине, корпус совершает посадку на ПИ и остается неподвижным до следующего удара. На участке от начала воздействия бойка до посадки его на корпус со стороны скважины действуют силы от внутренних полостей ударника и от ПИ. Момент посадки в рассматриваемой установке из-за большого усилия поджатия наступает до начала взвода бойка. Колебания силы от внутренних полостей соударения бойка до момента, предшествующего взводу относительно ее среднего значения, не превышают 15 ... 20 %. Время действия этой силы на корпус при его движении значительно меньше периода свободных колебаний масс m . Учитывая теорему о быстроизменяющемся воздействии на колебательные звенья в модели машины, спад со стороны внутренних полостей ударника будем считать постоянным. Максимальная энергия $E_{от}$ отскока бойка с инструментом составляет 15 ... 30 % энергии удара бойка. Энергия отскока бойка гасится силой, действующей на него со стороны внутренних полостей. Тогда измененная энергия отскока $E_{от.и}$ инструмента частично передается корпусу при их взаимодействии. С учетом этого между бойком и инструментом энергия отскока делится пропорционально их массам m_6 и m_n . Энергия, передаваемая корпусу от ПИ,

$$E_{от.и} = \frac{4m_2m_n^2}{(m_n + m_2)^2(m_6 + m_n)} E_{от} . \quad (8.1)$$

Средняя деформация амортизатора:

$$X_{от} = \frac{E_{от.и}}{F_{II} + m_2 g \sin \alpha_n} , \quad (8.2)$$

где: α_n — угол между осью ударника и горизонтальной осью.

Для машины ЭО-2621А с гидромолотом ГПМ-120 средняя деформация не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ м. Поскольку амортизатор обладает виброизолирующими свойствами, амплитуда установившихся колебаний не превышает 10^{-3} м. Внедрение инструмента кратно максимальному прогибу W_{max} контура нагружаемого материала:

$$X_{BH} = n_p W_{max} , \quad (8.3)$$

где: n_p — число элементарных актов разрыва материала.

Из условия пилообразной зависимости между внедрением инструмента и силой реакции на нем находим пределы энергии, которая не реализуется в процессе нагружения и переходит в энергию отскока:

$$0 \leq E_{от} \leq \frac{E_y}{n_p + 1}, \quad (8.4)$$

где: E_y — энергия удара.

Для оценки $E_{от}$ определим W_{max} и $X_{вн}$. Максимальный прогиб при нагружении упругой жидкости (нефти или воды)

$$W_{max} = \Gamma_{\kappa} \sqrt{\frac{2\sigma_p}{E}},$$

где: Γ_{κ} — радиус площадки, контактирующей с материалом; σ_p , E — соответственно его предел прочности на растяжение и модуль упругости первого рода.

С учетом того, что для многих материалов отношение $\frac{\sigma_p}{E}$ находится в пределах $0,5 \cdot 10^{-4} \dots 2,5 \cdot 10^{-4}$, для инструмента, используемого в ГПМ — 120, максимальный прогиб массива не превысит $1,0 \cdot 10^{-3} \dots 0,4 \cdot 10^{-3}$ м. Часть энергии удара (20...30 %) переходит в энергию отскока при малых внедрениях. При этом в машине ЭО — 2621А с гидромолотом ГПМ — 120 возникают колебания на порядок меньше, чем при максимальном внедрении инструмента. Поэтому явлением отскока ПИ от скважины данной машины пренебрегаем. Окончательно модель воздействия ударной машины ЭО — 2621А с гидромолотом ГПМ — 120 представляем так: от начала цикла t_n до взаимодействия бойка с ПИ, t_y — силой F_a , уравнивающей силу, действующую со стороны амортизатора; от момента t_y до момента t_n посадки корпуса на инструмент — силой $F_{в.п.}$ со стороны внутренних полостей постоянной величины; при посадке — силой вида дельта-функции Дирака с импульсом $m_2 x_2(t_n)$; после посадки до момента t_{κ} окончания цикла — силой F_a ;

$$F_B = \begin{cases} F_a & \text{при } t_n \leq t < t_y; \\ F_{в.п.} & \text{при } t_y \leq t < t_n; \\ \delta(t - t_n) & \text{при } t = t_n; \\ F_a & \text{при } t_n \leq t < t_{\kappa}. \end{cases}$$

Для колебательной части ударной машины при равенстве силы поджатия начальной силе, действующей со стороны амортизатора, уравнение движения приведенной массы и массы корпуса имеет вид:

$$m_1 x_1'' = c(x_2 - x_1) + F_{тр} \operatorname{sgn}(x_2' - x_1'); \quad (8.5)$$

$$m_2 x_2'' = F_B - c(x_2 - x_1) - F_{тр} \operatorname{sgn}(x_2' - x_1'). \quad (8.6)$$

Введем безразмерные переменные, определяемые как:

$$\nu = \frac{x_1 \omega^2}{g}; \quad \tau = \frac{x_2 \omega^2}{g}, \quad (8.7)$$

где: ν, τ — безразмерные переменные, описывающие движение соответственно приведенной массе и массе корпуса; $\omega = \sqrt{\frac{c}{m_1}}$ — частота свободных колебаний приведенной массы на амортизаторе. Находим взаимосвязь вторых производных переменных x_1 и x_2 по времени производными переменных ν, τ по φ :

$$x_1'' = \frac{d^2 \nu g \omega^2}{\omega^2 d\varphi^2} = \nu'' g; \quad x_2'' = \tau'' g. \quad (8.8)$$

Подставив (8.8) в (8.5) и (8.6), получим:

$$\nu'' = \tau - \nu + X_{TP} \operatorname{sgn}(\tau' - \nu'); \quad (8.9)$$

$$\tau'' = \gamma(\nu - \tau) + X_{\Pi} - X_B - \gamma X_{TP} \operatorname{sgn}(\tau' - \nu') + \sin \alpha_n, \quad (8.10)$$

$$\text{где: } X_{TP} = \frac{F_{TP}}{m_1 g}; \quad \gamma = \frac{m_1}{m_2}; \quad X_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{m_2 g}.$$

Движение корпуса ударника разбиваем на три участка: от начала цикла до начала удара бойка по ПИ; от начала удара до посадки корпуса ударника на ПИ; от посадки до окончания цикла. На первом участке $\tau = 0$, на третьем $\tau = \tau_{B, \Pi}$. На втором участке движение корпуса ударника представим как равноускоренное:

$$\tau'' = \frac{1}{2} \tau_c'' \varphi^2, \quad (8.11)$$

где: τ_c'' — среднее ускорение корпуса, равное полусумме ускорений в начале удара τ_B'' и в момент, непосредственно предшествующий посадке корпуса:

$$\tau_c'' = \frac{\tau_B'' + \tau_{\Pi}''}{2}. \quad (8.12)$$

Изменение ν за время посадки корпуса значительно меньше других переменных, входящих в (8.9). Скорость τ' при посадке резко возрастает и член $\operatorname{sgn}(\tau' - \nu')$ имеет знак плюс. Поэтому ускорение принимаем равным:

$$\tau_c'' = \gamma \nu_B - \frac{1}{2} \gamma \tau_{B, \Pi} + X_{\Pi} - X_B - \gamma X_{TP} + \sin \alpha_n. \quad (8.13)$$

Уравнение движения корпуса во время посадки:

$$\tau = \frac{1}{2} \left(\gamma \nu_B - \frac{1}{2} \gamma \tau_{B, \Pi} + X_{\Pi} - X_B - \gamma X_{TP} + \sin \alpha_n \right) \varphi^2 \quad (8.14)$$

Закон изменения движения корпуса во время посадки находим, решая (8.9):

$$v = (v_B - \chi_{TP}) \cos \varphi + v'_B \sin \varphi + \chi_{TP} + \tau_c'' (\cos \varphi + \frac{\varphi^2}{2} - 1) . \quad (8.15)$$

Для условий функционирования рассматриваемой машины: силы поджатия 25 ... 22,5 кН, силы со стороны внутренних полостей ударника в период посадки корпуса 9 кН, масса 1500 кг, время цикла гидроударника 0,33 с, фаза цикла 4,4 рад и внедрение рабочего инструмента $2 \cdot 10^{-2}$ м – фаза $\Delta\varphi_n$ за время посадки не превышает 0,35 рад. Членом при v в (8.15), составляющим менее $6 \cdot 10^{-4}$ пренебрегаем. Тогда:

$$v = (v_B - \chi_{TP}) \cos \varphi + v'_B \sin \varphi + \chi_{TP} . \quad (8.16)$$

Определяем закон изменения скорости приведенной массы при посадке корпуса:

$$v' = -(v_B - \chi_{TP}) \sin \varphi + v_B \cos \varphi + \tau_c (\varphi - \sin \varphi) . \quad (8.17)$$

Пренебрегая членами выше пятого порядка малости относительно φ , получаем:

$$v' = -(v_B - \chi_{TP}) \sin \varphi + v_B \cos \varphi + \frac{\tau_c \varphi^3}{6} . \quad (8.18)$$

Обобщенная координата ψ определится в рассматриваемом случае как $\psi = \tau - v$. Учитывая продвижение корпуса ударника за цикл внедрения ПИ, находим $\psi_n = -v_n$; $\psi_k = \tau_{вн} - v_k$; $\psi'_k = -v'_k$. При неподвижном корпусе $\varphi'' = 0$ и изменение v' ш определяется уравнением:

$$\psi'' + \psi = -\chi_{тз} \operatorname{sgn} \psi' ; \quad (8.19)$$

$$\psi'' = (\psi_n + \chi_{тз} \operatorname{sgn} \psi) \cos \varphi + \psi'_n = \sin \varphi - \chi_{тз} \operatorname{sgn} \psi' . \quad (8.20)$$

Таким образом, при неподвижном корпусе изображающая точка на фазовой плоскости $[\psi, \psi']$ при $\psi' > 0$ движется по окружности с центром $[-\chi_{тз}, 0]$ при $\psi' < 0$ с центром $[\chi_{тз}, 0]$. В случае посадки корпуса на инструмент изменение ш описывается уравнением:

$$\psi = \frac{1}{2} \tau_c'' \varphi^2 + (\psi_B + \chi_{TP}) \cos \varphi + \psi'_B \sin \varphi - \chi_{TP} . \quad (8.21)$$

С использованием метода припасовывания определены периодические режимы колебаний.

Амплитуда колебаний:

$$\psi_m = \begin{cases} \frac{\tau_{B.П}}{2 \sin \frac{\varphi_u}{2}} \quad \text{при } \varphi \leq \pi; \\ \frac{\tau_{B.П}}{2 \sin \frac{\varphi_u}{2}} \sqrt{1 - \left(\frac{4\chi_{TP}}{\tau_{B.П}} \cos \frac{\varphi_u}{2} \right)^2} \quad \text{при } \varphi_u > \pi. \end{cases} \quad (8.22)$$

Фаза в установившемся режиме:

$$\varphi_u = \begin{cases} \pi + \frac{\varphi_u}{2} - \varphi_B - \Delta\varphi_{П.У} \quad \text{при } \varphi_u \leq \pi \\ 3\frac{\pi}{2} + \varphi_\varphi - \varphi_B - \Delta\varphi_{П.У} \quad \text{при } \varphi_u > \pi \end{cases}, \quad (8.23)$$

где:

$$\varphi_B = \omega t_B; \quad \varphi_B = \arctg \left(\frac{-\sin \varphi_u}{\frac{1 - \cos \varphi_u - 4\chi_{TP}}{\psi_{П} - 2\chi_{TP}}} \right). \quad (8.24)$$

Фаза посадки в установившемся режиме

$$\Delta\varphi_{П.У} = \begin{cases} \sqrt{\frac{2\tau_{B.П}}{\chi_{П} - \chi_B - 2\gamma\chi_{TP} + \sin \varphi_H}} \quad \text{при } \varphi_u \leq \pi \\ \sqrt{\frac{2\tau_{B.П}}{\gamma(\psi_m - 2\chi_{TP}) \cos \varphi_\phi - \frac{1}{2}\gamma\tau_{B.П} + \chi_{П} - \chi_B - \sin \alpha_H}} \quad \text{при } \varphi_u > \pi \end{cases}. \quad (8.25)$$

Исследование формирования колебательного процесса гидроударной машины позволило получить зависимости для расчета динамических режимов функционирования. Зависимости (8.22) - (8.25) являются исходными для изучения амплитудно-фазочастотных характеристик гидроударной машины. В начальный момент изображающая точка $[\psi_n, \psi'_n]$ находится в положении T_1 (рис. 8.2). До взаимодействия бойка с ПИ она движется по окружности с центром в точке $[\chi_{TP}, 0]$. Положение точки T_2 в момент удара определится углом поворота радиуса-вектора, равным φ_B . На участке посадки корпуса ударника на ПИ преобразование фазовых координат складывается из поворота радиуса-вектора относительно точки $[-\chi_{TP}, 0]$ на угол $\Delta\varphi_B$ в положение T_3 и увеличения координаты ψ на $\tau_{B.П}$, положение T_4 . После

посадки изображающая точка поворачивается на угол $(\varphi_{\Pi} - \varphi_{\Pi}')$: при отрицательном $-\psi''$ относительно точки $[x_{TP}, 0]$, при положительном ψ' — относительно точки $[-x_{TP}, 0]$, [26].

$$\varphi_{\Pi} = \pi + \omega t_{\Pi} \left(\frac{1}{2} - \frac{t_B}{t_{\Pi}} - \frac{2}{3} K_P \sqrt{\chi_{B,\Pi}} \right), \quad (8.26)$$

где: $K_P = t_{\Pi}^{-1} \sqrt{\frac{2}{\chi_{\Pi} - \chi_B - 2\gamma\chi_{TP} + \sin \alpha_H}}$, для гидроударника ГПМ – 120 $K_P = 0,46 \text{ м}^{-2}$

Действие динамических нагрузок характеризуется максимальным значением *коэффициента динамичности*, равным отношению максимальной нагрузки на рабочее оборудование к номинальной. Вибрационная характеристика рабочего места оператора самоходной машины определяется согласно ГОСТ 12.4.025-76 и регламентируется по ГОСТ 12.1.012-78. Коэффициент динамичности гидроударника ГПМ-120

$$K_D = \frac{F_{\Pi} c x + F_{TP}}{F_{\Pi}}. \quad (8.27)$$

Подставив в (8.27) x , F_{Π} , F_{TP} получим:

$$K_D = 1 + \frac{\gamma}{\chi_{\Pi}} (\chi_{TP} - \psi'). \quad (8.28)$$

Значение K_D будет максимальным при минимальном значении ψ , т.е. в месте пересечения траектории изображающей точки на фазовой плоскости $[\psi, \psi']$ с частью $O\psi$, лежащей влево $[x_{TP}, 0]$.

Определим максимальное значение динамичности $K_{D,y}$ в установившемся режиме. Если $\psi > 0$, то пересечение оси $O\psi$ произойдет при свободных колебаниях приведенной массы и в этом случае $\psi_{\min} = -\psi_m + x_{TP}$. При $\psi'_B < 0$ пересечение оси $O\psi$ происходит на участке посадки корпуса. Анализ экстремума функции ψ на участке его значение показывает, что его значение совпадает со значением ψ_B . Следовательно, при $\psi' < 0$ $\psi_{\min} = \psi_m \sin(\varphi_y + \varphi_B) + x_p$. Когда $\psi_B > 0$, то $\varphi_y + \varphi_B >$, а при $\psi_B < 0$ $\varphi_y + \varphi_B < \frac{3\pi}{2}$. Для машины ЭО-2621А с гидроударником ГПМ – 120 среднее значение фазы цикла, при которой $\varphi_y + \varphi_B = \frac{3\pi}{2}$, составило 3.34 рад. Таким образом, коэффициент динамичности в установившемся режиме:

$$K_{D,y} = \begin{cases} 1 + \frac{\gamma}{\chi_{\Pi}} \psi_m \sin(\varphi_y + \varphi_B) & \text{при } \varphi_y \leq 3,34 \text{ рад;} \\ 1 + \frac{\gamma}{\chi_{\Pi}} \psi_m & \text{при } \varphi_y > 3,34 \text{ рад.} \end{cases} \quad (8.29)$$

При максимальном значении коэффициента динамичности $K_{\text{дmax}}$ в переходном процессе изображающие точки не выходят из пределов круга, ограниченного окружностью $\bar{\psi}^2 + \bar{\sigma}^2 = \bar{\psi}_H^2 + \bar{\sigma}_H^2$. Найдем $K_{\text{дmax}}$ для наиболее жестких условий возникновения пиковых амплитуд колебаний в переходном процессе, когда изображающая точка поворачивается по вышеупомянутой окружности.

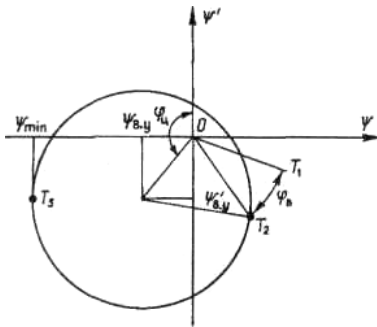


Рис. 8.2. Геометрическое место следования точки $[\psi_B, \psi'_B]$ при $\varphi_{\text{ц}} < 3,34$ рад

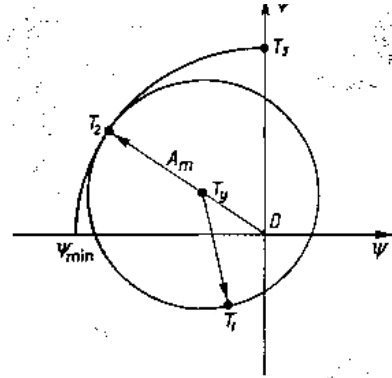


Рис. 8.3. Геометрическое место следования точки $[\psi_H, \psi'_H]$ при $\varphi_{\text{ц}} < 3,34$ рад

Рассмотрим геометрическое следование места точки $[\psi_B, \psi'_B]$ при $\varphi_{\text{ц}} < 3,34$ рад (рис. 8.2). Так как начало цикла выбрано условно, то точка $[\psi_B, \psi'_B]$ перемещается в фазовой плоскости так же, как и точка $[\psi_H, \psi'_H]$, т. е. в рассматриваемом случае — по окружности. Начальный запуск ударного механизма произошел в точке T_1 , имеющей координаты $[\psi_H, \psi'_H]$. Положение точки T_2 соответствует координатам $[\psi_B, \psi'_B]$ для первого цикла. Наибольшее значение коэффициента динамичности будет в точке, имеющей минимальное значение ψ_B , т. е. в точке T_3 . Учитывая, что от T_1 до T_2 происходят гармонические колебания, получаем:

$$\psi_{\min} = \psi_B - \left\{ [(\psi_H + \chi_{TP} \operatorname{sgn} \psi') \cos \varphi_B + \psi'_H \sin \varphi_B - \chi_{TP} \operatorname{sgn} \psi' - \psi_{B,y}]^2 + [(\psi_H + \chi_{TP} \operatorname{sgn} \psi') \sin \varphi_B + \psi'_H \cos \varphi_B - \psi'_{B,y}]^2 \right\}^{0,5}. \quad (8.30)$$

При $\varphi_{\text{ц}} > 3,34$ рад (рис. 8.3) первоначальный запуск происходит в точке T_1 , затем точка поворачивается по окружности относительно T_y . В этом случае максимальное значение коэффициента динамичности будет при запуске ударного механизма с максимальной амплитудой, т. е. с положения точки T_2 , которая образуется от пересечения прямой:

$$\psi_2 = \frac{\psi'_y \psi_y}{\psi'_y} \text{ с окружностью } \psi^2 + (\psi')^2 = (\psi_H - \psi_y)^2 + (\psi'_H - \psi'_y)^2.$$

$$\text{Для данного случая } \psi_{\min} = -A_y - \sqrt{(\psi_H - \psi_y)^2 + (\psi'_H - \psi'_y)^2}. \quad (8.31)$$

Выражения (8.30) и (8.31) являются исходными для определения $K_{\text{дmax}}$ при запуске ударного механизма в произвольных начальных условиях приведенной массы. Обычно первоначальный запуск происходит в районе нулевых начальных условий. Найдем $K_{\text{дmax}}$ для такого случая. Подставляя (8.30) и (8.31) в (8.28), получаем

$$K_{\text{дmax}} = \begin{cases} 1 + \frac{\gamma}{\chi_{\Pi}} \left[\sqrt{\psi_m^2 + \psi_m \chi_{TP} \sin(\varphi_y + \varphi_B)} - \psi_m \sin(\varphi_y + \varphi_B) \right] & \text{при } \varphi_{\Pi} \leq 3,34 \text{ рад}; \\ 1 + \frac{\gamma}{\chi_{\Pi}} \left\{ (\psi_m - 2\chi_{TP})^2 - 2(\psi_m - 2\chi_{TP}) \times \right. & \text{при } \varphi_{\Pi} > 3,34 \text{ рад}; \\ \left. \times \sin \varphi_y \chi_{TP} \right\}^{0,5} + \chi_{TP} \} & \end{cases} \quad (8.32)$$

На рис. 8.4 показана зависимость коэффициента динамичности от фазы цикла в установившемся режиме и при запуске ударного механизма с нулевых начальных условий при заглублении ПИ за цикл, равный $2 \cdot 10^{-2}$ м. При $\varphi_{\Pi} \rightarrow 0$ коэффициент динамичности приближается к единице. При $\varphi_{\Pi} \rightarrow 2\pi$ $K_{\text{д}} \rightarrow \infty$. На участке $\varphi_{\Pi} \leq 3,34$ рад превышение $K_{\text{дmax}}$ над единицей более чем в два раза выше, чем превышение над единицей $K_{\text{д.у}}$. При $\varphi_{\Pi} > 3,34$ рад $K_{\text{дmax}} - 1 = 2(K_{\text{д.у}} - 1)$.

