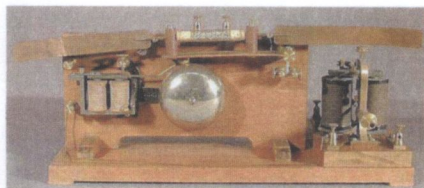
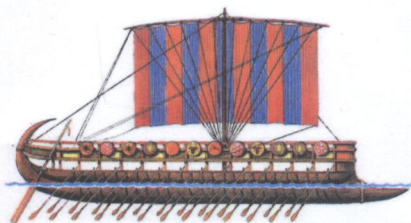


Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов

# ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ



**Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет**

**Р. Д. Іскович-Лотоцький,  
І. В. Севостьянов**

# **ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

**Підручник**

**Вінниця  
ВНТУ  
2015**

УДК 62 (075)

ББК 30я73

І 86

Автори:

**Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В.**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Машинобудування» та «Інженерна механіка». Лист № 1/11-20849 від 31.12.2013 р.

468418

Рецензенти:

**Г. Й. Зайончковський**, доктор технічних наук, професор

**О. П. Губарев**, доктор технічних наук, професор

**В. Ф. Анісімов**, доктор технічних наук, професор

**Іскович-Лотоцький, Р. Д.**

**І 86** Історія інженерної діяльності : підручник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 266 с.

ISBN 978-966-641-633-2

У підручнику розглядається історія інженерної діяльності людства від епохи неоліту до теперішнього часу, в тому числі, історія природничонаукових відкриттів, створення та удосконалення найважливіших пристроїв та технологій. Вивчається розвиток таких основних галузей і напрямків, як енергетика, машинобудування, транспорт, теплові двигуни, військова техніка. Визначається внесок у науку та технічний прогрес окремих вчених, інженерів, конструкторів та винахідників.

УДК 62 (075)

ББК 30я73



ISBN 978-966-641-633-2

© Р. Іскович-Лотоцький, І. Севостьянов, 2015

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ІНЖЕНЕРНА ДІЯЛЬНІСТЬ ДО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ ..	9
1.1 Неолітична революція .....	9
1.2 Освоєння скотарства .....	14
1.3 Становлення стародавніх цивілізацій .....	18
1.4 Наука і техніка в античному світі.....	24
1.5 Наука і техніка в середні віки .....	30
1.6 Початок нового часу .....	35
1.7 Народження сучасної науки .....	40
1.8 Техніка мануфактурної епохи .....	42
1.9 Промислова революція .....	45
1.10 Наука в період промислового перевороту .....	50
1.11 Технічні досягнення кінця XIX – початку XX ст. ....	53
1.12 Контрольні запитання .....	60
2 РОЗВИТОК ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ .....	61
2.1 Поршневі парові машини .....	61
2.2 Парові турбіни .....	66
2.3 Парогенератори .....	69
2.4 Двигуни внутрішнього згоряння .....	71
2.5 Газотурбінні і турбореактивні двигуни .....	82
2.6 Двигуни зовнішнього згоряння .....	89
2.7 Контрольні запитання.....	92
3 РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН .....	94
3.1 Первинні природні енергетичні джерела та еволюція їх використання .....	94
3.2 Гідроенергетика.....	101
3.3 Вітроенергетика.....	107
3.4 Геотермальні енергетичні джерела .....	110
3.5 Геліоенергетичні джерела .....	111
3.6 Енергія біомаси.....	115
3.7 Теплові електричні станції.....	118
3.8 Атомна енергетика .....	120
3.9 Електричні мережі та енергосистеми.....	132
3.10 Контрольні запитання.....	134
4 РОЗВИТОК ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ .....	136
4.1 Практичне значення, основні поняття та галузі машинобудування	136
4.2 Основні регіони, продукція та особливості розміщення галузей машинобудування .....	140
4.3 Розвиток верстатобудування.....	153
4.4 Сучасні тенденції верстатобудування .....	164
4.5 Контрольні запитання .....	165
5 РОЗВИТОК НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ .....	166
5.1 Залізничний транспорт .....	166

5.2 Безрейковий наземний транспорт .....	182
5.3 Значення та сучасні тенденції автомобілебудування .....	190
5.4 Контрольні запитання .....	200
<b>6 РОЗВИТОК АВІАЦІЇ .....</b>	<b>201</b>
6.1 Початковий етап розвитку літальних апаратів .....	201
6.2 Перший етап розвитку авіації (1903 – 1918 рр.) .....	208
6.3 Другий етап розвитку авіації (1918 – 1946 рр.) .....	212
6.4 Третій і четвертий етапи розвитку авіації (1946 – 2010-і рр.). Розвиток пасажирської, транспортної та малої авіації .....	219
6.5 Контрольні запитання .....	232
<b>7 РОЗВИТОК ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ .....</b>	<b>234</b>
7.1 Виникнення та початковий період розвитку військової техніки .....	234
7.2 Артилерія .....	237
7.3 Вогнепальна стрілецька зброя .....	245
7.4 Контрольні запитання .....	260
<b>ПІСЛЯМОВА .....</b>	<b>261</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>262</b>

## ВСТУП

Для людей нашого часу очевидно, що наука і техніка відіграють в сучасному суспільстві головну, вирішальну роль. Проте так було далеко не завжди. Стародавні греки, при всій своїй любові до філософії, дивилися на ремесло механіка як на заняття простолюдинів, не гідне дійсного ученого. Світові релігії, що з'явилися пізніше, спочатку взагалі відкидали науку. Один з отців християнської церкви, Тертуліан, стверджував, що після Євангелія ні в якому іншому знанні немає необхідності. Так само міркували і мусульмани. Коли араби захопили Олександрію, вони спалили знамениту Олександрійську бібліотеку – халіф Омар заявив, що раз є Коран, то немає потреби в інших книгах. Ця догма панувала аж до початку Нового часу. У XVII ст., в епоху відродження знань, інквізиція переслідувала Галілея і спалила на багатті Джордано Бруно. Винахідники нових механізмів теж піддавалися гонінням, наприклад, у 1579 р. в місті Данциг було страчено механіка, що створив стрічковкацький верстат. Причиною розправи було побоювання муніципалітету, що цей винахід викличе безробіття серед ткачів. Розуміння ролі науки прийшло лише в епоху Просвітництва, коли Жан-Батист Колбер, знаменитий міністр Людовика XIV, створив першу Академію. З цього часу наука стала отримувати організаційну і фінансову підтримку держави [1].

Першим досягненням нової науки було відкриття законів механіки – зокрема закону всесвітнього тяжіння. Ці досягнення викликали захоплення в суспільстві; Вольтер написав книгу про Ньютона і присвятив поему «героям-фізикам», «новим аргонавтам» науки [2]. Філософи XVIII в. – Е. Б. Кондільяк, А. У. Тюрго, Ж. А. Кондорсе – оспівували культ Розуму і створили «теорію прогресу»; донині ніхто не знав, що таке «прогрес». На початку XIX ст. «теорія прогресу» породила позитивізм – філософію науки; ця філософія стверджувала, що всі явища і процеси підкоряються законам, подібним до законів механіки, що ці закони ось-ось будуть відкриті, що прогрес науки вирішить всі проблеми людства. Дійсно, промислова революція різко змінила життя людей, на зміну традиційному устрою сільського життя прийшло нове промислове суспільство; дивовижні відкриття і винаходи йшли один за одним і світ стрімко змінювався на очах одного покоління. Услід за «індустріальним суспільством» народилося «постіндустріальне», а потім «інформаційне» суспільство – і тепер важко навіть уявити, куди заведе людство технічний прогрес і що на нас чекає в найближчому майбутньому [2].

Таким чином, історія людства ділиться на два нерівні періоди, перший період – це суспільство до промислової революції, «традиційне суспільство». Другий період – це період після промислової революції, «індустріальне суспільство». В «індустріальному суспільстві» роль науки і техніки

очевидніша, ніж в традиційному, проте насправді розвиток традиційного суспільства, кінєць кінєцем, також визначався розвитком техніки [2].

Роль техніки в історії людства вивчається в рамках групи соціологічних теорій, які носять загальну назву дифузїонїзму. Найбільш популярною в дифузїонїзмі є так звана «теорія культурних кіл» (1911 р.). Творцем цієї теорії є німецький історик і етнограф Фріц Гребнер, який систематизував елементи свого наукового підходу в книзі «Метод в етнології» [3]. Ф. Гребнер вважав, що схожі явища в культурі різних народів пояснюються походженням цих явищ з одного центру. Послідовники Гребнера вважають, що найважливіші елементи людської культури з'являються лише одного разу і лише в одному місці в результаті великих, фундаментальних відкриттів. У загальному сенсі, фундаментальні відкриття – це відкриття, що дозволяють розширити екологічну нішу етносу. Це можуть бути відкриття в області виробництва харчів, наприклад, доместикація рослин, що дозволяє збільшити щільність населення в десятки і сотні разів. Це може бути нова зброя, що дозволяє розсунути межі проживання за рахунок сусідів. Ефект цих відкриттів такий, що вони дають народу-першовідкривачеві вирішальну перевагу перед іншими народами. Використовуючи ці переваги, народ, вибраний богом, починає розселятися з місць свого проживання, захоплювати і освоювати нові території. Колишні мешканці цих територій або винищуються, або витісняються прибульцями, або підкоряються їм і переймають їх культуру. Народи, що знаходяться перед фронтом нашестя, у свою чергу, прагнуть перейти зброю прибульців – відбувається дифузія фундаментальних елементів культури, вони розповсюджуються, обкреслюючи культурне коло, область поширення того або іншого фундаментального відкриття.

Теорія культурних кіл у наш час є робочим інструментом для етнографів і археологів: вона дозволяє реконструювати реалії минулого і знаходити витoki культурних взаємозв'язків. Для істориків вона надає метод філософського осмислення події, метод, що дозволяє виділити суть того, що відбувається. Наприклад, довгий час залишалися загадковими причини масових міграцій арійських народів у XVIII-XVI ст. до н. е. – в цей час арійці зайняли частину Індії і Ірану, прорвалися на Близький Схід, і, на думку деяких дослідників, досягли Китаю. Лише порівняно нещодавно завдяки відкриттям російських археологів стало зрозуміло, що першопричиною цієї грандіозної хвилі нашестя був винахід бойової колїсницї (рисунок В.1) – точніше, створення кінної упряжки і освоєння тактики бойового використання колїсниць. Бойова колїсниця була фундаментальним відкриттям арійців, а їх міграції з Великого Степу являли собою розповсюдження культурного кола, що археологічно фіксується як область поховань з конями і колїсницями [2].

Інший приклад фундаментального відкриття – освоєння мєгалургії залїза. Як відомо, методи холодного кування залїза були винайдені горцями Малої Азії у XIV ст. до н. е. – проте це відкриття довгий час ніяк не

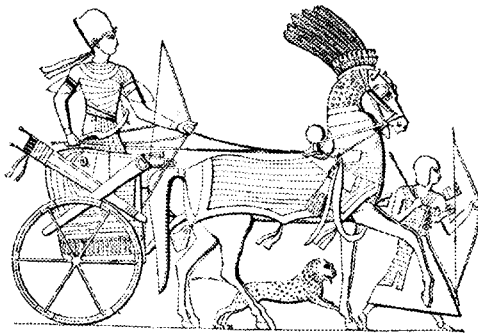


Рисунок В.1 – Єгипетська колісниця

компонентами якого були не тільки залізні мечі і регулярна армія, але й всі традиції Ассирії, у тому числі і самодержавна влада царів. Держава Ассирія загинула наприкінці VII ст. до н. е. в результаті нашествия мідян і скіфів [4].

Скіфи були першим народом, що навчився стріляти на скаку з лука і що передав кінну тактику мідянам і персам. Поява кавалерії була новим фундаментальним відкриттям, що викликало хвилю завоювань, результатом якої було народження Світової Перської держави. Персів змінили македонці, що створили македонську фалангу (рисунок В.2) – нову зброю, проти якої опинилася безсила кіннота персів. Фаланга наочно продемонструвала, що таке фундаментальне відкриття – доти мало кому відомий нечисленний народ раптово вирвався на арену історії, підкоривши половину Азії. Завоювання Олександра Македонського породили культурне коло, яке називають цивілізацією еллінізму [2]. На вістрях своїх саріс македонці рознесли грецьку культуру по всьому Близькому Сходу.

На початку II ст. до н. е. македонська фаланга була розгромлена римськими легіонами – римляни створили маневрену тактику польових битв (рисунок В.3) [1]; це було нове фундаментальне відкриття, яке зробило Рим господарем Середземномор'я. Перемоги легіонів, кінець кінцем, породили нове культурне коло – той світ, який називали «Pax Romana».

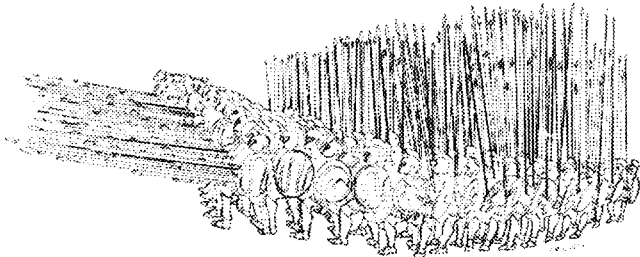


Рисунок В.2 – Македонська фаланга



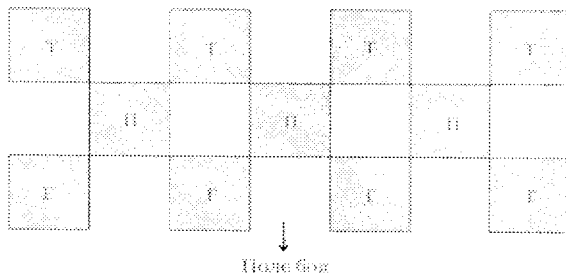


Рисунок В.3 – Розташування маніпул римського легіону на полі бою: Г – гастати (молоді воїни); П – принципи (воїни у розквіті сил); Т – тетрарії (ветерани – у бою їх використовували у крайніх випадках)

Таким чином, культурно-історична школа подає історію як динамічну картину розповсюдження культурних кіл, що породжуються фундаментальними відкриттями в різних країнах. По суті йдеться про технологічну інтерпретацію історичного процесу, про те, що історичні події визначаються ні чим іншим, як розвитком техніки і технології – особливо військової техніки.

Війна – це велика справа для держави, – писав великий китайський філософ і полководець Сунь Цзи. – Війна – це корінь життя і смерті, це шлях існування і загибелі. Це потрібно зрозуміти [2].

# ІНЖЕНЕРНА ДІЯЛЬНІСТЬ ДО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

## 1.1 Неолітична революція

Мабуть, першим винаходом людини було створення ручного рубала (рисунок 1.1) – загостреного каменя, що дозволяє обробляти дерево або

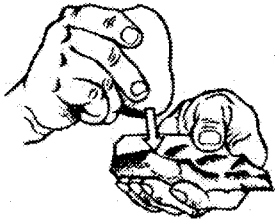


Рисунок 1.1 – Виготовлення кам'яного рубала у ранньому палеоліті



Рисунок 1.2 – Видобування вогню у первісний період

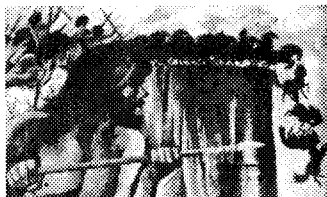


Рисунок 1.3 – Загінне полювання

різати м'ясо [1]. Рубало було першим примітивним зряддям, використання якого виділило людину з світу мавп-приматів. Трохи пізніше, приблизно 100 тисяч років тому, людина навчилася видобувати і використовувати вогонь (рисунок 1.2), який слугував не тільки для приготування їжі або обігріву, але, в першу чергу, був зброєю на полюванні. Вогонь дозволив організувати загінне полювання: розмахуючи факелами, ланцюг загонщиків направляв стадо тварин до засідки, де ховалися мисливці зі списами і палицями (рисунок 1.3). Дані археології говорять про надзвичайну ефективність загінного полювання – наприклад, на стоянці у Сольютрі (сучасна Франція) були знайдені кістки 10 тисяч коней, яких заганяли до крутого обриву [2].

Загінне полювання було головним чинником, що визначав спосіб життя людей кам'яного віку: вони жили невеликими згуртованими родинами. Колективне полювання вимагало колективізму в повсякденному житті; первісні люди не знали, що таке приватна власність; вони жили в одній печері і харчувалися біля одного багаття, не проводячи ділення здобичі. Всі чоловіки роду вважалися братами, а всі жінки – сестрами. Сім'я мала інший характер, ніж у наш час: окрім першої дружини кожен чоловік мав інших дружин – всі дружини братів, тобто всі жінки роду вважалися його іншими дружинами. У ескімосів дружина брата називалася «аягань» – буквально «моя дружина» [2].

Загінне полювання, врешті-решт, призвело до повного винищення багатьох видів великих тварин, наприклад, мамонтів, мастодонтів, шерс-

тистих носорогів. Намагаючись вижити у вічній боротьбі за існування, люди удосконалювали методи полювання; близько 13 тисяч років тому був винайдений лук, що дозволив полювати на птахів і дрібних тварин. В цей час був одомашнений собака – люди «уклали союз» з предками собак, шакалами, які стали допомагати на полюванні. З'являється гарпун і набуває поширення рибальство; мисливці створюють перші рибальські човни-довбанки. Разом з полюванням все більше розповсюджується збирання їстівних рослин, яким зазвичай займалися жінки [4].

Значення всіх технічних досягнень стародавньої людини зводиться до спроб розширення його екологічної ніші. Об'єм екологічної ніші визначається розмірами наявних харчових ресурсів. Технічні досягнення, скажімо, освоєння рибальства, призводять до збільшення цих ресурсів, тобто до розширення екологічної ніші. Проте за сприятливих умов чисельність населення може подвоїтися за 50 років! Отже, здібність людини до розмноження така, що нові ресурси незабаром виявляються вичерпаними, екологічна ніша заповнюється і знову починає відчуватися брак продовольства.

Люди кам'яного віку майже завжди жили в умовах браку продовольства – тобто в умовах регулярного голоду, що повторюється. Голод призводив до зіткнень між мисливськими родинами, і археологи знаходять численні докази цих зіткнень, зокрема роздроблені і видовбані кістки людей – ознаки канібалізму [5]. За свідченням дослідників, тривалість життя людей Кам'яного віку складала 32 роки у чоловіків і 25 років у жінок – ці цифри говорять про ту сувору боротьбу за існування, яку доводилося вести стародавній людині [2].

Удосконалення методів полювання впливало на життя людей, проте воно не йшло в порівняння з тими революційними змінами, які відбулися в період пізнього неоліту, у IX-VIII тисячолітті до н. е. В цей період відбулася так звана неолітична революція – була освоєна технологія землеробства, люди навчилися сіяти пшеницю і збирати урожай (рисунок 1.4). Якщо раніше для проживання одного мисливця було потрібно 20 км<sup>2</sup> мис-



Рисунок 1.4 – Зародження землеробства

ливських угідь, то тепер на цій території могли прогудуватися десятки і сотні землеробів – екологічна ніша розширилася в десятки, в сотні разів! До мисливців, вимушених постійно битися за існування, несподівано прийшов нечуваний достаток, почалося «Золоте століття» в історії людства.

Характерно, що общини перших землеробів очолювали жінки: вони раніше займалися збиранням і, очевидно, саме жінки «винайшли» землеробство. За свідченням етнографів, у багатьох примітивних народів землеробством займаються жінки, тоді як заняття чоловіків залишається полювання. Внаслідок того, що жінки забезпечують род їжею, вони займають привілейоване положення – для цього періоду характерне панування матриархату [4].

Спочатку основним зряддям землероба була палиця-копалка або мотика (рисунок 1.5). У IV тисячолітті до н. е. був винайдений плуг, в який запрягали волів. Використання плуга потребує великої фізичної сили, і з того часу оранка стала справою чоловіків, вони і стають годувальниками роду, настає час патріархату [6].



Рисунок 1.5 – Перші землеробські зряддя

Освоєння землеробства було великим фундаментальним відкриттям, яке призвело до різкого розширення екологічної ніші і до швидкого збільшення чисельності землеробів. Первинне вогнище землеробства знаходилося на Близькому Сході. Вже у VIII тисячолітті тут став відчуватися брак землі і почалося розселення землеробів на землі навколишніх мисливських племен – починається розповсюдження землеробського культурного кола. У VII тисячолітті землероби з'явилися на Балканах, у VI тисячолітті в долинах Дунаю, Інду і Гангу, а до кінця V тисячоліття – в Іспанії і Китаї. Мисливські племена, колишні мешканці цих територій винищувалися, витіснялися прибульцями або підкорялися їм і переймали їх культуру. Із старих районів землеробства виходили все нові і нові міграційні хвилі. Фінікійці і греки освоювали береги Середземного моря, індійці – береги Індокитаю [4].

Освоєння землеробства надовго забезпечило людей їжею, але разом з тим породило певні проблеми. Перехід на іншу їжу обумовив появу нових хвороб і потребував достатньо тривалої адаптації. Потім виникла проблема одягу: адже раніше мисливці одягалися в звірині шкури. Землероби стали вирощувати рослини з довгими волокнами – перш за все льон; вони стали прядти і ткати лляні волокна. Таким чином з'явилася прядіння і ткання (рисунок 1.6). Ще однією проблемою було зберігання зерна, яке поїдалось зграями мишей. Ця проблема була вирішена з винаходом кераміки. Кошики з лози стали обмащувати глиною і обпалювати на багатті; потім були створені печі для обпалення і гончарний круг. Гончарі стали



Рисунок 1.6 – Один з перших ткацьких верстатів

першими професійними ремісниками, вони жили при громадському храмі і утримувалися общиною [4].

Вельми важливою для землеробів виявилася проблема житла. Мисливці постійно пересувалися у пошуках здобичі і жили в легких куренях, покритих звіриними шкурами. Землероби жили в будинках, перші будинки будували з необпаленої цегли, потім її стали обпалювати в гончарних печах, але обпалена цегла була дорога і застосовувалася, в основному, для облицювання будівель. У IV тисячолітті до н. е. в Месопотамії з'явилося ще одне важливе нововведення – запряжений биками чотириколісний візок [1, 2].

Ще одним відкриттям цього часу було створення перших мідних знарядь. Можливо, перша мідь була випадково отримана з руди в гончарних печах, але як би там не було, це відкриття спочатку не зробило помітного впливу на життя землеробів. Мідь була рідкісним металом, і довгий час використовувалася для виготовлення прикрас. Пізніше, у III тисячолітті, було виявлено, що додавання олова дозволяє отримувати твердіший, ніж мідь, матеріал – бронзу. З останньої стали виготовляти зброю і деякі важливі технічні деталі, наприклад втулки бойових колісниць – проте бронза була ще дорожча за мідь і її поява не привела до розповсюдження металевих знарядь праці [5].