Рассмотрим спектр виброскорости приведенной массы в установившемся режиме. Зависимость скорости y от положения φ ударного механизма для такого режима показана на рис. 8.5. От начала цикла до начала взаимодействия бойка с ПИ и от посадки корпуса ударника на ПИ до окончания цикла происходят свободные колебания приведенной массы. В период посадки корпуса ударника от $\varphi_{\text{в}}$ до φ_{Π} происходит быстрое изменение ускорения y'' . В мо-

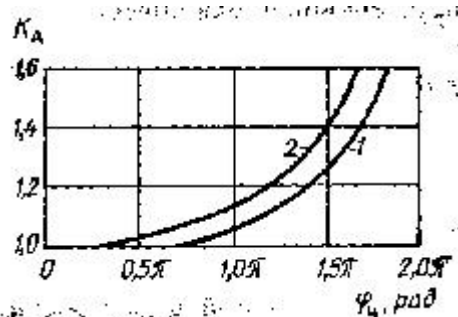


Рис.8.4. Зависимость коэффициента динамичности от фазы цикла в установившемся (1) и переходном (2) режимах



Рис.8.5. Зависимость виброскорости приведенной массы от положения ударного механизма в установившемся режиме

мент φ_0 ускорение меняет знак. Произведем разложение скорости v' в ряд Фурье. Из-за малой длительности участка посадки приближенно считаем функцию v' от φ на участках от $\varphi_{в1}$ до $\varphi_{п1}$ и от $\varphi_{в2}$ до $\varphi_{п2}$ синусоидальной. Амплитуда функции v' совпадает с амплитудой функции ψ . Определяем коэффициенты ряда Фурье:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{\tau_{в.п}}{\varphi_{\varphi}}; \quad a = \frac{\tau_{в.п}}{\varphi_{\varphi}} \frac{1}{1 - \left(\frac{2\pi n}{\varphi_{\varphi}} \right)^2}; \quad \varphi_n = 0,$$

где: n – номер гармоники.

Учитывая, что за начало интегрирования была взята точка φ_d , получаем спектр v' в установившемся режиме:

$$v'_y = \frac{\tau_{в.п}}{\varphi_{\varphi}} + \frac{\tau_{в.п}}{\varphi_{\varphi}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{1 - \left(\frac{2\pi n}{\varphi_{\varphi}} \right)^2} \cos \frac{2\pi n(\varphi - \varphi_d)}{\varphi_{\varphi}}. \quad (8.33)$$

В размерных переменных (8.33) примет вид:

$$X'_y = \frac{X_{в.п}}{t_{\varphi}} + \frac{X_{в.п}}{t_{\varphi}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{1 - \left(\frac{2\pi n}{\omega t_{\varphi}} \right)^2} \cos \frac{2\pi n(\omega t - \varphi_d)}{\omega t_{\varphi}}. \quad (8.34)$$

При неустановившемся колебательном процессе в спектре виброскорости присутствует составляющая с частотой свободных колебаний и начальной амплитудой:

$$v'_{с.н.} = \sqrt{(\psi_H - \psi_Y)^2 + (\psi'_H - \psi'_Y)^2}. \quad (8.35)$$

Когда начальный запуск ударного механизма происходит при нулевых начальных условиях приведенной массы, амплитуда виброскорости на частоте свободных колебаний $v'_{с.н.0} = A_Y$, или в размерных переменных:

$$X'_{с.н.0} = \frac{X_{в.п}}{t_{\varphi}} \frac{\omega t_{\varphi}}{2 \sin \frac{\omega t_{\varphi}}{2}}. \quad (8.36)$$

Предельно допустимые значения средней квадратической виброскорости нормируются ГОСТ 12.1.012-78. Для синусоидальных функций среднеквадратичес-

кое значение в 1,41 раза меньше амплитудного. С учетом этого на рис. 8.6 изображена зависимость средней квадратической виброскорости приведенной массы гидроударника ГПМ-120 от фазы цикла при продвижении ПИ за цикл на $2 \cdot 10^{-2}$ м. На ось $\varphi_{\text{ц}}$ нанесены октавные полосы, в которых пунктиром обозначены предельно

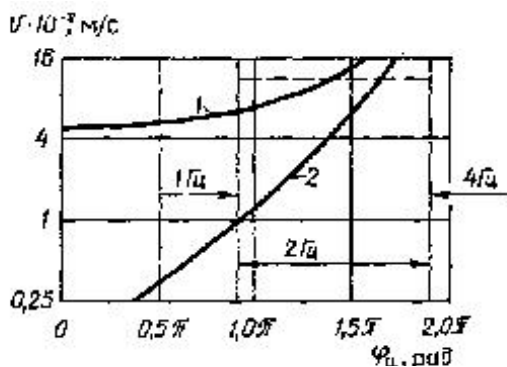


Рис.8.6. Зависимость средней квадратической виброскорости от фазы цикла:
1 – свободные колебания; 2 – первая гармоника вынужденных колебаний

допустимые уровни виброскорости. При этом учитывалось, что виброскорость в кабине оператора снижена в число раз, равное отношению расстояний от оси поворота машины до оси гидро молота и от оси поворота до кабины. Минимум этого отношения для машины ЭО-2621А с гидроударником ГПМ-120 равен трем, поэтому значения, нормируемые государственным стандартом, увеличены в три раза. Уровень первой гармоники вынужденных колебаний меньше предельно допустимого значения при $\varphi_{\text{ц}} < 1,65\pi$. Уровень виброскорости свободных колебаний не превышает предельно допустимого значения при $\varphi_{\text{ц}} < 1,65\pi$. Интенсивность второй и более высокого порядка гармоник вынужденных колебаний незначительна. Выполненное моделирование обеспечивает проектирование и создание машин для предварительной дегазации угольных пластов с поверхности месторождений. Существуют, разрабатываются и другие способы добычи метана, в том числе и из действующих шахт. Рассмотрим их в следующем параграфе.

8.2. Состояние добычи метана из угольных пластов

Вначале для извлечения метана создавали разрежение в устьях герметично закрытых стволов, а в 1975г. впервые начали добывать метан из скважин, пробуренных с поверхности. На шахте «Новиль» пробурили четыре скважины до выработанных пространств на глубине 110-250 м и обсадили трубами с внутренним диаметром 95-115 мм. Затем через них подвергли гидрорасчленению окружающие породы под давлением 2,5 МПа. Скважинами под избыточным давлением дрени-

ровались 14 куб. м/мин газовой смеси с содержанием метана 74—77 %, а под разрежением 17,3 кПа - до 27 куб.м/мин. Общий объём каптированного метана за 1979 - 1980 гг. составил 14 млн куб. м.

Такой же способ применили на шахте «Брюэ» №5, пробуриив две скважины до пересечения выработанного пространства на глубине 210 и 220 м. По каждой из них под избыточным давлением 2 кПа дренировались 4,4 - 4,8 куб.м/мин газовой смеси с содержанием метана 66—69 %. После подключения скважин к вакуум-насосу суммарный дебит газа достиг 40 куб.м/мин. Всего извлекали 15 млн куб.м метана со средним расходом 18,5 куб.м/мин. Зарубежный опыт показывает, что каптаж из выработанных пространств закрытых шахт и отработанных горизонтов позволяет предотвращать проникновение газа на поверхность и в действующие выработки, а также получать доход от утилизации извлекаемого метана.

Ликвидация некоторых шахт предусматривается без затопления выработок, что способствует накоплению в них метана и открывает возможность его добычи и утилизации. Целесообразность утилизации зависит от дебита метана, который может быть извлечён после завершения ликвидационных работ. Изменения метановыделения от времени, прошедшего после прекращения добычи угля, для семи шахт Донбасса (табл. 8.1) показывает, что в течение одного года метановыделение может уменьшиться на 62% (шахта «Кондратьевская»).

Дальнейшее снижение дебита происходит медленно: за три года оно сократилось на 77% (шахта «Кочегарка»). Ликвидация шахты занимает несколько лет, только засыпка стволов может продолжаться более года, поэтому принимают, что метановыделение из закрытой шахты не превышает 30% перед прекращением очистных работ. На территории Донбасса были проведены исследования, эксперименты и выполнены в необходимом объёме опытно-промышленные работы по созданию техногенной и предварительной технологии дегазации угольных месторождений, позволяющих перейти к решению трёх важных задач:

1. Улучшение экологической безопасности, в том числе создание безопасных по газовому фактору условий для добычи угля, и снижение загрязнения окружающей среды за счёт уменьшения выброса в атмосферу метана — одного из газов, участвующих в создании парникового эффекта.

2. Повышение конкурентоспособности угля за счёт снижения его себестоимости вследствие увеличения нагрузки на очистной забой при выемке подвергнутого предварительной дегазации пласта.

3. Получение дополнительного энергетического и технологического сырья, каковым является метан угольных месторождений.

Таблица 8.1.

Зависимость метановыделения от времени

Шахты	Продолжительность наблюдений, лет	Дебит метана, куб.м/мин		К/Н
		В последний год добычи угля, Н	В конце наблюдений, К	
«Красногвардейская»	5	41,6	8,3	0,2
«Красный Октябрь»	6	26,9	9,9	0,37
«Им. Орджоникидзе»	4	14,7	4,2	0,29
«Кочегарка»	7	37,1	8,4	0,23
«Кондратьевская»	2	21,0	7,0	0,33

В основном предусматривается применять технологию предварительной дегазации угольной толщи, имеющую преимущества, так как скважины не привязаны к действующим горным работам, расширяется свобода маневра существующей инфраструктуры. По расчётам стоимость метана в зависимости от объёма поставки должна находиться в пределах 50–70 долларов за 1000 м³, что ниже цены реализации природного газа в Украине.

Для претворения широкомасштабного проекта в жизнь необходимо создание платежеспособного рынка сбыта, за счёт которого можно покрывать затраты на дегазацию и наращивать объёмы извлекаемого газа, обеспечения большого объёма бурения техникой, трубами и буровыми инструментами и освоения современной технологии гидроразрыва угольных пластов и пород. Потребуется оборудование более современных конструкций, его изготовление может быть организовано на украинских машиностроительных заводах. Реализация проекта позволит создать до 15 тыс. рабочих мест в основных угледобывающих районах Донецкой области. Кроме того, снижение выбросов в атмосферу вентиляционными системами шахт, применение метана в качестве моторного топлива и для выработки электроэнергии оздоравливают окружающую среду и это будет вкладом Украины в разрешение проблемы экологической безопасности.

Изучение условий внезапного выброса и, следовательно, разработка методов прогноза и предупреждения этого явления требует знаний особенностей процесса выделения газа. Надо иметь сведения о количестве метана, заключенном в угольном пласте. В процессе углефикации при образовании каменных углей в качестве побочных продуктов выделяется метан, углекислый газ, водород и тяжёлые углеводороды. Течение реакции при углефикации определяется в первую очередь преобразованием обратимой внутренней энергии пласта во времени. Влияние горного давления незначительно. При выделении газов статическое давление препятствует развитию реакции. Если направление и сила горного давления меняются, как это происходит в случае тектонических перемещений, то в результате облегчения

отвода образующихся продуктов реакции, а так же вследствие устранения условий, тормозящих углефикацию ускоряют темп работ.

Количество образованного газа вычислялось на основе изменения элементного состава углей в связи со степенью их углефикации. Результаты, полученные различными авторами, представлены на рис.8.7. Из рисунка видно, что при углефикации длиннопламенного угля в антрацит выделяется в среднем до 200 м^3 метана на тонну угля при 0°С и 760 мм рт.ст.

Образование коксующихся углей средних стадий метаморфизма, это количество снижается до $60 - 70 \text{ м}^3/\text{т}$. По данным Г.Д. Лидина, количество метана при

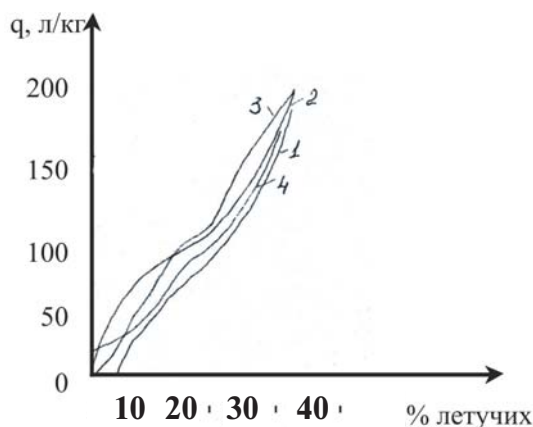


Рис 8.7. Количество метана, которое может образоваться в процессе углефикации на кг исходного материала при выходе летучих компонентов 40%: 1 — по Г. Юнггену и И. Карвейлю; 2 — по К. Паттейскому; 3 — по Р.Мотту; 4— по В. Луспенскому

переходе от бурых углей к длиннопламенным достигает $30-40 \text{ м}^3/\text{т}$, к жирным углям — $70 - 80$, к тощим — $120 - 150$, и к полуантрацитам — до $200 \text{ м}^3/\text{т}$. В. Видаль считает, что для антрацитов оно составляет до $1300 \text{ м}^3/\text{т}$. Наиболее полно изучена газоносность Донецкого бассейна, который по метаноносности угольных пластов можно разделить на три области. В первой области метаноносных угольных пластов, пространственно совпадающей с распространением каменных углей и слабометаморфизованных антрацитов, ниже зоны газового выветривания происходит увеличение метаноносности угольных пластов с глубиной их залегания по гиперболической зависимости, причём величина газоносности угольных пластов

определяется степенью метаморфизма углей. Вторая область неметаноносных угольных пластов, пространственно совпадающая с распространением высокометаморфизованных антрацитов, характеризуется практически отсутствием метана в угольных пластах до глубины $1500-1600 \text{ м}$. В пределах третьей, переходной области, протянувшейся узкой полосой между отмеченными выше областями, соответствующей распространению в верхней части разреза слабометаморфизованных антрацитов, сменяющимися на больших глубинах высокометаморфизованными антрацитами, метаноносность угольных пластов по мере углубления горных работ вначале возрастает до $40 \text{ м}^3/\text{т}$, а затем с дальнейшим углублением снижается до $5-10 \text{ м}^3/\text{т}$,

и менее; газ в угленосных отложениях находится не только в угольных пластах, но и во вмещающих породах. В отличие от угольных пластов метан в породах в основном находится в свободном состоянии и занимает поровое пространство, трещины и различного вида полости. Кроме того, метан может находиться в сорбированном состоянии в рассеянном углестом веществе пород. Общее количество метана, заключенного в породах, велико и может превышать его запасы в угольных пластах.

О больших местных скоплениях газа свидетельствуют многочисленные суфлярные выделения газа и внезапные прорывы газа. Суфлярные выделения представляют собой истечение метана, скопившегося в трещинах и полостях в толще угля или боковых пород, через видимые на глаз трещины и отверстия. Суфляры чаще всего встречаются в местах, подверженных тектоническим процессам, и бывают весьма различными как по длительности существования, так и по дебиту. Некоторые из них действуют всего лишь несколько дней или месяцев, другие — годы и даже десятки лет. Дебит же колеблется от нескольких кубических метров до нескольких тысяч кубических метров в сутки. Известен огромный суфляр, встреченный при проходке ствола в Англии на угольной шахте «Гаарвуд». Выведенный на поверхность и зажженный газ горел девять лет столбом такой высоты, что пламя было видно в окружности радиусом свыше 15 км. В Донбассе мощные суфляры неоднократно встречались в Донецко-Макеевском и Боково-Хрустальском районах. На шахте «Прасковическая» в стволе шахты действовал в течение двух лет суфляр, который вначале давал около 2000 – 3000 м³ газа в сутки и всего выделил около 1 млн. м³ метана. В шахте «Центральная» в наклонном квершлага при пересечении пластов «Уразовские» начал действовать суфляр, который давал в начальный период до 20000 м³ чистого метана в сутки. Спустя 400 дней его дебит держался на уровне 8000 – 8500 м³ метана в сутки. Суфляр за время своего существования дал свыше 6 млн м³ метана.

Среднее место между суфлярами и собственно внезапными выбросами газа занимают случаи бурного выделения метана в шахтные выработки из кровли или почвы некоторых угольных пластов. При выпучивании кровли или почвы они лопаются и из образовавшихся трещин происходит выделение газа в огромных количествах. Такого рода явления наблюдались в некоторых шахтах Англии, Франции. Подобные явления были так же и в Донбассе. Кроме того, наблюдаются многочисленные газопроявления и при геологоразведочных работах. Интенсивность и продолжительность газовыделения из буровых скважин различная — от простого побулькивания газа через промывочную жидкость до фонтанирования в течение месяцев и даже нескольких лет.

Образование газов в угольных месторождениях имело место на всех стадиях углефикации и метаморфизма угля. Процесс углеобразования протекал от моло-

дых образований — торфов - до каменных углей и антрацитов. Углефикационные газы на протяжении многих миллионов лет возникали в качестве побочных продуктов при образовании каменных углей из гетерогенной смеси растительного и животного происхождений. В качестве растительного исходного материала служили преимущественно целлюлоза и лигнин, сопровождающиеся небольшим количеством восков и смол. Из этой органической смеси в течение весьма значительных периодов времени выделялись газы, причём всё время происходило обогащение углеродом твёрдого остатка угля. Эту сложную, состоящую из многих отдельных реакций, общую реакцию и называют углефикацией. Скорость углефикации определяется не только химической скоростью реакции, сколько физическим её торможением. Теплоту активации углефикации определяли равной 8,4 ккал/моль. Эта сравнительно малая величина определяется влиянием диффузии на ход реакции, активация диффузии поглощала 3,9 - 10,6 ккал/моль. Часть газа диффундирует в атмосферу, другая часть растворяется в воде, остается в породе, сорбирует углем. Некоторое количество газа теряется в результате вторичных реакций, которые происходят при его взаимодействии реакционноспособными группами угля и породы.

Г. Юнтген и И. Карвейль применили метод физической деструкции для получения сведений о характере и количестве газов, образующихся при углефикации. Так как образование угля протекало в периоды от 100 до 300 млн лет и в опытах эти периоды воспроизвести невозможно, авторы компенсировали влияние времени усилением условий реакций, в частности посредством повышения температуры возможны процессы пиролиза угля, то вместе со снижением температуры были использованы реакции угля с жидкими органическими веществами. Искусственная углефикация при умеренных температурах выделяет из угля значительное количество углеводородных газов, главным образом метана, если устранить торможение диффузии, определяющей скорость реакции. Так при углефикации торфа в бурый уголь при давлении до 600 ат. в выделяющемся газе содержалось 70-80%СН и 8-11% СО.

В действующей «Временной инструкции по определению и прогнозу газоносности / метаноносности / угольных пластов при проведении геологоразведочных работ» принята следующая квалификация газовых зон: азотно-углекислая: содержание азота 0-50%, углекислого газа 100-50%, метан отсутствует; углекисло-азотная: содержание азота 100-60%, углекислого газа 0-60%, метан отсутствует; метано-азотная: содержание азота 100-60%, метана 0-50%, углекислого газа 0-20%; азотно-метановая: содержание азота 0-50%, метана 50-80%, углекислого газа 0-20%; метановая: содержание азота 0-20%, метана 80-100%, углекислого газа 0-5%. Глубина залегания верхней границы метановой зоны в Донецком бассейне изменяет-

ся в пределах от 60 до 800 м и более. Различная деметанизация угольных пластов обусловлена разнообразными геологическими условиями: тектоническим строением; пликтивной и дизъюктивной дислоцированностью, степенью метаморфизма и угленосностью, гидрогеологическими условиями, историей формирования угленосной толщи, рельефом местности. При определении верхней границы выбросов по пласту необходимо учитывать, разрабатывался пласт другими шахтами на этом участке на более верхних горизонтах и были ли там выбросы. В случаях, когда на более верхних горизонтах происходили выбросы, но пласт отрабатывался другой шахтой, верхняя граница выбросов для данного участка должна быть принята по последней.

Угли пластов h_7 , h_8 , h_9 , разрабатываемые шахтами в Донецко-Макеевском районе, представлены различными марками от жирных на западе до тощих на востоке. Анализ изменения глубины верхней границы выбросов для пластов h_7 , h_8 , h_{10} от изменения их марочного состава показывает, что в среднем глубина верхней границы выбросов уменьшается от жирных к тощим. Однако на шахтах, отрабатывающих угли одних и тех же марок, глубина верхней границы выбросов изменяется; в довольно широких пределах, причем на тех шахтах, где положение верхней границы метановой зоны гипсометрически выше, меньше и глубина верхней границы выбросов. Статистический анализ связи между положением верхней границы выбросов и глубиной верхней границы выбросов и глубиной верхней границы метановой зоны для углей марок «Ж», «К», «ОС». Результаты анализа дали следующие зависимости: для углей марки «Ж» $H_1 = 322 + 1,006H_2$ при коэффициенте корреляции 0,43, где H_1 — глубина верхней границы выбросов, м; H_2 — глубина верхней границы метановой зоны, м. Для углей марки «К» $H_1 = 327 + 0,915H_2$ при $r = 0,77$. Для углей марки «ОС» $H_1 = 239 + 1,296H_2$ при $r = 0,85$.

Увеличение коэффициента корреляции для углей большего метаморфизма, указывает на более тесную связь между положением верхней границы метановых зон и верхней границы выбросов для более метаморфизованных углей. Зависимости верхней границы внезапных выбросов угля и газа от верхней границы зоны метановых газов даёт возможность предварительно определять прогнозную глубину появления выбросов угля и газа на шахтах, отрабатывающих высокоопасный угольный пласт на небольших глубинах. Необходимо учитывать так же и тот факт, что в случае надработки или подработки пласта, т.е. при обработке его в защищённых условиях, выбросы угля и газа могут отсутствовать на защищенных участках, что будет влиять на изменение положения верхней границы выбросов. Метаносность угольных пластов возрастает с глубиной от верхней границы метановой зоны по гиперболической кривой. Характер возрастания метаносности полностью соответствует кривым потенциальной газоносности, определённым по сорб-

ционной способности и пористости углей. Метаноносность возрастает от верхней границы метановой зоны до определённой глубины и дальнейший характер её роста носит плавный характер. Глубина эта определяется степенью метаморфизма углей и с увеличением последней уменьшается. Для углей марок «Ж», «К», «ОС», «ПА», метаноносность приближается к максимальной на глубине 200 - 800 м ниже зоны газового выветривания. Приведённые данные о положении верхней границы выбросов могут быть использованы при разработке добычи метана из угольных пластов.

При традиционном извлечении метана из угольных пластов перед осуществлением традиционных горных работ проводятся операции по гидроразрыву пород. Проектирование и выполнение гидроразрыва угольного пласта сопровождается высоким давлением, сложной системой образующихся трещин, рассеиванием расклинивающего материала, а также поступлением в скважину после отработки мельчайших частичек угля. Первоначально весь получаемый из таких пластов газ сжигали в факеле или выпускали в атмосферу. Однако в угольных пластах содержатся огромные запасы метана, которые могут быть полезно использованы. Добыча метана из угольных пластов рассматривается как новый и значительный энергетический резерв. Метан, добываемый из угольных пластов, становится основным источником природного газа и основным энергетическим источником в бассейнах.

По механическим свойствам уголь значительно отличается от обычных горных пород. Последние чаще всего имеют значение модуля Юнга от 21 до 41 ГПа. В лабораторных условиях получают значения модуля Юнга от 690 до 6900 МПа. Низкие значения модуля Юнга способствуют при гидроразрыве угольных пластов образованию широких трещин. В горных выработках в результате гидроразрыва образуются сложные системы трещин, формируется множество трещин в самых разных направлениях, что обусловлено существованием кливажных систем и его стратиграфией по отношению к окружающим осадочным породам.

Механизмы добычи газа из угольного и традиционных газоносных пластов различаются. В угольном пласте свободный газ, в основном, адсорбирован на поверхности угля. Для добычи такого газа в кливажной системе должно быть снижено давление, чтобы произошла десорбция газа с поверхности угля и в дальнейшем освободившийся газ диффундировал через скелет угольного пласта. Поскольку газ добывается преимущественно за счет десорбции, со временем темп его притока из угольного пласта увеличится. Максимальный дебит скважины будет достигнут через несколько месяцев или даже лет.

Для рентабельной добычи газа из угольного пласта необходимо выполнить следующие условия. Угольный пласт должен характеризоваться развитой кливажностью, чтобы иметь достаточно высокую проницаемость; содержание газа в уголь-

ном пласте должно быть достаточным, чтобы этот источник газа имело смысл разрабатывать; кливажная система должна быть связана со стволом скважины. Если хотя бы один критерий не выполняется, то не удаётся добиться рентабельной добычи газа из этого источника. Не смотря на некоторую сложность трещиноватых песчаников или карбонатов с угольными пластами, рассматривая их как коллекторы газа, существует и различие. Последнее связано с различными значениями эффективного модуля упругости. В условиях проявления низкого модуля Юнга в угольных пластах создать и расклинить трещины большой протяжённости трудно. Инициировать длинные трещины разрыва в угольных пластах сложно; короткие трещины могут не обеспечить достаточно высокого притока газа в скважины.

К основным коллекторным свойствам, определяющим добычу газа из угольного пласта, относятся следующие: содержание адсорбированного газа; динамика его десорбции; размер эффективной площади дренирования; пластовое давление; проницаемость, объём порового пространства и водонасыщенность кливажной системы. Содержание адсорбированного газа определяется в лабораторных условиях. Проба бурового шлама или образец керна помещается в герметичную ёмкость и измеряется объём выделившегося метана. В этих исследованиях определяется количество газа в керне после его герметизации. Необходимо также оценить «потери» газа за время между обработкой керна и его герметизацией. Изотерма адсорбции (десорбции) получена, например, при исследовании в лаборатории образца угля, отобранного из скважины в бассейне Пайсенс. В исследовании использовался образец угля диаметром 6,4 мм, массой 41,13 кг, при содержании влаги 11,2 % и температуре 75° С. Данные о десорбции согласуются с кривой, рассчитанной по уравнению изотермы Ленгмюра: для процесса десорбции входящие в уравнение коэффициенты k и $V_{\max}$ равны 0,3437 МПа и 15,34 м³/т соответственно. Механические свойства пласта представлены образцами угля и песчаника, отобранных из пласта «Фрутленд» в восточной части бассейна Сан-Хуан. Коэффициент Пуассона для этих образцов измеряли в двух направлениях: перпендикулярно (v_1) и параллельно (V_2) плоскости напластования (табл. 8.2).

При проектировании и оценке угольного пласта следует учитывать возможность образования вблизи ствола скважины сложной системы трещин. Высокие давления обработки угольных пластов объясняются образованием множества трещин около ствола скважины и извилистой траекторией движения жидкости из ствола скважины к основной трещине распространяющейся в пласте. Другие эффекты, такие, как зоны сдвига, пороупругие давления, эффективные модули Юнга и присутствие мелких частичек, угля, также способствуют повышению давления нагнетания жидкости разрыва в процессе обработки пласта.

Таблица 8.2.

Свойства пород в условиях действия трехмерных нагрузок

Образец	Глубина отбора, м	Пористость, %	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона		Описание образца	Плотность г/см ³
				V ₁	V ₂		
RLB3766-1	1148,6	1,8	44,1	0,12	0,12	Песчаник	2,59
RLB3766-2	1148,6	3,6	37,2	0,12	0,01	Песчаник	2,55
RLB3771	1150,2	8,4	19,3	0,20	0,18	Уголь/песчаник	1,91
RLB3775-1	1151,4	6,3	26,2	0,02	0,02	Песчаник	2,46
RLB3775-2	1151,4	7,2	29,0	0,07	0,02	Песчаник	2,45
RLB3781	1153,2	6,8	22,8	0,08	0,13	Песчаник	2,44
RLB3785-1	1154,4	3,6	4,6	0,27	0,52	Уголь	1,49
RLB3785-2	1154,4	<1	6,9	0,40	0,34	Уголь	1,56
RLB3786	1154,7	<1	5,0	0,29	0,43	Уголь	1,41
RLB3790-1	1156,0	<1	18,6	0,20	0,09	Песчаник/уголь	2,50
RLB3790-2	1156,0	1,3	20,7	0,44	0,18	Песчаник/уголь	2,24

Для того чтобы правильно спроектировать операции по закачиванию скважины и гидроразрыву пласта, необходимо получить ответ на несколько вопросов. Какие трещины могут образовываться при гидроразрыве: вертикальные, горизонтальные или смешанные? Как много угольных прослоев присутствует и как они могут быть размещены? Сохранится ли образующаяся трещина в пределах угольной толщи или выйдет за её граничные слои? Ответы на все эти вопросы составляют основу для определения сценария обработки и её проектирования. С учётом существующих в настоящее время экономических ограничений угольный пласт должен быть проницаемым с хорошо развитой кливажной системой. В подобных пластах трудность будет создавать утечка жидкости разрыва. Для обработки угольных пластов требуется поддерживать высокие скорости закачки, применять закупоривающие добавки для регулирования утечек и нагнетать значительные объёмы жидкости разрыва.

Основным недостатком рассмотренных способов добычи метана из угольных пластов является незначительная доля участия в ней глобальной энергии внешних нагрузений и полезного использования ГОВЭ обрабатываемого пласта. Для устранения этого недостатка нами предложено отделять метан от пород и угля в условиях действующих шахт квантово – механическим синергетическим их нагруже-

нием в концентрированном магнитном поле. Обоснование этого способа приводится в следующих параграфах главы.

8.3. Добыча метана из угольных месторождений

Метод добычи метана из угольных месторождений базируется на раздельной добыче метана и газа на эксплуатируемых горных предприятиях, что позволит повысить безопасность эксплуатации шахт, улучшить условия работы и сохранить экологию окружающей среды. Суть метода заключается в разрыве адгезионных связей метана с углём и породой синэнергетическим резонансированием излучаемых глобальных энергий устройства с электромагнитными связями метана с углём, и породой. Устройство концентрирует потоки энергий его составляющих излучателей во времени и пространстве метаносодержащего массива. В результате этого возникает трансформирование внешних кинетических энергий излучателей в синэнергетические потоки фотонов на связи метана с частицами пласта.

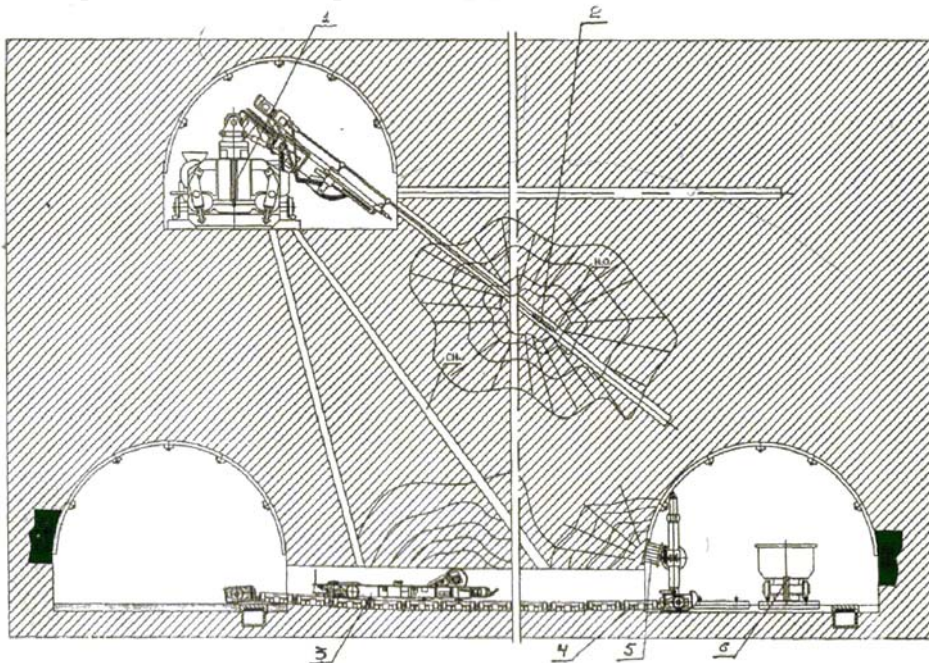


Рис.8.8. Схема расположения комплекса:

- 1 – буропогрузочная машина 2ПНБ-2Б; 2 – глубинный генератор;
3 – комбайн очистной; 4 – скребковый конвейер СП-202;
5 – квантово-механический генератор; 6 – вагонетка ВГ – 2,0

Процесс извлечения метана проводится комплексом (рис.8.8), в состав которого входят: очистной комбайн 3, буропогрузочная машина с размещённым на ней глубинным генератором 2, квантово-механический генератор 5, активные скважины с концентраторами энергии, скважины для откачивания метана и устройствами для его транспортирования на поверхность. Комплекс оборудования размещается на двух горизонтах: на одном из горизонтов проводятся очистные работы с помощью комбайна 1ГШ-68, скребкового конвейера СП-202, и крепления которое находится в лаве; в конвейерном штреке находится ленточный конвейер 1Л-80; в бортовом штреке — квантово - механческий генератор и устройство для его транспортирования; на втором горизонте, над протяжённостью очистных работ проходится полевой штрек, предназначенный непосредственно для откачивания и транспортировки метана. Полевой штрек проводится с помощью буропогрузочной машины 2ПНБ-2Б, с использованием невзрывного метода проходки.

После прохождения полевого штрека, в пласт под разными углами пробуриваются скважины, часть которых служит для откачивания метана, а другие для непосредственной работы глубинного генератора. Синхронизация работы генератора, очистительного комбайна и квантово-механического генератора приводит к синэнергетическому резонированию энергий, направленных на разрыв адгезионных связей метана в пласте. Они перемещаются по простиранию угольного пласта на управляемых расстояниях между собою, обеспечивая оптимальное синэнергетическое действие излучаемых ими энергий в толщу массива. В этом случае используется синэнергетическое действие потоков энергии от всех трёх излучателей с пластом угля, его подошвой и кровлей. В методе извлечения метана из угольных шахт предлагается неизвестное раньше явление образования комбинированных резонансных ударных дополнительных волн в неоднородных средах. В условиях комбинированного взаимодействия синэнергетической нагрузки с потенциальной энергией связей активного вещества вершин дефектностей (микротрещин) породной среды, его электромагнитные и гравитационные связи излучают потоки ГОВЭ вещества, которая резонансно суммируется с внешней энергией.

Принцип работы глубинного генератора изложен в главе 7. Он представляет собой квантово-механическое устройство, работа которого базируется на объединении нескольких видов энергии, для синэнергетического действия на адгезионные связи метана с породой для их разрыва и освобождения энергий межмолекулярных связей. Конструкция генератора приведена в главе 7, где раскрыты физические основы его работы. Генератор крепится на буровой штанге, которая размещена на буропогрузочной машине 2ПНБ-2Б (рис. 8.8), с которой и проводится управление глубинным генератором. Общий вид глубинного квантово-механического генератора с синэнергетическим воздействием на энергетические связи материалов через скважину с концентраторами энергии в массиве угольного пласта показан на рис.8.9.



Рис. 8.9. Глубинный квантово-механический генератор. Фотография в масштабе спичечной коробки, расположенной около генератора

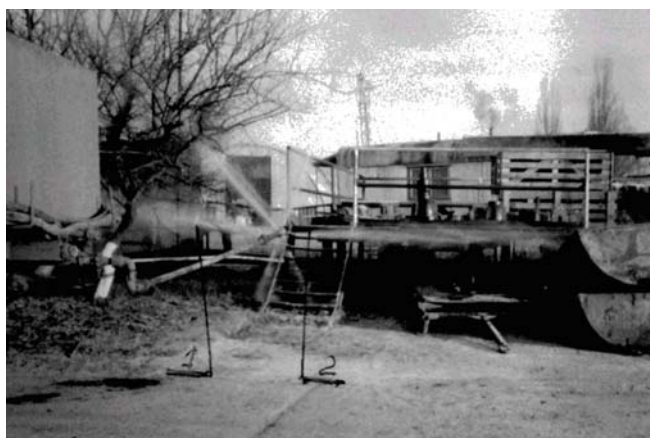


Рис. 8.10 Фотография части испытательного стенда глубинного квантово-механического генератора: 1 – импульсная кавитационная струя; 2 – глубинный генератор

Фрагмент стендовых испытаний генератора приведён на рис. 8.10, где зафиксирован момент импульсного истечения четырех кавитирующих струй. В скважине эти струи воздействуют через столб кавитирующей воды и концентраторы напряжений на породный массив. Кавитация столба воды вызвана гироскопической трансформацией энергии ударов в фотонные потоки, направленные в массив пьезоэлементами и концентрированным магнитным полем. Испытания глубинного квантово-механического генератора проводились на специальном стенде, обеспечивающем давление жидкости до 250 атм. Результаты испытаний подтвердили расчётные параметры генератора и его работоспособность в стендовых условиях в соответствии с актом стендо-

вых испытаний, оформленным представителями «Укрнафта», НТУУ (КПИ) и научно-технического предприятия «Лана».

Квантово-механический генератор (КМГ) (рис. 8.11) состоит из таких основных узлов: плиты-излучателя, концентратора магнитного поля и гидропневмодарника. Плита-излучатель 3 состоит из металлической плиты, на которой установлены пьезоэлементы. Пьезоэлементы создают дифракционную решетку. Концентраторы магнитного поля собраны из восьми постоянных магнитов, по два на каждый стержень КМГ. Между магнитами установлены магнитные кольца для

концентрации магнитного поля. Гидропневмоударник состоит из корпуса 1, в котором находится поршень, он соединён резьбой с бойком 2.

Гидропневмоударник работает следующим образом. Жидкость под давлением от гидронасоса по напорному шлангу поступает в гидропневмоударник через напорный штуцер. Под действием предварительно сжатого воздуха, который находится в пневмоаккумуляторе поршень и боек бьют по плите-излучателю и дифракционной решетке с концентраторами магнитного поля 4. При ударе золотник подаётся вперёд и разделяет напорную и сливную полости гидропневмоударника. Происходит взвод поршня вместе с бойком. При прохождении определённого расстояния поршнем и зарядке аккумулятора открывается канал золотника и жидкость из напорной полости попадает в управляющую полость золотника, после чего он начинает взводиться вместе с поршнем. Как только золотник открывает сообщение между напорной и сливной полостями гидропневмоударника, жидкость направляется в сливную полость и происходит гидроудар. Под действием гидроудара и давления аккумулятора поршень разгоняется вместе с бойком для удара, а в это время золотник по инерции некоторое время движется в противоположную сторону. При ударе по плите-излучателю бойка и поршня они останавливаются, а золотник продолжает двигаться по инерции, и благодаря пружине в ту же сторону, перекрывая канал, соединяющий напорную и сливную полости гидропневмоударника. Начинается взвод бойка и колебания плиты-излучателя с дифракционной решеткой. Результат воздействия колебаниями плиты без дифракционной решётки на угольный массив показан на рис. 8.12. Применение дифракционной решетки значительно увеличивает глубину проникновения дефектности в массив. Деформация угольного массива квантово-механическим генератором с дифракционной решёткой молекулами гармонических осцилляторов угольного массива в резонансном режиме под воздействием концентрированного магнитного поля осуществляется плитой-излучателем (рис. 8.13).

Для определения количества пьезоэлементов в плите-излучателе с дифракционной решеткой рассчитаем оптимальное расстояние между пьезоэлементами для

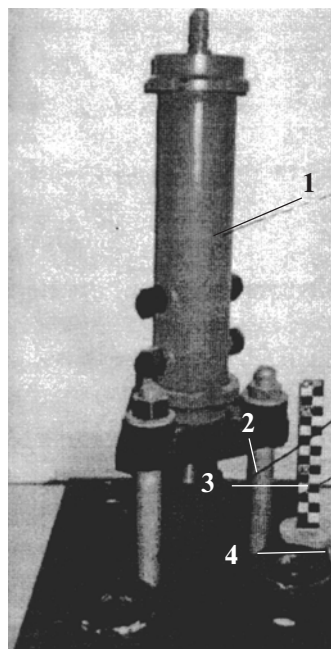


Рис.8.11. Квантово-механический генератор глобальной энергии: 1 – гидромолот; 2 – боек; 3 – плита-излучатель с дифракционной решеткой; 4 – постоянные магниты для создания концентрированного поля в угольном массиве

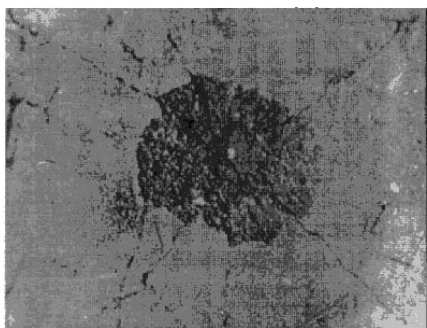


Рис.8.12. Деформация угольного массива квантово-механическим генератором без дифракционной решетки

создания наиболее чёткой картины дифракции Фраунгофера и достижения наибольшего дифракционного максимума. Каждый пьезоэлемент при возбуждении колебаний по толщине излучает фотонные потоки. Концентрированное магнитное поле от постоянных магнитов, расположенных по бокам плиты-излучателя, направляет синергетический поток энергии на квантово-механические контуры (КМК). Благодаря магнитам поток фотонов распространяется перпендикулярно плите-излучателю и на выходе из нее образуется дифракция Фраунгофера (рис.8.14).

Длина волны в пьезокерамике определяется из условия:

$$\lambda = \frac{C_{зв}}{f_p} = \frac{320}{30 \cdot 10^3} = 0,0106 \text{ м} = 10,6 \text{ мм},$$

где: $C_{зв}$ — скорость звука (320 м/с), f_p — частота собственных колебаний пластины (20-40 кГц).

Условие, при котором наблюдается дифракция Фраунгофера:

$$\frac{b^2}{l \cdot \lambda} \gg 1,$$

где: l — расстояние, на котором наблюдаем дифракцию ($l = 10$ мм)

$$\frac{30^2}{10,6 \cdot 10} = 8,5 \gg 1.$$

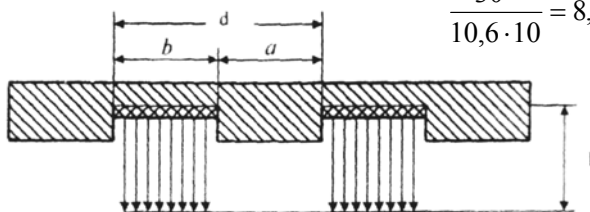


Рис.8.13. Плита-излучатель с пьезоэлементами дифракционной решетки: d — период дифракционной решетки, мм; b — диаметр пьезоэлемента (равный 30 мм); a — расстояние между пьезоэлементами; l — расстояние между пьезоэлементами до точки наблюдения дифракции Фраунгофера

Условие, при котором наблюдается дифракция Фраунгофера выполняется.