Освоєння землеробства і мотики було першим етапом зміни життя людей під час неолітичної революції. Другим етапом стало освоєння іригаційного землеробства (рисунок 1.7). При застосуванні мотики оброблювана земля швидко виснажувалася, і за два-три роки землероби були вимушені переходити на нову ділянку. У випадку ж реалізації іригації родючість ґрунту відновлюється за рахунок наносів мулу, врожайність залиша-

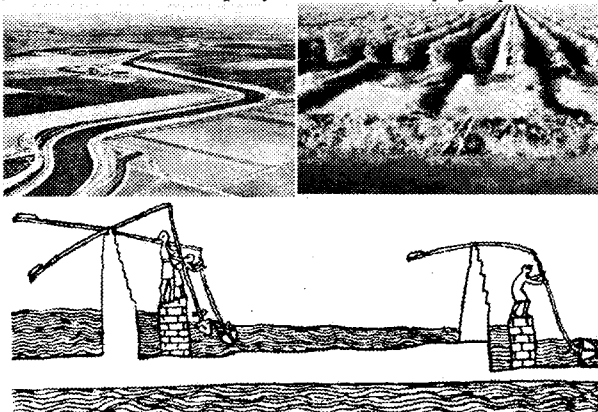


Рисунок 1.7 – Іригаційне землеробство

ється стабільно високою і земельні ресурси використовуються максималь-но ефективно. Про значення іригаційного землеробства говорять такі ци-фри. Щільність населення при мисливському господарстві складає близь-ко 0,05 чол./км<sup>2</sup>, при землеробстві мотики – до 10 чол./км<sup>2</sup>, при іригацій-ному землеробстві вона досягає 100 – 200 чол./км<sup>2</sup>. Таким чином, другий етап неолітичної революції за своїми масштабами не поступався першому.

Іригаційна революція стала фактом у IV тисячолітті до н. е., коли жи-телі Стародавньої Месопотамії, шумери, навчилися будувати магістральні іригаційні канали завдовжки в десятки кілометрів. Величезне збільшення продуктивності землеробства викликало різке зростання населення, в цей час з'являються численні селища, які розростаються до розмірів міст. У III тисячолітті іригаційна революція розповсюджується на долини Нілу, Інду, у II тисячолітті – на долини Гангу і Хуанхе. Долини великих річок стають основними осередками землеробської цивілізації [2, 5].

Розвиток іригації привів до нового розширення екологічної ніші лю-дини – проте ми пам'ятаємо, що чисельність населення зростає дуже шви-дко, за чотириста років вона може зрости в 250 разів. У III тисячолітті щільність населення в річкових долинах зросла в сотні разів, і нова еколо-гічна ніша була заповнена. На Близькому Сході почалося перенаселення.

В період колонізації і достатку родові общини не вважали за потрібне міняти традиційні принципи колективної праці: так само, як і полювання, обробка землі здійснювалася спільно на загальному полі і урожай ділився рівномірно між родичами. Такий порядок землекористування зафіксова-ний у літературних джерелах в багатьох якнайдавніших общинах Азії. Ін-шою традицією, успадкованою землеробами від мисливців, було народне зібрання і родова демократія [2].

Перенаселення проявлялося спочатку нечастим голодуванням в період великих неврожаїв. Община відповідала на нього застосуванням іригації і добрив. Поступово стало виявлятися, що, на відміну від полювання, колек-тивна праця в землеробстві не дає переваги перед індивідуальною пра-цею. «При колективній праці багато хто лінується і є можливість неповної віддачі сил.» – вказується в старовинному китайському трактаті «Люйши чунцю» [2]. Найбільш працелюбні селяни стали вимагати виділення своєї землі і пішли на «хугори». У початковий період після цього селянські на-діли підлягали систематичному перерозподілу.

«Гарними землями не дозволялося користуватися кому-небудь одному постійно, тому раз на три роки передіялися поля і житла», – говорить ки-тайське джерело. У Китаї ця система називалася «цзінь-тянь», вона зафік-сована майже у всіх районах світу, а в Росії і Південно-Східній Азії дожи-ла до XIX ст. [4, 6].

Проте в областях більшого демографічного тиску система наділів швидко призвела до появи приватної власності на землю – перш за все то-му, що переділи стримували застосування добрив і місцевої іригації. При-ватна власність з'явилася в Дворіччі приблизно 2600 років до н. е., а в ін-

ших регіонах – у міру того, як тиск зухвалих общинників досягав гам відповідного рівня. У Китаї це відбулося у VI – VII ст. до н. е., у Індії і в Італії – в середині I тисячоліття до н. е. [2, 5].

Поява приватної власності викликала розпад общини. Сім'ї і приватні будинки відокремилися один від одного високими огорожами. Дружина брата перестала бути «моєю дружиною». Почалося розшарування общини на багатих і бідних. Розділення ділянки в багатодітних сім'ях призводило до того, що наділи не могли прогодувати землевласників. Селяни брали зерно у борг – так з'явилося лихварство – і врешті-решт втрачали свій наділ. Безземельні батрачили у кулаків, просили подаяння на дорогах, дехто промишляв розбоєм. Інша частина безземельних зайнялася професійним ремеслом. Ремісники гуртувалися навколо ринків, щоб міняти свої вироби на хліб – так з'явилися міста і торгівля [7, 8].

Зростання населення приводило до поступового заповнення екологічної ніші землеробів, і у міру цього заповнення відбувалася адаптація людини до нових умов існування. Результатом цієї адаптації і була поява приватної власності, нові сімейні відносини, розвиток міст, торгівлі, ремесел, мистецтв і науки – становлення нового суспільства, яке називають «традиційним суспільством» землеробів. Цей світ був разюче несхожий на колишній світ мисливських общин і ці зміни були викликані великим фундаментальним відкриттям – освоєнням землеробства [2, 6].

## 1.2 Освоєння скотарства

В наш час більшість фахівців вважають, що скотарство з'явилося одночасно або трохи пізніше, ніж землеробство. Маючи надлишки їжі, землероби отримали можливість вигодовувати дитинчат убитих на полюванні тварин – таким чином, відбувалося їх поступове одомашнення. У IX – VIII тисячоліттях до н. е. на Близькому Сході були одомашнені кози і вівці, дещо пізніше – велика рогата худоба (рисунок 1.8) [2, 9].



Рисунок 1.8 – Зародження скотарства

Розселяючись на нові території, землеробські племена приносили з собою навички комплексного господарства. У IV – III тисячоліттях до н. е. землеробські поселення розповсюдилися на обширні простори північного Причорномор'я і Прикаспія. На степових просторах мешкали дикі коні, тарпани, які незабаром були приручені населенням цих місць [1].

У Прикаспії і теперішньому Казахстані лише небагато земель були доступні для обробки мотикою, і землероби селилися на родючих ділянках в заплавах нечисленних річок. Проте навколишні степи були рясними пасовищами, на яких паслися великі стада худоби, – таким чином, в господарстві місцевого населення виразно переважало скотарство. На одному квадратному кілометрі ковильно-різнотравного степу можна було відгодувати 6 – 7 коней або биків, а для проживання однієї сім'ї з 5 чоловік було потрібне стадо приблизно в 25 голів великої худоби, отже, щільність населення в епоху скотарства в степу могла досягати 1,3 чол./км<sup>2</sup> [2, 10].

Таким чином, щільність населення в епоху скотарства лише дещо перевищує максимальну щільність для мисливців і збирачів; вона в 5 – 10 разів менша, ніж у мотикових землеробів і в сотні разів менша, ніж у землеробів, що використовують іригацію. Екологічна ніша скотарів дуже вузька і перенаселення настає достатньо швидко. Намагаючись ввести в господарський обіг віддалені пасовища, жителі степів поступово перейшли до яйлажного скотарства, при якому основне населення залишалося в селищі, а пастухи разом із стадами йшли на все літо на дальні пасовища. Наступним кроком в цьому напрямку стало кочове скотарство: жителі степів стали кочувати разом зі своїми стадами.

Поштовхом до цих швидких і корінних змін у VIII ст. до н. е. було нове фундаментальне відкриття – створення строгих вудил. За цим винаходом прийшло освоєння наїзництва, яке вже не було мистецтвом небагатьох джигітів і стало доступним всім чоловікам. Кочівники Середньої Азії зазвичай зимували в районах на півдні від Сирдар'ї, а літом переганяли свої стада за півтори-дві тисячі кілометрів на багаті пасовища північного Казахстану (через суворий клімат ці пасовища не могли використовуватися взимку). Кочівництво допомогло освоїти північні степи і гірські луки, проте воно потребувало зміни способу життя. Кочівники відмовилися від рослинної їжі, вони харчувалися, головним чином, молоком і молочними продуктами. Найважливішими винаходами кочівників, без яких було б неможливим життя в степах, стали сир і повсть [1].

З переходом до кочового скотарства різко змінилася вся зовнішність степів. Зникли численні селища, життя тепер проходило у возах, в постійному русі людей разом із стадами від одного пасовища до іншого. Жінки і діти їхали в поставлених на колеса кибитках – але були племена, де на коней сіли і жінки. Грецький історик Геродот передає, що у сарматів жінки «разом з чоловіками і навіть без них верхи виїжджають на полювання, виступають в похід і носять однаковий одяг з чоловіками». Археологи свідчать, що в могили жінок – так само, як в могили чоловіків – часто клали вуздечку, символ вершника. Спосіб життя верхи на коні примушував дивуватися багатьох античних істориків [2].

«Вони немов приросли до своїх коней – писав римський історик Амміан Марцеллін про гунів (рисунок 1.9), – і часто сидячи на них, займаються своїми справами. День і ніч проводять вони на коні, займаються



купівлею і продажем, їдять і п'ють, і, схилившись на круту шию коня, зачинають... Коли доводиться радитися про серйозні справи, то і наради вони ведуть, сидячи на конях» [11].

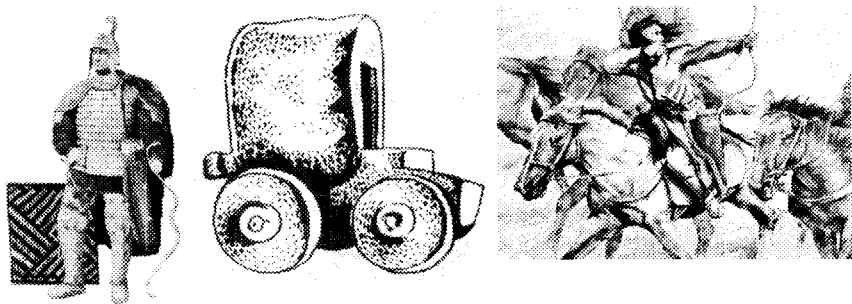


Рисунок 1.9 – Кочівники – гуни

Кочівництво дозволило освоїти нові пасовища, але щільність населення в степу залишалася низькою. Екологічна ніша скотарів була дуже вузькою, і голод був постійним явищем. Китайські хроніки містять багато свідчень про голод серед кочівників.

«У тому ж році в землях сюнну був голод, від нього з кожного десятка населення померло 6 – 7 чоловік, а з кожного десятка худоби лягло 6 – 7 голів. Декілька років страждали від засухи і сарани, земля на декілька десятків днів шляху лежала гола, люди і худоба голодували хворіли, більшість з них померли. Був голод, замість хліба вживали розтерті в порошок кістки, лютували хвороби, від яких велика кількість людей померла» [2].

Арабські письменники повідомляють про частий голод серед татар; є свідчення про те, що в роки голоду кочівники їли падаль, продавали в рабство своїх дітей. Дефіцит їжі породив звичай жертвопринесення людей похилого віку у масагетів; у деяких племен було прийнято убивати вдів, грудних дітей вбивали і хоронили разом з померлою матір'ю. В умовах напівголодного існування бедуїни Аравії часто вбивали новонароджених дівчаток. За наявними даними, середня тривалість життя кочівників складала 36 – 38 років [7].

Спосіб життя кочівників визначався не тільки обмеженістю ресурсів кочового господарства, але і його нестійкістю. Екологічні умови степів були мінливими, сприятливі роки змінювалися засухами і джумом. У середньоазійських степах джум траплявся раз в 7 – 11 років. Сніжний буран або ожеледь призводили до масового вимирання худоби; у деякі роки гинуло більше половини поголів'я. Загибель худоби означала страшний голод: кочівникам не залишалося нічого іншого, як вмирати або йти в набіг. «У нас ведуться постійні війни, – говорив скіф Токсаріс у римського письменника Лукіана, – ми або самі нападаємо на інших, або витримуємо напади, або вступаємо в сутички через пасовища». «У цих племен всі люди без винятку – воїни», – говорив про арабів Амміан Марцеллін [9].

Вічна і загальна боротьба в степу називалася у казахів «баримтой». «Казахські племена постійно ворогували між собою, – писав історик З. Е. Толібєков. – Кожен кочовий аул, почувши про наближення ворога, негайно збирав своє майно і, поспіхом склавши його на верблюдові, тікав. Якщо загроза була велика, то кидали навіть юрту і стадо баранів, бігли, в чому були, забираючи своїх коней і верблюдів» [2].

Кочівники загартовувалися в боротьбі із стихією і в постійних зіткненнях один з одним. У кожному роду був наїздник, що відрізнявся хоробрістю і фізичною силою; постійно проявляючи себе в сутичках, він поступово ставав «батыром» («богатирем»). Батери очолювали роди в битвах, вони були головними героями казахського епосу [1].

«Молодих і сильних поважають, – говорить китайський історик про гунів, – старих і слабких поважають мало. Сильні їдять жирне і краще, люди похилого віку харчуються після них. Хто в битві відрубає голову ворога, той отримує в нагороду кубок вина і все захоплене у здобич». «Щасливими з них вважаються ті, хто вмирає в бою, – говорить Амміан Марцеллін про аланів, – а ті, хто доживають до старості і вмирають природною смертю, переслідуються у них жорстокими насмішками, як виродки і боягузи. Нічим вони так не гордяться, як вбивством людини і у вигляді славного трофея вішають на своїх коней зідрану з черепа шкіру убитих».

У нескінченних битвах виживали лише найсильніші і сміливіші – таким чином, кочівники піддавалися природному відбору, що закріплював такі якості, як фізична сила, витривалість, агресивність. Стародавні і середньовічні автори неодноразово відзначали фізичну перевагу кочівників над жителями міст і сіл. «Кипчаки – народ міцний, сильний, здоровий», – пише Ібн Батута. «Вони такі загартовані, що не потребують ні вогню, ні пристосованої до смаку людини їжі; вони харчуються корінням трав і напівсирим м'ясом всякої худоби», – говорить Амміан Марцеллін про гунів. «Майстерно стріляють з лука на коні, за природою люті, безжальні» – пише китайський історик про тюрків. Як у Китаї, так і в мусульманських державах, жителі степів вважалися кращими воїнами, і з них набиралися добірні військові частини [2, 9].

Природний відбір на силу та витривалість доповнювався вихованням військових якостей, починаючи з раннього дитинства. «Хлопчик, як скоро зможе сидіти верхи на баранові, стріляє з лука пташок і звірів і вживає їх в їжу», – говорить китайський історик про виховання у гунів. У монголів і казахів 12 – 13-річні хлопці разом з своїми батьками ходили в набіги. У набігах брали участь і жінки; у сарматів «дівчина не виходить заміж, поки не уб'є ворога» – свідчить Геродот. За даними археологів, п'ята частина могил сарматів із зброєю зберігають рештки жінок [1, 2].

Війни між кочовими племенами нерідко приводили до об'єднання Великого Степу і створення кочових імперій. Створення єдиної держави кляло кінців міжзем'яним війнам, але не знижувало демографічного тиску в степу. Якщо раніше в роки джуну кочівники йшли в набіг на сусідні

плем'я і чисельність населення знижувалася за рахунок військових втрат, то тепер єдиним способом порятунку від голоду було об'єднання сил степу і нашествия на землеробські країни. Таким чином, об'єднання кочівників породжувало хвилю нашествия.

Нашестя набувало особливо грізного характеру, коли до рук кочівників потрапляла нова зброя. Першою створеною кочівниками новою зброєю була запряжена парою коней легка бойова колісниця, потім почалось освоєння стрільби з лука верхи, були винайдені важкий лук, сідло і стремена, що дозволило використовувати шаблю. Всі ці фундаментальні відкриття порушували військову рівновагу між кочівниками і землеробами і на землеробські цивілізації падала хвиля нашествия непереможних і жорстоких завойовників.

Завоювання приводило до створення станових суспільств, в яких основна маса населення, нащадки переможених землеробів, експлуатувалася нащадками завойовників. У новому суспільстві кочівники складали військовий «рицарський» стан, вони ділили завойовану країну на «феоди», зводили замки і перетворювали селян на рабів. Оскільки в епоху до створення артилерії нашествия кочівників відбувалися регулярно з інтервалами в один – два – три віки, більшість суспільств того часу були «феодальними» [2].

### 1.3 Становлення стародавніх цивілізацій

Вважається, що першою цивілізацією на Землі була стародавня Месопотамія. Саме у Месопотамії в IV тисячолітті до н. е. були побудовані перші іригаційні канали, це була батьківщина іригаційної революції. Іригація привела до різкого зростання чисельності населення, і вже в кінці IV тисячоліття на берегах Тигру і Євфрату з'явилися перші міста. Міста Месопотамії були храмовими общинами; вони походили від родових общин перших поселенців. Спочатку общини були маленькими і роботи виконувалися спільно на загальному полі. Потім община розрослася і поля були поділені між общинниками, причому частина землі була виділена храму. Далі, якщо на початковому етапі храмові землі оброблялися спільно общинниками, то пізніше, коли з'явилися безземельні бідняки, жерці стали запрошувати їх як батраків або орендарів [2, 6].

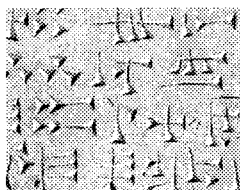


Рисунок 1.10 – Зразок вавилонського клинопису

Складне храмове господарство потребувало проводити записи і підрахунки; спочатку для записів використовувалися малюнки-ідеограми, потім стилізовані малюнки перетворилися на ієрогліфи. Шумери витискали ієрогліфи на глиняних табличках за допомогою очеретяної палички; ієрогліфи склалися з клиноподібних рисок – це був так званий клинопис (рисунок 1.10). На межі II – I тисячоліть до н. е. один з семітських народів – фінікійці – удосконалив клинопис і створив алфавіт з 22 букв.

Від фінікійського алфавіту пішли грецький і арамейський, від грецького – латинський і слов'янський, від арамейського – персидський, арабський і індійський алфавіти. До Китаю і Японії алфавіт так і не дійшов, і народи цих країн до цих пір користуються ієрогліфами [2].

При шумерських храмах існували писарські школи «е-дуба». Писарі повинні були не тільки знати писемність, але й вміти підраховувати розмір урожаю, об'єм зерносховища, площу поля. Храми займалися торгівлею і лихварством, тому писарям часто доводилося проводити всілякі обчислення, зокрема обчислювати відсотки. Вже до кінця III тисячоліття до н.е. була створена система числення для запису чисел, проте вона була не десятковою, як у наш час, а шестидесятковою, причому для позначення одиниць і десятків використовувалися різні значки. На основі цієї системи були складені таблиці множення, ділення, піднесення до степеня (писарі навіть не вважалися до ділення великих чисел, вони вважали за краще заглянути в таблицю). Спадкоємці шумерів, вавілоняни, вміли розв'язувати квадратні рівняння, знали «теорему Піфагора», властивості подібних трикутників, вміли обчислювати об'єм піраміди, складали креслення полів, малювали мапи, але не завжди дотримувалися масштабу [10, 11].

Важливим завданням, що стояло перед жерцями, було створення календаря; календар був необхідний, перш за все, для визначення часу початку різних сільськогосподарських робіт. Вавілонський календар був місячним – за ним місяць складався з 29 або 30 днів (період зміни місячних фаз дорівнює 29,5 діб); рік складався з 12 місяців. Через те, що сонячний рік довший місячного на 11 днів, Новий рік зміщувався і міг припадати на літо або осінь; тому час від часу вводився додатковий місяць [2].

Вавілонський календар був недостатньо точним; набагато точніший календар був створений в III тисячолітті до н. е. в Єгипті. Єгипетський календар складався з 12 місяців по 30 днів, причому в кінці року вставлялося 5 додаткових днів, тобто рік налічував 365 днів. Цей календар відрізнявся від сучасного тільки відсутністю високосних днів; високосні дні ввів у 46 р. до н. е. Юлій Цезарь [4].

Завдання складання календаря було пов'язане з астрономічними спостереженнями: було відмічено, що розлив Нілу завжди відбувається в один день, коли над горизонтом з'являється зірка Сириус. Єгиптяни стали записувати положення зірок, об'єднали їх в сузір'я і створили перші зоряні таблиці. Спостерігаючи положення зірок на нічному небі, єгиптяни навчилися визначати час. Астрономія завжди була тісно пов'язана з магією; зоряні таблиці служили не тільки для практичних цілей, але і для прогнозів. У I тисячолітті до н. е. у Вавилоні з'явилися перші астрологи [3, 4].

Характерно, що хранителями знань, писарями, астрологами, лікарями у той час були, в основному, жерці. Єгипетські і вавілонські жерці тримали свої знання в таємниці, не допускаючи в них необізнаних. Частково це було пов'язано з тим, що в єгипетських храмах існували майстерні з імітації золота і срібла; хімічні дослідження жерців навчили їх підробляти благород-

дні метали. Багато знань жерців залишилися таємними для подальших поколінь – наприклад, секрет збереження мумій.

Ближній Схід був батьківщиною багатьох простих машин і інструментів – тих, що ще в минулому столітті використовувалися багатьма сільськими жителями. Це, перш за все: прядка, ручний ткацький верстат, гончарний круг, криничний журавель. Поява в Єгипті криничного журавля, «шадуфа», дозволила піднімати воду на «високі поля» і вдесятеро збільшила площу оброблених земель (див. рисунок 1.7). У I тисячолітті до

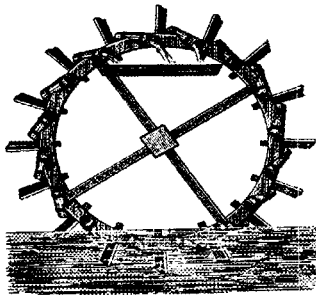


Рисунок 1.11 – Давньоєгипетське водопідіймальне колесо

н. е. у Вавилоні з'явилося водопідіймальне колесо (рисунок 1.11) і ковзаючий по блоках круговий ремінь з шкіряними відрами [5].

Цивілізацію Вавилону іноді називають «глиняним царством»: у Месопотамії немає лісу і каменя, єдиний будівельний матеріал – це глина. З глини споруджували будинки і храмові башти – зіккурати. Лише зовні їх облицьовували цеглою [4].

У Єгипті храми і піраміди будували з каменя. Піраміда Хеопса (рисунок 1.12) має висоту 146 метрів і складається з 2,3 млн кам'яних блоків, кожен вагою у 2 тонни.

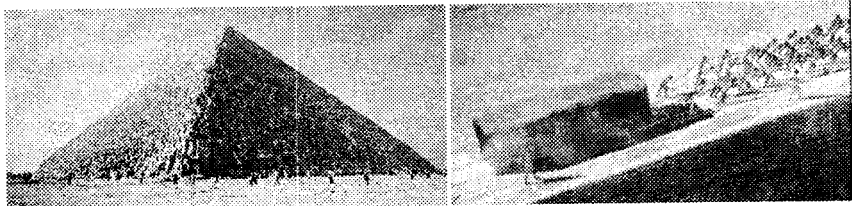


Рисунок 1.12 – Піраміда Хеопса та реконструкція операції її будівництва

Для перевезення цих блоків використовували полозки, під які підкладали дерев'яні катки; на вершину піраміди блоки піднімали по похилих площинах. Від каменоломень до місця будівництва блоки доставлялися на величезних барках завдовжки 60 метрів і водотоннажністю 1,5 тисячі тонн [1].

За свідченням Геродота, на будівництві піраміди Хеопса в порядку трудової повинності працювало 100 тисяч чоловік, які змінювались через кожні три місяці [12]. Трудова повинність, яка розповсюджувалася на все населення, дозволяла створювати не тільки піраміди, але й величезні іригаційні споруди. У II тисячолітті був побудований Фаюмський канал, який дозволив зрошувати великі площі земель в Нижньому Єгипті [5].

Найбільшим технічним досягненням Стародавнього Сходу було освоєння плавки металів. Мабуть, секрет виплавлення міді був знайдений випадково під час обпалення кераміки. Потім навчилися плавити мідь в примітивних горнах. Такий горн являв собою викопану у землі яму діаме-

тром близько 70 см. Яма оточувалася кам'яною стінкою з отвором для дуття. Ковальські міхи робили з козиних шкур і оснащували дерев'яним соплом. Температура в такому горні досягала 700 – 800 градусів, що було достатньо для виплавлення металу [6, 8].

Перші мідні вироби з'явилися на Близькому Сході у VI тисячолітті до н. е., проте мідь порівняно рідкісний і, крім того, м'який метал; він поступається за твердістю кременю. Справжня технічна революція відбулася лише з освоєнням металургії заліза, в кінці II ст. до н. е. Першими почали кувати залізо загадкові халіби, що мешкали в горах Вірменії. В ті часи – та й пізніше – печі не давали температури,

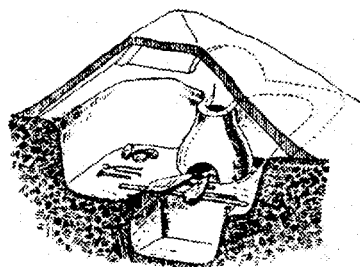


Рисунок 1.13 – Сиродутна піч

достатньої для плавки заліза (1530 градусів); метал отримували в ході сиродутного процесу, у вигляді криці – пористої грудки з домішкою шлаку. Халіби придумали спосіб позбавлення від шлаку за допомогою тривалого кування; в результаті отримували тверде маловуглецеве залізо (рисунок 1.13) [2].

Залізна руда зустрічається набагато частіше, ніж мідна, – тому залізо стало широко поширеним металом. Залізний

наконечник плуга дозволив поліпшити обробку ґрунту, залізна лопата дозволила копати зрошувальні канали. Раніше при вогняній системі розчищення нової ділянки було потрібне зусилля всього роду; тепер за допомогою залізної сокири, пилки, лопати з цим міг впоратись і один, в результаті почався розпад роду і виділення індивідуальних ділянок.

Величезні зміни відбулися і у військовій справі; у VIII ст. до н. е. цар Ассирії Тіглатпаласар III створив озброєний залізними мечами «царський полк». Це було фундаментальне відкриття, за яким настала хвиля завоювань Ассирії і створення великої держави Ассирії, – нового культурного кола, компонентами якого були не тільки залізні мечі і регулярна армія, але й всі традиції Ассирії, у тому числі і самодержавна влада царів. Таким чином, історія ще раз показала, що життя людей визначається технічними відкриттями [2, 13].

Початок «залізного віку» став часом розквіту великої близькосхідної цивілізації, цивілізації Ассирії і Вавилону. У VI ст. до н. е. був побудований 400-кілометровий канал Паллукат; цей канал дозволив зрошувати великі простори пустельних земель. Вавилон перетворився на величезне місто, населення якого досягало 1 млн чоловік [2].

Вавилон був відомий своєю «Вавилонською вежею», зіккуратом Етеменанки, «висячими садами» і мостом через річку Тигр. Цей міст має довжину 123 метри і стоїть на 9 складених з цегли опорах (рисунок 1.14). Потрійні стіни Вавилону вражали своєю потужністю – внутрішня стіна мала товщину 7 метрів [4].

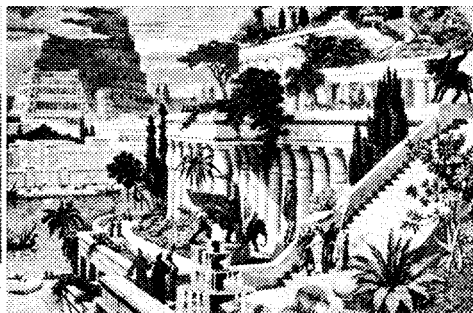
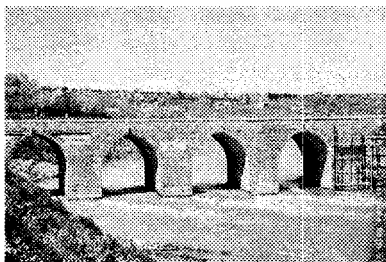
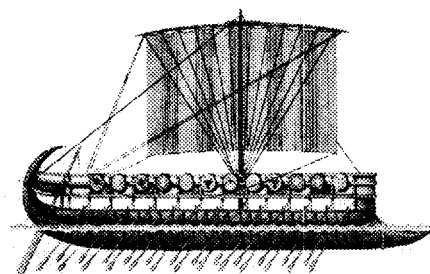


Рисунок 1.14 – Міст, вежа та «висячі сади» давнього Вавилону

Місто перетинали широкі проспекти, вавилоняни жили в багатоповерхових цегляних будинках. В цей час з'явилися банки і акціонерні компанії – з погляду буденного життя цей світ не дуже відрізнявся від сучасного буржуазного суспільства. Так само як тепер, у великій моді була «психотерапія» – хвороби лікували, в основному, за допомогою заклинань – і заклинання часто допомагали. Правда, були і лікарі, що лікують травами, вони склали особливу корпорацію, яка ворогувала із заклинателями-психотерапевтами, – проте боротьба двох лікарських шкіл закінчилася поразкою «травників». Як у всі часи, комерсанти-торговці здійснювали поїздки в далекі країни, великі зв'язані з очерету кораблі брали на борт сотні пасажирів і плавали до Аравії та Індії. Зв'язок з рідними місцями мандрівники підтримували за допомогою поштових голубів [4, 7].

Світ за межами Індії залишався невідомим вавилонянам. Вони вважали, що там, далі, починається світовий океан, а за океаном земля з'єднується з куполом неба. Всього налічувалося сім куполів неба, на сьомому небі жили боги; під землею розташовувалося царство мертвих. Ці уявлення вавилонян розділяли і навколишні народи, у тому числі і євреї; від євреїв вони потрапили в Біблію [2, 4].

Серед всіх народів Близького Сходу більше всього про навколишній світ знали фінікійці, плем'я мореплавців і купців. Фінікійці будували кораблі з кілем, шпангоутами і суцільною палубою [14] (рисунок 1.15). Такий корабель міг за 70 днів перетнути Середземне море і вийти в Атлан-



⋈ 9 Λ 9 7 9

алеф бет гимель далет хе вав

Рисунок 1.15 – Корабель та перші літери алфавіту фінікійців

тичний океан. Фінікійці досягали берегів Гвінейської затоки і Британії. У VI ст. до н. е. вони зробили плавання навколо Африки. Фінікійцям належать два чудові відкриття, скло і пурпурова фарба [2].

Скло, за легендою, було відкрито випадково, коли корабель, що віз селітру, зазнав аварії і моряки розпалили на березі багаття з селітри. Пурпурову фарбу робили з раковин молосків, секрет її виготовлення зберігався в таємниці; пурпуровий одяг носили тільки царі і жерці.

Найвищих успіхів в області ткацтва в стародавні часи досягли індійці. Індія була батьківщиною бавовни, рослини, яка дивувала чужоземців: у Європі довгий час вважали, що бавовна росте на деревах. Індійські майстри ткали найтонші батисти і мусліни; батистову шаль можна було протягнути через перстень. Тканини фарбували соком індиго. Останній і зараз використовується, наприклад, для фарбування джинсів.

У Індії вирощували ще одну чудову рослину – рис. На початку нашої ери індійські селяни освоїли вирощування залівного рису (рисунок 1.16).

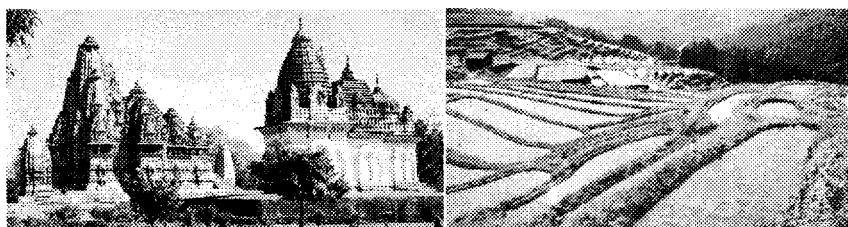


Рисунок 1.16 – Індійські храмові споруди та залівні рисові поля

Це була досить складна технологія. Спочатку община будувала греблю на річці і викопувала ставок, від ставка відводилися зрошувальні канали. Рисову розсаду вирощували в спеціальному розпліднику з регульованим мікрокліматом; потім її висаджували на затоплені поля. Пізніше для боротьби з бур'янами на затоплених полях стали розводити коропів. Врожайність залівного рису була удвічі вища, ніж врожайність пшениці, при цьому збирали не один, а два-три врожаї на рік. Це було нове фундаментальне відкриття, нова перемога людини над природою [2, 5].

Слідом за залівним рисом буддизм прийшов до Китаю і до Японії. Розповсюдження залівного рису означало розширення екологічної ніші; на колишній території могло проживати втричі-вчетверо більше населення – в результаті Південна і Південно-східна Азія перетворилася на найбільш густонаселений регіон нашої планети.

Східна частина Азії відокремлена від західної частини горами і пустелями, тому тут склалася своя самобутня цивілізація. Китайці довгий час залишалися незнайомими з багатьма досягненнями Заходу. Вони не знали алфавіту, не вміли споруджувати кам'яних будівель, не знали винограду і вина. З іншого боку, в Китаї були освоєні технології, довго не відомі Заходу. Китайці навчилися ткати шовк, у II ст. вони винайшли папір, у VI ст. –



фарфор, а у VIII ст. – компас. Китай довгий час залишався ізольованим від решти світу. Найвищим досягненням китайської цивілізації було створення доменних печей і отримання чавуну (рисунок 1.17) [4]. Печі завантажувалися кам'яним вугіллям і рудою з високим вмістом фосфору; дуття здійснювалося від потужних міхів з приводом від водяного колеса. Зовні китайські печі являли собою прямокутні канали, викладені вогнетривкою цеглою; в них поміщали тиглі з рудою, між тиглями насипали кам'яне вугілля. Така технологія дозволяла отримувати чавун, а також ковке залізо з малим вмістом вуглецю, тобто сталь. У XI ст. в провінції Хенань було зведена дивовижна споруда – 13-поверхова пагода (див. рисунок 1.17). Секрети отримання чавуну і фарфору залишалися невідомими для європейців аж до початку Нового часу [2].



Рисунок 1.17 – Доменні печі та споруди Давнього Китаю

#### 1.4 Наука і техніка в античному світі

До VII ст. до н. е. Греція була периферією близькосхідної цивілізації. Греки вчилися у Сходу: вони запозичили у фінікійців алфавіт і конструкцію кораблів, у єгиптян – мистецтво скульптури і основи математичних знань. Відомий філософ Піфагор довго жив в Єгипті, намагаючись познайомитися з жерцями і проникнути в їх таємниці; він привіз з Єгипту теорему Піфагора і магію чисел. Наслідуючи жерців, Піфагор заснував таємне товариство філософів; його послідовники вірили в переселення душ і стверджували, що Земля – це куля [4].

Греція була малородючою країною, її населення не могло прогодуватися землеробством; багато хто займався рибальством, інші виїжджали у пошуках кращої долі в далекі країни, засновували колонії на берегах Середземного моря.

Винаходом, який зробив Грецію багатою країною, стала трієра – новий тип бойового корабля (рис. 1.18) [14]. Перша трієра була побудована близько 630 р. до н. е. корінфським майстром Аміноклом; це був корабель з трьома рядами весел і екіпажем в 170 веслярів і 20 – 30 воїнів. Довжина трієри складала 40 – 50 метрів, ширина 5 – 7 метрів, водотоннажність – близько 230 тонн. Велика швидкість дозволяла трієрі ефективно викорис-

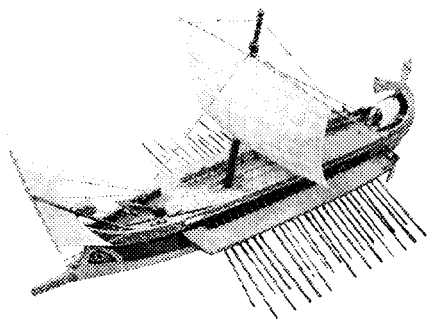


Рисунок 1.18 – Давньогрецька трієра

ну. Всі морські шляхи тепер проходили через Пірей і Корінф, величезні прибутки від посередницької торгівлі забезпечили процвітання грецьких міст. Прибутки від торгівлі вкладалися в ремесло: перш за все у виробництво кераміки: керамічні ємності були універсальною тарою того часу – зерно, вино, олія і багато інших продуктів зберігалися в керамічних амфорах.

Афіни стали головним ремісничим центром Середземномор'я, проте у грецьких підприємців не вистачало робочої сили – тоді вони стали купувати рабів. Рабів купували у варварів, що жили по берегах Чорного моря, далі їх везли до Афин і навчали ремеслу; вони працювали у великих ремісничих майстернях, ергастіях. Таким чином, створення трієри породило грецьку торгівлю і грецьке рабовласництво.

У грецьких судах кожен повинен був захищати себе сам; на цих процесах позивачі і відповідачі вчилися ораторському мистецтву; незабаром цьому мистецтву почали навчати в приватних школах, в яких викладали мудреці – «софісти». Визнаним главою софістів був Протагор; він стверджував, що «людина є мірою всіх речей» і що істина – це те, що здається більшості (тобто більшості суддів). Учень Протагора Перікл став першим політиком, що освоїв ораторське мистецтво (рисунок 1.19); завдяки цьому мистецтву він 30 років правив Афінами [5].



Рисунок 1.19 – Виступ Перікла перед давніми афінянами

товувати свою головну зброю – таран, який пробивав днище кораблів супротивника.

Трієра була фундаментальним відкриттям; вона дозволила грекам завоювати панування на Середземному морі і оволодіти всією морською торгівлею. Фінікійці, а пізніше й перси, що їх підкорили, намагалися протистояти грекам, але персидський флот був розгромлений грецькими трієрами в битві біля Саламіні

Від софістів і Протагора пішла вся грецька філософія; значною мірою вона зводилася до світоглядних міркувань, які сьогодні назвали б не науковими. Проте, в міркуваннях філософів зустрічалися і раціональні думки. Сократ першим поставив питання про об'єктивність знання; він ставив під сумнів звичні істини та ві-

рування і стверджував, що «я знаю тільки те, що нічого не знаю». Анаксагор пішов ще далі – він заперечував існування богів і намагався створити свою картину світу, він стверджував, що тіла складаються з найдрібніших частинок. Послідовник Анаксагора Демокріт назвав ці частинки атомами і спробував застосувати нескінченно малі величини в математичних обчисленнях; він отримав формулу для об'єму конуса. Проте афіняни були обурені спробами заперечувати існування богів, Протагор і Анаксагор були вигнані з Афін, а Сократ за вироком суду був вимушений випити чашу з отрутою [5].

Учнем Сократа був знаменитий філософ Платон (427 – 347 рр.). Платон вірив в існування душі і в переселення душ після смерті. Для історії науки важливі не філософські шукання Платона, а те, що він був засновником соціології – науки про суспільство і державу. Платон запропонував проект ідеальної держави, якою управляє каста філософів на зразок єгипетських жерців (потрібно зауважити, що Платон бував в Єгипті). Опорою філософів є воїни, «вартові», схожі на спартанців, вони живуть однією общиною і мають все спільне – в тому числі й дружин [2, 5].

Платон стверджував, що ідеальна держава існувала в Атлантиді, країні розташованій десь на Заході, на затонулому згодом материку. Звичайно, це була «наукова фантастика» тих часів. Більш важливо, що Платон і його учень Діон намагалися створити ідеальну державу в Сіракузах, на Сицилії; цей політичний експеримент привів до громадянської війни і розорення Сіракуз [5].

Соціологічні дослідження Платона продовжував Аристотель; він написав знаменитий трактат «Політика», цей трактат містив порівняльний аналіз суспільного устрою більшості відомих тоді держав.

Аристотель висунув ряд положень, прийнятих сучасною соціологією; він стверджував, зокрема, що провідним чинником суспільного розвитку є зростання населення, а перенаселення породжує голод, повстання, громадянські війни і встановлення «тиранії». Мета «тиранів» – встановлення «справедливості» і рівномірний переділ землі. Аристотель відомий як засновник біології. Він описував і систематизовував різні види тварин – так само як він описував і систематизував держави; таких дослідників пізніше стали називати «систематиками».



Рисунок 1.20 – Олександр Македонський зі своїм військом

Аристотель був вчителем Олександра Македонського (рисунок 1.20), знаменитого завойовника половини світу. Македонські завоювання були викликані новим винаходом у військовій сфері – створенням македонської фаланги. Воїни Олександра мали списи 6-метрової довжини і ті, що стояли ззаду, клали свої списи на пле-

чі передніх (див. рисунок В.2). Дії у складі фаланги потребували великої злагоженості, і батько Олександра – Філіп – витратив багато часу на навчання своїх солдатів. Македонська фаланга була фундаментальним відкриттям, це відкриття викликало хвилю македонських завоювань і появу нового культурного кола, який історики називають світом еллінізму [13].

Олександр виявляв цікавість до наук і допоміг Аристотелю створити перший вищий навчальний заклад – «Лікей». Він узяв з собою в похід племінника Аристотеля Каллісфена. Каллісфен і його помічники описували природу завойованих країн, вимірювали широту місцевості, посилали Аристотелю опудала дивовижних тварин і зібрані ними гербарії. Після смерті Олександра роль покровителя наук узяв на себе його друг і полководець Птолемей. При розділі імперії Олександра Птолемею дістався Єгипет і він заснував в Олександрії за зразком Лікея новий науковий центр – Мусей. Будівлі Мусея розташовувалися серед прекрасного парку. Там були аудиторії для студентів, будинки викладачів, обсерваторія, ботанічний сад, і чудова бібліотека – в ній налічувалося 700 тисяч рукописів. Викладачі Мусея отримували царську платню; серед них були не тільки філософи і механіки, але і поети, і східні мудреці, що перекладали грецькою мовою єгипетські і вавилонські трактати. Єгипетський жрець Манефон був автором трактату «Єгипетська старовина», а вавилонський жрець Бероес написав твір «Вавилонська старовина»; 72 єврейські мудреці переклали грецькою мовою Біблію. Головою Мусея – «бібліотекарем» – був географ Ератосфен, що зумів, як вимірюючи широту в різних пунктах, обчислити довжину меридіана. Таким чином, було остаточно доведено, що Земля – це куля. Евклід створив геометрію – ту, яку зараз проходять в школах. Він поклав в основу науки чіткі докази і коли Птолемеєм попросив у нього обійтися без доказів, Евклід відповів: «Для царів немає особливих шляхів в математиці». Учень Евкліда Аполлоній Пергський продовжив праці свого вчителя і описав властивості еліпса, параболи і гіперболи. У Мусеї активно обговорювалася гіпотеза Аристарха Самоського про те, що Земля обертається по колу навколо Сонця – проте виявилось, що вона суперечить спостереженням (річ у тім, що Земля рухається не по колу, а по еліпсу). В результаті учені Мусея на чолі з Клавдієм Птолемеєм (у II ст. н. е.) створили теорію епіциклів. Відповідно до цієї теорії Земля знаходиться в центрі Всесвіту, навколо розташовуються прозорі сфери, що охоплюють одна одну; разом з цими сферами по складних епіциклах рухаються Сонце і планети. За останньою сферою нерухомих зірок Птолемеєм помістив «житло блаженних». Праця Птолемея «Велика математична побудова астрономії в 13 книгах» («Magiste syntaxis») була головним вказівником з астрономії аж до Нового часу. Птолемеєм створив наукову географію і дав координати 8 тисяч різних географічних пунктів – це «Керівництво з географії», яке використовувалося європейцями до часів Колумба і забезпечило великі відкриття [2, 4, 5].

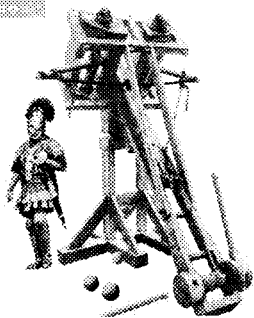


Рисунок 1.21 – Давньоримська баліста

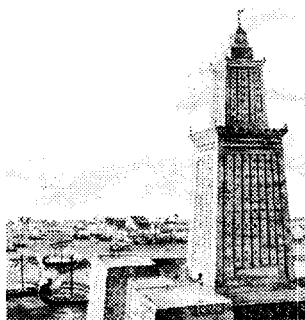


Рисунок 1.22 – Фароський маяк

Створення Мусея збіглося у часі з новим переворотом у військовій справі, винаходом військових машин: балісти (рисунок 1.21) і катапульти. Поява балісти змінила тактику морських битв: якщо раніше головною зброєю трієри був таран, то тепер стали будувати величезні кораблі з баштами, на які встановлювали балісти. Ці кораблі називалися пентерамі, за кожним веслом на них сиділо по 5 і більше веслярів, а загальне число веслярів досягало тисячі чоловік. Саме баліста дозволила цареві Птоломею завоювати панування на морях. Олександрія зайняла місце Афіні і стала головним торговим центром Середземномор'я. З Олександрії по каналу можна було потрапити в Червоне море, і кораблі олександрійських греків плавали навіть до берегів Індії. Символом торгової могутності Олександрії став 130-метровий Фароський маяк (рисунок 1.22) – одне з чудес світу, побудоване Состратом Кнідським за наказом Птоломея II.

«Цар Птоломей присвячує богам-рятівникам на благо мореплавцям», – свідчив напис на гіпсовій плиті біля підніжжя маяка, – але з часом гіпс відвалився і з-під нього показався інший напис, вирізаний на мармурі: «Сострат з Кніда присвячує богам-рятівникам на благо мореплавцям».

Створення балісти знаменувало народження інженерної науки, «механіки». Першим великим механіком був знаменитий будівельник військових машин Архімед, що прожив більшу частину життя в Олександрії. Архімед мовою математики описав використання клина, блока, лебідки, гвинта і важеля. Разом з корабельним майстром Архієм Архімед побудував для сіракузького царя Гієрона «Сіракузянку» – величезний корабель-палац з прекрасними залами і басейнами. Корабель приводили в рух дві тисячі веслярів, а на баштах стояли балісти, що кидали в супротивника трипудові камені. Тисячі робітників впряглися в канати, щоб спустити корабель на воду, але не змогли зрушити його з місця. Тоді Архімед зробив лебідку, за допомогою якої цар зрушив корабель сам [14]. Архімеду приписується відкриття законів гідростатики і винахід «архімедового гвинта» – водопідіймального пристрою, який використовувався для зрошення полів (рисунок 1.23). Іншими відомими олександрійськими інженерами були Ктесибій – винахідник водяного годинника і пожежного насоса, а також Герон, що створив еоліпіл – праобраз парової турбіни. В Олександрії

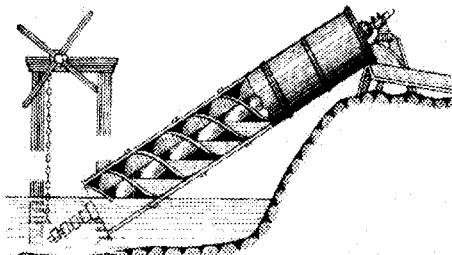


Рисунок 1.23 – Водопідійомний гвинт Архімеда

світ». Завоювавши Грецію і Єгипет, римляни перейняли як грецьку культуру, так наукові досягнення Мусея [2].

Досягненням римлян було створення цементу і бетону. Римляни винайшли опалубку і навчилися будувати бетонні споруди, використовуючи як наповнювач щебінь. У II ст. н. е. в Римі був побудований Пантеон – «Храм всіх богів» з бетонним куполом діаметром 43 метри (рисунок 1.24) [5]. Пізніше ця споруда стала зразком для архітекторів Нового часу.