Для определения расстояния между пьезокерамическими элементами используют понятие волнового числа R . Для наблюдения главного дифракционного максимума необходимо выполнение условия $R < 1$:

$$P = \frac{\sqrt{l \cdot \lambda}}{a} = \frac{\sqrt{10 \cdot 10,6}}{12} = 0,86(1),$$

где: a – расстояние между пьезоэлементами ($a = 10$ мм).

$$d = a + b = 12 + 30 = 42 \text{ мм.}$$

Для расчета интенсивности главного максимума дифракционного излучателя рассмотрим квадрат состоящий из вещества. Сторона квадрата равняется шести молекулам и расстояниям между ними. Считается, что для эффективного разру-

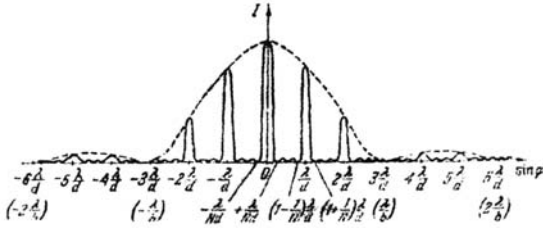


Рис. 8.14. Дифракция Фраунгофера

шения материала необходимо разрушить 3 межмолекулярные связи внутри материала. Для этого нужно 3 электрона. То есть в поверхность с 6 молекулами должно попасть 3 электрона, чтобы образовать микротрещину. Тогда дифракционная решетка излучателя должна направлять

на породу значительно больше электронов, их число и энергия рассчитываются по неравенству Чебышева:

$$P = (|v - m| > a) \left(\frac{\sigma_1}{Na^2} \right),$$

где: v – вероятность нахождения электрона в интервале $m \pm a$, m – математическое ожидание; a – среднеквадратическое отклонение.

Количество электронов N , необходимых для разрыва электромагнитных связей между молекулами выбранной площадки находим из решения: $m = 3,5$; $\alpha = 0,5$. Среднеквадратическое ожидание:

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{5} (0,5^2 + 1,5^2 + 2,5^2) \cdot 2 = 2,917,$$

$$P = (\%v - m\%) > a = 1 - 0,9 = 0,1,$$

$$N = \frac{2,917}{0,5^2 \cdot 0,1} = 117.$$

Интенсивность главного максимума:

$$I = 117''6,6256''10^{10} = 7,75''10^{-22} \text{ Дж}''\text{с.}$$

Находим, на сколько площадь излучения больше чем площадь молекулярной площадки:

$$\frac{S}{S_6} = \frac{500 \cdot 500}{(5 \cdot 7,75 \cdot 10^{-7})^2} = 1,7 \cdot 10^{18} \text{ мм}.$$

Интенсивность главного максимума дифракционного излучателя:

$$I_{\text{м}} = I \frac{S}{S} = 7,75 \cdot 10^{-22} \cdot 1,7 \cdot 10^{18} = 13,2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

8.4. Самоорганизованные метановые реакторы

К нетрадиционным видам энергии относится метан газогидратных месторождений. Их количество превышает в сотни раз запасы всех эксплуатируемых залежей энергетического топлива. Однако способы их добычи еще не освоены. Поэтому уместно в монографии дать предложения для освоения этих богатств. Так добыча метана из газогидратных отложений на дне моря достигается снижением давления для подъема газогидратов с последующим отводом их избыточным давлением. Перепад давления осуществляется даровой энергией морских волн, циклично поднимающих и опускающих колокол. При его подъеме создается разрежение, а при опускании — избыточное давление, которое транспортирует газ и подает его в устройство для превращения в синтез-газ.

На рис.8.15. показан общий вид предлагаемой установки; на рис.8.16. — устройство для получения синтез-газа ГОВЭ. Установка состоит из неподвижной и подвижной частей. Неподвижная

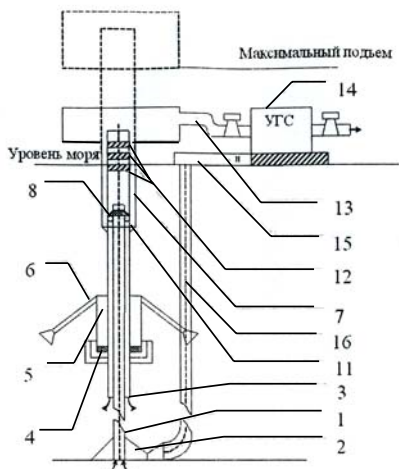


Рис.8.15. Схема устройства добычи газогидрата

часть содержит трубу 1 для забора и подъема воды, диаметр которой равен 100 мм, длина до 200м. На трубе 1 коаксиально закреплена труба 3 для отвода отработанной воды, нижний конец которой снабжен кольцевым клапаном 4 с положительной плавучестью. Ее диаметр равен 150 мм, длина — 100м. На трубе 3 коаксиально закреплена поплавковая труба 5, удерживающая на плавучести неподвижную часть установки. К трубе 5 прикреплены в трех точках тросы 6, предотвращающих всплытие стационарной части выше расчетного уровня. Труба 16

предназначена для подачи в газогидратную залежь теплой поверхностной морской воды или концентрата морской воды.

Подвижная часть установки содержит трубу 7, установленную на верхней части трубы 3 с возможностью возвратно-поступательного перемещения в верхних катках 8. В верхней части трубы 3 установлен клапан 11 отрицательной плавучести. Внутри колокола размещена система сепарации газа в виде сепарирующих сеток 12, полость колокола сообщена с газоотводной системой 13. Верхняя часть трубы 1 снабжена ограничителем, предотвращающим соскальзывание подвижной части с трубы 1. Через 13 газ поступает в устройство 14 для получения синтез-газа (бензина).

На рис. 8.16. представлен общий вид устройства получения синтез - газа ГОВЭ. Устройство состоит из ферромагнитного трубчатого корпуса, набора кольцевых

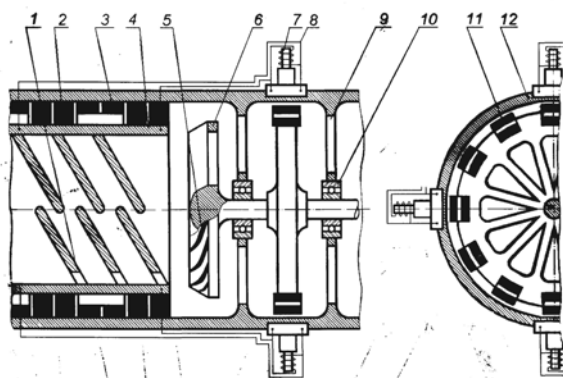


Рис. 8.16. Устройство для получения синтез-газа ГОВЭ

магнитов и пьезокерамической трубы, которая в свою очередь состоит из двух частей. В первой части находятся пьезокерамические пластины, расположенные под углом к трубе и перекрывающие друг друга. В пластинах типа 1 возле корпуса трубы сделаны отверстия. Все устройство обдувается воздухом. На входе установки находятся кольцевые магниты малого и большого диаметров 2, 3, которые созда-

ют магнитное поле. Внутренний диаметр магнитов 3 больше, чем внутренний диаметр магнитов 2. Таким образом, происходит периодическое сужение и расширение потоков газа, что интенсифицирует механизм магнитной конденсации метана на пьезокерамических пластинах 1 и трубе 4. Этому способствуют стальные кольца, размещенные между магнитами одинакового внутреннего диаметра. В результате образуется внутреннее сконцентрированное магнитное поле. Конденсируемая жидкость стекает по пластинам 1 через отверстия в них к началу трубы, где по отводу стекает в бак. Непроконденсированный метан проходит во вторую часть установки, действуя на лопатки 5, вращает турбину 6, закрепленную при помощи стоек 9 и подшипников 10. Вращаясь, турбина создает переменное магнитное поле, которое индуцирует в катушке электрический ток. Ток течет по проводам 8, соединенным с пьезокерамической трубой 4 и магнитострикционным стержнем 7 и питает их. На выходе установки метан взаимодействует с кислородом.

Работает установка следующим образом. Ее устанавливают вертикально в толще морской воды с помощью поплавковой трубы 5 и закрепляют с помощью якорей 6 таким образом, чтобы уровень поверхности моря примерно совпадал с верхним торцом трубы 1. По трубе 1 в газогидратную залежь подают теплую поверхностную морскую воду (18 - 21°С) или концентрат морской воды. Газогидраты при 8-10°С плавятся в пористой среде газогидратной залежи; газ - метан - отбирается из-под газосборного колпака 2, установленного непосредственно на дне моря, и по трубе 1 выводится на поверхность.

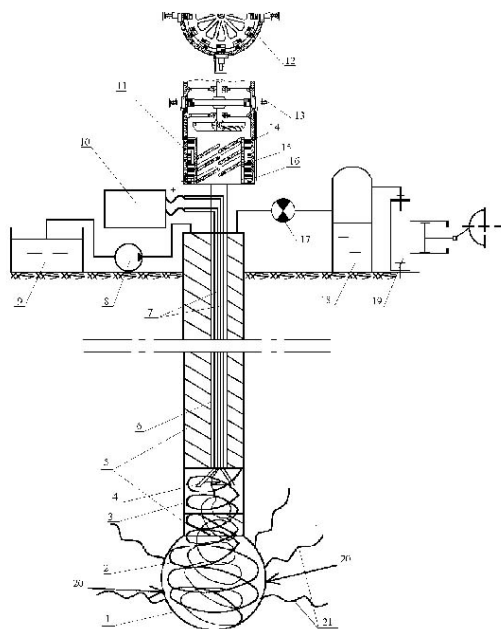


Рис. 8.17. Метановый реактор: 1 – реактор, 2 – закрученный поток, 3 – обсадная труба, 4 – разрядник, 5 – завихритель, 6 – НКТ (насосно – компрессорная труба), 7 – кабели, 8 – гидронасос, 9 – банк для воды, 10 – генератор, 11 – преобразователь метана в синтез - газ, 12 – система магнитов, 13 – магнитострикционный стержень, 14 – постоянные магниты, 15 – пьезокерамика, 16 – пьезокерамическая трубка, 17 – распределитель, 18 – гидропневмоаккумулятор, 19 – компрессор, 20 – гетерагенный газ, 21 – трещины.

При подходе волны колокол поднимается ею на катках 8 вдоль трубы 1. Ограничитель исключает его соскальзывание с трубы 1. В результате под колоколом создается разрежение, под воздействием которого газогидрат с глубины поднимается по трубе 1, одновременно поднимается клапан 11 с отрицательной плавучестью. Газоводная смесь из пузырьков и воды поднимается к сепарирующим сеткам 12, при соприкосновении пузырьки лопаются, и через ячейки сетки газ поднимается и собирается под крышкой колокола, а вода стекает в трубу 3. При уходе волны колокол опускается вниз, в нем создается избыточное давление, под воздействием которого клапан 11 закрывается, газ вытесняется в газотводную систему 13 через взрывобезопасный клапан, а из нее — в установку получения синтез - газа ГОВЭ. Расход теплой морской воды составляет 75-100 м³/ч (извлеченного газообразного метана), а электроэнергии около 0,025 кВт-ч/кг.

В основу второго предложения положено повышение эффективности добычи метана из угольного пласта без его разрушения. На рис.8.17. показана технологическая схема реализации устройства. Излучатель и дви-

Глобальная энергия это потеря массы электронов при переходе их с одних уровней на соседние энергетические уровни энергий гармоничных асцилляторов в цепном режиме.

Раздел III . **Сопутствующие процессы добычи материалов**

Глава 9.

Бурение скважин

9.1. Буровые головки

Бурение машинами ударного действия осуществляется долотом с углом заострения α (рис.9.1) и притуплением, характеризуемым радиусом r округления его кромки, под действием силы P внедряется в породу на глубину h . На элементарную поверхность скругленной части долота (рис.9.1) будет действовать элементарная сила:

$$dN = dSP_{с.д.} = DrP_{с.д.} d\beta ,$$

где: D — диаметр долота; $P_{с.д.}$ — давление под штампом. Вертикальная составляющая элементарной силы будет

$$dP = dN \cos \beta = DrP_{с.д.} \cos \beta \cdot d\beta .$$

Полное значение реактивной силы, действующей на скругленную часть долота:

$$P_1 = 2DrP_{с.д.} \int_0^{\beta} \cos \beta d\beta = 2DrP_{с.д.} \sin \beta$$

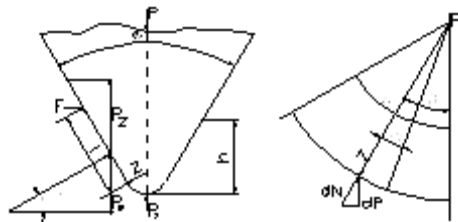


Рис.9.1. Внедрение притупленного лезвия буровой коронки

Так как всегда $\beta = 90 - \frac{\alpha}{2}$, то:

$$P_1 = 2DrZP_{c.d.} \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (9.1)$$

На плоскую грань долота будет действовать сила:

$$N = D \cdot l \cdot P_{c.d.},$$

где: l — длина, на которой грань соприкасается с породой:

$$l = \frac{h - r(1 - \sin \frac{\alpha}{2})}{\cos \frac{\alpha}{2}}.$$

Вертикальная проекция силы N будет:

$$P_2 = N \sin \frac{\alpha}{2} = DP_{c.d.} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \left[h - r \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \quad (9.2)$$

Под действием силы N на грани долота возникает сила трения $F = Nf$, вертикальная проекция которой будет:

$$P_3 = Nf \cos \frac{\alpha}{2} = fDP_{c.d.} \left[h - r \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \quad (9.3)$$

Силы P_2 и P_3 возрастают с увеличением глубины внедрения. Внедрение долота прекратится, когда реактивные силы уравновесят силу, действующую на долото:

$$P = (P_1 + 2P_2 + 2P_3)Z, \quad (9.4)$$

где: Z — число лезвий долота.

После подстановки P_1, P_2, P_3 будем иметь:

$$P = 2ZDrP_{c.d.} \cos \frac{\alpha}{2} + 2ZDP_{c.d.} [h - r(1 - \sin \frac{\alpha}{2})](\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f).$$

Отсюда находится зависимость глубины внедрения долот от силы удара:

$$h = \frac{P}{2ZDP_{c.d.} \operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2} + f)} - r \left(\frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f} + \sin \frac{\alpha}{2} - 1 \right). \quad (9.5)$$

Выражение, стоящее в скобках, для каждого долота — есть величина постоянная, если считать постоянным коэффициент трения стали по породе. Поэтому можем написать:

$$h = \frac{P}{2ZDP_{с.д.} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} + f \right)} - c_1 r. \quad (9.6)$$

Из (9.6) видно, что с увеличением затупления долота (увеличение r) глубина внедрения уменьшается и при некоторой величине r величина внедрения станет равной нулю. Чем меньше сила удара, тем при меньшем затуплении прекращается внедрение долота в породу. С увеличением числа лезвий долота глубина внедрения уменьшается более значительно при меньшей энергии удара. Так, при силе удара 120 КН глубина внедрения при двух лезвиях в 2,5 раза меньше, чем при одном лезвии, а при силе удара в 60 КН — в 3,7 раза. Аналогичное явление наблюдается при увеличении радиуса скругления кромки долота. Если при силе удара в 120 КН увеличение радиуса с 2 до 10 мм уменьшает глубину внедрения примерно в 1,2 раза, то при силе удара 60 КН — в 1,5 раза.

Обычно известна не сила, а работа удара. Тогда уравнение (9.4) примет вид:

$$A = (P_1 + 2P_2 + 2P_3)Zh, \quad (9.7)$$

где: A — работа удара; h — глубина внедрения долота.

Силы P_2 и P_3 при внедрении долота увеличиваются от 0 до своего наибольшего значения, поэтому произведение их на h берется с коэффициентом 0,5.

Подставив в уравнение (9.7) выражение для сил по формулам (9.1), (9.2), (9.3), после преобразования получим:

$$h = \frac{rc_1}{2\left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f\right)} + \sqrt{\frac{r^2 c_1^2}{4\left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f\right)^2} + \frac{A}{ZDP_{с.д.} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f\right)}}, \quad (9.8)$$

где: $c_f = 2 \cos \frac{\alpha}{2} + \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f\right) \left(\sin \frac{\alpha}{2} - 1\right)$ — постоянная для каждого долота величина, если f считать постоянным. Для совершенно острого долота $r = 0$ и поэтому:

$$h = \sqrt{\frac{A}{ZDP_{с.д.} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f\right)}}.$$

Первый член формулы (9.5) уменьшается пропорционально Z , а второй от него

не зависит; следовательно, скорость бурения крестовым долотом будет меньше, чем зубильным.

При шарошечном бурении математическое описание действительного процесса перекатывания шарошки по породе, сопровождавшегося разрушением породы и упругой деформацией породы и зубьев шарошки, затруднительно. Поэтому ниже принято, что зубья шарошки не деформируются. Они периодически соприкасаются с

породой и под действием силы подачи P каждый зуб внедряется на глубину h (рис.9.2.). Линия контакта зуба с породой равна:

$$l = l_1 + l_2 + l_3.$$

Если долото имеет m шарошек, то общая длина линии контакта будет ml .

Формула (9.6), определяющая глубину внедрения зубьев, получает вид

$$h = \frac{P}{2mlP_{с.д.} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f \right)} - c_1 r. \quad (9.9)$$

Вследствие вторичного дробления уже отделенной от массива породы внедрение будет меньше величины, найденной по формуле (9.9). Это может быть учтено увеличением длины линии контакта зуба с породой до полной длины, равной $\frac{D}{2}$. Тогда будем иметь:

$$h = \frac{P}{mDP_{с.д.} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f \right)} - c_1 r. \quad (9.10)$$

Отношение $\frac{P}{D}$, н/м является удельной силой подачи, приходящейся на 1 м диаметра скважины. Опытном установлено, что производительное бурение обеспечивается при удельной силе подачи около 70/80 н/м и выше. Скорость шарошечного бурения

$$v = k \cdot h \cdot m \cdot \omega, \text{ м/сек,}$$

где: $k < 1$ — коэффициент, учитывающий уменьшение скорости бурения из-за неполного скалывания породы между зубьями; w — скорость вращения долота.

Обычно $\omega = 1,2 \div 2,5$ и редко до $5 \frac{1}{\text{сек}}$. С увеличением скорости вращения повыша-

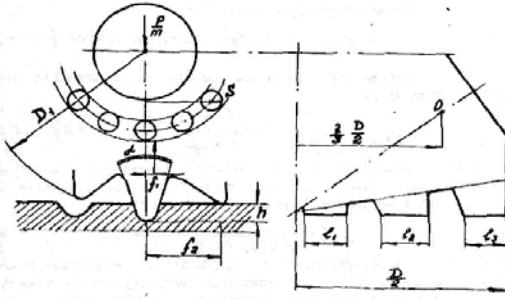


Рис. 9.2. Схема перекатывания шарошки

ется скорость бурения, но еще быстрее увеличивается износ долота. Сопротивление перекачиванию шарошки по забою выражается коэффициентом сопротивления качению f_2 , а сопротивление в шари-ковом подшипнике шарошки коэффициентом f_1 , (рис.9.2.). Величина силы S , необходимой для перекачивания шарошки, находящейся под нагрузкой $\frac{P}{m}$, определяется из уравнения моментов относительно точки 0:

$$S \frac{D_1}{2} = \frac{P}{m} f_1 + \frac{P}{m} f_2 ,$$

где: D_1 - наибольший диаметр шарошки, м.

Коэффициент трения качения в подшипнике шарошки f_1 , вследствие грубой обработки поверхностей качения и попадания на них породы равен 0,7...1. Коэффициент трения качения шарошки по породе примерно равен $f_2 = (0,8...1,2) \frac{\pi D_1}{Z}$, м. Большие значения f_2 - для пород меньшей крепости. Величина силы, перекачивающей шарошку.

$$S = \frac{2P}{mD_1} (f_1 + f_2) .$$

Сила S приложена на $\frac{2}{3} \frac{D}{2}$ от оси вращения штанги, поэтому момент, необходимый для ее вращения:

$$M = \frac{D}{3} S m = k_1 \frac{2PD}{3D_1} (f_1 + f_2),$$

где: $k_1 = 1,05/1,10$ — коэффициент, учитывающий трение буровой штанги о стенки скважины.

Мощность, расходуемая на вращение штанги:

$$N = \frac{M\omega}{\eta} = \frac{2PDk_1\omega}{3D\eta} (f_1 + f_2) ,$$

где: η — к.п.д. передачи от двигателя до штанги.

Из формулы (9.10) видно, что глубина внедрения зуба, следовательно, и скорость бурения при прочих равных условиях возрастают с увеличением силы подачи. Поэтому станки шарошечного бурения работают с большими усилиями подачи — порядка 100/200 кН, в зависимости от диаметра скважины и крепости породы.

При вращательном бурении перо буровой коронки, вращаясь со скоростью V_p вокруг оси 0-0 и одновременно перемещаясь вдоль той же оси со скоростью подачи V_n (рис.9.3.), разрушает слой породы толщиной h .

Со стороны породы на переднюю грань пера действует сила P_x , на преодоление которой затрачивается мощность двигателя. Уменьшение угла резания снижает величину силы и уменьшает стойкость коронки. Задняя грань пера имеет площадку притупления шириной a . Кроме того, вследствие упругой деформации породы в процессе разрушения объем ее восстанавливается на величину Δ , что создает контакт задней грани с породой на площадке шириной b . Давление породы на площадки a и b создает силу P_y , преодолеваемую механизмом подачи станка.