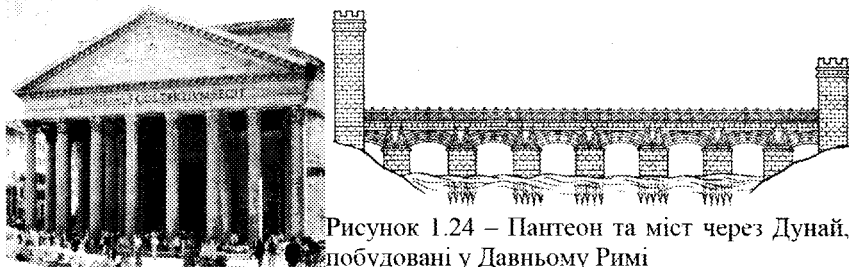


Рисунок 1.24 – Пантеон та міст через Дунай, побудовані у Давньому Римі

Римляни використовували цемент і бетон при будівництві доріг і мостів; римські дороги викликали захоплення у істориків наступних епох. Міст через Дунай (рисунок 1.24), побудований архітектором Аполодором, був одним з чудес того часу – він мав в довжину більше кілометра. Вершиною римського будівельного мистецтва став храм Святої Софії в Константинополі, побудований Анфімієм з Траяна з куполом діаметром 33 метри, встановленим на пілонах 23-метрової висоти.

Найзнаменитішим ученим і інженером римського часу був Марк Вітрувій, що жив в I ст. до н. е. На прохання імператора Августа Вітрувій написав «Десять книг про архітектуру» – вагому працю, що розповідала про будівельне ремесло і про різні машини. У цій праці міститься перший опис водяного млина. В епоху Відродження, з XV ст. «Десять книг...» стали для архітекторів головною допомогою [5].

Вітрувій в своїй роботі використовував праці вчених з Олександрійського Мусея, який функціонував до кінця IV ст. У останні роки існування

Мусея в ньому працювали такі знамениті учені, як Папп і Діофант. У 391 р. Мусей був зруйнований під час релігійного погрому – християни звинуватили учених в поклонінні язичницьким богам [2].

## 1.5 Наука і техніка в середні віки

Катастрофа, що знищила цивілізацію стародавнього світу, була викликана фундаментальним відкриттям кочівників – винаходом стремена. Стремено зробило вершника стійким в сідлі і дозволило використовувати довгий меч або шаблю. Підвівшись в стременах, вершник наносив римському легіонеру або китайському піхотинцю удар, в який вкладав всю масу свого тіла. Винахід стремена викликав страшну хвилю нашестя, яка погубила цивілізацію Стародавнього світу.

Господарями Європи стали нащадки завойовників – варварів-германців. Це були добре озброєні вершники-лицарі; вони підкорили місцевих селян, перетворили частину їх на рабів, а інших примусили платити податки. Масток лицаря називався феодалом, тому соціальну систему тих часів історики називають феодалізмом. Таким чином, фундаментальне відкриття – винахід стремена – породило і лицарів й феодалізм.

Після першої хвилі нашестя з глибин Євразії друга хвиля прийшла з моря. Скандинавські нормани створили дракар – судно з 40 – 70 веслярами і прямокутним вітрилом (рисунок 1.25). Відмінною рисою дракара було те, що він міг з однаковою легкістю долати моря і підніматися по річках, його можна було навіть перетягувати волоком через водорозділи. Завдяки дракару нормани могли раптово з'являтися чи не в будь-якому місці – там, де хотіли. Флотилія з 50 – 100 кораблів висаджувала декілька тисяч воїнів, які грабували міста, села і йшли, як тільки супротивник збирав значні сили. Дракар дозволив норманам розграбувати велику частину Західної Європи, але, не володіючи перевагою перед рицарською кіннотою, вони змогли закріпитися лише в окремих областях: в Нормандії, на Сицилії та в Англії [5].

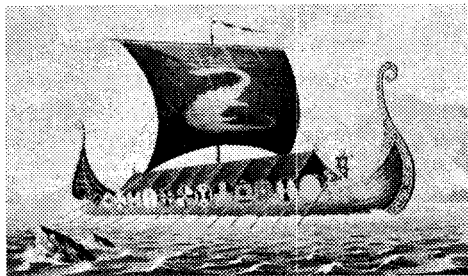


Рисунок 1.25 – Скандинавський дракар

На сході Європи склалася інша ситуація: тут не було рицарської кінноти і, завдяки своїм мечам і кольчугам, нормани-варяги володіли військовою перевагою над місцевим населенням. Кінець кінцем, варяги завоювали країну слов'ян. Вони дали цій країні свою назву, адже по-фінськи «Русь» означає «шведи». Пізніше варяги перетворилися в кінних дружинників – російських бояр [2].

Варварське нашествя охопило всю Євразію, і було лише одне місто, яке зуміло вистояти в цій бурі, це була остання фортеця цивілізації – Константинополь. Варвари, тюрки і араби, штурмували Константинополь з моря і суші, але мешканців врятував винахід грецького вогню – запалювальної суміші, яку викидали на кораблі супротивника за допомогою великих насосів. Константинополь встояв, але країна була розорена, і довгий час грекам було не до науки і мистецтва. Положення змінилося лише при імператорі Василеві I (867 – 886 рр.). Будучи безграмотним селянином, Василь з повагою відносився до вчених ченців і не жалів золота для відродження грецької ученості. В середині IX ст. під керівництвом єпископа Льва Математика в Магнавському палаці була знов відкрита вища школа – почалося відродження стародавніх наук і мистецтв. Викладачі Магнавської школи стали збирати старовинні книги, що зберігалися в монастирях. Відомий грамати́к Фотій склав збірку з короткими переказами 280 античних рукописів. Придворні граматикі зібрали величезну бібліотеку і брали участь в створенні великих компіляцій із законодавства, історії і агрономії. Греки знову познайомилися з Платоном, Аристотелем, Евклідом і знов дізналися про те, що Земля – це куля. В Греції зберігалися створені римлянами принципи будівельного мистецтва. Саме греки навчали навколишні народи будувати кам'яні собори – вони побудували собор Святого Марка у Венеції і собор Святої Софії в Києві [2, 4, 5].

На початку VIII ст. запрошені халіфом грецькі майстри звели в Єрусалимі головну мечеть арабів – «Купол Скелі», Куббат ас-Сахра (рисунок 1.26); ця мечеть і до наших днів залишається шедевром архітектури. Правлячий у IX ст. халіф Мамун був великим шанувальником грецької ученості; під враженням легенд про олександрійський Мусей він створив в Багдаді «Будинок науки» з обсерваторією і великою бібліотекою. Тут були зібрані поети, учені і товмачі, які перекладали грецькі книги. Розповідають, що халіф платив за переклади стільки золота, скільки важила книга. Були перекладені сотні рукописів, присланих з Константинополя

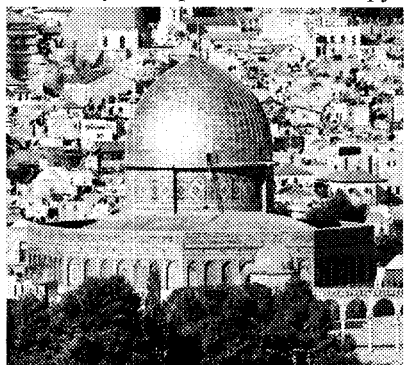


Рисунок 1.26 – «Купол Скелі»

або знайдених в сирійських монастирях. Мусульманський світ познайомився з працями Платона, Аристотеля, Евкліда. З книги Клавдія Птолемея (яку араби називали «Аль-Магест») мусульмани дізналися про сферичну форму Землі, навчилися визначати широту і укладати карти. Твори Гіпократа стали основою для «Канону лікарської науки» відомого лікаря і філософа Ібн Сіні (Авіцені). Ібн Хаян започаткував арабську алхімію і астрологію. Старанно працювали арабські астрономи – їх голов-



ним завданням було навчитися визначати, в якій стороні знаходиться Мекка – саме в цю сторону повинні були схилитися правовірні під час молитви. Найвідомішим арабським астрономом був Ал-Хорезмі, відомий європейським перекладачам як Алгорисмус, – від його імені походить слово «алгоритм». Ал-Хорезмі запозичив у індійців десяткові цифри, які потім потрапили від арабів до Європи і які зараз називають арабськими. Проте головним заняттям арабських мудреців були пошуки еліксиру життя або філософського каменя, який дозволяв перетворювати ртуть на золото [2].

Поступово науки поверталися і до Європи. Іскорки стародавніх знань зберігалися в монастирях, де ченці переписували старі книги і навчали молодих послухників латинській грамоті, щоб вони могли читати святу Біблію. В ті часи латинь була єдиною письмовою мовою і, щоб навчитися грамоті, потрібно було знати латинь: спочатку вивчити напам'ять півсотні псалмів, а потім освоїти азбуку. Крім того, в монастирській школі навчали церковному співу і трохи рахунку, в цьому і полягала тодішня освіта. Грамотні люди, само собою, вважалися ченцями, їх називали кліриками, вони носили тонзуру і користувалися великою пошаною, клірик міг стати священиком або писарем у графа – якщо тільки вів гідне ченця життя, тобто не одружувався. З давніх часів вчені ченці намагалися зібрати в одну книгу все, що залишилося від стародавніх знань і склали великі манускрипти, що оповідають про життя святих, магичні властивості чисел і трохи про медицину або географію. У VII ст. Ісідор Севільський написав двадцять томів «Етимології», а сторіччям пізніше Біда Високоповажний склав велику «Церковну історію Англії» [1, 2].

Мусульманська Іспанія була для європейців ближчою, ніж Константинополь, тому вони їздили до Іспанії, де вчилися у арабів тому, що ті запозичили у греків. Після того, як християни відвоювали у мусульман столицю Іспанії Толедо, їм дісталися багаті бібліотеки з сотнями написаних арабською в'язку книг. Єпископ Раймунду призвав вчених ченців зі всієї Європи, і вони разом з арабськими і єврейськими мудрецами переклали ці книги – серед них був медичний трактат Ібн Сіні (Авіцені), філософські манускрипти Ібн Рушда (Авероеса), алхімічні штудії Ібн Хайана (Гебера), а також арабські переклади Платона, Аристотеля, Евкліда, Птолемея. У Іспанії європейці познайомилися з папером, магнітною голкою, механічним годинником, перегінним кубом для отримання алкоголю. Праці перекладачів продовжувалися протягом всього XII ст., і весь цей час грамотії Європи тягнулися до Іспанії за новими книгами. Учених підштовхувало нетерпіння їх учнів, адже у XII ст. в Європі з'явилась тяга до знань, вирости торгові міста і купці не могли обійтися без освіти. У містах відкривалися «загальні школи», доступні не тільки для ченців. У цих школах викладали «сім вільних мистецтв», що розпадалися на «трівіум» і «квадріум». «Трівіум» об'єднував «граматику», «риторику» і «діалектику», а «квадріум» включав «арифметику», «астрономію», «музику» і «геометрію», причому «астрономія» насправді була астрологією, а «геометрія» –

географією. У арифметиці велику частину курсу займало тлумачення таємного значення цифр, а вершиною премудрості вважалося ділення багатозначних чисел. Під риторикою розумілося мистецтво складати листи, грамоти і юридичні документи – це була дуже важлива для городян наука, яка з часом лягла в основу всієї вищої освіти [5, 8, 12].

Потрібно сказати, що в епоху панування варварів не існувало права і законів в тому значенні, як ми їх розуміємо тепер. У варварів були свої «права» та збірки законів, але головним законом був «божий суд» – судовий посидинок на мечях. Хто перемагав – той і був правий. Купці, які не хотіли битися на мечях, користувалися уривками кодексу Римського права, складеного колись імператором Юстиніаном.

Наприкінці XI ст. болонський ритор Ірнерій відновив римський кодекс законів і заснував першу юридичну школу. З часом ця школа розрослася, до Болоньї стали приїжджати тисячі учнів зі всієї Європи, і в кінці XII ст. школа Ірнерія перетворилася на «університет» – вчену «корпорацію», цех з майстрами-магістрами, підмайстрами-бакалаврами і учнями-студентами (рисунок 1.27). Як у всіх цехів, в університеті був свій прапор, свій статут,



Рисунок 1.27 – Сучасний вигляд Болонського університету

своя скарбниця і свій старшина-ректор. Звання магістра (або доктора) присвоювалось після іспиту-диспуту, коли нового «майстра» одягали в мантию і вручали йому кильце і книгу – символ науки. Римські папи підтримували престиж вченого цеху і наділяли докторів бенефіціями – доходами від церковного майна; вони будували і гуртожитки для бідних студентів, а також «колегії». Пізніше доктори стали читати в цих колегіях лекції і, таким чином,

з'явилися нові середні учбові заклади – коледжі. В університеті були чотири факультети, один з них – «артистичний» – вважався підготовчим: це була колишня «загальна школа», де вивчали «сім вільних мистецтв». Лише небагато студентів витримували всі випробування і продовжували навчання на старших факультетах – юридичному, медичному або богословському. Юристи і медики вчилися п'ять років, а богослови – п'ятнадцять; їх було зовсім мало і здебільшого це були ченці, що присвятили своє життя богові [2, 11].

Поява університету принесла Болоньї пошану і чималі вигоди, тому незабаром і інші міста почали створювати вищі школи та університети за болонським зразком. В середині XIII ст. в Італії було 8 університетів. Найвідомішим університетом Англії був Оксфордський (рисунок 1.28), де у XIII ст. викладав знаменитий астролог, механік і алхімік Роджер Бекон [5].

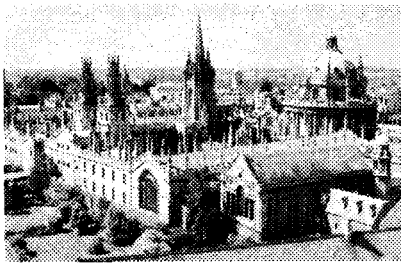


Рисунок 1.28 – Оксфордський університет

Бекон жив у вежі, на вершині якої вечорами проводив свої досліді, щось вимірював і креслив за допомогою дивних приладів – його вважали чаклуном і марновірно боялися. Він склав трактат, в якому в складних, зрозумілих лише посвяченим, фразах писав про секрет пороху і збільшувального скла, вчив визначати місцезнаходження за допомогою широти і довготи. Бекон писав також про те, що в майбутньому з'являться машини, які возитимуть людей, і машини, які літатимуть в небі, – важко сказати, як в ті часи могли прийти в голову такі думки. Врешті-решт, Бекон звинуватили в чаклунстві і заточили у в'язницю, звідки він вийшов лише незадовго до смерті [2].

З погляду розвитку техніки основним досягненням середніх віків стало використання коня. Це була епоха, коли кінь став першим помічником людини; життя європейського селянина стало немислимим без коня. Винахід стремена привів до широкого розповсюдження верхової їзди. Поява хомута дозволила використовувати коня і для оброблення землі, адже раніше орали волами. Запряжені кіньми вози і карети стали головним засобом транспорту. З інших досягнень потрібно відзначити розповсюдження водяних і вітряних млинів – хоча млини з'явилися ще в стародавньому Римі, їх широке застосування відноситься саме до середніх віків.

Середні віки були часом панування кавалерії. У XIII ст. в руках кочівників знов опинилася нова зброя – це був монгольський лук «сайдак», стріла з якого за 300 кроків пробивала будь-яке обмундирування. Це була складна машина вбивства, склеєна з трьох шарів дерева, варених жил і кістки, для захисту від вологи обмотана сухожиллями. Склеювання проводилося під пресом, а просушування продовжувалося декілька років. Секрет виготовлення цього лука зберігався в таємниці. Для натягування монгольського лука було потрібне зусилля не менше 75 кг – удвічі більше, ніж для сучасного спортивного лука і більше, ніж для знаменитих англійських луків – тих, що знищили французьке рицарство в битвах при Кресі і Пуатьє. Сайдак не поступався за потужністю мушкету і вся справа була в умінні на скаку влучити в ціль, адже лук не мав прицілу і стрільба з нього потребувала багаторічного навчання [5, 7, 11].

Володіючи такою руйнівною зброєю, монголи не любили битися врукопашну. «Вони взагалі не поспішають до ручних сутичок, – відзначав відомий історик С. М. Соловйов, – і прагнуть спершу перебити і поранити якомога більше людей і коней стрілами, а потім вже б'ються з ослабленим таким чином ворогом. Класичним прикладом описаної тактики була битва з угорцями на річці Сайо, коли угорська рицарська армія так і не змогла

нав'язати монголам рукопашного бою і була розстріляна з луків під час шестиденного відступу до Пеншуту [2].

Монгольський лук був фундаментальним відкриттям, яке породило нову хвилю завоювань. Монголи спустошили половину Євразії, зруйнували міста і винищили велику частину населення. Розвиток Китаю, Ірану, Росії був відкинутий на сторіччя назад. Лише Західній Європі вдалося уникнути цього страшного нашествия, і з того часу Європа стала притулком для науки і мистецтва.

## 1.6 Початок Нового часу

Монгольський лук недовго панував над світом; волею долі через сторіччя на зміну йому прийшла ще грізніша зброя – аркебузи і гармати. Першовідкривачем пороху був китайський алхімік і медик Сунь Симяо, що жив у VII ст. Він писав в одному з трактатів, що нагрівання суміші з селітри, сірки і деревного вугілля призводить до сильного вибуху. У битвах з монголами китайці використовували порохові бомби, які кидали у ворога з баліст, проте це врятувало їх від поразки. З Китаю порох потрапив на Близький Схід; тут невідомі арабські майстри створили першу гармату – «модфу». Спочатку модфа була видовбаним дерев'яним стовбуром, куди засипали порох, заковували камінь і робили постріл. У XII ст. стали робити залізні модфи, що стріляли свинцевими ядрями – «горіхами». Потім з'явилися великі бомбарди (рисунок 1.29) вагою в декілька тонн з

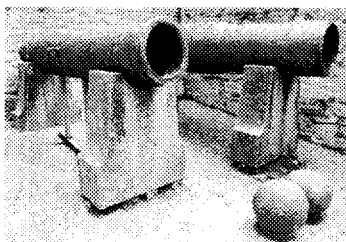


Рисунок 1.29 – Бомбарди

багатопудовими кам'яними ядрами – ці знаряддя призначалися для руйнування фортечних стін. У XIII ст. араби застосували бомбарди під час облоги іспанських міст, а у XIV ст. з новою зброєю познайомилася вся Європа [13].

Одним з перших європейців, що пізнали секрет пороху, був німецький чернець Бертольд Шварц. Він займався у своєму монастирі алхімією і за це був посаджений у в'язницю, де продовжував свої

досліди. Як і всі алхіміки, Шварц намагався отримати золото шляхом сполучення різних речовин. Одного разу він склав суміш з деревного вугілля, сірки і селітри, підпалив її і ледве уцілів після вибуху, що відбувся. Навчившись виготовляти порох, Шварц став відомим гарматним майстром і, поступивши на службу до англійців, брав участь в битві при Кресі [13].

Проте в ті часи ще не було ні картузів для пороху, ні чавунних ядер, і заряджати гармати було складно, тому за день битви вони встигали зробити лише по декілька пострілів. Крім того, бомбарди були дуже неміцними, їх робили із залізних смуг, що скріплялись обручами і для захисту прислуги від порохових газів, що виривалися через щілини, зовні обтягувались

шкірою. Ствол укладали в дерев'яну колоду, у зв'язку із чим гармата була такою важкою, що змінити позицію в ході бою було практично неможливо, тому артилерію застосовували в основному під час облоги фортець (рисунок 1.30). Лук продовжував панувати на полі бою, поки в ливарній справі не відбулися нові революційні зміни. У XIV ст. артилерійські майстри навчилися виливати в піскові форми бронзові і мідні гармати. Винахід суцільнолитой гармати був фундаментальним відкриттям, що змінило зовнішність людського суспільства: лицарі і стрільці відступили перед новим богом війни – артилерією. Відтепер могли вижити тільки ті держави, які мали металургійну промисловість,

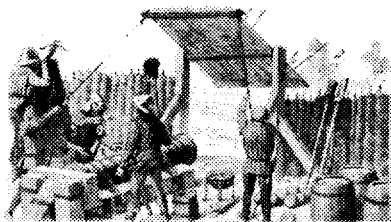


Рисунок 1.30 – Використання гармати для облоги фортеці

артилерію і професійну армію. Цивілізація, нарешті, отримала в руки зброю, яка зупинила хвилі нашествия з Великого Степу [4, 13].

Вогнепальна зброя була створена на Сході і першою армією, що узяла її на озброєння, була армія імперії Османа. При султані Мурад I (1362 – 1389 рр.) були створені перші підрозділи яничар (рисунок 1.31) – це був корпус регулярної піхоти, що складався з воїнів-рабів, з дитинства вихованих в казармах. Дисципліна, організованість і мужність яничар допомагали їм отримувати перемоги в битвах, але справжня слава прийшла до них, коли в руках «нових солдатів» опинилася «нова зброя».



Рисунок 1.31 – Яничари у бою

При Мурад II (1421 – 1451 рр.) велика частина яничар була озброєна аркебузами-«тюфенгами», створений могутній артилерійський корпус, «топчу оджаги» – таким чином, на світ з'явилася регулярна армія, озброєна вогнепальною зброєю [2, 8].

Гармати тих часів були дуже важкими, щоб пересувати їх по полю бою, тому зброю установлювали на центральній позиції, зазвичай на пагорбі. Батарей прикривалися укріпленнями з дерев'яних щитів і возів – утворювався укріплений табір. В окопах попереду і в самому таборі розташовувалися стрільці-яничари, а кіннота – сіпахі – шикувалася по сторонах і позаду табору. Завдання кінноти полягало в тому, щоб зав'язати бій і заманити ворожу кавалерію на укріплення яничар, де вона потрапляла під згубний вогонь гармат і аркебуз, потім кіннота поверталася і добивала уцілілих ворогів [2, 13].

При наступнику Мурада, Мехмеді II, для оволодіння містами були створені величезні облогові гармати – зокрема, знаменита гармата Урбана

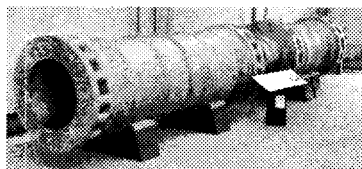


Рисунок 1.32 – Гармата Урбана

(рисунок 1.32), яка в 1453 р. зруйнувала стіни Константинополя. Це була бомбарда довжиною 8 метрів, що стріляла кам'яними ядрами вагою півтонни. Щоб доставити цю гармату до Константинополя довелося вирівнювати дорогу і укріплювати мости. Гармату тягнули 60 биків, а 200 чоловік йшли поряд, щоб

підтримувати її в рівновазі [2, 9, 13].

Створення озброєної вогнепальною зброєю регулярної армії було фундаментальним відкриттям турків; це відкриття викликало хвилю завоювань Османа. Протягом двадцяти років після взяття Константинополя турки оволоділи Сербією, Грецією, Албанією, Боснією, завоювали Валахію і Молдавію. Далі вони повернули на схід, остаточно підкорили Малу Азію, і в 1514 р. в грандіозній битві на Чалдаранській рівнині розгромили об'єднані сили пануючих над Іраном кочівників. Були завойовані Сирія і Єгипет, і султан Селім Грізний (1512 – 1520 рр.) проголосив себе заступником пророка – халіфом [10].

Звістка про взяття Константинополя турками прозвучала в Європі як гуркіт грому; всі королі поспішали створити власну артилерію. Новий поштовх розвитку артилерії дала поява доменних печей і способів лиття чавуну. В середині XV ст. у Вестфалії, на кордоні Німеччини і Франції, були побудовані перші доменні печі. Від колишніх сиродутних печей їх відрізняли великі розміри (до 6 метрів висоти) і механічне дуття з приводом від водяного колеса (рисунок 1.33). Висока температура, що створюва-

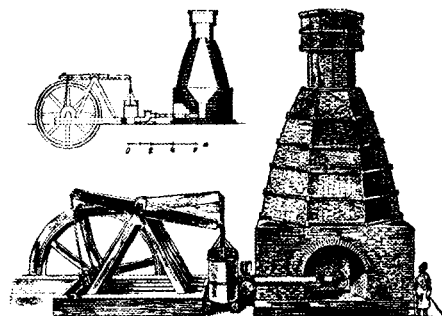


Рисунок 1.33 – Доменна піч з дугтям від водяного колеса

валася в таких печах, дозволяла отримувати рідкий чавун, який використовували для виготовлення ядер, а пізніше – і гарматних стволів. Чавун містив велику кількість вуглецю і був крихкий. Для отримання заліза його відправляли на переплавлення, ця технологія називалася кричним переліом [13].

Іншим важливим нововведенням в артилерійській справі став винахід колісного лафета.

Останній з'явився у Франції на-

прикінці XV ст. Поява лафета дозволила брати гармати в далекі походи. У 1494 р. рухома артилерія допомогла французькому королю Карлу VIII завоювати Італію. Поступово розвивалася теорія артилерійської справи. Італійський математик Ніколо Тарталья винайшов квадрант (рисунок 1.34) і першим спробував вирахувати траєкторію польоту снаряда. Тарталья

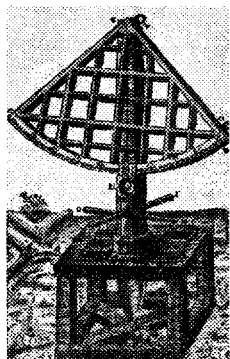


Рисунок 1.34 – Квадрант

встановив, що вага ядра пропорційна кубу його діаметра і ввів гарматні калібри.

Як наголошувалося вище, порох був винайдений в Китаї. Іншим великим китайським винаходом було книгодрукування, що з'явилося у XI ст. Спочатку для друку використовувалися вирізані з дерева дошки, потім дерев'яні літери, ще пізніше – чавунні літери, винахідником яких вважається коваль Бі Шен. У Європі книгодрукування, мабуть, було відкрите незалежно, його творцем був ремісник Югана Гутенберг із Страсбурга. У 1440 р. Гутенберг виготовив свій перший друкарський верстат (рисунок 1.35), а у 1455 р. надрукував першу книгу – звичайно, це була найпопулярніша книга тих часів – Біблія [5, 8].

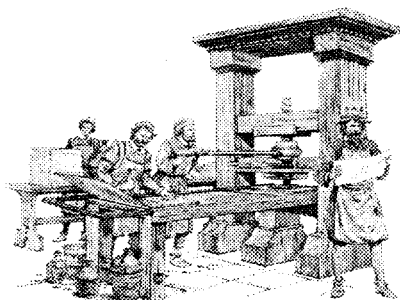


Рисунок 1.35 – Друкування книжок в епоху Відродження

Ми говорили про те, що в середні віки роль хранительки стародавніх знань відігравала Візантія. Коли у XV ст. до Константинополя підступили полки турок, вчені грецькі ченці стали рятуватися втечею на Захід. Вони привозили з собою дорогоцінні стародавні рукописи і навчали європейців грецькій мові. Містом, куди тримали шлях вчені греки, була Флоренція – у тамтешньому університеті викладали грецьку мову, і греки знаходили тут теплий прийом. Вони перекладали на латинь

привезені з собою праці Аристотеля, Платона, Полібія і передавали флорентійцям сокровенні думки стародавніх філософів. Правитель Флоренції, відомий банкір Козімо Медичі, був великим шанувальником Платона і створив на своїй віллі в Кареджі гурток любителів античності, який пізніше, за прикладом афінської школи Платона, назвали «Академією». Друзями Козімо були не тільки філософи, але і архітектори, скульптори і художники, що прагнули відродити в своїх творах стародавні зразки. Архітектор Філіппо Брунеллескі був настільки захоплений античністю, що провів декілька років серед руїн римського форуму. Він вимірював і замальовував залишки стародавніх будівель і детально вивчав Пантеон, який тоді вважали дивом світу: бетонний купол цього храму мав 43 метри в діаметрі, і до тих часів жоден майстер не мав ні знань, ні сміливості, щоб створити подібне. Коли Брунеллескі запропонував збудувати такий же купол над величезною, незакінченою ще з часів Чуми, церквою Санта-Марія-дель-Фьоре, флорентійці спочатку визнали його за божевільного,

але, врешті-решт, виділили робітників та гроші. П'ятнадцять років вся Флоренція із здивуванням стежила за небаченим будівництвом: купол піднімався все вище і вище і, нарешті, досяг висоти у 114 метрів (рисунок 1.36) – це була найграндіозніша будівля зі всіх, побудованих доти людиною, нова Вавилонська вежа, символ Нового Часу, що починався [2, 4, 9].



Рисунок 1.36 – Собор Санта-Марія-дель-Фьоре

Відродження античних мистецтв і наук – у тому числі і географії – такі були суть і зміст нової епохи. Друг Брунелескі, Паоло Тосканеллі воскресив географію Птолемея, що базується на визначенні широт і довгот. Тосканеллі встановив прилади на вершині Флорентійського собору, і, заміряючи його тінь, спробував знову обчислити

довжину меридіана. Неточність вимірювань призвела до того, що Тосканеллі применшив розміри Землі і зробив висновок, що відстань від Іспанії через океан до Індії складає лише 6 тисяч миль – втричі менше, ніж насправді. Розрахунки Тосканеллі потрапили до рук іншого італійця, Христофора Колумба, який загорівся бажанням досягти західним шляхом через океан Індії. Даний проект здавався реальним завдяки винаходу каравели – судна з косим вітрилом і корабельним кермом. Каравела відрізнялася від своїх попередників тим, що могла, міняючи галси, плисти на вітрилах

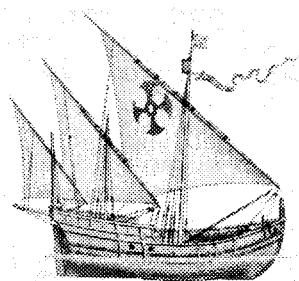


Рисунок 1.37 – Каравела

проти вітру (рисунок 1.37). У 1492 р. Колумб відправився до Індії і відкрив Америку. У 1498 р. Васко да Гама обігнув Африку і відкрив справжню дорогу до Індії. У 1519 р. Фернандо Магеллан відправився у першу навколосвітню подорож. Каравела зробила доступними для європейців всі океани і подарувала їм панування на морях. Створення каравели було фундаментальним відкриттям, що різко розширило екологічну нішу європейських народів. Іспанія стала володаркою багатющих колоній, сотні тисяч переселенців від-

правилися за океан у пошуках нових земель і багатств. Через півтора століття після відкриття Америки Іспанія спустіла – її населення зменшилося удвічі, проте в Америці виростили тисячі міст, населених колоністами.

Наслідком відкриття Америки стала агротехнічна революція. Європейці познайомилися з новими сільськогосподарськими культурами, перш за все з кукурудзою і картоплею. Ці культури були значно продуктивніші за пшеницю, і введення їх в оборот дозволило збільшити виробництво їжі. За розширенням екологічної ніші настало зростання населення, напри-



клад, населення Франції у XVIII ст. зросло в півтора рази. З іншого боку, американські плантації стали виробниками цукру, кави, бавовни, тютюну – продуктів, які знаходили широкий збут в Європі. Проте, щоб налагодити виробництво цих товарів у плантаторів не вистачало робочої сили. Кінець кінцем, вони стали привозити рабів з Африки; розвиток господарства плантацій привів до небаченого розквіту работоргівлі. Все це було наслідком великого фундаментального відкриття – винаходу каравели [2, 15].

## 1.7 Народження сучасної науки

Відродження торкнулося і астрономії. У 1543 р. польський священик Микола Коперник, що вчився в Італії, видав книгу, в якій він воскресив ідею Аристарха Самоського про те, що Земля обертається навколо Сонця. Проте, як і в стародавні часи, ця теорія не узгоджувалася із спостереженнями астрономів, зокрема із вимірюваннями датського астронома Тихо Браге, що створив великі і точні астрономічні таблиці. У 1609 р. Іоганн Кеплер, астроном і астролог при дворі німецького імператора проаналізував таблиці Тихо Браге і шляхом кропітких обчислень показав, що Земля обертається навколо Сонця – але не по колу, а по еліпсу [5]. Таким чином, вчені Нового часу вперше перевершили вчених Стародавнього світу.

Експериментальне підтвердження теорії Кеплера було дане великим італійським вченим Галілео Галілеєм. З давніх часів основним запереченням проти геліоцентричної теорії було те, що Місяць обертається навколо Землі – аналогічно вважали, що і інші небесні тіла обертаються навколо Землі. У 1609 р. Галілей одним з перших створив телескоп (рисунок 1.38) і з його допомогою зробив багато сенсаційних для того часу відкриттів. Він виявив багато нових зірок і відкрив чотири супутники, що обертаються навколо Юпітера. Тепер стало очевидним, що Місяць – це не планета, а супутник, подібний до супутників Юпітера. А планети, на відміну від супутників, обертаються навколо Сонця. Галілей енергійно виступив на підтримку учення Коперника і був притягнутий до суду інквізиції. Він був вимушений, стоячи на колінах, публічно відректися від своїх переконань. Галілею тоді було вже 70 років, і він провів залишок життя під домашнім арештом, але продовжував працювати і ставити досліди. Він встановив, що Аристотель був не правим, стверджуючи, що важкі тіла падають швидше за легші. Крім цього, Галілей визначив, що гарматне ядро летить по параболі і що період коливання маятника не залежить від амплітуди. Він відкрив закон інерції, закон

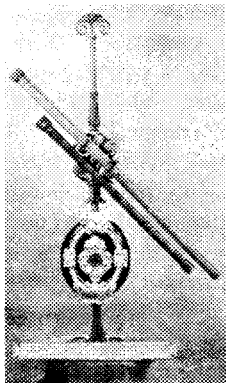


Рисунок 1.38 – Телескоп Галілея

рівноприскореного руху і сформулював принцип складання (суперпозиції) рухів. Ці відкриття стали початком сучасної механіки [2, 4, 5].

Досліди Галілея продовжував його учень Торрічеллі (1608 – 1647 рр.), що відкрив вакуум, атмосферний тиск і створив перший барометр (рисунок 1.39). Дослідження вакууму зацікавило учених багатьох країн. Француз Блез Паскаль зробив з цим барометром сходження на одну з гір і виявив, що із підйомом атмосферний тиск спадає. Німець Отто фон Геріке і англієць Роберт Бойль майже одночасно винайшли повітряний насос (рисунок 1.40). Бойль також встановив, що об'єм, який займає газ, обернено пропорційний тиску (відомий закон

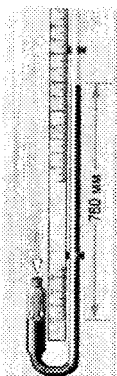


Рисунок 1.39 – Ртутний барометр

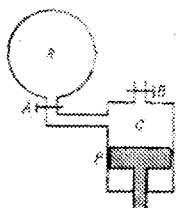


Рисунок 1.40 – Повітряний насос

Бойля-Маріотта). Розпочате Галілеєм дослідження маятника було продовжене голландцем Хрiстiаном Гюйгенсом (1629 – 1695 рр.), який у 1657 р. створив перший маятниковий годинник (рисунок 1.41) [2, 5].

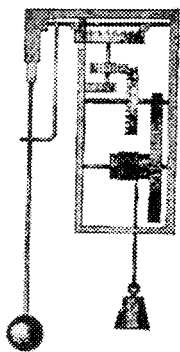


Рисунок 1.41 – Механiзм маятникового годинника

З розвитком науки вирішувалася проблема правильного обґрунтування наукових iстин i теорем. Англійський філософ Френсіс Бекон в творі «Новий Органон» (1620 р.) дав визначення індуктивного i дедуктивного методів досліджень. Французький філософ Рене Декарт (1596 – 1650 рр.) ввів в нову науку правила математичного доведення; він наполягав на необхідності доведення будь-якого твердження. Коли у Декарта попросили довести, що він існує, вчений відповів: «Я мислю – отже, я існую». Декарт перший став зображати криві у вигляді графіків функцій i створив аналітичну геометрію, він ввів поняття «Кількість руху» (це добуток маси на швидкість –  $m \cdot v$ ) i встановив закон збереження кількості руху за відсутності зовнішніх сил [2, 11].

Ідеї Декарта були сприйняті Ісааком Ньютоном (1643 – 1727 рр.). Найбільшим відкриттям Ньютона був його другий закон механіки, який стверджував, що «зміна кількості руху пропорційна прикладеній силі». «Зміна кількості руху» – це маса, помножена на похідну швидкості, таким чином, другий закон давав початок диференціальному численню. Іншим великим відкриттям Ньютона був закон всесвітнього тяжіння, при доведенні якого він використовував формулу відцентрової сили, отриману раніше Гюйгенсом [8, 12].

Честь створення диференціального числення у Ньютона оспоровували знаменитий німецький учений Готфрід Лейбніц (1646 – 1716 рр.). Лейбніц, крім цього, встановив закон збереження кінетичної енергії, буду-

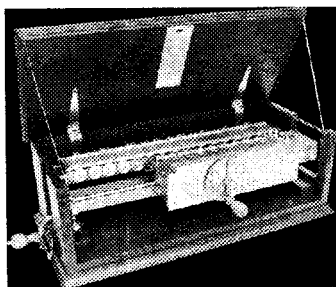


Рисунок 1.42 – Обчислювальна машина Г. Лейбніца

вав механічні обчислювальні машини (рисунок 1.42). Роботи Лейбніца і Ньютона в області механіки і диференціального числення продовжував швейцарський учений Йоганн Бернуллі (1667 – 1748 рр.) [2, 5].

Успіхи науковців привернули увагу королів і міністрів. У 1666 р. знаменитий міністр Людовика XIV Жан-Батист Кольбер вмовив короля виділити кошти на створення Французької Академії наук. Це було відновлення традицій Олександрійського Мусея. При Академії були обсерваторія, бібліотека і дослідницькі лабораторії, випускався науковий журнал. Академікам платили велику платню; серед них

були такі знаменитості як Гюйгенс і Лейбніц. Кольбер ставив перед Академією практичні завдання: під керівництвом Пікара був точно вимірний градус меридіана і складена точна карта Франції. При цьому виявилось, що розміри країни менші, ніж вважали раніше. Людовик XIV жартома сказав, що «нанове академіки викрали у нього частину королівства» [2].

За прикладом Людовика XIV власні Академії поспішили організувати багато європейських королів. У 1710 р. за ініціативою Лейбніца була створена Берлінська академія. У 1724 р., незадовго до смерті, Петро I підписав указ про відкриття Російської академії наук. Головною знаменитістю Російської академії був учень Бернуллі, відомий математик швейцарського походження – Леонард Ейлер. Ейлер продовжував розробку теорії диференціальних рівнянь, розпочату в роботах Лейбніца і Бернуллі. Теорія диференціальних рівнянь була найбільшим відкриттям XVIII ст. виявилось, що всі процеси, пов'язані з рухом тіл, описуються диференціальними рівняннями, і розв'язавши їх, можна знайти траєкторію руху. У 1758 р. французький математик і астроном Клеро розрахував траєкторію комети Галлея з урахуванням впливу притягування Юпітера і Сатурну – це була блискуча демонстрація можливостей нової теорії. Дана теорія отримала своє завершення в відомій книзі Жозефа Лагранжа «Аналітична механіка», що побачила світ в Парижі у 1788 р. [5, 12].

## 1.8 Техніка мануфактурної епохи

Таким чином, на початку XVIII ст. на світ народилася нова наука, теоретична механіка. У наступному сторіччі ця наука стала інструментом інженерів, що розраховували параметри нових складних машин, а до їх появи учені визначали траєкторії переміщення комет. Вищим досягненням техніки XVII ст. була так звана «машина Марлі», яка містила 14 водяних коліс діаметром 12 метрів і була призначена для забезпечення роботи версальських фонтанів. Машини приводились в дію від водяних коліс

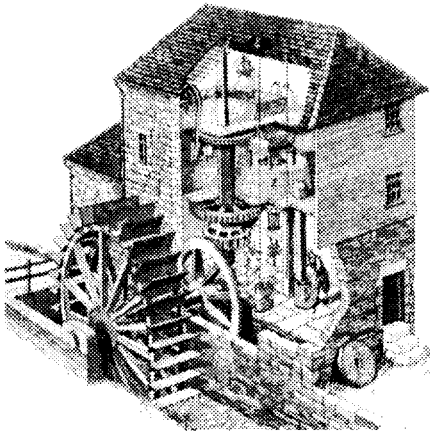


Рисунок 1.43 – Розріз водяного млина

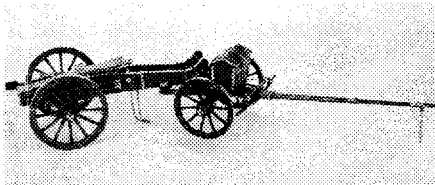


Рисунок 1.44 – Гармата на лафеті з передком

(рисунок 1.43) і заводи розташовувалися біля річок. Найбільші металургійні заводи знаходилися у Швеції – в цій країні була високоякісна залізна руда і не було браку у деревному вугіллі. У 1610-х роках шведські копальні привернули увагу багатого нідерландського мануфактуриста Луї де Геєра (1587 – 1652 рр.), який зумів налагодити виробництво легких чавунних гармат. Його 4-фунтова гармата разом з лафетом мала масу 35 пудів і її можна було перевозити упряжкою з двох коней (рисунок 1.44). Відтепер гармати могли пересуватися по полю бою разом з піхотою. Де Геєр організував масове виробництво нової зброї і незабаром кожному полку шведської армії були додані по дві легкі «полкові» гармати; у руках шведів опинилася нова руйнівна сила [2].

Фундаментальне відкриття шведів – легка артилерія – викликало нову хвилю нашествия.

У 1630 р. шведська армія на чолі з королем Густавом Адольфом висадилася в Німеччині, а роком пізніше в битві при Брейтенфільді шведські гаубиці розстріляли армію імператора Фердинанда II. Шведи стали господарями Центральної Європи. За двадцять років війни було спалено 20 тисяч міст і сіл і загинуло 2/3 населення Німеччини [2]. Потім шведська армія напала на Польщу – це був страшний «потоп», коли були розграбовані майже всі польські міста і загинула половина поляків. У 1700 р. шведський король Карл XII (рисунок 1.45) розгромив під Нарвою російську армію; шведи могли б заволодіти Москвою, але Карл повернувся до Польщі, оскільки вважав, що перемога від нього не піде й у росіян немає хорошого залізняку (до війни вони купували майже все якісне залізо у Швеції). Проте король помилився; незадовго до Нарвської баталії на Уралі були знайдені багаті рудні поклади і цар Петро I (див. рисунок 1.45) наказав закласти великий за-



Рисунок 1.45 – Петро I і Карл XII

вод у Каменську. Були запрошені іноземні майстри, завод будували з великим успіхом; восени 1701 р. була введена в експлуатацію перша домна, у 1702 р. завод дав 180 гармат, а у 1703 р. – ще 600 гармат – вчетверо більше, ніж було втрачено під Нарвою. Коли Карл XII у 1708 р. знову напав на Росію, його зустріла могутня артилерія. У битві під Полтавою велика частина атакуючої шведської піхоти не змогла добігти до російських шеренг – вона була винищена вогнем нових російських гармат [2, 13].

Переїняття шведської військової техніки означало для Росії модернізацію за європейським зразком. Петрові реформи включали створення нової промисловості, нової армії, нової державної адміністрації, переїняття європейського одягу і європейських звичаїв. В результаті цієї модернізації Росія увійшла до європейського культурного кола, стала європейською країною. Уральська руда була кращою за шведську, і створена Петром уральська металургія незабаром зайняла перше місце в Європі. Уральські доменні печі на ті часи були найбільшими в світі, вони сягали 13 метрів у висоту і 4 метрів у діаметрі. Російські металурги і артилерійські інженери незабаром перевершили своїх вчителів-іноземців. У 1757 р. під керівництвом графа Петра Шувалова було створене найкраще артилерійське знаряддя тих часів – гаубиця «єдиноріг». У 1759 р. в битві під Кунерсдорфом «єдинороги» розстріляли армію прусського короля Фрідріха II. Єдиноріг став новою зброєю Росії, поява якої породила хвилю російських завоювань: на початку XIX ст. кордони Росії проходили по Дунаю і Віслі.

Тоді результат воєн на суші визначала артилерія, а результат воєн на морі визначався досконалістю конструкції кораблів. Кінець XVI ст. був ознаменований новим фундаментальним відкриттям, що змінило долі народів, – винаходом голландського флейта [14] (рисунок 1.46). Флейт був

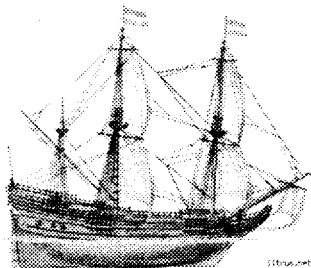


Рисунок 1.46 – Голландський флейт

кораблем нового типу. Він мав подовжений корпус, високі щогли з досконалим вітрильним озброєнням і був оснащений штурвалом. Флейт набагато перевершував іспанські каравели своєю швидкістю і маневреністю, тому він подарував голландцям панування на морях. У 1598 р. голландський флот прорвався в Індійський океан – у води, де доти панували португальці і іспанці. Протягом двадцяти років голландці вигнали з морів всіх супротивників і захопили в свої руки майже всю морську торгівлю. Величезні каравани суден з азійськими товарами приходили до Амстердама – нової торгової столиці світу; звідси товари розвозилися по всій Європі. З появою флейта стали можливими масові перевезення небачених раніше масштабів, і голландці перетворилися на народ мореплавців і купців: їм належали 15 тисяч кораблів, втричі більше, ніж решті європейських народів. Колосальні прибутки від монопольної посередницької торгівлі подарували

Голландії багатства, що зробили її символом буржуазного процвітання. Капітали купців вкладалися в промисловість; тисячі мануфактур працювали на сировині, що привозилась з інших країн. Далі ця продукція надходила на європейські ринки [2].

Інші європейські країни, перш за все Англія і Франція, прагнули позбавитися від голландського посередництва і завести свій океанський флот. Проте Голландія не бажала розлучатися зі своєю торговою монополією; друга половина XVII ст. увійшла до історії як епоха морських воєн. Кінець кінцем Голландія потерпіла поразку і новим володарем морів стала Англія. Англійці отримали перемогу завдяки своїм досягненням в кораблебудуванні: у 1637 р. корабельний майстер Фінеас Пет побудував перший трипалубний лінійний корабель (рисунок 1.47) «Роял Соверен» [14].