Удельное давление породы на площадки a и b пропорционально временному сопротивлению породы смятию. Поэтому чем крепче порода, тем больше требуется сила подачи. Сила подачи возрастает и с увеличением площадки затупления a . У острого резца площадка незначительна по размерам, и главную часть усилия подачи составляет давление на площадку b . Из чертежа видно, что с уменьшением заднего угла γ величина площадки b увеличивается, что приводит к увеличению силы подачи. Увеличение заднего угла до $10...12^\circ$ заметно сказывается на уменьшении усилия подачи. Дальнейшее увеличение его нецелесообразно, так как, не уменьшая заметно усилия подачи, снижает стойкость коронки. Силы трения на поверхностях a и b создают сопротивление вращению коронки. Принимаем $P_y = cP_x$. Коэффициент c составляет $1,5...0,7$ в зависимости от толщины стружки. Уменьшение коэффициента c происходит медленнее, чем увеличение толщины стружки, и поэтому сила подачи увеличивается с увеличением h . Передняя грань пера контактирует с породой не по всей толщине стружки, а только на какой-то ее части kh , где $k=0,5...0,7$. Полагая, что сила P_x направлена горизонтально ($\alpha=90^\circ$), получаем:

$$P_x = P_{cd} kh \frac{D}{2},$$

где: $kh \frac{D}{2}$ — площадь контакта передней грани пера с породой; h — толщина стружки; D — диаметр коронки.

Вращающий момент получим, для равнодействующих P_y и P_x приложенных на расстоянии $\frac{1}{2} \frac{D}{2}$ от оси вращения коронки:

$$M = \frac{1}{2} \frac{D}{2} (P_x + fP_y) m_1 = \frac{m_1 kh P_{cd}}{4} D^2 (1 + fc),$$

где: f — коэффициент трения стали о породу; m_1 — число перьев коронки.

Мощность, расходуемая на вращения коронки:

$$N = M\omega = \frac{\omega m_1 k h P_{с.д.}}{4} D^2 (1 + fc), \quad (9.11)$$

где: ω - угловая скорость вращения коронки, 1/сек.

Сила подачи коронки равна сумме вертикальных проекций сил P_y' и P_y'' . Эти проекции пропорциональны $\cos j'$ и $\cos j''$, а линия контакта задней грани с породой обратно пропорциональна этим косинусам. Поэтому сила подачи не зависит от угла наклона режущих кромок. Следовательно, сила подачи:

$$P_n = m_1 (P_y + f P_x) = m_1 k h P_{с.д.} \frac{D}{2} (c + f). \quad (9.12)$$

Из формул (9.11) и (9.12) видно, что мощность, расходуемая на разрушение породы, и сила подачи растут с увеличением крепости породы и толщины стружки. От диаметра коронки мощность зависит во второй степени, а сила подачи в первой. Зависимость мощности и силы подачи от числа перьев m_1 не является показательной, так как при постоянной скорости бурения m_1 и h обратно пропорциональны:

$$v = m_1 h \omega, \text{ м/сек.} \quad (9.13)$$

После подстановки выражения (9.13) в уравнения (9.11) и (9.12) получим:

$$N = \frac{1}{4} k P_{с.д.} D^2 (1 + fc) v,$$

$$P_n = k P_{с.д.} \frac{D}{2} (c + f) \frac{v}{\omega}.$$

Следовательно, мощность пропорциональна скорости бурения, а сила подачи — величине подачи коронки на один оборот. Последняя ограничивается мощностью привода вращателя. Поэтому ее увеличение определяется конструкцией станка. Бурение хрупких пород рациональнее вести коронками с прерывистым лезвием (рис.9.2.), образованным несколькими резцами. В этом случае порода разрушается резанием и скалыванием целиков между резцами с незначительным удельным расходом энергии.

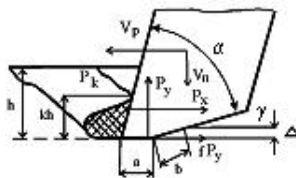


Рис.9.3.
Схема коронки с прерывистым лезвием

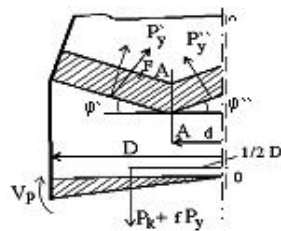


Рис. 9.4.

По аналогии с предыдущим найдем силу резания для одного резца:

$$P_x = P_{с.д.} k h b ,$$

где: b – ширина резца.

Вращающий момент на оси коронки:

$$M = m \sum_{k=1}^{k=z} (P_x + f P_y) R_k ,$$

где: R_k – радиус установки резца; z – число резцов на одной коронке.

9.2. Глобальная обратимая энергия в синергетическом бурении

Особенностью бурения скважин является существенное повышение сопротивляемости породы разрушению с увеличением их глубины. Это объясняется, в первую очередь ростом давления столба жидкости в скважине на ее забой при боль-

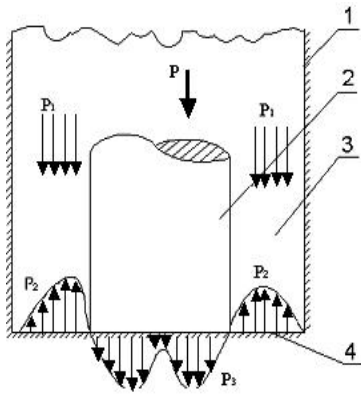


Рис.9.5. Схема распределения давления в скважине: P – давление бурового стова на рабочий инструмент 2; P_1 – давление столба жидкости 3 на забой; P_2 – давление отрыва материала от забоя; P_3 – давление сжатия забоя; 1 – скважина

ших глубинах, что поясняется рис. 9.5. Давление бурового стова на рабочий инструмент 2 (условно показан в виде штампа) передается забоем скважины 4 в форме эпюры Штаермана. Верхняя часть P_2 этой эпюры ответственна за отрыв элемента стружки от забоя, а нижняя P_3 сжимает забой и участвует в диспергировании его поверхности. С углублением скважины давление столба жидкости 3 уменьшает давление P_2 , благодаря чему прекращается отделение крупных элементов стружки отрывом. Инструменты буровой коронки переходят в режим разрушения забоя диспергированием. Для устранения этого недостатка необходимо увеличить давление P_2 . Существующие способы и средства бурения такого состояния давлений не решают. Предложенный способ и устройство отличаются от ранее известных тем, что на забой действуют не только гидроимпульсные удары, но и декомпрессионные молекулярно-волновые колебания импульсных струй с кавитационным резонансным нагружением забоя скважины,

обеспечивая полезное использование обратимой внутренней энергии БЗ. Идея способа и устройства состоит в интеграции отдельных преимуществ использования струй с вихревым кавитационным потоком и симультанным воздействием алмазных инструментов. Особое внимание при этом уделено на квантово-механическую обработку КМК индуцированным потоком фотонных, излучаемых из уровней энергии гармонических осцилляторов и молекулярных электронов. Трансформация спонтанного излучения обратимой внутренней энергии машины и породы в индуцированное осуществляется концентрированным магнитным полем в соответствии с обоснованиями, приведенными в разделе 8. Преимущества отдельных, независимых друг от друга нагрузок импульсными струями, вихревыми, кавитационными потоками жидкости и алмазными инструментами рассмотрены в работах [30, 38]. К таким преимуществам относятся: улучшение процесса разрушения забоя скважины; активизация очистки забоя и дальнейшего транспортирования шлама в затрубном пространстве; импульсные струи лучше сохраняют кинетическую энергию и имеют большую проникающую способность в водной среде, чем струи непрерывного действия; благодаря вибрации частиц породы в потоке жидкости их трение снижается, повышается скорость движения, размер транспортируемых частиц породы увеличивается в 6-8 раз; предотвращается появление шламовых пробок в местах перехода от большого сечения потока к меньшему; уменьшается поглощение пластом бурового раствора вследствие упрочнения глинистой корки на стенках скважины, которая содержит значительно меньшее количество сульфатосвязной воды; улучшаются условия управления калематационным экраном, модуляцией амплитудно-частотных характеристик; достигается резонансное взаимодействие собственных частот молекулярно-волновых колебаний бура и породы забоя скважины; снижается удельный расход буровой жидкости. Перечисленные преимущества отдельно взятых способов нагружения, рассмотренных в разделе 8 применяют в различных отраслях промышленности. Однако, объединить их в одном буровом агрегате и дополнить принципиально новыми приспособлениями для полезного использования обратимой внутренней энергии обрабатываемого материала до настоящего времени не представилось возможным. Таким дополнением в предлагаемом способе является симультанное воздействие алмазных инструментов, установка на входе в трубку Вентури пьезокерамических пластин, а на ее выходе постоянного магнита, концентрированное магнитное поле которого фокусирует фотонные потоки алмазных инструментов, импульсного, вихревого, кавитационного потоков энергии на внутренних уровнях энергий КМК обрабатываемого материала. Поэтому в монографии изложена разработка такого способа и устройства, которое реализует перечисленные прогрессивные способы бурения, объединяя их с декомпрессией, поясняемой рис. 9.6. Новизна способа состоит в синергизации макроколебательных с микроволновыми процессами в

жидкости, породе, и алмазном инструменте при их воздействии на КМК в концентрированном магнитном поле.

Микроволновые процессы протекают с разрывом связей между частицами вещества. При этом из него в виде пакетов квантов излучается глобальная обратимая внутренняя энергия, которая полезно используется при бурении. Гидравлические удары и кавитационные нагрузки вызывают выделение энергии фононов. Синергитическое воздействие фотонов и фононов является источником дополнительной обратимой внутренней энергии жидкости и горной породы, которые полезно используются при бурении. Совместность и одновременность воздействия фононов и фотонов позволяет получить фотонное нагружение. Таким образом, буровое долото работает на новом эффекте – фотонном способе нагружения КМК забоя потоками жидкости и алмазными инструментами с использованием обратимой внутренней энергии БЗ при синергитичном бурении в концентрированном магнитном поле.

Формализация здравого смысла пункта 9.2 завершена практической разработкой устройства, реализующего его содержание. Составными частями этого устройства являются алмазные инструменты, вихревой излучатель, трубка

Вентури с постоянным магнитом и пьезокерамикой, работающих синергитично для эффективного использования внешней энергии, подаваемой от насоса и обратимой внутренней энергии жидкости и породы при разрыве КМК забоя скважины. Устройство бора изготовлено на базе турбобура №9 и включает в себя корпус 1 с приваренными к нему лопастями 2 с алмазным инструментом 10, турбину 3, узел крепления 4 к буровой штанге, ротор 5 с отверстиями 6, трубку Вентури с пьезокерамической вставкой 8 на входе и постоянным магнитом 9 на выходе жидкости из трубки. Вихревой поток из ротора 5 гидроударами воздействует на пьезокерамическое кольцо 8, что способствует интенсивному началу кавитации в трубке Вентури и прямолинейному

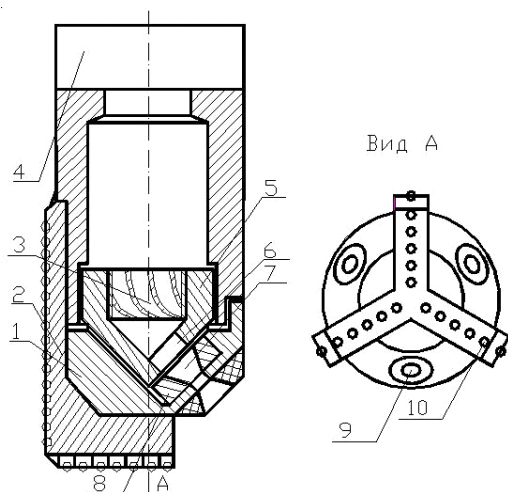


Рис. 9.6. Синергетический квантово-механический бур (СКМБ): 1 – корпус; 2 – лопасть с алмазными инструментами; 3 – турбина; 4 – узел крепления с буровой штангой; 5 – ротор с турбиной; 6 – отверстие в роторе; 7 – трубка Вентури с пьезокерамической вставкой 8 на входе и постоянным магнитом на выходе 9; 10 – алмазный инструмент

движению кавитационных пузырьков на забой. Давление в кавитационном пузырьке меньше атмосферного. Оно интенсивно понижает давление столба жидкости на забой. Захлопывание пузырька сопровождается выбрасыванием микроструек с давлением до несколько тысяч атмосфер и собственной частотой колебаний, близкой собственной частоте колебаний частиц горной породы. При этом порода забоя скважины разрушается более эффективно цепными реакциями излучений на соседние энергетические уровни гармонических осцилляторов и молекулярных электронов, а ее боковые стенки упрочняются.

Бур работает следующим образом. Рабочая жидкость по буровому ставу поступает через турбину ротора, где она закручивается и с гидроударом воздействует на пьезокерамическое кольцо 8, и далее через постоянный магнит 9 трубки Вентури попадает на забой.

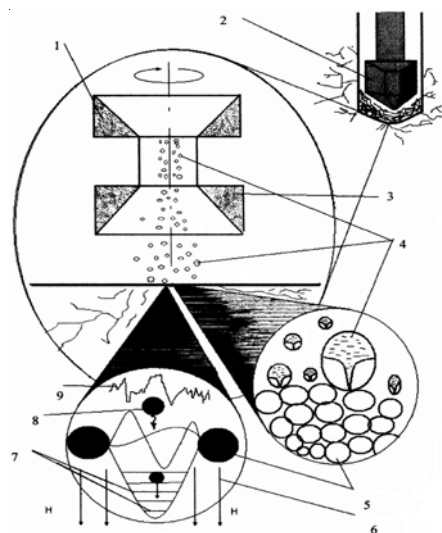


Рис.9.7. Взаимодействие глобальных энергий СКМБ и разрушаемой породы: 1 – пьезокерамический излучатель; 2 – квантово - механический бур; 3 – излучатель концентрированного магнитного поля; 4 – кавитационные пузырьки; 5 – молекула осциллятора; 6 – концентрированное магнитное поле; 7 – энергетические уровни осциллятора; 8 – фотон; 9 – синергетическое нагружение

Основной поток из трубок Вентури 7 формируется над поверхностью забоя. Этот поток обладает большой скоростью и содержит кавитационные пузырьки, поэтому давление в нем значительно меньше статического столба жидкости в скважине. Падение давления создает декомпрессию на забое скважины, благодаря чему эффективно используется потенциальная энергия эпюры Штайермана, создающая давление P_2 (рис. 9.5) отрыва крупных элементов стружки с поверхности забоя скважины. Направление вращения вихря совпадает с вектором импульса струи, способствуя разрыву связей между частицами жидкости и горной породы. Синергитическое взаимодействие внешней энергии, передаваемой вращением бурового става и потока в нем жидкости с внутренней обратимой энергией КМК повышает производительность бурения. При этом возрастает сила удара струи о забой, активизируется его очистка, повышается вибрация частиц породы в потоке, что снижает силы их трения с жидкостью и стенками затрубного пространства, улучшая транспортировку пульпы на поверхность. Импульсные

нагрузки с молекулярно-волновыми колебаниями БЗ обеспечивают рациональное соотношение между их излучением и поглощением породой энергии. Растет интенсивность отклика породы на внешнее возмущение в соответствии с резонансной формулой Брейта-Вигнера для одного уровня. Это приводит к отделению более крупных элементов стружки с поверхности забоя. Вихревой тор соприкасается с боковыми стенками скважины. Центробежными силами его движения частицы глинистого раствора плотно осаждаются на ее поверхности и дополнительно уплотняются кавитационными нагрузками. Образуется прочная глинистая корка, которая укрепляет стенки скважины и уменьшает утечки воды из глинистого раствора в породный массив. Затраты на крепления скважины снижаются. Направление вращения потоков от вихревого излучателя противоположно направлению вращения корпуса буровой коронки. В результате этого скорость потоков относительно поверхности коронки бура возрастает, что приводит к дополнительному снижению давления в призабойном пространстве.

Из приведенного описания устройства СКМБ и принципа его работы особое внимание следует обратить на реализацию в нем глобальной энергии теории, квантово-механических контуров и синергитическое их нагружение. Взаимодействие всех частей БЗ обеспечивает эффективное использование их обратимых внутренних энергий. Жидкость отдает ее кавитацией, алмазный инструмент simultанным нагружением забоя. Благодаря квантово-механическому нагружению КМК, полезно реализуется энергия осцилляторов и молекулярных электронов. Такое нагружение создается новой трубкой Вентури, оснащенной пьезокерамическим излучателем и магнитным концентратором фотонных потоков в кавитационной вихревой среде. Они преобразуют спонтанное излучение из уровней энергии обрабатываемого мате-

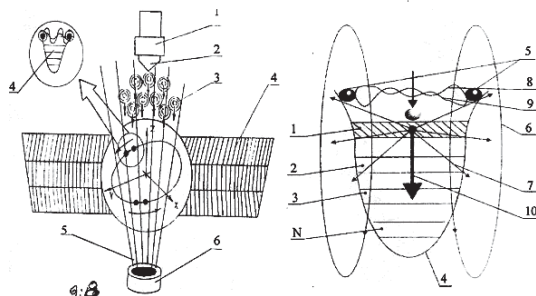


Рис. 9.8. Схема взаимодействия элементарной ячейки фазового пространства обрабатываемого материала с концентрированным магнитным потоком:
 а) 1 – боек; 2 – излучатель; 3 – фотоны; 4 – уровни энергии гармонических осцилляторов; 5 – концентрированное магнитное поле; 6 – концентратор магнитного поля; б) 1, 2, 3 – уровни энергии осциллятора; 4 – гармонический осциллятор; 5 – атомы, ионы, молекулы; 6 – магнитное поле; 7 – спонтанная энергия, образовавшаяся в результате разрыва энергетического уровня; 8 – электромагнитное взаимодействие молекул; 9 – гравитационное взаимодействие молекул; 10 – индуцированная энергия потока фотонов

риала в резонансное индуцированное, благодаря чему достигается цепная реакция выделения обратимой внутренней энергии. Помимо этого концентрированное магнитное поле увеличивает энергию фотонных потоков синергитического нагружения забоя. Пояснение взаимодействующих глобальных энергий СКМБ разрушаемой породы приводится на рис.9.7

Экспериментальный образец СКМБ опробован в лабораторных и промышленных условиях. Результаты исследований подтвердили основные положения теории КМК. На рис.9.8 дается представление элементарной ячейки фазового пространства обрабатываемого материала и ее гармонического осциллятора в концентрированном магнитном поле.

9.3. Вихревой излучатель СКМБ

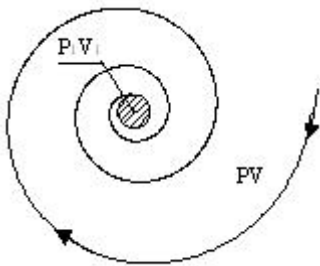


Рис.9.9. Расчетная схема вихревого излучателя

Расчетная схема вихревого излучателя приведена на рис.9.9. Расчет сводится к нахождению площади или диаметра выходного отверстия из вихревого излучателя, при котором возникает кавитация, воздействующая на пьезокерамическую вставку 8 (рис.9.9) СКМБ. Колебания последней интенсифицирует излучение обратимой внутренней энергии жидкости, что способствует более эффективному нагружению КМК обрабатываемого материала. Для расчета изменения давления на выходе из вихревого излучателя воспользуемся уравнением баланса энергии в точке наименьшего давления жидкости [15]:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} + \Delta h_\Lambda,$$

где: ω_1 — относительная скорость жидкости у входа в вихревой излучатель, Δh_Λ — потери напора в зоне пониженного давления.

Изменение давления определяется соотношением:

$$\Delta P = \left(\Delta h_\Lambda + \frac{\omega^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \right) \rho g. \quad (9.14)$$

Критические потери напора при возникновении кавитации:

$$\Delta h_{kp} = \frac{P_{kp}}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} - \frac{P}{\rho g}. \quad (9.15)$$

При движении капельной жидкости, в зависимости от скорости набегающего потока V_1 , давления P и формы обтекающего тела, давление может достигнуть критического значения P_{kp} , при котором происходит вскипание жидкости (образование коверн), заполненной парами жидкости и воздуха. Подставим (9.15) в (9.14) и получаем уравнение изменения давления при кавитации:

$$\Delta P = \left(\frac{P_{kp}}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \right) = \left(\frac{P_{kp}}{\rho g} - \frac{P}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} \right).$$

P_{kp} зависит от физических свойств жидкости, ее температуры, а также от дисперсных примесей в ней. Нижним пределом значения P_{kp} служит давление насыщенных паров. Среднее минимальное давление находится из выражения:

$$|P_{\min}| = \frac{P - P_{\min}}{\frac{1}{2}\rho V^2} = \left(\frac{V_{\max}}{V} \right)^2 - 1. \quad (9.16)$$

Стадии кавитации вихревого процесса имеют неустойчивый характер. Дальнейшее повышение перепада давления приводит к образованию устойчивой зоны отрыва с вихревыми явлениями на ее границе с жидкостью. Последующее увеличения перепада давления вызывает запирание канала кавитационной каверной, давление жидкости носит пульсирующий характер. Расход жидкости рассчитывается из уравнения:

$$Q = \int_S V dS, \text{ а ее скорость } V = \frac{Q}{S}, \quad (9.17)$$

где: Q — расход, S — сечение потока жидкости. Подставляя (9.17) в (9.14) получим выражение изменения давления, с учетом расхода жидкости:

$$\Delta P = \left(\Delta h_{kp} + \frac{\omega^2}{2g} - \frac{\left(\frac{Q}{S} \right)^2}{2g} \right) \rho g = \left(\Delta h_{kp} + \frac{\omega^2}{2g} - \frac{Q^2}{S^2 2g} \right) \rho g. \quad (9.18)$$

Подставив в (9.18) (9.15) получим:

$$\Delta P = \left(\frac{P_{kp}}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} - \frac{P}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} - \frac{Q^2}{S^2 2g} \right) = \frac{1}{g} \left(\frac{P_{kp}}{\rho} + \frac{V^2}{2} - \frac{P}{\rho} + \frac{\omega^2}{2} - \frac{Q^2}{2S^2} \right). \quad (9.19)$$

Заменив в (9.16) $P_{\min}$ на P_{kp} получаем выражение для кавитационного числа:

$$\sigma = \frac{P - P_{kp}}{\frac{1}{2} \rho V^2}. \quad (9.20)$$

В (9.20) давление P зависит от глубины скважины. Это давление изменяется импульсным излучателем, установленной на скважине. С учетом (9.16) кавитационное число выражается:

$$\sigma = \left(\frac{V_{\max}}{V} \right)^2 - 1. \quad (9.21)$$

Зная величину кавитационного числа, T и P_{kp} , в зависимости от глубины скважин и давления, развиваемого импульсным излучателем, определяется необходимая скорость входа потока в вихревой излучатель, при котором на выходе из него появится кавитация.