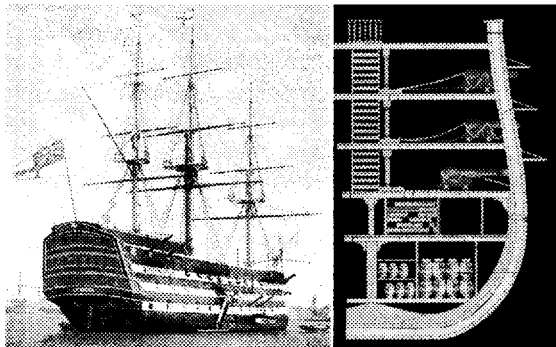


Рисунок 1.47 – Зовнішній вигляд та поперечний переріз лінійного корабля

Це був найбільший корабель тих часів, він мав водотоннажність 1700 тонн і 126 гармат. До кінця століття Англія мала більше ста лінійних кораблів. Петро I у 1697 р., коли приїхав до Голландії вчитися корабельному ремеслу, був розчарований тим, що голландські майстри працюють за інтуїцією, не користуючись кресленнями.

Тоді він поїхав до Англії і там закінчив своє навчання. Англійський флот панував на морях. Англія змінила Голландію і захопила в свої руки посередницьку торгівлю. Голландські купці переселялися зі своїми капіталами до Лондона, приймали англійські імена і ставали англійськими підприємцями. Англія перетворилась на процвітаючу торгову державу – гарантом цього процвітання був лінійний корабель – винахід Фінеаса Петта [2].

## 1.9 Промислова революція

Успіхи у торгівлі призвели до збагачення англійських купців, до появи надмірних капіталів, які потребували вкладення у яку-небудь справу. З іншого боку, в результаті еміграції працездатного населення до Америки, Англія відчувала нестачу робочої сили. Ми пам'ятаємо, що в аналогічній ситуації афінські капіталісти купували для своїх майстерень рабів. Англійці намагались компенсувати брак робочої сили введенням машин. Спроби використання на мануфактурі машин мали місце і раніше – першим прикладом такого роду була шовкомотальна машина італійського



виробничих підприємствах наростала потреба у новому двигуні для привода верстатів та молотів. Таким двигуном стали пароатмосферні, а пізніше і поршневі парові машини (див. підрозділ 2.1) [4, 5].

Масове виробництво парових машин було неможливе без точних токарних верстатів; вирішальний крок в цьому напрямі був зроблений механіком Генрі Модслі, який створив самохідний супорт [14]. З того часу стало можливим виготовлення деталей з допуском у частки міліметра – це було початком сучасного машинобудування. Виникнення машин викликало потребу в металі. Оскільки до початку промислової революції чавун плавили на деревному вугіллі, лісів в Англії вже майже не залишилося. У 1785 р. Генрі Корт винайшов спосіб виробництва чавуну на кам'яному вугіллі. Таким чином, видобування вугілля стає однією з основних галузей економіки [4].

Вже незабаром після появи парової машини почалися спроби створення пароплавів та паровозів (див. підрозділ 5.1). У 1802 р. американець ірландського походження Роберт Фултон побудував в Парижі невеликий човен з паровим двигуном [14] і продемонстрував його членам Французької Академії. Проте ні академіки, ні Наполеон, якому Фултон пропонував свій винахід, не зацікавилися ідеєю пароплава. Фултон повернувся до Америки і на кошти свого друга та покровителя Лівінгстона побудував пароплав «Клермонт», двигун для якого був виготовлений на заводі Уатта. У 1807 р. «Клермонт» під захоплені крики глядачів зробив перший рейс

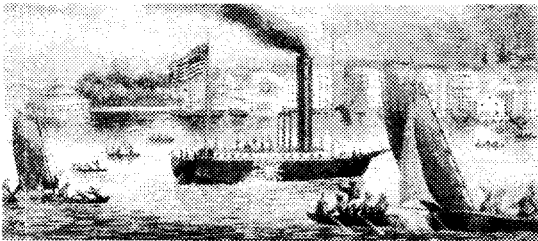


Рисунок 1.50 – Плавання першого пароплава «Клермонт» по Гудзону

по Гудзону (рисунок 1.50), але не знайшлося жодного сміливця, який захотів би стати пасажиром нового судна. Через чотири роки Фултон і Лівінгстон були вже власниками пароплавної компанії, через дев'ять років в Америці було 300 пароплавів, а в Англії – 150. У 1819 р.

американський пароплав «Савана» перетнув Атлантичний океан, а у 1830-х рр. починає діяти перша регулярна трансатлантична пароплавна лінія. На цій лінії курсував найбільший на ті часи пароплав «Грейт Уестерн», що мав водотоннажність 2 тис. тонн і паровий двигун потужністю 400 кінських сил. За двадцять років пароплави стали значно більші. Так, пароплав «Грейт Істерн» мав водотоннажність 27 тис. тонн і два парових двигуни загальною потужністю 7,5 тис. к. с. (рисунок 1.51) [2, 14].

Створення верстатів, парових машин, паровозів і пароплавів корінним чином змінило життя людей. Поява фабрик, що випускають величезну кількість дешевих тканин, розорила ремісників, які працювали вдома або на



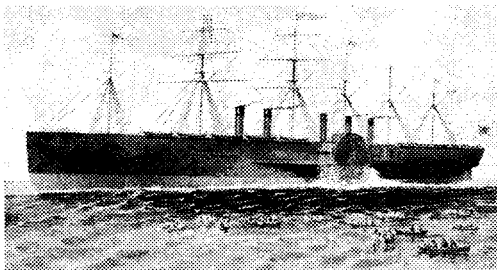


Рисунок 1.51 – Пароплав «Грейт Істерн»

ною, ніж праця ремісника, фабриканти часто наймали жінок і дітей та за їх 12 – 15-ти годинний робочий день давали мізерну плату. Було багато безробітних і жебраків; після голодних бунтів 1795 р. їм стали платити допомогу, якої вистачало на дві буханки хліба в день. Населення стікалося до фабрик, і фабричні селища незабаром перетворилися на величезні міста. У 1844 р. в Лондоні було 2,5 млн жителів, причому робітники жили в перенаселених будинках, де в одній кімнатці, часто без каміна, тіснилося по декілька сімей. Робітники становили велику частину населення Англії; це було нове індустріальне суспільство, не схоже на Англію XVIII ст. [15].

Основною галуззю англійської промисловості в першій половині XIX ст. було виробництво бавовняних тканин. Нові машини дозволяли отримувати 300 і більше відсотків прибутку за рік і випускати дешеві тканини, які продавалися по всьому світі. Це був колосальний промисловий бум, виробництво тканин збільшилося в десятки разів. Проте для нових фабрик була потрібна сировина – бавовна. Спочатку бавовна була дорога через те, що її очищення проводилося вручну. У 1806 р. американець Елі Уїтні створив бавовноочищувальну машину (рисунок 1.52), після цього в південних штатах наступила «ера бавовни». Там створювалися величезні бавовняні плантації, на яких працювали раби-негри. Таким чином розквіт американського рабства став безпосередньо пов'язаний з промисловою революцією.

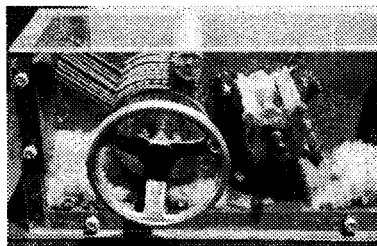


Рисунок 1.52 – Бавовноочищувальна машина Е. Уїтні

Дешеві англійські тканини заповнили весь світ і розорили ремісників не тільки в Англії, але і в багатьох країнах Європи і Азії. В Індії з голоду загинули мільйони ткачів; вимерли багато великих ремісничих міст, такі як Дакка і Ахмадабад. Доходи, на які раніше існували ремісники Європи і Азії, тепер йшли до Англії. Багато держав намагалися вберегтися

мануфактурі. У 1811 р. в Ноттингемі спалахнуло повстання ремісників, які ламали машини на фабриках, – їх називали «луддитами». Повстання було придушене. Розорені ремісники були вимушені виїжджати до Америки або йти працювати на фабрики. Праця робітника на фабриці була менш кваліфікованою, ніж праця ремісника.

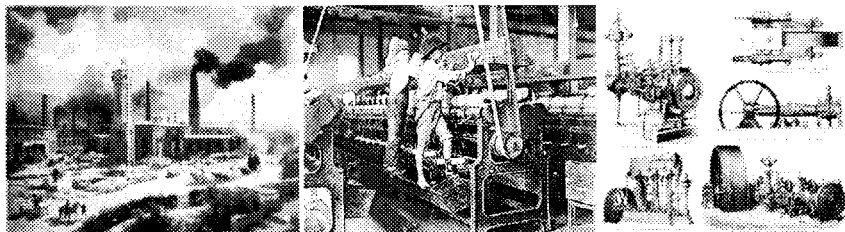


Рисунок 1.53 – Промислова революція в Англії

від англійської товарної інтервенції – у відповідь Англія проголосила «свободу торгівлі». Вона вселяю – часто з використанням військової сили – добивалася зняття протекціоністських митних бар'єрів, «відкриття» інших країн для англійських товарів [2, 15].

У 1870-х роках у розвитку світової економіки настав знаменний перелом, пов'язаний з колосальним розширенням ринку. У попередній період масштабне будівництво залізниць призвело до включення в світову торгівлю великих континентальних областей; поява пароплавів набагато здешевила перевезення по морю. На ринки величезним потоком ринула американська і російська пшениця, ціни на яку впали в півтора-два рази. Ці події традиційно називають «світовою аграрною кризою». Вони призвели до розорення багатьох поміщиків в Європі, але, разом з тим, забезпечили дешевим хлібом мільйони робітників. З того часу намітилася промислова спеціалізація Європи: багато європейських держав тепер жили за рахунок обміну своїх промислових товарів на продовольство. Зростання населення більше не стримувалося розміром орних земель; лиха і кризи, що породжуються перенаселенням, пішли в минуле. На зміну колишнім законам історії прийшли закони нового індустріального суспільства [2].

Промислова революція дала в руки європейців нову зброю – гвинтівки і сталеві гармати (див. підрозділи 7.2, 7.3) [4, 13].

Для виробництва нових транспортних засобів, зброї, будівництва залізниць потрібно було багато металу – в першу чергу сталі. Відомі на середину XIX ст. способи її отримання вже не задовольняли зростаючі потреби у цьому металі. У 1850-х роках англійський винахідник і підприємець Генрі Бесмер винайшов кисневий конвертер (рисунок 1.54), який згодом назвуть «бесмерівським», а у 60-х

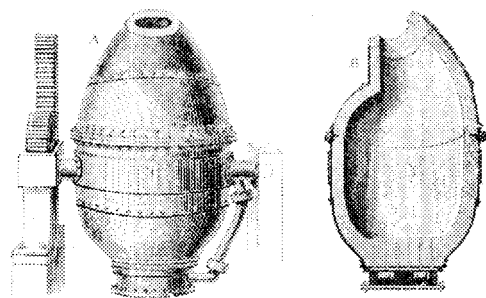


Рисунок 1.54 – Бесмерівський конвертер

році вперше стали використовувати кисневий конвертер (рисунок 1.54), який згодом назвуть «бесмерівським», а у 60-х

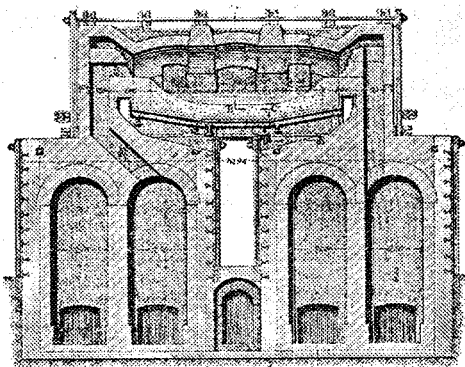


Рисунок 1.55 – Мартенівська піч

роках французький інженер Еміль Мартен створив нову високоефективну («мартенівську») піч (рисунок 1.55). Ці винаходи забезпечили справжній прорив в металургії [2, 4, 5, 8].

Винаходи ткацького верстата, парової машини, паровоза, пароплава, гвинтівки і скорострільної сталевий гармати – все це були фундаментальні відкриття, які викликали появу нового культурного кола – того суспільства, яке називають промисловою цивілізацією.

Хвиля нової культури виходила з Англії; вона швидко охопила інші європейські держави – перш за все Францію і Німеччину. У Європі почалася швидка модернізація за англійським зразком, на першій стадії вона включала запозичення техніки – верстатів, парових машин, залізниць. Друга стадія включала політичні перетворення – у 1848 р. Європу охопила хвиля революцій, метою яких було скидання монархій і парламентські реформи. Росія спробувала опиратися цій модернізації – почалася війна з Англією і Францією, та гвинтівки примусили Росію ступити на шлях реформ. У 60-х роках культурна експансія промислової цивілізації змінилася військовою експансією – фундаментальне відкриття завжди породжує хвилю завоювань. Почалася епоха колоніальних воєн; кінець кінцем весь світ виявився поділений між промисловими державами. Англія, скориставшись своєю першістю, створила величезну колоніальну імперію з населенням в 390 млн чоловік [2, 4].

### 1.10 Наука в період промислового перевороту

Винахідники машин, що здійснили промислову революцію, були, як правило, майстрами-самоучками. Деякі з них навіть не знали грамоти; наприклад, Стефенсон навчився читати у 18 років. В період промислового перевороту наука і техніка розвивалися незалежно одна від одної. Особливо це стосувалося математики. В розглядуваний період з'явився векторний аналіз, французький математик О. Коші створив теорію функцій комплексної змінної, а англієць У. Гамільтон і німець Г. Грасман – векторну алгебру. У роботах Лапласа, Лежандра і Пуассона була розроблена теорія ймовірності. Основні досягнення фізики були пов'язані з дослідженням електрики і магнетизму. На межі XVIII – XIX ст. італійський фізик Вольта створив гальванічну батарею. Такого роду батареї довгий час були єдиним джерелом електричного струму і необхідним елементом всіх дослідів. У

1820 р. датський фізик Г. Ерстед виявив, що електричний струм впливає на магнітну стрілку, потім француз А. Ампер встановив, що навколо провідника з'являється магнітне поле і між двома провідниками виникають сили притягування або відштовхування. У 1831 р. Майкл Фарадей відкрив явище електромагнітної індукції. Це явище полягає в тому, що у випадку, коли замкнений провідник при його переміщенні перетинають магнітні силові лінії, в ньому збуджується електричний струм. У 1833 р. працюючий в Росії німецький учений Емілій Ленц створив загальну теорію електромагнітної індукції. У 1841 р. Джоуль досліджував ефект виділення теплоти у провіднику при проходженні по ньому електричного струму. У 1865 р. видатний англійський вчений Джеймс Максвелл створив теорію електромагнітного поля [16].

Теорія електромагнетизму стала першою областю знання, елементи якої почали безпосередньо використовуватись при створенні нової техніки. У 1832 р. російський підданий барон П. В. Шилінг продемонстрував перший зразок електричного телеграфу. В пристрої Шилінга імпульси електричного струму викликали відхилення стрілки, що відповідало певній букві. У 1837 р. американець Морзе створив вдосконалений телеграф, в якому повідомлення, що передавались, наносились на паперову стрічку за допомогою спеціальної абетки (рисунок 1.56). Проте було потрібно

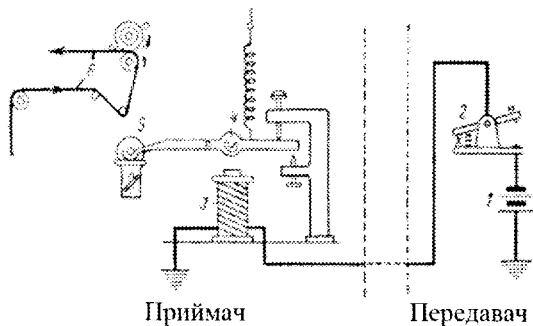


Рисунок 1.56 – Схема телеграфу Морзе: 1 – батарея; 2 – ключ; 3 – електромагніт; 4 – якорі; 5 – пишуче колесо; 6 – стрічка

шість років, перш ніж американський уряд оцінив цей винахід і виділив гроші на побудову першої телеграфної лінії між Вашингтоном і Балтимором. Після цього телеграф став стрімко розвиватися, у 1850 р. телеграфний кабель з'єднав Лондон і Париж, а у 1858 р. був прокладений кабель через Атлантичний океан [17].

Наприкінці XVIII ст.

народилася нова наука – хімія. Раніше алхіміки вважали, що всі речовини складаються з чотирьох елементів вогню, повітря, води і землі. У 1789 р. Антуан Лавуазьє експериментально довів закон збереження маси. Далі Джон Дальтон запропонував атомну теорію будови речовини; він стверджував, що атоми різних речовин мають різну масу і що хімічні сполуки утворюються поєднанням атомів в певних числових співвідношеннях. У 1809 р. був відкритий закон кратних об'ємів при хімічній взаємодії газів. Це явище було пояснене Дальтоном і Гей-Люссаком як доказ того, що в рівних об'ємах газу міститься однакова кількість молекул. Пізніше Авога-

дро висунув гіпотезу, що в певному об'ємі (скажімо, кубометрі) будь-якого газу міститься однакова кількість молекул; ця гіпотеза була експериментально підтверджена у 1840-х роках французьким хіміком Ш. Жераром. У 1852 р. англійський хімік Е. Френкленд ввів поняття валентності, тобто числового виразу властивостей атомів різних елементів вступати в хімічні сполуки один з одним. У 1869 р. Д. І. Менделєєв створив періодичну систему хімічних елементів [2, 16].

Хімічна промисловість в першій половині ХІХ ст. виробляла, в основному, сірчану кислоту, соду і хлор. У 1785 р. Клод Бертоле запропонував вибілювати тканини хлорним вапном. У 1842 р. російський хімік Микола Зінін розробив раціональний спосіб синтезу аніліну, на основі якого почали отримувати фарбники розанелін і мовеїн. Була створена анілінофарбова промисловість, що отримала швидкий розвиток в Німеччині. Іншою важливою галуззю хімічної промисловості було виробництво вибухових речовин. У 1845 р. швейцарець Шенбейн винайшов піроксилін, а італієць Соберо – нітрогліцерин. У 1862 р. швед Альфред Нобель налагодив промислове виробництво нітрогліцерину, а потім перейшов до виробництва динаміту [3, 13].

У 1840-х роках німецький хімік Юстус Лібіх обґрунтував принципи застосування мінеральних добрив в сільському господарстві. З того часу почалося виробництво суперфосфатних і калієвих добрив, а Німеччина стала центром європейської хімічної промисловості [3, 17].

Одним з досягнень експериментальної хімії було створення фотографії. У ХVІІІ ст. був поширений атракціон з використанням камери-обскури (рисунок 1.57). Це був ящик з невеликим отвором в якій вставлялося збільшувальне скло, таким чином, на протилежній стінці можна було бачити зображення предметів, що знаходяться перед камерою. У 1820-х роках французький художник Жозеф Ньєсп спробував зафіксувати це зображення. Покривши шаром гірської смоли мідну пластинку, він вставляв її в камеру; потім пластинку піддавали впливу різних хімікатів, щоб проявити зображення. Вся справа була в підборі складу фотонесучого шару, проявника і закріплювача. Були потрібні довгі роки експериментів, які після смерті Ньєспса продовжував його помічник Луї Дагер. До 1839 р. Дагеру вдалося отримати зображення на пластинках, покритих йодистим сріблом після проявлення їх парами ртуті; таким чином з'явилася дагеротипія (рисунок 1.58). Французький уряд оцінив цей винахід і призначив Дагеру довічну пенсію в 6 тисяч франків [18].

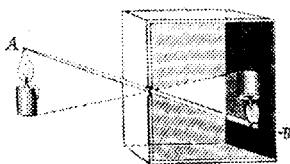


Рисунок 1.57 – Камера-обскури

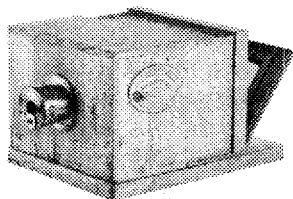


Рисунок 1.58 – Оригінальна камера Дагера

## 1.11 Технічні досягнення кінця XIX – початку XX ст.

Наприкінці XIX ст. настала «Епоха електрики». Якщо перші машини створювалися майстрами-самоучками, то тепер наука владно втрутилася в життя людей – впровадження електродвигунів було наслідком досягнень науки. «Епоха електрики» почалася з винаходу у 1870 р. бельгійським інженером Зиновієм Граммом

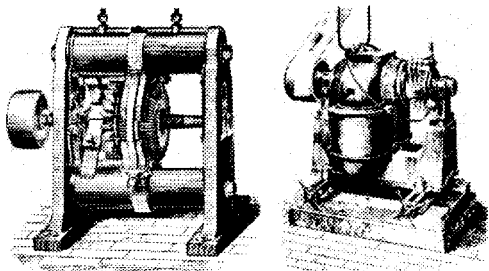


Рисунок 1.59 – Динамо-машина З. Грамма

динамо-машини (рисунок 1.59), яка могла працювати і як електродвигун, і як генератор постійного струму. Крім цього, вона могла бути досить легко перероблена у генератор змінного струму. У 1880-х роках сербський інженер і вчений Ніколо Тесла, що працював в Америці на фірмі «Вестінгауз електрик»

побудував двофазний електродвигун змінного струму. Російський електротехнік Михайло Доливо-Добровольський, що в цей же час працював в Німеччині на фірмі АЕГ, створив ефективний трифазний електродвигун (рисунок 1.60) [19]. Тепер завдання використання електроенергії наштовхнулось на проблему передачі струму на відстань. У 1891 р. відбулося відкриття Всесвітньої виставки у Франкфурті.

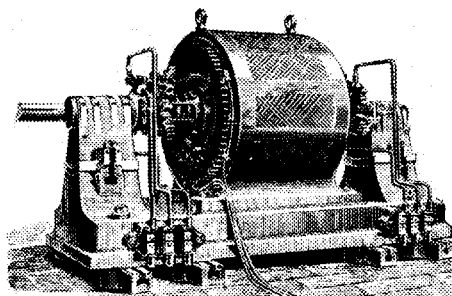


Рисунок 1.60 – Трифазний електродвигун М. Й. Доливо-Добровольського

На замовлення організаторів цієї виставки Доливо-Добровольський створив першу лінію електропередачі (ЛЕП) високої напруги і трансформатор до неї. Замовлення передбачало такі стислі терміни, що не проводилося жодних випробувань; система була включена – і відразу запрацювала. Після цієї виставки Доливо-Добровольський став провідним електротехніком того часу, а фірма АЕГ перетворилась на найбільшого виробника електротехніки. З того часу на заводах і фабриках парові машини почали замінювати електродвигунами. з'явилися великі електростанції і лінії електропередач.

Великим досягненням електротехніки було створення електричних ламп. За вирішення цієї задачі у 1879 р. взявся американський винахідник Томас Едісон. Його співробітники виконали понад 6 тисяч дослідів, пробуючи використовувати для виготовлення нитки розжарення різні матері-

али. Найкращим матеріалом виявилися волокна бамбука, і перші лампочки Едісона були «бамбуковими». Лише через двадцять років за пропозицією російського інженера Лодігіна нитку розжарення стали виготовляти з вольфраму [5, 17].

Електростанції потребували двигунів дуже великої потужності. Ця проблема була вирішена завдяки створенню парових турбін. У 1889 р. швед Густав Лаваль отримав патент на турбіну, в якій швидкість пари досягала 770 м/с. Одночасно англієць Чарльз Парсонс створив багатоступінчасту реактивну турбіну (див. підрозділ 2.2). Турбіна Парсонса стала використовуватися не тільки на електростанціях (рисунок 1.61), але і як двигун швидкохідних суден, крейсерів і океанських лайнерів. З'явилися також гідроелектростанції, на яких використовувалися турбіни, створені у 1830-х роках французьким інженером Бенуа Фурнероном. Американець Пелтон у 1884 р. запатентував струменеву турбіну, що працювала під великим тиском. Гідротурбіни

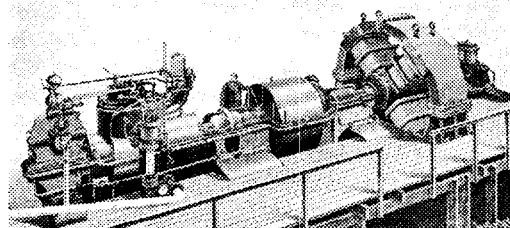


Рисунок 1.61 – Однофазний генератор конструкції Парсонса потужністю 1 МВт для електростанції

мали дуже високий ККД, близько 80%, і отримувана на гідроелектростанціях енергія була досить дешевою [2, 5, 18].

Наприкінці XIX – на початку XX ст. на наземному безрейковому транспорті починає широко використовуватись двигун внутрішнього згоряння (див. підрозділ 2.3). У 1901 р. американські інженери Харт і Пар створили перший трактор, у 1912 р. фірма «Холт» освоїла випуск гусеничних тракторів, і до 1920 р. на американських фермах працювали вже 200 тисяч тракторів. Трактор узяв на себе не тільки польові роботи, його двигун використовувався для приведення в дію молотарок, косарок, млинів і інших сільськогосподарських машин. Із створенням трактора почалася масова механізація сільського господарства [4, 19].

Поява двигуна внутрішнього згоряння відіграла велику роль в зародженні авіації (див. розділ 6).

Наприкінці XIX ст. продовжувалася робота над створенням нових засобів зв'язку, на зміну телеграфу прийшли телефон і радіозв'язок. Перші досліди з передачі мови на відстань проводилися англійським винахідником Рейсом у 1860-х роках (рисунок 1.62) [5]. У 1870-х роках цими дослідженнями зацікавився Олександр Белл, шотландець, що емігрував до Америки і викладав спочатку в школі для глухонімих дітей, а потім в університеті Бостона. Один знайомий лікар запропонував Беллу скористатися для експериментів людським вухом. Белл скопіював барабанну перетинку і, помістивши металеву мембрану поряд з електромагнітом, добився задовільної

передачі мови на невеликі відстані. У 1876 р. Белл отримав патент на те-

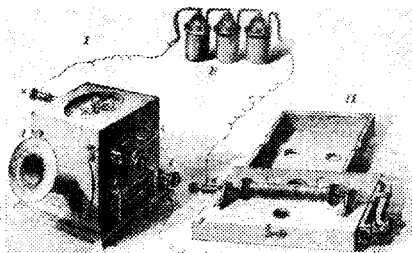
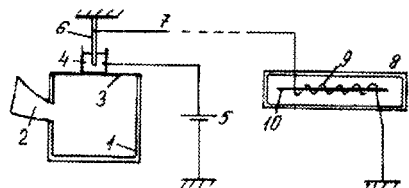


Рисунок 1.62 – Схема і загальний вигляд апарата Ф. Рейса

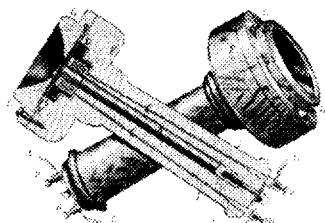
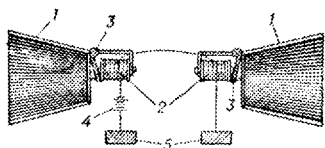


Рисунок 1.63 – Схема і загальний вигляд телефону Белла

лефон (рисунок 1.63) і в тому ж році продав більше 800 його екземплярів. Наступного року Дейвіз Юз винайшов мікрофон, а Едісон застосував трансформатор для передачі звуку на великі відстані [2, 5, 19].

В 1877 р. була побудована перша телефонна станція, Белл створив фірму з виробництва телефонів, і через 10 років в США було вже 100 тисяч телефонних апаратів.

При роботі над телефоном у Едісона виникла думка записати коливання мікрофонної мембрани. Він обладнав мембрану голкою, коливання якої записувались на циліндрі, покритому фольгою. Так з'явився фонограф (рисунок 1.64). У 1887 р. американиць Еміль Берлінер замінив циліндр круглою пластинкою і створив грамофон (рисунок 1.65). Грамофонні диски можна було легко копіювати, і незабаром з'явилося безліч фірм, що займалися звукозаписом [17, 18].

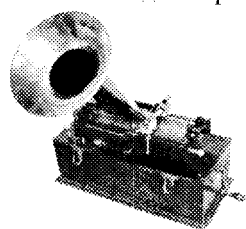


Рисунок 1.64 – Фонограф Едісона

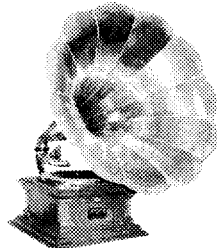


Рисунок 1.65 – Грамофон

Новий крок в розвитку зв'язку був зроблений з винаходом радіотелеграфу. Науковою основою радіозв'язку була створена Максвеллом теорія електромагнітних хвиль. У 1886 р. Генріх Герц експериментально підтвердив існування цих хвиль за допомогою приладу, названого вібратором. У 1891 р. французький фізик Бранлі установив, що металева стружка у скляній трубці змінює свій опір під дією електромагнітних хвиль. Цей прилад отримав назву когерера [14]. У 1894 р. англійський фізик Лодж використовував когерер, щоб ресструвати проходження хвиль, а наступного року російський інженер Олександр Попов придівав до когерера антену і пристосував його для



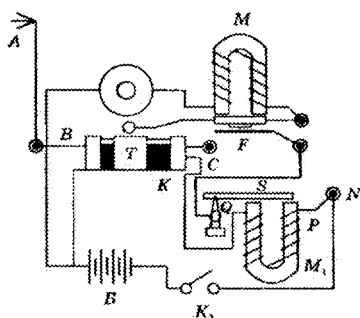


Рисунок 1.66 – Схема приймача О. Попова

прийняття сигналів, що випускаються вібратором Герца. У березні 1896 р. Попов продемонстрував свій апарат (рисунок 1.66) на засіданні Російської фізико-хімічної спілки і провів передачу сигналів на відстань 250 метрів. Одночасно з Поповим свою радіотелеграфну установку створив молодий італієць Гульєльмо Марконі; він першим зумів запатентувати цей винахід, а наступного року організував акціонерну спілку для його використання. У 1898 р. Марконі включив до свого приймача джигер – прилад для підсилення антенних струмів, це дозволило

збільшити дальність передачі до 85 миль і установити радіотелеграфний зв'язок через Ла-Манш. У 1900 р. Марконі замінив когерер магнітним детектором і здійснив радіозв'язок через Атлантичний океан: президент Рузвельт і король Едуард VIII обмінялися по радіо вітальними телеграмами. У жовтні 1907 р. фірма Марконі відкрила для широкого загалу першу радіотелеграфну станцію (на рисунку 1.67 показана радіоапаратура Марконі початку XX ст.) [2, 4, 14].

Одним з чудових досягнень цього часу було створення кінематографа. Поява кіно була прямо пов'язана з удосконаленням винайденої Дагером фотографії.

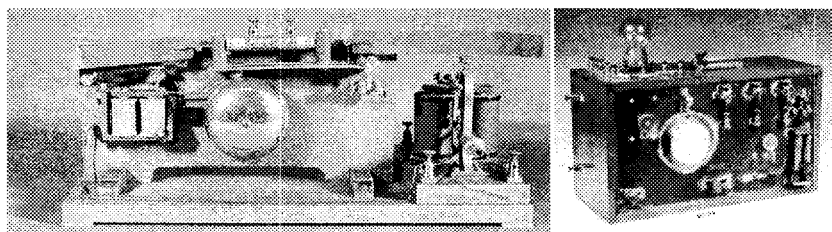


Рисунок 1.67 – Радіоапаратура Г. Марконі початку XX ст.

Англієць Меддокс у 1871 р. розробив сухобромжелатиновий процес, який дозволив скоротити витримку до 1/200 секунди. У 1877 р. поляк Лев Варнеке винайшов роликівий фотоапарат з бромсрібною паперовою стрічкою. У 1888 р. німецький фотограф Аншюц сконструював миттєвий шторний затвор. Після цього з'явилася можливість робити миттєві знімки, і вся проблема звелася до створення стрибкового механізму для одержання знімків через проміжки в частки секунди. Цей механізм і перший кіноапарат були створені братами Люм'єрами у 1895 р. (рисунок 1.68). У грудні цього ж року був відкритий перший кінотеатр на бульварі Капуцинів в

Парижі. У 1896 р. Люм'єри об'їхали всі європейські столиці, демонструючи свій перший кінофільм; ці гастролі мали великий успіх [3].

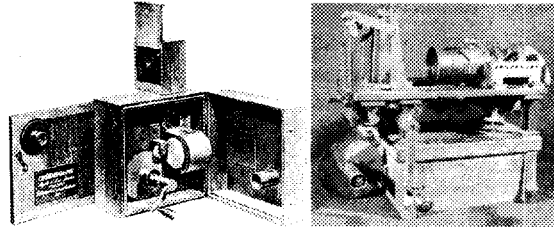


Рисунок 1.68 – Знімальний та проєкційний кіноапарати братів Люм'єр

Наприкінці XIX ст. вперше створюються речовини, що називаються сьогодні пластмасами. У 1873 р. Дж. Хайеттом (США) був запатентований целулоїд – перша з даного типу речовин, яка увійшла до широкого ужитку. Перед Першою

світовою війною були винайдені бакеліт і інші пластмаси, що носять загальну назву фенопластів. Виробництво штучного волокна почалося після того, як у 1884 р. французький інженер Г. Шардоне розробив метод отримання нітрошовку. Згодом навчилися випотівляти штучний шовк з віскози. У 1899 р. російський учений І. Л. Кондаков поклав початок виробництву синтетичного каучуку [2, 3, 4].

Останні десятиліття XIX ст. були часом технічних зрушень в будівельній справі. Будівництво висотних будинків, або, як їх стали називати, «хмарочосів», почалося в Чикаго у 80-х рр. XIX ст. Першою спорудою нового типу вважається 12-поверховий будинок страхової компанії Чикаго (рисунок 1.69), зведений у 1883 р. архітектором У. Джені, який застосував сталеві перекриття. Посилення стін сталевим каркасом, на який почали опирати балки міжповерхових перекриттів, дозволило збільшити висоту будівель вдвічі. Найвищою будівлею у 1913 р. став нью-йоркський 58-поверховий хмарочос заввишки в 228 метрів. Але найвищою спорудою загалом від кінця XIX ст. була Ейфелева вежа, своєрідний пам'ятник «століття сталі». Побудована французьким інженером Гюставом Ейфелем на Марсовому полі в Парижі у зв'язку з Всесвітньою виставкою 1889 р., ця вежа мала висоту у 300 метрів (зараз – 324 м) [2, 3, 19].

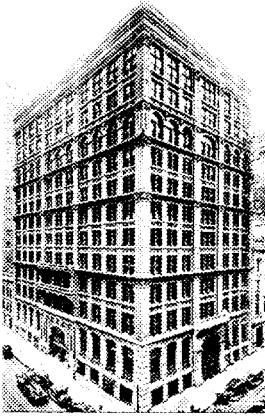


Рисунок 1.69 – Перший хмарочос у Чикаго

Разом з металевими конструкціями широке застосування в цей час отримали конструкції із залізобетону. Людиною, що відкрила залізобетон, вважається французький садівник Жозеф Мон'є. Ще у 1849 р. він виготовив діжки для плодкових дерев з каркасом з залізного дроту. Продовжуючи свої дослідження, Мон'є у 60-х роках запатентував декілька способів виготовлення труб, резервуарів і плит з бе-

тону із залізною арматурою (рисунок 1.70). Найбільш важливим був його патент на залізобетонні склепінчасті перекриття (1877 р.) [2, 3, 18].



Рисунок 1.70 – Схеми з патентів Ж. Монье

Кінець XIX ст. був часом бурхливого розвитку світової залізничної мережі. З 1875 по 1917 рік довжина залізниць зростає у 4 рази і досягла 1,2 млн кілометрів. Відомими залізницями того часу були магістраль Берлін – Багдад і Великий Сибірський шлях; довжина Сибірського шляху до 1916 р. становила 7,4 тисяч кілометрів. На нових залізницях укладали сталеві рейки, вони перетинали найбільші річки світу, на яких зводилися гігантські сталеві мости. Початок «ери сталевих мостів» поклали арковий міст інженера Дж. Ідеа через річку Міссісіпі (1874 р.) і висячий Бруклінський міст (рисунок 1.71) архітектора Реблінга в Нью-Йорку (1883 р.). Центральний прогін останнього мав в довжину близько півкілометра. На нових дорогах працювали потужні локомотиви системи компаунд з багаторазовим розширенням і пароперегрівниками (див. підрозділ 5.1). У 1890-х роках в США і



Рисунок 1.71 – Бруклінський міст

Німеччині з'явилися перші електровози і електрифіковані залізниці [2, 3].

Будівництво залізниць потребувало багаторазового збільшення виробництва сталі. У 1870 – 1900-х рр. виплавка сталі зростає у 17 разів. У 1878 р. англійським інженером С. Дж. Томасом був запропонований новий спосіб перероблення чавуну на сталь. Томасівський спосіб дозволив використовувати фосфорний залізняк Лотарінгії і забезпечив рудою металургійну промисловість Німеччини. У 1892 р. французький хімік А. Муасан створив дугову електричну піч (рисунок 1.72). У 1888 р. американський інженер Ч. Хол розробив електролітичний спосіб виробництва алюмінію, відкривши дорогу широкому використанню даного металу [7, 8].

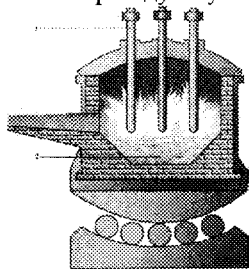


Рисунок 1.72 – Дугова електроніч А. Муасана

Нові технічні можливості привели до вдосконалення військової техніки. У 1887 р. американець Хайрем Максим створив перший кулемет (рисунок 1.73), який робив 400 пострілів у хвилину і за вогняною потужністю був рівноцінним роті солдат. З'явилися скорострільні тридюймові і важкі 12-дюймові гармати зі снарядами масою 200 – 300 кг [2, 13].

Особливо вражаючими були зміни у військовому кораблебудуванні. У Кримській війні (1853 – 1856 рр.) ще брали

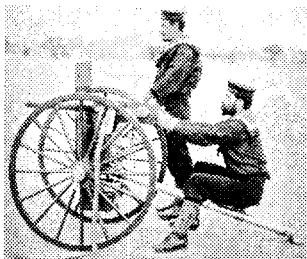


Рисунок 1.73 – Один з перших кулеметів «Максим»

участь дерев'яні вітрильні гіганти із сотнями гармат на трьох батареїних палубах; маса найважчих снарядів становила у той час 30 кг. У 1860 р. в Англії був спущений на воду перший металевий броненосець «Уоріор», і незабаром всі дерев'яні кораблі пішли на злам. Почалася гонка морських озброєнь. Англія і Франція змагалися в створенні все більш могутніх броненосців, пізніше до цієї гонки приєдналися Німеччина і США. У 1881 р. був побудований англійський броненосець «Інфлексібл» водотоннажністю в 12

тис. тонн. Він мав лише 4 гармати головного калібру, але це були колосальні зброя калібру 16 дюймів, розміщені у обертових баштах, з довжиною ствола 8 метрів, при масі снаряда 700 кг. Через деякий час всі провідні морські держави стали будувати броненосці цього типу (правда, в основному з 12-дюймовими гарматами). Новий етап гонки озброєнь був ви-

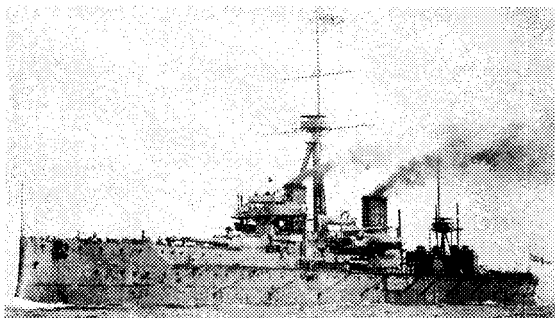


Рисунок 1.73 – Броненосець «Дредноут»

кликаний появою у 1906 р. англійського броненосця «Дредноут» (рисунок 1.74) [4, 14], який мав водотоннажність 18 тис. тонн і десять 12-дюймових гармат. Завдяки паровій турбіні він розвивав швидкість в 21 вузол. У 1913 р. з'явилися броненосці типу «Квін Елізабет» водотоннажністю

27 тис. тонн з десятима 15-дюймовими гарматами. Ця гонка озброєнь природним чином призвела до світової війни.

Причиною світової війни була невідповідність реальної потужності європейських держав розмірам їх володінь. Англія, скориставшись роллю лідера промислової революції, створила величезну колоніальну імперію і захопила велику частину ресурсів, необхідних іншим країнам. Проте до кінця XIX ст. лідером технічного і промислового розвитку стала Німеччина, яка прагнула використати свою військову і технічну перевагу для нового поділу світу. У 1914 р. почалася Перша світова війна. Німецьке командування сподівалося розгромити своїх супротивників за декілька місяців, проте в цих розрахунках не була врахована роль нової зброї – кулемета, що дав вирішальну перевагу стороні, яка оборонялася. Німецький наступ був зупинений і розпочалася довга «окопна війна». Тим часом англійський флот блокував німецькі порти і перервав постачання продоволь-

ства. У 1916 р. в Німеччині почався голод, який, кінець кінцем, призвів до розпаду тилу, до революції і до поразки Німеччини [2].

## 1.12 Контрольні запитання

1. Покажіть, як змінювалась роль науки в історії людства.
2. Назвіть основні типи суспільств в історії людства. Чим вони відрізняються одне від одного?
3. Вкажіть деякі фундаментальні відкриття, що вплинули на загальний хід історії.
4. Що собою являє «теорія культурних кіл»?
5. Яким було життя людей в епоху загінного полювання?
6. Що таке неолітична революція?
7. Назвіть причини появи приватної власності на землю.
8. Згадайте основні наукові та інженерні досягнення Шумеру.
9. Де була створена перша академія, хто її очолював?
10. Згадайте про найвидатніші інженерні досягнення давніх римлян.
11. В чому різниця між геліоцентричною та геоцентричною системою Світу?
12. Який алфавіт є найдавнішим, які інші алфавіти були створені на його основі?
13. Які важливі винаходи були зроблені у стародавньому Китаї?
14. Назвіть основні положення древньогрецької атомістики.
15. Які основні винаходи були зроблені Архімедом?
16. Якою була освіта в епоху середньовіччя?
17. Розкажіть про дослідження та винаходи Роджера Бекона.
18. Як отримували чавун і сталь в епоху Середньовіччя?
19. Що таке агротехнічна революція і коли вона відбувалась?
20. Ким було дано наукове обґрунтування геліоцентричної системи Світу?
21. Розкажіть про основні наукові досягнення Галілео Галілея.
22. За допомогою яких машин була здійснена промислова революція?
23. Які фундаментальні відкриття дозволили підвищити технічний рівень металургії у XIX столітті?
24. Розкажіть про формування нових напрямків фізики у XIX столітті.
25. Ким були закладені основи хімії та біології?
26. Розкажіть про створення фотографії і кінематографа.
27. Ким були закладені основи електротехніки?
28. Назвіть винахідників радіо і телеграфу, який внесок в їх удосконалення був зроблений кожним з цих винахідників?
29. Як розвивались техніка і технологія будівництва у XIX столітті?
30. Яким чином розвивалось озброєння наприкінці XIX на початку XX століття?
31. Розкажіть про винахід телефону та звукозаписувальних пристроїв.

## 2 РОЗВИТОК ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

### 2.1 Поршневі парові машини

Спроби використовувати енергію пари робилися ще в Давній Греції. Давні греки знали еоліпіл (рисунок 2.1) Герона Олександрійського, що обертався під дією сил реакції парових струменів, а також архітроніто – парову гармату Архімеда, описану Леонардо да Вінчі [5].

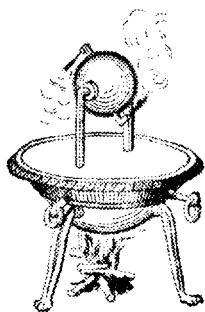


Рисунок 2.1 – Еоліпіл Герона

Саме поняття «пара» у древніх було відсутнє. Аристотель вважав, що вода при нагріванні перетворюється у повітря. Тільки в 1601 р. італієць Джамбатіста делла Порта (1538 – 1616 рр.) дослідив процес утворення пари з води [5].

У 1615 р. французький інженер Соломон де Ко описав паровий пристрій для підймання води, але і це ще не була парова машина [4].

У 1674 р. О. фон Герике (1602 – 1686 рр.) провів

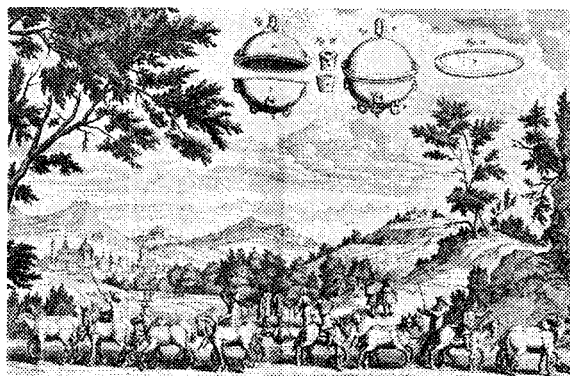


Рисунок 2.2 – Експеримент О. фон Герике з «Магдебургськими півкулями»

досліди, що демонстрували силу атмосферного тиску на «Магдебургських півкулях» – сталевих порожніх півсферах, з яких відкачали повітря (рисунок 2.2). Досліди нашо́вхнули на думку про використання даної сили. Основною задачею, яку намагались розв'язати у цьому випадку була задача одержання розрідження у робочому

циліндрі шляхом конденсації пари. Машини, в яких реалізовувався вказаний принцип, почали називати пареоатмосферними [4, 5].

Однією з перших пареоатмосферних машин була машина Дені Папена, побудована в 1690 р. Папен також описав пареоатмосферний цикл і винайшов паровий котел із запобіжним клапаном. Схема його машини показана на рисунку 2.3. Вона включала циліндр 1, в поршневу порожнину якого заливалася вода. Остання підігрівалася до одержання пари, що піднімала поршень 2 у верхнє положення, в якому він фіксувався спеціальним штифтом 3. Далі корпус циліндра обливали холодною водою і тим самим знижували температуру в його поршневій порожнині. Пара конденсувалася, тиск спа-

дав, звільнений від фіксації поршень під дією зусилля, створюваного атмосферним тиском з боку штокової порожнини, опускався, піднімаючи через систему блоків корисний вантаж [4]. Особливістю машини Папена було те, що в одному агрегаті об'єднувались пристрої для вироблення і конденсації пари, а також власне двигун. Нагрівання циліндра було незручним.