Воспользовавшись (9.20) и (9.21), запишем выражение для $V_{\max}$:

$$V_{\max} = \sqrt{\left(1 + \frac{P - P_{kp}}{\frac{1}{2} \rho V^2} \right)} V = \sqrt{V^2 + \frac{P - P_{kp}}{\frac{1}{2} \rho}}. \quad (9.22)$$

Скорость входа жидкости в вихревой излучатель:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}. \quad (9.23)$$

Подставив (9.23) в (9.22) найдем диаметр вихревого потока и излучателя:

$$d = \sqrt[4]{\frac{16Q^2}{\pi^2 \left(V_{\max}^2 + \frac{P - P_{kp}}{0,5\rho} \right)}}. \quad (9.24)$$

9.4. Кавитатор СКМБ

Ниже приводятся обоснования параметров трубки Вентури, при которых осуществляется периодическое срывное кавитационное течение. Особенностью данного течения является рост каверны, а затем отрыв ее от диффузорной части с некоторой частотой. На рис 9.10. приведена схема геометрических размеров кавитирующей трубки Вентури.

Оптимальное отношение диаметра в критическом сечении к длине диффузора равно 5:3; угол раскрытия диффузора - 60° , выбран из условия устойчивых автоколебаний. Для расчета основных параметров, определяются скорости в сечениях - S_{kp} , S_{1-1} и S_{2-2} . Пропускная способность трубки $\mu=0,8$ для диффузора с углом раскрытия $\alpha=60^\circ$.

Длина кавитационной каверны l_k , находится из уравнения приведенного Шепелявым А.П. "Динамика насосных систем" [50]:

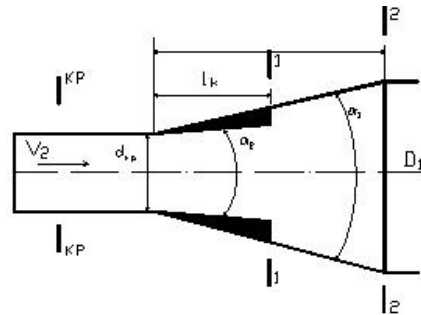


Рис.9.10. Схема трубки Вентури

$$l_k = \frac{d_{kp}}{2tg \frac{\alpha_2}{2}} \left(\sqrt{\frac{\mu}{1 - \sqrt{(1 - \tau) \cdot \psi^{-1}}}} - 1 \right), \quad (9.25)$$

где: $\tau=0.35$ – параметр кавитации; $\psi=1,1$ – коэффициент полноты удара на внезапное расширение патoka с учетом потерь энергии на возобновление вихревой зоны после кавитационной каверны. Площадь в сечении 1-1:

$$S_{1-1} = \frac{\pi d_{1-1}^2}{4},$$

где: $d_{1-1} = 2 \cdot l_k \cdot tg \frac{\alpha_2}{2} + d_{kp}$ – диаметр трубки Вентури в сечении 1-1.

Радиус струи в сечении 1-1:

$$r_c = r_{kp} \cdot \sqrt{\mu} + l_k \cdot tg \frac{\alpha_1}{2},$$

где: $\alpha_1=1,35$ – угол расширения струи жидкости, r_{kp} – радиус критического сечения.

Площадь сечения струи $S_c = \pi r_c^2$.

Скорости движения жидкости в сечениях S_{1-1} , $S_{c,кр}$, S_{2-2} соответственно будут V_{1-1} , $V_{c,кр}$, V_{2-2} . Уравнение Бернулли для сечений S_{1-1} , $S_{c,кр}$ с учетом потерь полного давления на внезапное расширение потока по теореме Борда-Карно имеет вид:

$$P_{кр} + \frac{\rho}{2} \cdot V_{c,кр}^2 \left(\frac{S_{c,кр}}{S_c} \right)^2 = P_{1-1} + \frac{\rho}{2} \cdot V_{1-1}^2 - \psi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{c,кр}^2 \cdot \left(\frac{S_{c,кр}}{S_c} - \frac{S_{c,кр}}{S_{1-1}} \right)^2, \quad (9.26)$$

где: $P_{кр}$ и P_{1-1} – соответственно давления в сечениях $S_{c,кр}$, S_{1-1} .

Давление P_{1-1} из (9.26) будет равно:

$$P_{1-1} = P_{кр} + \frac{\rho}{2} \cdot V_{c,кр}^2 \cdot \left(\frac{S_{c,кр}}{S_c} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \cdot V_{1-1}^2 - \psi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{c,кр}^2 \cdot \left(\frac{S_{c,кр}}{S_c} - \frac{S_{c,кр}}{S_{1-1}} \right). \quad (9.27)$$

Аналогично составляется уравнение Бернулли без учета потерь полного давления на участке диффузора с безкавитационным течением для сечения S_{2-2} , откуда давление:

$$P_{2-2} = P_{1-1} + \frac{\rho}{2} V_{1-1}^2 - \frac{\rho}{2} V_{2-2}^2. \quad (9.28)$$

Кавитация возникает при параметре кавитации:

$$\tau = \frac{2 \cdot (P_{2-2} - P_{кр})}{\rho \cdot V_{c,кр}^2}, \quad (9.29)$$

значение которого $\tau=0.35$. Частота автоколебаний:

$$F = sh_M \frac{V_{c,кр}}{l_K}, \quad (9.30)$$

где: $sh_M=0,21$ – модифицированное число Струхала.

С помощью уравнений (9.25) – (9.29) выполняется проектирование и проверочный расчет трубки Вентури в СКМБ.

9.5. Пьезокерамический излучатель СКМБ

До настоящего времени при бурении скважин жидкость использовалась преимущественно для их промывки. Имеющаяся в ней обратимая внутренняя энергия не принимала участия в разрушении пород и не способствовала полезному использованию их обратимой внутренней энергии в саморазрушении. Впервые этот недостаток устранен в СКМБ. Создано специальное устройство, состоящее из завихрителя, пьезокерамики, трубки Вентури и магнитов, которое выделяет из потока жидкости ее обратимую внутреннюю энергию. Это достигается трансформированием энергии завихренного потока, турбулентно воздействующего на пьезокерамический вход в трубку Вентури, в высокочастотный синергитический кавитационный поток. Последний приобретает новые качества, позволяющие входить во взаимодействие с КМК породы. Энергетические уровни его осцилляторов и молекулярных электронов в цепном режиме осуществляют саморазрушение породы. Такой процесс достигается при участии резонансного излучения глобальной внутренней обратимой энергии пьезокерамических материалов в рабочую жидкость. Возникает согласованное взаимодействие обратимых внутренних энергий жидкости и породы, что обеспечивает саморазрушение последней. Ниже приводится краткое описание работы пьезокерамического излучателя, которое поможет читателю понять необходимость его использования в СКМБ. Для более глубокого изучения пьезокерамических устройств рекомендуем обратиться к специальной литературе [43].

Под резонатором понимают колебательную систему с резко выраженными резонансными свойствами. Пьезокерамические элементы (ПКЭ) и преобразователи на их основе даже в случае одномерного приближения представляют системы с бесконечным числом степеней свободы и описываются бесконечным набором собственных частот, который определяется из решения электромеханической задачи или из анализа эквивалентных схем [43]. Свободный ПКЭ или преобразователь

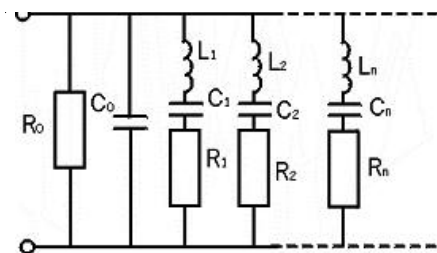


Рис.9.11. Эквивалентная схема ПКЭ

удовлетворяет определению резонатора вблизи любой ярко выраженной собственной частоты. Параметры такого резонатора определяются соответствующей собственной частотой и справедливы вблизи ее. Работа ПКЭ описывается многоконтурной эквивалентной схемой, в которой механическая сторона представлена набором цепочек R-L-C (рис.9.11.), определяющих каждая раз-

личные моды колебаний. Последнее обстоятельство способствует синергитическому нагружению породы. Непрерывно изменяющиеся во времени и пространстве над породой амплитудно-частотные внешние нагружения всегда находят в ней резонансные отклики, что обеспечивает эффективное бурение с полезным использованием глобальной обратимых внутренних энергий жидкости и буримого материала.

Под пьезоэлектрическим эффектом понимают способность поляризации некоторых диэлектрических кристаллов в результате воздействия на них механического давления. Большинство этих кристаллов имеют определенную геометрическую несимметрию внешней формы, связанной с наличием полярных направлений или осей. Среди поликристаллических материалов особую группу образуют керамические материалы, обладающие пьезокерамическими свойствами. Пьезоэффект у керамики из титана бария (ТБ) обнаруживается не только при воздействии внешнего поляризующего поля, но сохраняется и долго существует после снятия внешнего поля. Такой пьезоэффект называется наведенным. Пьезоэффект в керамике из ТБ и других керамических материалах наблюдается в так называемой сегнетоэлектрической области, ограниченной температурами фазовых переходов вещества керамики. Сегнетоэлектрические свойства, существующие в определенной для каждого вещества области температур, характеризуются наличием спонтанной поляризации и доменной структуры. Спонтанная поляризация вызывает повышенное значение диэлектрической проницаемости, которая на несколько порядков превышает ее значение для обычных диэлектриков. Точки фазовых переходов, за пределами которых исчезают сегнетоэлектрические свойства, по аналогии с ферромагнетиками называют точками

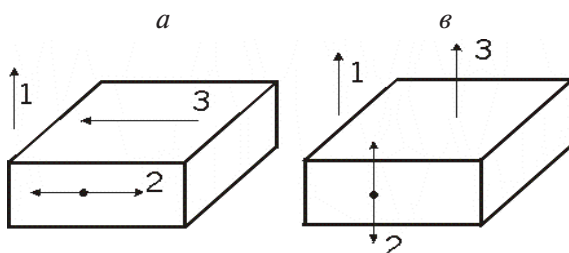


Рис.9.12. Схематические изображения возбуждения мод в керамическом ПКЭ.

а – «мягкая» мода, б – «жесткая» мода.

Стрелками обозначены: направление поляризации (1), смещений (2), распространение упругих волн (3)

Кюри. Наведенный пьезоэффект исчезает за пределами точки Кюри. Оттоженная при температуре выше точки Кюри пьезокерамика теряет пьезоэлектрические свойства подобно тому, как стальной магнит после отжига теряет намагниченность.

Материалы на основе твердых растворов титана-цирконата свинца (ЦТС), благодаря улучшенным пьезо- и диэлектрическим характеристикам, а также возможности вариации параметров занимают доминирующее положение среди других пьезо-

зокерамических материалов в устройствах частотной селекции, приема излучающих гидроакустических преобразователей, электроакустических устройствах, пьезотрансформаторах, датчиках для вибромерии, дефектоскопии.

Модифицированная пьезокерамика ЦТС характеризуется следующими параметрами: плотность — $7,3 - 7,8$, г/см³; диэлектрическая проницаемость — $240 - 1500$; пьезомодуль — $50 - 300$, Кл/Н; пьезомодуль — $200 - 500$, Кл/Н; температура Кюри — $280 - 470$, °С; коэффициент ЭМС (радиальный) — $0,4$; температурный коэффициент частоты — $(30 - 50) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; добротность — $100 - 1500$; скорость звука — $(3 - 3,6) \cdot 10^3$ м/с.

Практически в пьезокерамическом резонаторе (ПКР) используется ПКЭ, совершающие моды колебаний: продольные колебания по толщине; продольные колебания по длине; толщинно-сдвиговые колебания; контурно-сдвиговые колебания; изгибные колебания по толщине и ширине; радиальные колебания цилиндрических ПКЭ. Моды колебаний ПКР разделяют на «мягкие» и «жесткие» (рис. 9.12.). Возбуждение «мягких» мод связано с воздействием поперечного пьезоэффекта, при котором электрическое поле перпендикулярно направлению смещения и распространению упругой волны и не влияет на форму колебаний. Иными словами, электрические граничные условия мало влияют на частотные и другие параметры «мягких» мод. «Жесткие» моды возбуждаются электрическим полем, параллельным направлению упругой волны, т.е. в случае продольного пьезоэффекта. Вследствие этого имеет место заметное влияние электрических граничных условий на форму колебаний, частотные и иные параметры.

В синергитическом квантово-механическом буре использованы изгибные колебания (ИК), которые дают высокие частоты диапазона. Резонаторы ИК выпускают на частоты от нескольких сотен герц до нескольких сотен килогерц, они дают наибольшие возможности миниатюризации, поэтому выбраны для создания конструкции СКМБ. В стержне, совершающем колебания изгиба первого порядка, наблюдаются два узла, расположенные на расстоянии $0,224$ длины стержня от его концов. При изгибе одна половина стержня испытывает растяжение, в то время как другая — сжатие. Механические напряжения равны нулю в среднем сечении, называемом поэтому нейтралью. Эпюра нормальных механических напряжений в поперечном сечении показано на рис.9.13.

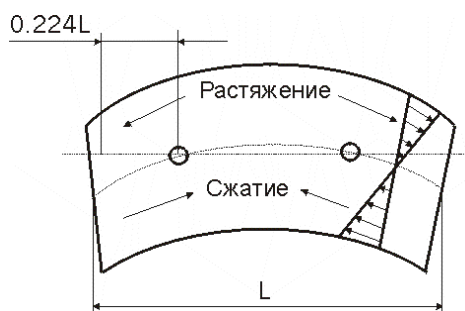


Рис.9.13. Изогнутый ПКЭ, на котором показаны области сжатия и растяжения, нейтральная линия, узлы колебаний и эпюра нормальных напряжений

Колебания изгиба можно возбудить в плоскостях длина — толщина или длина — ширина. Эти колебания называют соответственно изгибные колебания по толщине или по ширине. В резонаторах избегают отношений размеров сечений, близких к единице, так как при этом частоты изгибных колебаний по толщине и по ширине оказываются близкими и связанными между собой, что ухудшает их характеристики. Узловые точки на пересечении нейтральной плоскости с гранями характерны тем, что не только смещения, но и напряжения в них равны нулю, это отличает изгибные колебания от колебаний других видов. Поэтому крепления в узловых точках оказывает незначительное влияние на характеристики резонаторов, что предусмотрено в конструкции СКМБ.

В предыдущих главах рассмотрены теоретические и экспериментальные вопросы функционирования ГЭ энергосберегающей обработки материалов. Практическая ее реализация на примере лазерного упрочнения деталей горных машин дается в следующей главе по материалам экспериментальных и промышленных исследований, проведенных в условиях производственного объединения “Павлоградуголь”.

Глава 10 .

Глобальная энергия лазерного упрочнения деталей машин

10.1. Условия применения лазерного упрочнения деталей горных машин

А. Эйнштейном установлено [21], что если нет вырождения энергетических уровней, то фотон с одинаковой вероятностью может индуцировать излучение ансамбля частиц или быть поглощенным. В случае спонтанных процессов испускание фотонов происходит в любом направлении, а вынужденное — в направлении воздействия на уровень энергии гармонического осциллятора обрабатываемого материала. Соотношения для коэффициентов Эйнштейна универсальны, применимы ко всяким системам и любым комбинациям уровней энергий, они отображают и подтверждают понимание взаимосвязи ГОВЭ с лазерным излучением. Поэтому адресуем читателя к содержанию предыдущих глав, раскрывающих функционирование ГОВЭ, и обратим особое внимание на частный пример практических результатов ее применения в угольной промышленности. К сожалению эти работы были приостановлены в связи с перестройкой угольной промышленности и распада единого научного центра в начале девяностых годов. Несмотря на это, научная и практическая ценность освоения ГЭ в лазерной обработке материалов остается актуальной, заслуживающей того, чтобы дать ей новый импульс дальнейшего развития. Такая попытка предпринята в настоящем разделе.

В производственном объединении «Павлоградуголь» мощность рабочих пластов колеблется от 0,6 до 1,0 — 1,2 м, составляя среднюю вынимаемую мощность 0,81 м. Угли каменные, отличающиеся высокой крепостью и вязкостью. По разрабатываемым пластам сопротивляемость углей резанию A_p составляет 250 — 300 кН/м, а для ряда пластов A_p достигает 350–400 кН/м.

В качестве основного выемочного оборудования в очистных забоях шахт применяются механизированные комплексы «Донбасс» с комбайном МК-67, ИК-101М, и МК-67М; комплексы КМК-97 с комбайном 2К-52 и комплексом ИМКМ с комбайном 1ГШ-68. Как показали исследования, проведенные Киевским политехническим институтом [7] главными недостатками комбайнов МК-67, МК-67М и ИК-101, составляющих около 60% всех машин, работающих на шахтах объединения, являются малая надежность гидропривода, невысокие скорости подачи — 1,0–

2,0 м/мин, составляющие 20-30% от паспортных, недостаточный запас прочности узлов и деталей, низкая производительность комбайнов (на 30 - 40% ниже требуемой), повышенный уровень аварийности. Коэффициент машинного времени составлял объединению 0,3 - 0,35, что свидетельствует о недостаточной эффективности использования машин и об имеющихся резервах повышения производительности. Потери времени только по вине забойного оборудования в целом по объединению составляли 11-12 тысяч часов в год. В результате этого ежегодно терялось 300-400 тысяч тонн угля.

В таблице 10.1 показано распределение и количество отказов основных узлов очистных комбайнов по шахтам объединения за 1979-1983 гг. Аварийность гидрооборудования за тот же период приведена в таблице 10.2. Наиболее аварийными узлами угледобывающих комбайнов являются: механизм подачи (30-40%), электродвигатель (20-25%), исполнительный орган (10-15%) от общего количества отказов.

Отказы гидропривода и снижение его работоспособности обусловлено ненадежной работой гидронасоса. Исследованиями [46] установлено, что производительность и долговечность гидронасоса зависит от интенсивности изнашивания трущихся пар поршень - цилиндр ротора гидронасоса. Такое положение вызвано высокими динамическими нагрузками, наличием в рабочих жидкостях, наличием высокоабразивных частиц, концентрация которых в десятки раз выше допустимых ГОСТ 20799-75 норм загрязнения, низкой износостойкостью чугуна СЧ28-48, из которого изготовлен ротор. Наличие утечек и загрязняющих примесей в зазорах трущихся пар приводит к снижению производительности насоса и вызывает необходимость его постоянной работы с повышенными эксцентриситетами. Форсированные режимы обуславливают рост температуры масла, в результате чего происходит снижение модуля упругости стенок цилиндра и начинается прогрессирующий процесс их изнашивания.

Таблица 10.1.

Распределение и количество отказов основных узлов комбайнов на шахтах п/о «Павлоградуголь» за период с 1979 по 1983 г.

Отказы	1979	1980	1981	1982	1983
Исполнительный орган	122	113	125	119	123
Коробчатая шестерня	26	19	17	18	17
Звездочка режущей цепи	6	5	3	4	4
Гидрооборудование в том числе:	273	259	241	253	264
1) подающая часть	79	88	75	83	86
2) гидросистема	99	96	83	80	82

Продолжение таблицы 10.1.

3) гидродвигатель	39	34	31	33	35
4) гидронасос	56	41	52	57	61
Электродвигатель	172	203	149	156	159
Электрооборудование	77	61	55	48	51
Дистанционное управление	81	64	62	57	59
Порыв тяговой цепи	18	15	12	14	13
Порыв режущей цепи	14	14	12	13	12
Всего	789	753	676	685	702

Таблица 10.2.

**Аварийность гидрооборудования по шахтам п/о «Павлоградуголь»
за период с 1979 по 1983 г.(количество случаев)**

Шахты	1979	1980	1981	1982	1983
Терновская	14	12	10	11	11
Першотравнева	26	26	25	28	27
Степная	12	10	11	12	10
Юбилейная	17	14	22	24	26
Павлоградская	37	35	29	27	26
Благодатная	34	37	24	26	25
Самарская	61	60	41	39	37
Днепроовская	32	27	18	24	34
Героев Космоса	17	17	42	38	34
Им. Ленинского Комсомола Украины	23	21	19	24	23
Им.Н.И. Сташкова	-	-	-	-	28
Итого по объединению	273	259	241	253	264

Надежность и долговечность гидронасоса можно увеличить двумя путями: I – работой насоса с рабочей жидкостью, концентрация загрязнения которой составляет 0,005-0,007%, то есть соответствующей требованиям ГОСТ 20799-59; 2 – повышением износостойкости материала стенок цилиндра ротора. Осуществление первого направления представляет собой сложную конструктивную и технологическую задачу. Несмотря на совершенствование гидропривода, наличие сложных и дорогостоящих фильтров, применение специальных сортов масел, постоянного

контроля их загрязнения, эта задача на сегодняшний день практически не решена. Комбайны работают с загрязнением рабочей жидкости 0,1-0,7%, а на ряде шахт п/о «Павлоградуголь» концентрация загрязнения рабочей жидкости достигала 0,8-1%. При анализе качественного и количественного состава загрязняющих примесей оказалось, что в ванной гидронасоса их количество составляло 70-80%, в то время как в ванной гидродвигателя лишь 20-30% от всего количества продуктов загрязнения, что в первую очередь, отражается на работоспособности гидронасоса.

Представляет интерес и возможность осуществления второго направления — повышения износостойкости и прочности материала ротора гидронасоса, а также других деталей и узлов гидропривода. Это позволит снизить требования к сложной обработке и доводке внутренних поверхностей цилиндров; увеличить долговечность и производительность работы как гидропривода, так и комбайна в целом; снизить требования к сортам и качеству масел, их загрязненности, возможности повторного использования, сняв таким образом проблему их дефицитности.

10.2 Выбор и обоснование способа повышения надежности гидропривода лазерным излучением

В настоящее время разработан и нашел применение в промышленности ряд методов повышения износостойкости узлов и деталей машин (табл.10.3)

Таблица 10.3.

Классификация и технологические возможности способов упрочнения чугуна и стали

Процессы, обуславливающие упрочнение	Твердость обработанной поверхности, 10^9 Па	Максимальная толщина упрочненного слоя, 10^{-8} м
Химико – термическая обработка	6,5...12,0	0,6
	7,7...13,0	2,5
Термическая обработка	4,0...11,0	10,0
	5,0...12,0	2,0
Деформирование поверхностного слоя	Увеличение на	0,2
	15...60%	20,0
Наплавка металлов с высокими эксплуатационными свойствами	2,0...4,0	20,0
	2,5...5,0	5,0
Нанесение покрытий на рабочие поверхности	5,5...12,0	20,0
	3,5...20,0	1,0
Химическая обработка	1,4...7,5	5,0
	8,0...9,5	0,3
Электрическая обработка	0,4...1,4	2,0
	6,0...7,0	0,02

С развитием квантовой электроники и созданием оптических квантовых генераторов появился новый источник концентрированной энергии - лазерное излучение. Это электромагнитное излучение оптического диапазона благодаря монохроматичности, узконаправленности, когерентности, высокой плотности энергии, выделяющейся за очень малые — до наносекунд — промежутки времени может быть использовано для поверхностного упрочнения деталей машин. Этот способ еще недостаточно разработан, но имеются сообщения [29] позволяющие отнести этот способ к одному из перспективных методов упрочнения узлов и деталей машин. В частности, твердость поверхностного слоя деталей из чугуна и ряда сталей повышается в 3-5 раз.

Известные методы имеют общий недостаток — шероховатость обрабатываемых поверхностей увеличивается на один-два и более классов. Лазерное упрочнение имеет ряд особенностей, выгодно отличающих его от других методов: управление процессами нагрева и охлаждения с помощью лазерного излучения можно проводить как упрочнение, так и разупрочнение; управление глубиной и твердостью упрочненного слоя производится изменением режимов обработки; возможность получения на поверхности металла слоя с заданными свойствами выведением легирующих элементов; локальность способа упрочнения, позволяющего придавать высокую твердость поверхностному слою; малое машинное время упрочнения и как следствие - высокая производительность процесса; возможность изменения свойств поверхности материалов в труднодоступных местах; бесконтактность способа; возможность получения заданной шероховатости поверхностного слоя; упрочнение крупногабаритных деталей, легкость автоматизации процесса упрочнения ; высокая культура производства [23, 24, 25].

Как показывает анализ, метод упрочнения лазерным излучением деталей машин вообще и чугунных деталей в частности, показал себя как прогрессивный метод, дающий хорошие результаты. При лазерной обработке деталей достигнута микротвердость поверхностного слоя 10^{10} Па при глубине закалки 2-5 10^{-3} м. Несмотря на это, метод не был использован для упрочнения деталей горных машин. Проведенные экспериментальные и промышленные исследования Киевского политехнического института по упрочнению гидронасосов и ряда других деталей очистного комбайна дают основания для широкого применения и внедрения способа упрочнения узлов и деталей машин с помощью лазерной технологии.

Интенсивность изнашивания цилиндров ротора гидронасоса зависит от соотношения модулей упругости материала стенки цилиндра и высокоабразивных частиц загрязнения рабочих жидкостей. В качестве материала роторов в большинстве случаев используется чугун СЧ28-48 с довольно низкой исходной микротвердостью (2,2-2,5) 10^9 Па. Высокое содержание углерода в чугуне способствует его упрочнению с помощью лазерного излучения.

При выборе оптического квантового генератора для исследований упрочнения гидронасосов, других элементов и узлов очистного комбайна, в первую очередь, принимались во внимание их надежность, сравнительная простота эксплуатации и стойкость. Этим требованиям удовлетворяют промышленные электрогазоразрядные CO_2 лазеры “Катунь” и “Кордамон” (ЛГН-702), генерирующие непрерывное излучение с длиной волн $\lambda = 10,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Эти лазеры относятся к категории квантовых генераторов с большими технологическими возможностями в области термообработки металлов и сплавов, отличаются высоким уровнем мощности — 800-1000 Вт. Мощность излучения с помощью оптической системы можно сфокусировать в пятно диаметром 0,6-0,8 мм. Установка “Катунь” снабжена числовым программным устройством, позволяющим обеспечивать различные технологические операции. Излучатели лазеров ЛГН-702 и “Катунь” ремонтпригодны, просты в изготовлении. Несмотря на сложность конструкции, установки просты в работе и обслуживаются одним специалистом.

Для определения рабочих режимов упрочнения лазерным лучем обработаны образцы чугуна СЧ28-48 ротора гидронасоса. Диапазон режимов обработки: диаметр пятна луча лазера $D_n = (3-5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, скорости перемещения образцов V_0 под лучом лазера - 0,006; 0,008; 0,01; 0,01,3; 0,016; 0,02; 0,025; 0,03 и 0,04 м/с. Кроме того, изучены режимы обработки, которые могут вызвать оплавление рабочих поверхностей при $D_n = (3-5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $V_0 = 0,005; 0,004$ и $0,003 \text{ м/с}$.

С помощью промышленного микротвердомера ПМТ-3 определены микротвердость и глубина упрочнения в зонах воздействия на металл лазерного луча. Анализ результатов показал, что под действием лазерного облучения образуется специфическая структура с твердостью до $(8-9,5) \cdot 10^5 \text{ Па}$. Это обусловлено высокой дисперсностью кристаллов, развитой блочностью, повышенной плотностью дислокаций, распределением углерода и легирующих элементов между фазовыми составляющими. В материале по глубине в направлении теплоотвода характерно наличие трех зон: первая — приповерхностная зона, имеющая мартенситную структуру с высокой твердостью, не достижимой ни одним из известных способов термической обработки металлов; вторая — переходная между зоной термического влияния и зоной исходной структуры; третья — зона исходной структуры материала.

На рис. 10.1 приведены зависимости микротвердости от глубины упрочнения для рассмотренных выше режимов обработки чугуна СЧ28-48. Предельно допустимый зазор между поршнем и цилиндром ротора насоса гидропривода составляет $(0,15 - 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, поэтому в первую очередь интерес представляют те режимы, которые обеспечивают максимальную микротвердость и глубину упрочнения до $(0,15-0,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Как видно из рис. 10.1а увеличение твердости $(7,8-9,0) \cdot 10^9$ получена при $D_n = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и времени воздействия $T_v = 0,5$ и $0,3 \text{ с}$ рис. 10.1б. Однако режимы упрочнения $D_n = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и времени воздействия луча 0,3 и 0,225 с наруша-

ют исходный класс шероховатости. Это недопустимо для нормальной работы трущихся пар гидропривода. Указанные режимы не могут быть рекомендованы для упрочнения. При $D_{\text{л}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $T_{\text{в}} = 0,18 \text{ с}$, а также при $D_{\text{л}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $T_{\text{в}} = 0,3 \text{ с}$ микротвердость равна соответственно $8,8 \cdot 10^9 \text{ Па}$ и $8 \cdot 10^9 \text{ Па}$. Такая микротвердость обеспечивается до глубины $0,25 \cdot 10^{-3}$, а режим упрочнения может быть рекомендован как рабочий.

На рис.10.2. показана зависимость ширины B следа лазерного луча по поверхности упрочняемого материала от времени воздействия энергии луча ($T_{\text{в}}$). Наиболее эффективными режимами по производительности упрочнения являются следующие: $D_{\text{л}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $T_{\text{в}} = 0,1-0,18 \text{ с}$ и $D_{\text{л}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $T_{\text{в}} = 0,15-0,3 \text{ с}$.

Особенностью лазерного упрочнения является не только повышение прочностных свойств и износостойкости поверхностного слоя при сохранении качества упрочняемого материала, но и возможность улучшения дефектности исходной структуры материала. Формирование дефектности представляет собой сложный процесс, в основе которого лежат теплофизические свойства чугуна, энергетические параметры лазерного излучения и технология обработки.

С помощью оптического микроскопа "NEORHOT - 21" исследовано влияние лазерного излучения на изменение структуры материала в зонах воздействия лазерного луча. На рис. 10.3 показана зависимость общего количества дефектов от глубины упрочнения при различных режимах обработки. Минимальное количество дефектов находится в упрочненной зоне на глубине $(0-0,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и начинает увеличиваться в переходной зоне с глубины $(0,25-0,4) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, что объясняется снижением энергии потока и более замедленным протеканием квантово-механического процесса.

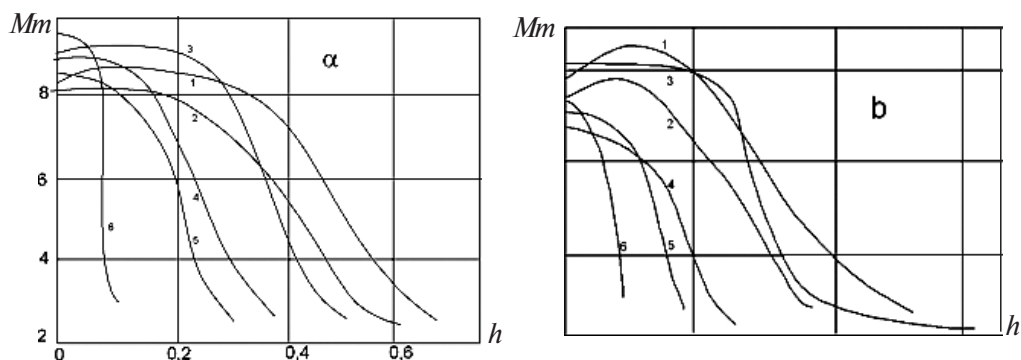


Рис.10.1. Зависимость микротвердости Mm чугуна СЧ28-48 ротора гидронасоса от глубины h упрочненного слоя: а – $D_{\text{л}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 1,2,3,4,5,6 – время воздействия луча лазера на материал соответственно 0,3; 0,225; 0,18; 0,15; 0,12 и 0,9с; б – $D_{\text{л}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 1,2,3,4,5,6 – время воздействия луча лазера на материал соответственно 0,5; 0,375; 0,3; 0,25; 0,2 и 0,15с

На глубине $0,2 \cdot 10^{-3}\text{м}$ количество дефектов при рассматриваемых режимах не отличается более чем на 10-15%, но на глубине $0,4 \cdot 10^{-3}\text{м}$ разница в количестве дефектов достигает 40-60%, и режимы с большим временем воздействия имеют преимущество при упрочнении.

По результатам исследований микроструктуры поверхностного слоя не рекомендуются для упрочнения поверхностей цилиндров, изготовленных из чугуна СЧ28-48, следующие режимы обработки: $D_n = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$; T_v свыше 0,225 с; $D_n = 5 \cdot 10^{-3}\text{м}$ и T_v свыше 0,5 с. Увеличение микротвердости материала в 2-4 раза или до $8 - 8,8 \cdot 10^9\text{Па}$ по сравнению исходной твердостью при необходимой

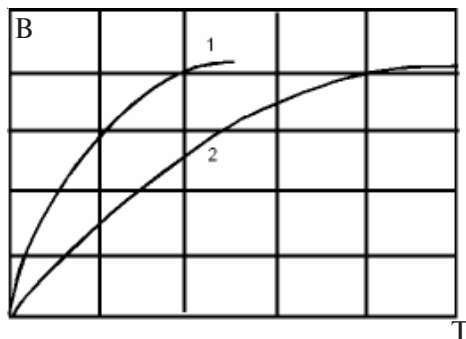


Рис. 10.2. Зависимость ширины следа В лазерного луча по поверхности упрочняемого материала от времени воздействия T_v .

1 – $D_n = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$; 2 – $D_n = 5 \cdot 10^{-3}\text{м}$

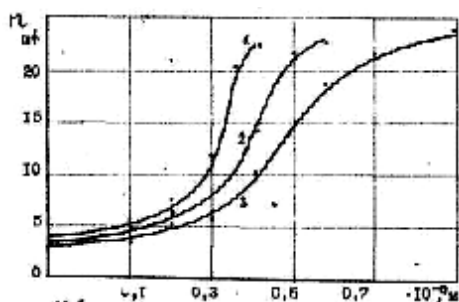


Рис.10.3. Зависимость общего количества дефектов n чугуна СЧ28-48 от глубины упрочнения. $D_n = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$; 1,2,3 – время воздействия соответственно 8,18; 0,225 и 0,3 с

глубине упрочненного слоя $0,2 - 0,3\text{мм}$ обеспечивается режимами обработки $D_n = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$ и $D_n = 5 \cdot 10^{-3}\text{м}$; и временем воздействия луча соответственно 0,18 и 0,3 с.

Для обработки ротора гидронасоса НП-120 выбран режим упрочнения непрерывным излучением с $D_n = 3 \cdot 10^{-3}\text{м}$ и $T_v = 0,18\text{с}$. На рис.10.4 показана технологическая схема обработки ротора лазерным лучом ОКГ, предложенная и опробованная в Киевском политехническом институте. По данной схеме упрочняются устья и рабочие поверхности цилиндров в местах их интенсивного изнашивания. Ротор закреплен на шпиндельном устройстве, совершающем вращение по заложенной в ЧПУ программе. Частота вращения и поперечное перемещение шпиндельного устройства с ротором определено рабочими режимами упрочнения чугуна СЧ28-48. Ротор для упрочнения устьев цилиндра устанавливается под луч ОКГ таким образом, чтобы поверхность ротора была перпендикулярна оси луча лазера. В этом случае полностью реализуются энергетические параметры лазерного излучения и исчезает возможность оплавления цилиндров. Корректировка фокусного расстояния, установка диаметра пятна и фокусировка лазерного луча проводится на нерабочей поверхности ротора.

При вращении шпинделя и его поперечном перемещении относительно неподвижного и сфокусированного на поверхность непрерывного луча лазера происходит поочередное упрочнение всех 22 устьев цилиндров ротора. При диаметре цилиндра $14 \cdot 10^{-3}$ м по каждому ряду цилиндрической группы ротора укладывается 7-8 дорожек при диаметре пятна луча лазера $3 \cdot 10^{-3}$ м и 5-6 дорожек - при диаметре

пятна $5 \cdot 10^{-3}$ м. Упрочненная зона вокруг устьев цилиндров достигает по глубине $0,2-0,3 \cdot 10^{-3}$ м, при этом не нарушается качество поверхности. Время упрочнения устьев цилиндров одного ротора 480 с (8 мин).

Более сложным является процесс упрочнения стенок

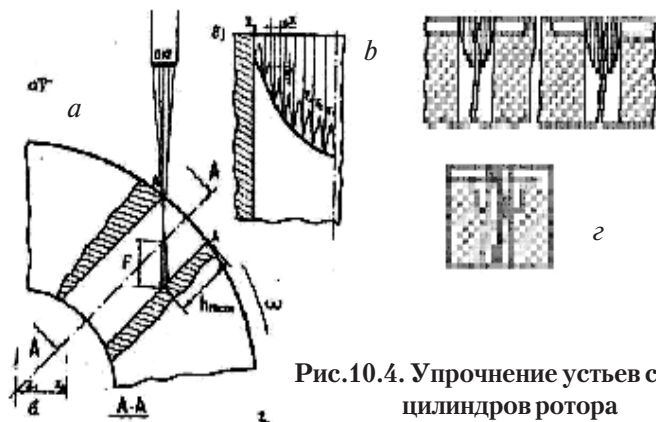


Рис.10.4. Упрочнение устьев стенок цилиндров ротора

цилиндров ротора. Исследования на отработанных роторах позволили рекомендовать схему упрочнения, приведенную на рис.10.4. После упрочнения устьев цилиндров шпиндельное устройство с ротором смещается по горизонтали с точки Z_0 , определяющей первоначальное положение ротора, в точку Z_1 на величину $40 \cdot 10^{-3}$ м, а также относительно точки Z_1 вверх по вертикали на $25 \cdot 10^{-3}$ м. По координатам X и Z , заложенным в программу ЧПУ проводится обработка цилиндров. Положение ротора в точке Z_1 соответствует начину упрочнения, то есть месту укладки первой дорожки. Для каждой новой дорожки шпиндельное устройство с ротором смещается на ΔX обеспечивая наибольшую и постоянную плотность мощности на упрочняемом участке стенки цилиндра. Упрочненная поверхность и глубина упрочнения стенок цилиндра показаны на рис. 10.4г. При вращении ротора поочередно упрочняются наиболее подверженные износу рабочие поверхности всех 22 цилиндров на высоту упрочнения $h_1 = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м и глубину упрочнения $0,2 - 0,3 \cdot 10^{-3}$ м. Время на обработку цилиндров одного ротора составило 900 с (15мин).

10.3. Промышленная апробация повышения надежности очистных комбайнов

Испытания упрочненного гидронасоса на надежность и долговечность проводились на специально разработанном и изготовленном полноразмерном испытательном стенде на базе серийного очистного комбайна МК-67М, что дало возможность моделировать реальные нагрузки. Схема стенда показана на рис. 10.5. Основными его узлами являются: лазерный излучатель, электропривод, гидропривод, узлы нагружения и натяжения, контрольно-измерительная и регистрирующая аппаратура.

При создании стенда предусматривалось его комплексное использование в лабораторных исследованиях как лабораторного образца, на стендовых испытаниях — как полноразмерного стенда, а на промышленных — как опытно-промышленного образца гидропривода очистного комбайна МК-67М. Это обеспечило экономию временных и материальных затрат на исследования, возможность проведения ускоренных ресурсных испытаний гидропривода, единство методик замеров исследуемых величин на всех этапах. На стенде изучались зависимости тягового усилия и скорости подачи от эксцентриситета и качества рабочей жидкости, ресурса и режимов работы гидропривода как от вышеприведенных параметров, так и от скорости подачи при испытаниях элементов гидропривода с исходной структурой материала и после лазерного упрочнения. Аппаратура, установленная на стенде, позволяет в процессе эксперимента регистрировать: давление P жидкости в гидросистеме; температуру масла T ; тяговое усилие N_t ; скорость подачи V_3 , а также ток главного двигателя $I_{дв}$ и ток нагрузочного электродвигателя $I_{н}$.

Испытание насосов с упрочненным и неупрочненным роторами проводилось при концентрации загрязнения рабочей жидкости $K_o = 6\%$. За критерий ресурса гидронасосов принималось время, в течение которого обеспечивалась работоспособность гидропривода при тяговом усилии 10^5 Н и скорости подачи $2,5 \cdot 10^{-2}$ м/с. Измерения на неупрочненных и упрочненных гидронасосах как в начале, так и в конце эксперимента проводились под нагрузкой в течение $2,7 \cdot 10^3$ с из расчета $3 \cdot 10^{-3}$ с на 10^{-3} м эксцентриситета гидронасоса. Начальные параметры (N_t , V_3 , P , T^0) в течение контрольного времени $2,7 \cdot 10^3$ с не имели резких отличий. Гидропривод обеспечивал необходимое тяговое усилие и скорость подачи при эксцентриситете $e = (4 - 4,5) \cdot 10^{-3}$ м.

Изменение параметров гидропривода с неупрочненным и упрочненным гидронасосами в течение наработки на отказ (рис. 10.6.) показало, что работа меха-

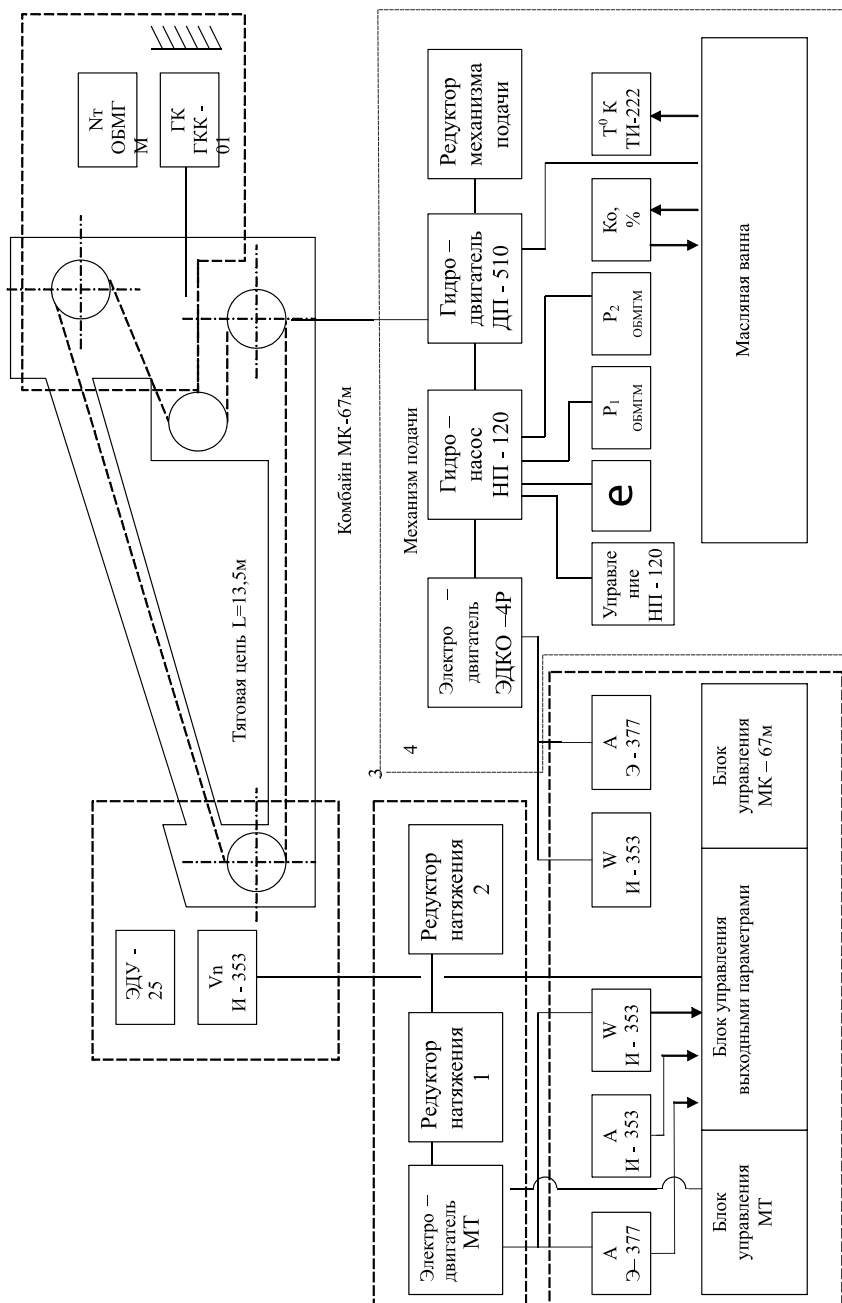


Рис.10.5. Схема испытательного стенда:

1 – узел натяжения; 2 – узел измерения скорости подачи; 3 – очистной комбайн; 4 – механизм подачи

низма подачи гидропривода с упрочненным гидронасосом отличается более стабильными рабочими режимами, дестабилизация которых происходит начиная с $(0,93 - 1,0) \cdot 10^5$ с. Ресурс работы гидропривода с неупрочненным насосом составил $0,324 \cdot 10^5$ с, а с упрочненным — $1,25 \cdot 10^5$ с. В первом случае из $0,324 \cdot 10^5$ с наработки — $0,126 \cdot 10^5$ с (39%) отработано при $e = 4 \cdot 10^{-3}$ м, остальные $0,194 \cdot 10^5$ с (61%) отработано при изменении $e = (5 - 9) \cdot 10^{-3}$ м. Увеличение температуры масла с 23 до 118°C вызвано большими утечками в цилиндро - поршневой группе и снижением вязкости самого масла. Насос с упрочненным лазерной технологией ротором отработал при $e = 4 \cdot 10^{-3}$ м $0,756 \cdot 10^5$ с, остальные $0,468 \cdot 10^5$ с — при изменении $e = (5 - 9) \cdot 10^{-3}$ м. Сравнительные параметры работы гидропривода с неупрочненным и упрочненным насосами после $0,324 \cdot 10^5$ с наработки (Таблица.10.4) и отказа первого насоса свидетельствуют о более высоких эксплуатационных качествах, а также об устойчивости и долговечности работы гидронасоса с упрочненным ротором.

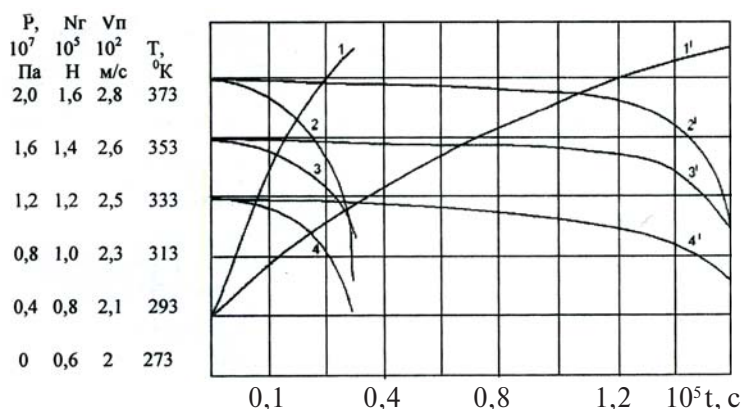


Рис.10.6. Зависимость режимов работы гидропривода от времени наработки. 1,2,3,4; 1',2',3',4' — температура масла, тяговое усилие, скорость подачи, давление в гидросистеме для насосов с неупрочненными и упрочненными роторами

механизма подачи отразилась на снижении отказов очистного комбайна на 20 — 30 % и повышении его производительности на 1 — 2 %, что свидетельствует о необходимости внедрения глобальной энергии лазерной обработки материалов в горное производство. Эта нетрадиционная энергия является результатом резонанса информации и энергетики с полезным использованием ГОВЭ ГЭМП при лазерной обработке деталей машин.

В результате промышленных испытаний надежности работы очистного комбайна МК-67М с упрочненным гидронасосом на шахте «Благодатная» производственного объединения «Павлоградуголь» установлено, что ресурс гидронасоса увеличивается в 3,2 раза, а стабильность рабочих режимов ме-

Таблица 10.4.

Сравнительные параметры работы гидропривода с неупрочненными (н.н.) и упрочненными (у.н.) насосами после $0,324 \cdot 10^5$ с наработки

е $\times 10^{-3}$	$N_T \times 10^5 \text{ Н}$		$V_n, \times 10^{-2} \text{ м/с.}$		Р, Па		$T^0, \text{ К}$	
	н.н.	у.н.	н.н.	у.н.	н.н.	у.н.	н.н.	у.н.
0	0	0	0	0	0	0	295	296
1	5,6	6,5	0,5	0,83	0,3	0,5	312	299
2	5,9	8,0	0,83	1,5	0,35	0,6	324	304
3	6,2	10	1,0	2,3	0,4	0,7	333	308
4	6,4	11	1,5	2,7	0,5	0,8	337	312
5	6,5	13	1,7	4,0	0,5	0,9	344	319
6	6,7	14,5	1,8	5,5	0,65	1,0	353	324
7	7,2	15	2,0	7,1	0,6	1,1	366	327
8	9,1	16	2,1	8,0	0,7	1,2	382	333
9	10,0	17	2,3	9,0	0,8	1,4	391	338

В заключение следует отметить, что экономический эффект работы очистного комбайна с упрочненным гидронасосом составил 30 — 35 тысяч рублей в год.

Заключение

Энергоемкость и энергоперерасход производства, в основном, определяют экономику любой страны. Ее техническое совершенство характеризуется энергосбережением и использованием дешевых альтернативных видов энергии. Украина одна из наиболее энергозатратных стран в мире. Согласно данным исследований, выполненным научными организациями Украины и подтверждёнными экспертами международных организаций, затраты энергии на единицу валового продукта в 2–3 раза или более превышают соответствующие показатели промышленно развитых стран.

Важно отметить, что все развитые страны мира ввели энергосбережение в сферу государственной политики, приняли соответствующие законодательные акты и создали, как общегосударственные, так и региональные органы по управлению энергосбережением. Активно проводят политику энергосбережения также страны Центральной и Восточной Европы. За последние 20 лет энергоемкость ВВП Румынии и Польши снижено более чем на 20%, Словакии — почти на 20%, Чехии и Венгрии — на 10%. (Тенденції розвитку енергетики в країнах Центральної та Східної Європи з перехідною економікою // Енергоінформ. — 1999. — №8).

Высокая энергоёмкость ВВП в Украине вызвана в, основном, существенным технологическим отставанием в большинстве отраслей, недостаточными темпами структурной перестройки экономики, остановкой предприятий, несовершенством правовых, административных и экономических рычагов экономного использования ТЕР, отсутствия финансовых средств для внедрения энергосберегающих технологий. Если в название «нетрадиционные» виды топлива и источников энергии, вложить наше понимание его содержания, то топливно — энергетический баланс этих стран будет отражать неудовлетворительное состояние их интеллектуальной экономики.

Устранить приведенные недостатки невозможно существующими методами обработки материалов, нагружением их молекулярных мембран машинами циклического действия с манипуляторами. Непрерывная обработка материалов нагружением их квантово-механических контуров резонансной глобальной фотонной обратимой внутренней энергией систем позволит положительно и быстро решить эту проблему. Для этого разработана теория квантово-механических контуров, определившая арену синергитического нагружения и полезного использования обратимой внутренней энергии машины и обрабатываемого материала. Реализован предложенный метод трансформирования спонтанных потоков излучаемых внутренних энергий в индуцированные цепными реакциями между уровнями

глобальной энергии гармонических осцилляторов и молекулярных электронов КМК с использованием глобальных электронномагнитных роботов (ГЭМР).

Первые работы в этом направлении проведены в лабораторных и производственных условиях с существенным повышением ПГУ на примерах бурения шпуров с концентраторами энергий массивов камня ТНРСМ и глубоких скважин продуктивного нефтяного пласта синергитичным квантово-механическим резонансным нагружением фотонами КМК. Квантово-механическая теория контуров и методов ее реализации не ограничиваются бурением твердых тел, она находит применение в обработке жидких и газообразных материалов. Получены результаты по холодному крекингу, преобразования метана в жидкое топливо, очистке жидкостей. Большие возможности открыты и для легкой промышленности, где назрела необходимость обновления оборудования и технологий квантово-механической обработки льна, кожи, конопли и других материалов.

Предстоит сложная работа по привлечению производственных и научных кадров к непосредственному участию в работах по полезному использованию больших объемов нетрадиционной глобальной обратимой внутренней энергии обрабатываемых материалов, машин и от чего в значительной мере зависят инновационная стратегия и интеллектуальная политика и, как следствие, улучшение благосостояния народа.

Все содержание монографии основано на обоснованном явлении резонанса информатики использованием глобальной обратимой внутренней энергии гармонических асцилляторов и уровней энергий молекул обрабатываемого материала глобальности электрономагнитными работами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 951178/03(030214) Российская федерация. Способ восстановления скважин и устройство для его осуществления.
2. *Адаменко О.О.* Кто керує «самоплинним розпадом»? // Наука і суспільство. — 1997. — № 11. — С. 15-19. — № 12. — С. 18-24.
3. *Александров Е.В., Соколинский В.Б.* Прикладная теория и расчеты ударных систем. — М.: Наука, 1969. — 201 с.
4. Алмазный инструмент для разрушения горных пород/ А.Ф. Кичигин, С. Н. Игнатов, Ю.И. Климатов, В.Д. Ярема. — М.: Недра, 1980. — 159 с.
5. *Барон Л.И., Глатман Л.Б.* Контактная прочность горных пород. — М.: Недра, 1966. — 287 с.
6. *Башта Т.М.* Машиностроительная гидравлика. — М.: Машгиз, 1963. — 526 с.
7. *Безухов Н.И.* Основы теории упругости, пластичности и ползучести. — М.: Высш.шк., 1961. — 536 с.
8. *Быковский И.И.* Основы теории вибрационной техники. — М.: Машиностроение, 1969. — 363 с.
9. *Бакли Д.* Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. М.: Машиностроение, 1986 — 360 с.
10. *Бульбас В.Н., Кичигин А.Ф., Лылак Н.Н.* Способ восстановления скважин и устройства для его осуществления. А.С. № 95 11 78/03(03214) от 19.10.95 г.
11. *Вавилов Н.И.* Избранные произведения. Т.1. — Л.: Наука, 1967. — 424 с.
12. *Воинов О.В., Воинов В.В.* О схеме захлопывания кавитационного пузырька около стенки с образованием кавитационной струи. ДАН СССР, 1976 — 215 с.
13. *Виговський В.М.* Обробка середовищ енергетичними потоками імпульсно-хвильового трансформатора// Вісник НТУУ (КПІ). Сер. Гірництво. — 1999. — Вип. 1. — К. С. 75-79.
14. *Вихман Э.* Квантовая физика. — М.: Наука, 1974. — 414 с.
15. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительного-дорожных машин / А.С. Сагинов, А.Ф. Кичигин, А.Г. Лазуткин, И.А. Янцен. — М.: Машиностроение, 1979. — 200 с.
16. *Глинка И.Л.* Общая химия. Изд. 16-ое. Л.: Химия, 1973. — 728 с.
17. *Говоров В.А.* Электрические магнитные поля. — М.: Наука, 1969. — 220 с.
18. ГОСТ 2874 — 82. Вода питьевая. Контроль качества.
19. *Елисеев В.И.* Введение в методы теории функций пространственного комплексного переменного. <http://www.math.ru/>.

20. *Екобори*, Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. Металлургия, М.: 1971. — 263 с.
21. *Кондиленко И.И., Коротков П.А., Хижняк А.И.* Физика лазеров. Учебное пособие. — К.: Вища школа, 1984 — 231 с.
22. *Карянин Н.И., Быстров К.Н., Киреев С.П.* Краткий справочник по физике. М.: Высшая школа, 1969 — 597 с. 598 с.
23. *Кічигін А.Ф.* Фундаменталізація навчального процесу. НТУУ (КПІ), 2000. — 103-106 с.
24. *Кичигин А.Ф., Слиденко В. Г.* Вероятностно-геометрическая модель структурно-неоднородных материалов. “Наука”. — Новосибирск, 1998. — 14-26 с.
25. *Кічигін А. Ф.* Глобальна енергія у видобутку та переробці дорогоцінних матеріалів. Труды международной конференции “БРМ-2003”. — Донецк, 2003. — 83-84 с.
26. *Кичигин А.Ф., Егер Д.А.* Канонические ансамбли нефтяной промышленности. — К.: ВІПОЛ, 2001. — Ч.1. — 132 с.
27. *Кичигин А.Ф., Терентьев О.М., Луц О.И.* Основы функционирования системы забой-горная машина: Учеб.пособие. — К.: УМК ВО, 1989. —224 с.
28. *Кичигин А.Ф., Егер Д.А., Оринук Н.М.* Глобальная энергия в энергетическом разрушении материалов, ВІПОЛ, 2003. — 120 с.
29. *Кичигин А.Ф., Сергиенко Н.И.* Опыт работы на шахтах западного Донбаса. К.: Знание украинской ССР, 1984.— С. 20.
30. *Кичигин А.Ф.* Глобальная энергия в обработке драгоценных металлов. Д.: Международная конференция по обработке драгоценных металлов, сборник статей, 2003. С. 16-19.
31. *Кичигин А.Ф., Погорелый В.И.* Глобальная энергия в промышленности, Київ, 2004, с. — 130.
32. *Класен В.И.* Вода и магнит. М.: Наука. 1973. — 234 с.
33. *Крон Г., Крон Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1970. — 720 с.
34. *Кукуруза В.Д.* Новые электродинамические методы интенсификации добычи нефти и прогнозирования нефтегазоносности // Разраб. и эксплуатация нефт. месторождений. — 1995. — С. 29-32.
35. *Кульский Л.А., Душкин С.С.* Магнитное поле и процессы водообработки. К.: Наукова думка, 1987. — 216 с.
36. *Кульский Л.А.* Очистка воды на основе классификации ее примесей. К.: 1967. — 124 с.
37. *Лозовский В.И.* Курс физики. Санкт-Петербург, Ламс 2001, С. — 2060.
38. *Леонов М.Я., Панасюк В.В.* Развитие мельчайших трещин в твердом теле // Прикладная математика. — 1959. — № 4. — С. 12-21.
39. *Лейте В.* Определение загрязнения питьевых природных и сточных вод. М.: Химия, 1975. — 165 с.

40. **Либовец Г.** Разрушение. — М.: Мир, 1975. — Т.2. — 763 с.
41. **Лойцянский Л.Г.** Механика жидкости и газа. М.: Машиностроение, 1994. — 136 с.
42. Механическое разрушение горных пород комбинированным способом / А.Ф. Кичигин, С.И. Игнатов, С.Н. Лазуткин, И.А. Янцен. — М.: Недра, 1972. — 256 с.
43. **Нейбер Г.** Конструкция напряжений: Пер. с нем. — М.: Гостехиздат, 1947. — 315 с.
44. **Павлов Н.Н., Шрейнер Л.А.** Разрушение горных пород при динамическом нагружении. — М.: Недра, 1964. — 159 с.
45. **Поль Р.В.** Механика, акустика и учение о теплоте. — М.: Наука, 1971. — 433 с.
46. **Протасов Ю.И.** Теоретические основы механического разрушения горных пород. — М.: Недра, 1985. — 242 с.
47. **Пугачев С.А.** Пьезокерамические преобразователи. Методы измерения и расчета параметров. — М.: Машиностроение, 1966. — 245 с.
48. **Рождественский В.В.** Кавитация. Наука, 1997. — 164 с.
49. **Ржевский В.В., Новик Г.Я.** Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. — 360 с.
50. **Синько В.П.** Вибросейсмический метод // Разраб. и эксплуатация нефт. месторождений. — 1997. — С. 22-23.
51. **Сагинов А.С., Кичигин А.Ф., Лазуткин А.Г., Янцен И.А.** Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин. М.: Машиностроение, 1979. — 200 с.
52. **Спроул Р.** Современная физика. М.: Физматгиз, 1961. — 499 с.
53. **Соколинский В.В.** Машины ударного разрушения. — М.: Машиностроение, 1982. — 184 с.
54. **Тебеникин Е.Ф., Гусев Б.Г.** Обработка воды магнитными полями в теплоэнергетике. М.: Энергия, 1970. — 196 с.
55. **Шепелев А.П.** К расчету частоты высокочастотных колебаний в гидравлической системе с трубкой Вентури. Динамика насосных систем. — К.: Наук.думка, 1980. — С. 122 - 124.
56. **Циферблат В.Л., Смирнова О.В.** ЦНИЭИ уголь. Горные машины с гидро- и пневмоударниками за рубежом. Обзор информации. М.: 1979. — 48 с.
57. **Шинкоренко В.Ф.** Основы теории эволюции электромеханических систем. — К.: Наукова думка, 2002. — 283 с.
58. **Шинкоренко В.Ф., Чужак В.Ф., Данилян П.И.** Генетическая классификация и область существования структур многофазных обмоток электрических машин. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Вып. 4 84. — Харьков, 2004 — С. 103 — 108.

59. *Шелдон С.Л., Чанг.* Синтез оптимальных систем автоматического управления. Машиностроение, М.: 1964. — 440 с.
60. *Черепанов Г.П.* Механика хрупкого разрушения. — М.: Наука, 1974. — 640 с.
61. *Щербина К.Г., Світлицький В.М., Зазекало І.Г.* Використання нітрату карбаміду у режимі горіння для внутрішньопластової обробки нафтогазоконденсатних свердловин // Нафтова і газова пром-сть. 1998. — № 5. — С.16-18.
62. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. Наука, главная редакция физико-математической литературы. М.: 1971. — 939 с.
63. Энциклопедический справочник. — М.: Наука, 1952. — 708 с.
64. *Griffith A.A.* The phenomenon of rupture and flow in solids. — Phil, Trans, Roy. Soc. A. 221. 1920. — 220 p.
65. *Irwin G.R.* Fracture dynamis in Fracture of metals. — ASM Cleveland, 1948. — 215 p.
66. *Mott N.F.* Enginering. — 165 (1948). 165 p.
67. *Orowan E.O.* Fundamentals of brittle behaviour of metals. — Factice of metals, Willey, № 4, 1952. — P. 32-50.
68. *Coleman B.D., Appl.Phys.,* 1958, v.27, p. 968.
69. *Weibull W, Ing. Vetsenkaps Akad, Handle.,* 1939, № 151. S.153.

Научное издание

КИЧИГИН Анатолий Филлипович
ЕГЕР Дмитрий Александрович
ИВЧЕНКО Александр Григорьевич

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ ДОБЫЧИ И

ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Монография

Редактор *Билокурский Сергей Петрович*
Корректор *Наследова Татьяна Анатольевна*
Компьютерная верстка *Василенко Людмила Геннадиевна*
Дизайн обложки *Сидоренко Мария Алексеевна*

Подписано к печати 24.02.2006 г.
Формат 70 x 100 1/16. Бумага офсет. Печать офсет. Гарнитура NewtonC.
Усл.-печ. листов — 32,50. Учет.-изд. листов — 40,15.
Тираж 1000 экз.
Заказ №