Названі недоліки частково усунув Томас Севері. В його паровому насосі (рисунком 2.4), створеному в 1698 р. котел 2 був відокремлений від

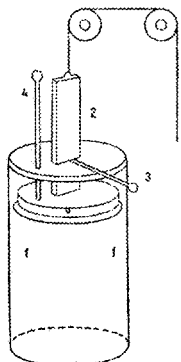


Рисунок 2.3 – Пароатмосферна машина Д. Папена

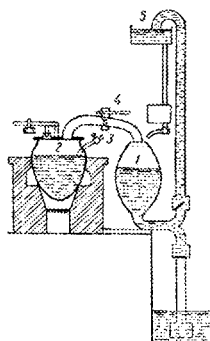


Рисунок 2.4 – Пароатмосферний насос Т. Севері

двигуна 1, але робота пари і її конденсація, як і раніше, відбувались в одній ємності. В цю ємність 1 з котла 2 через кран 4 періодично запускалась пара. Далі ємність обливалась холодною водою з верхнього резервуара 5. Над вільною поверхнею води у ємності починалась конденсація пари і виникало розрідження. В результаті під впливом атмосферного тиску вода з шахти по опущеній вниз трубі піднімалась через випускний клапан у ємність 1, з якої після запускання чергової порції пари з

котла, під дією створюваного нею тиску, піднімалась через випускний клапан по ще одній трубі у резервуар 5. Далі цикл повторювався. Загальна висота підйому води за допомогою насоса Севері була трохи більшою 10 м (висота водного стовпа при нормальному атмосферному тиску), таким чином для відкачування води з більш-менш глибоких шахт потрібно було

установлювати декілька таких машин одну над одною. Котел насоса не відрізнявся достатньою міцністю і інколи траплялись вибухи, крім цього, машина була дуже неекономічною (споживання вугілля до 80 кг на 1 к. с. за год), однак досить широко використовувалась в XVIII ст. [4].

Томас Ньюкомен в своїй машині (1711 р.), показаній на рисунку 2.5, додатково використав балансир 8, один кінець якого був зв'язаний з поршнем 3 циліндра 2, а другий – зі штангами водовідливного насоса 12. Пара з котла 1 та охолоджувальна вода по черзі подавались у поршневу порожнину циліндра. Штокова порожнина

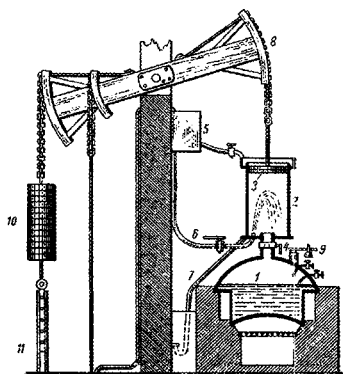


Рисунок 2.5 – Пароатмосферна машина Т. Ньюкомена

останнього сподучалась з півсферою [4, 5]. Машина Ньюкомена виявилася на рідкість вдалою і використовувалася по всій Європі понад 50 років. У 1740 р. машина з циліндром довжиною 2,74 м і діаметром 0,76 м за один день виконувала роботу, що бригади з 25 чоловік і 10 коней, працюючи по-змінно, раніше виконували за тиждень. У 1772 р. Джон Смітон розрахував оптимальні співвідношення розмірів машини Ньюкомена. При потужності 8 к. с. витрати вугілля становили 25 кг на 1 к. с. за год. У 1775 р. велика машина, побудована Смітоном, за два тижні осушила док у Кронштадті, на що раніше при використанні вітряків витрачався цілий рік. У цілому машини Ньюкомена відіграли величезну роль у збереженні вугільної промисловості: з їх допомогою вдалося відновити видобування вугілля в багатьох затоплених шахтах. Використання машини дозволяло піднімати воду з глибини до 80 м, однак, незважаючи на помітне поширення у Великобританії, Франції, Німеччині й Америці, вона не могла задовольнити потреби промисловості, тому що була громіздкою, неекономічною, мала нерівномірний хід і використовувалася тільки для водоцідіння. ККД машини складав близько 0,3% [20].

Машина І. І. Ползунова, розроблена в 1765 р. (рисунок 2.6), була першою спробою створення універсального теплового двигуна. Машина містила окремий паровий котел 1, з якого пара надходила через автоматичний паро-водорозподільник 5 та трубки 4 у поршневі порожнини циліндрів 2 по черзі (штокові порожнини були з'єднані з атмосферою). Циліндри мали довжину 3 м і діаметр 0,3 м; їх поршні 3 з'єднувались ланцюгом, перекинутим через шків 6. Рух шківа передавався стержням, що за допомогою «долонь» пересували серпоподібний маятник, який через зубчасті колеса і рейку забезпечував перемикання золотника паро-водорозподільника, таким чином в циліндри подавалась то пара, то холодна вода з окремого резервуара. Наприклад, при подачі пари у лівий циліндр його поршень піднімався вгору, одночасно в правий циліндр упорскувалась холодна вода і його поршень опускався. В результаті шків 6 повертався вліво. Від шківа 6 через ланцюгову передачу і ще один шків (на схемі не показані) приводились в дію повітродувні міхи металургійної печі. Потужність машини складала 32 к. с. при ККД близько 1%. У 1766 р., уже після смерті Ползунова, машина була пущена і лише за 42 дні експлуатації принесла прибутку понад 12 000 крб. Але згодом котел машини почав протікати, вона була зупинена і через кілька років зламана і забута. Основною причиною припинення використання машини Ползунова була наявність на тодішніх металургійних

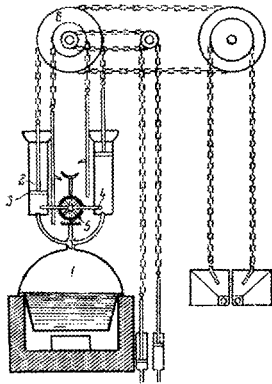


Рисунок 2.6 – Схема пароатмосферної машини І. І. Ползунова

печей. Основною причиною припинення використання машини Ползунова була наявність на тодішніх металургійних





ладнана конденсатором К, крім цього, Уатт реалізував відсікання і розширення пари. Загальний ККД двигуна становив 8% при тиску пари 0,25 атм. У 1785 р. одна з перших машин Уатта була встановлена в Лондоні на пивоварному заводі для розмелювання солоду. Машина виконувала роботу 24 коней. Діаметр її циліндра становив 0,63 м, робочий хід поршня – 1,83 м, діаметр маховика – 4,27 м [5, 23].

У середині 80-х рр. XVIII ст. будова парової машини була остаточно відпрацьована і вона почала широко впроваджуватись у промисловість. Створення універсального теплового двигуна послужило потужним поштовхом розвитку машинобудування, металургії (рисунок 2.8) й інших галузей промисловості та транспорту. Машина Уатта стала винаходом століття, що поклав початок промислової революції [24].

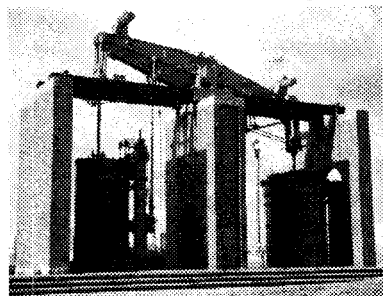


Рисунок 2.8 – Парова машина, встановлена на металургійному заводі

робоче тіло стали використовувати перегріту пару. Удосконалювалися котли, збільшувався тиск, підвищувалася частота обертання, використовувалося багаторазове розширення пари – тандем- і компаунд-машини (див. рисунок 5.11). Золотникові паророзподільники замінили клапанними. У 1860-х рр. одинична потужність машин досягла 1000 к. с. Робочий цикл парових машин був досліджений У. Ренкіним [4, 5].

У XIX – XX ст. парові машини використовувалися в приводі водонідіймальних і повітродуттєвих установок, прокатних станів великої потужності, парових молотів і локомотивів (рисунок 2.9) [5, 22].

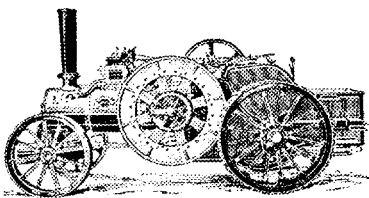


Рисунок 2.9 – Сільськогосподарський локомотив

У перших машинах Уатта використовувався тиск, близький до атмосферного, однак уже на початку XIX ст. почали проводити досліди зі створення поршневих машин з підвищеним тиском, що дозволяло збільшувати їх питому потужність. Американець О. Еванс першим запропонував використовувати в машинах тиск до 10 атм. Перші спроби реалізації паросилових установок на тиск до 50 атм були здійснені у 1822 р. у США Д. Перкінсоном. У 1850-х рр. після досліджень Г. А. Гірна у Франції, з метою підвищення ККД машин як їх

На початку XX ст., незважаючи на появу парових турбін, удосконалювання поршневих парових машин продовжувалося. У 1908 р. була створена прямоточна машина Штумпфа (рисунок 2.10), що широко використовувалась у 1920-х рр. У ній пара почергово підводилася через кришки у порожнини циліндра, а випускалася через бокові вікна в гільзі. В ре-

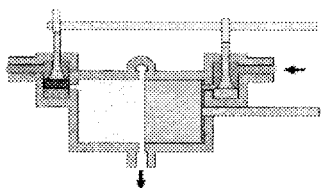


Рисунок 2.10 – Схема роботи прямої парової машини

зультаті на початку кожного циклу не втрачалась енергія на повторне нагрівання поверхонь впускних отворів після відведення через них більш холодної пари, що відпрацювала в циліндрі, як це було раніше. Прямоточні машини одноразового розширення показують приблизно таку саму ефективність, як компаунд-машини зі звичайним паророзподіленням [5, 14].

Протягом майже усього XIX ст. поршневі парові установки залишалися основним типом двигуна промисловості і транспорту, зберігаючи принципову будову машини Уатта. Однак система передачі енергії від двигуна до промислового технологічного устаткування була дуже складною, громіздкою і неекономічною. Звичайно потужна парова машина, яка розташовувалася на першому поверсі заводської будівлі, обертала шків пасової передачі, що проходила через всі поверхи, приводячи в обертання систему валів. Від них через трансмісійні валі і пасові передачі, що тягнулись під стелями уздовж цехів, енергія подавалася до верстатів. Таким чином, привод складався з нагромадження валів і пасів, які заповнювали цехові прольоти, створювали шум і небезпеку для робітників [5, 23].

У зв'язку із відміченими недоліками, а також внаслідок низького ККД (при тиску до 60 атм – 10...11%) на початку XX ст. поршневі парові машини припинили використовувати в промисловості. Їх замінили більш економічні, компактні та безпечні електродвигуни. Спочатку з'явився груповий електропривод, що включав потужний електродвигун і більш просту, ніж у паросилових установках, трансмісію. Він забезпечував одночасну роботу декількох одиниць технологічних машин. Однак в експлуатації груповий привод виявився малонадійним, у зв'язку із чим, на початку XX ст. кожен окрему машину почали оснащувати індивідуальним електроприводом. Це дозволило значно зменшити число елементів трансмісії і тим самим спростити конструкцію приводів [25].

Зростання числа електродвигунів і пов'язані з ним значні потреби у дешевій електроенергії обумовили необхідність будівництва електростанцій. На перших теплових електростанціях генератори приводилися в обертання поршневими паровими машинами. З часом їх замінили паровими турбінами. В сільському господарстві і на транспорті як двигуни локомотивів, пароплавів і паровозів [26] парові машини працювали до середини XX ст. Після всіх удосконалень ККД їх досяг 20%.

## 2.2 Парові турбіни

Ідея використання кінетичної енергії пари була вперше реалізована в кулі Герона (120 р. до н. е.), показаній на рисунку 2.1 [5]. Першою найпро-

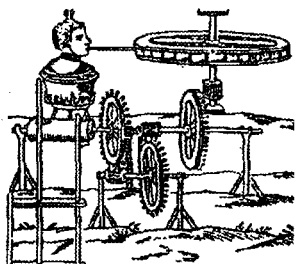


Рисунок 2.11 – Колесо Д. Бранка

стішою активною турбіною було «колесо» італійського вченого Бранка (XVII ст.), зображене на рисунку 2.11. Однак для широкої реалізації турбін в той час не було ні потреби, ні необхідного рівня розвитку техніки [5, 24].

90-і рр. XIX століття ознаменувалися широким будівництвом електростанцій. Для привода електрогенераторів був потрібен швидкохідний й економічний двигун. Спочатку як такі використовувалися поршневі парові машини з частотою обертання вала до 200..400 об/хв. Однак вони не відповідали зростаючим вимогам електроенергетики: були малопотужними, неекономічними і недостатньо швидкохідними [3]. У зв'язку із цим згадали про парову турбіну, яка мала ряд важливих переваг порівняно з поршневими машинами (робоче безупинне обертання практично з будь-якою необхідною частотою, потужність до сотень тисяч кВт, більший ККД, менші експлуатаційні витрати). Відмічене обумовило те, що парова турбіна стала основним двигуном електростанцій і суден [1, 3].

Активна робота над створенням парової турбіни на основі теорій термо- і газодинаміки почалася наприкінці XIX ст. Найбільш вдалі рішення були дані шведом К. Лавалем і англійцем Ч. Парсонсом.

Перший патент на реактивну турбіну найпростішого типу Лаваль одержав у 1883 р. У 1889 р. він запропонував одноступінчасту активну турбіну, що складалася з робочого колеса з великим числом увігнутих лопатей, на які з чотирьох сопел подавалася пара (рисунок 2.12). Сопло, що розширюється, яке отримало назву «сопла Лавалія», було винайдено раніше ван Ратеном. Пара з великою швидкістю проходила по лопатях робочого колеса і створювала тиск, що викликав його обертання. Вже в 1895 р. Лаваль демонстрував турбіну потужністю 5 к. с. при 30000 об/хв, а дещо пізніше – турбіну потужністю 350 к. с. [5]. Спочатку для зменшення зношування підшипників вала своєї турбіни Лаваль намагався якомога ретельніше відбалансувати її, але потім додумався зробити вал тонким і пружним. Таким чином, під час обертання він сам собою врівноважувався. Турбіна Лавалія була достатньо простою конструктивно, надійною і швидкохідною й в подальшому одержала визнання і поширення, головним чином, як привод сепараторів, пил, відцентрових насосів та інших швидкохідних машин. Але для приведен-

ня

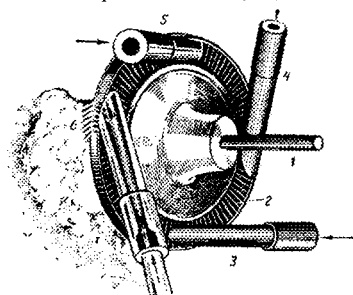


Рисунок 2.12 – Схема активної турбіни Лавалія: 1 – вал; 2 – лопати робочого колеса; 3 – 6 – сопла

демонстрував турбіну потужністю 5 к. с. при 30000 об/хв, а дещо пізніше – турбіну потужністю 350 к. с. [5]. Спочатку для зменшення зношування підшипників вала своєї турбіни Лаваль намагався якомога ретельніше відбалансувати її, але потім додумався зробити вал тонким і пружним. Таким чином, під час обертання він сам собою врівноважувався. Турбіна Лавалія була достатньо простою конструктивно, надійною і швидкохідною й в подальшому одержала визнання і поширення, головним чином, як привод сепараторів, пил, відцентрових насосів та інших швидкохідних машин. Але для приведен-

ня в обертання електрогенераторів вона виявилась неефективною і подальший розвиток енергетичних турбін пішов за схемою, запропонованою Парсонсом [4, 5].

Турбіна Парсонса (1884 р.), показана на рисунку 2.13, була осьювою

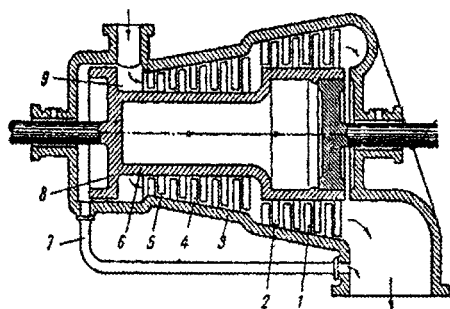


Рисунок 2.13 – Схема реактивної турбіни Парсонса: 1 і 4 – напрямні лопаті; 2 і 5 – робочі лопаті; 3 – корпус; 6 – ротор; 7 – паропровід; 8 – розвантажувальний поршень; 9 – підвідний канал

реактивною і багатоступінчатою. В ній використовувалася не тільки кінетична енергія струменів пари, але і потенціальна енергія сил реакції, що виникають при розширенні пари в корпусі апарата. На валу турбіни установлювалися кілька обертових коліс з лопатями, між якими розміщалися ряди таких самих нерухомих лопатей, спрямованих у

протилежну сторону. Форма і розміри лопатей були такими, що забезпечували зменшення перерізу міжлопатевих каналів в напрямку витікання пари, таким чином, кожна пара рухомої і нерухомої лопатей являла собою сопло. Крім цього, в результаті поступового розширення корпусу, а отже й збільшення площі поперечного перерізу потоку пари її швидкість зменшувалась, а тиск зростав (реалізувалось постійне нагнітання тиску всередині турбіни). У 1913 р. одинична потужність апаратів Парсонса досягла 2500 кВт. Згодом починають впроваджуватись комбіновані активно-реактивні турбіни [8, 12].

Характеристики турбін швидко поліпшувалися: якщо у 1899 р. апарат потужністю 1000 к. с. споживав 12 кг пари на 1 кВт·год, то у 1910 р. турбіна потужністю 12000 кВт споживала 5 кг пари на 1 кВт·год [5].

З 1900 р. парові турбіни стали використовувати на військових кораблях, а з 1906 р. – на пасажирських суднах.

У 1910 р. одинична потужність паротурбінних агрегатів становила близько 25 МВт. У 1950 р. вона зросла до 100...150 МВт. З метою підвищення ККД і зниження питомих витрат пари в сучасних турбінах збільшені тиск (до 13...24 МПа) і температура (до 560 °С) робочого тіла. При цьому ККД досяг 40% проти 5...6% у перших турбін і 9...11% – на початку 20-х рр. Подальше підвищення вказаних параметрів пари утруднено, оскільки потребує використання жаростійких матеріалів і глибокої демінералізації води.

Одинична потужність одновальних турбін (всі колеса закріплені на одному валу) досягла 500...800 МВт. Вони виконуються багатоступінчастими комбінованими активними або активно-реактивними (рисунок 2.14). У двовальному виконанні (в одному корпусі розміщені два паралельних вали з робочими колесами) потужність турбін підвищилася до 1200 МВт і вище.

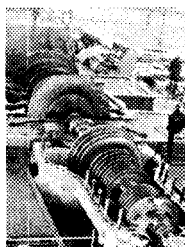


Рисунок 2.14 –  
Сучасна парогазова турбіна

У 1978 р. в СРСР була виготовлена парова одновальна турбіна типу К-1200-240, розрахована на потужність 1200 МВт і частоту 3000 об/хв при тиску і температурі пари відповідно 23,5 МПа і 540 °С. Це найбільша у світі одновальна машина. Найпотужніша парова турбіна (1400 МВт) побудована швейцарською фірмою «Броун Бовері» [5]. В перспективі розвитку турбін підвищення параметрів пари за рахунок використання нових жароміцних матеріалів. На даний момент приблизно 86% електроенергії світу, виробляється з використанням парових турбін [27].

### 2.3 Парогенератори

Розвиток паросилових установок супроводжувався удосконаленням не тільки власне машин, але і парових котлів, які перетворюють енергію згоряння палива в енергію пари.

У період розвитку пароатмосферних машин котли повинні були виробляти пару під тиском трохи більшим однієї атмосфери. Одним з перших агрегатів даного призначення був котел Папена, який винахідник вперше обладнав запобіжним клапаном. Котел Уатта був не набагато досконалішим і являв собою призматичний бак. Робочий тиск пари складав 0,25 атм. Топкові гази омивали дно і бокові поверхні котла, що підвищувало його продуктивність. Вимоги нарощування ККД і потужності парових машин обумовили необхідність збільшення тиску і паропроductивності котлів.

До 1870 р. в основному використовувався тиск пари в 3 атм, але Евансом і С. Литвиновим випробовувалися котли на тиск до 10 атм. Для забезпечення міцності стінок при збільшених робочих тисках котли виготовля-

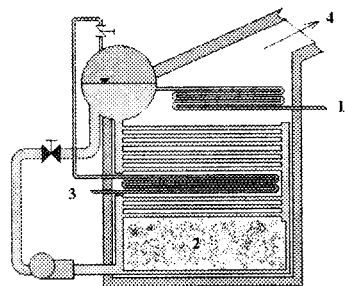


Рисунок 2.15 – Будова барабанного водотрубного котла: 1 – економайзер; 2 – топка; 3 – пароперегрівник; 4 – димова труба

ли циліндричної форми і зменшували їх діаметр. У результаті до 1870 р. котел перетворився із посудини в систему труб, по яких пропускатись вода, що випаровувалась, – у водотрубних котлах або проходили топкові гази – у жаротрубних [4, 5].

Водотрубні котли за принципом дії розділяються на: барабанні (із природною і примусовою циркуляцією) та прямооточні (без барабанів). У котлі на рисунку 2.15 робоче тіло проходить по замкненому контуру від 5 до 30 разів. У барабан котла вода подається через економайзер 1, в якому вона попередньо підігрівається продуктами згоряння палива, що підніма-

ються з точки 2. Далі вода за допомогою насоса подається по секціях труб, що також обмиваються топковими газами, в результаті чого вода перетворюється на пару. Остання накопичується у барабані, з якого надходить у пароперегрівник 3. У пароперегрівнику робоче тіло доводиться до остаточних кондицій, після чого подається до споживачів [5, 9].

Прагнення одержати пару високого тиску і температури привело до винаходу прямооточних котлів (рисунок 2.16), у яких робоче тіло здійснює

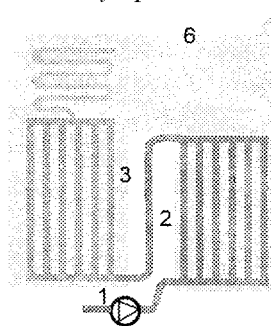


Рисунок 2.16 – Схема прямооточного парового котла: 1 – живильний насос; 2 – економайзер; 3 – випарні труби; 6 – пароперегрівник

одноразове переміщення по водопаровому тракту, змінюючи свій агрегатний стан з рідкого (вода) на газоподібний (перегріта пара). Прямоточний котел був винайдений на початку ХХ ст. англійцем Бенсоном. Його агрегат був розрахований на робочий тиск в 70 атм і температуру 425 °С. Однак на практиці виявилось, що котли Бенсона працюють ненадійно і часто виходять з ладу з тієї причини, що реалізація описаного режиму перетворення робочого тіла потребує дотримання точного балансу між кількістю поданих води, палива і повітря, а також кількістю пари, що відводиться. Інакше кажучи – потрібно досконале регулювання котла, здійснити яке в ту пору було практично неможливо [5, 12].

Спочатку паливом для котлів служило кускове подрібнене вугілля. У 1867 р. А. І. Шпаковський розробив метод спалювання розпиленого рідкого палива. Для його реалізації Шухов, Данилін, Ленц, Берсеньов, Іванов і інші створили форсунок (рисунок 2.17). Пізніше Г. Ф. Депп винайшов спосіб пиловугільного живлення котлів.

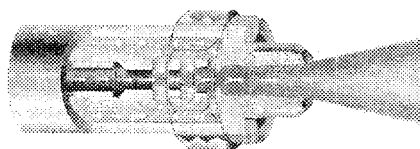


Рисунок 2.17 – Схема форсунки

В другій половині ХХ ст. як паливо стали застосовувати природний газ [5].

Із середини ХХ ст. на потужних теплових електростанціях впроваджується блокована схема

об'єднання котлів і турбін. При цьому котел зв'язується коротким паропроводом з турбіною, рівною йому за потужністю (рисунок 2.18) [17].

Необхідність удосконалення котлів обумовлена безупинним зростанням потужності паросилових установок. Якщо у 1900 - 1910 рр. одинична потужність паротурбінного агрегата становила 25 МВт при ККД 4...5%, то у 1950 р. – 150 МВт при ККД 25...30%, а у 1970-х рр. – 1200 МВт при ККД до 38%. Нарощування вказаних параметрів стало можливим в результаті підвищення робочих параметрів пари. У 50-х рр. використовувалася пара тиском 90 атм при температурі 535 °С, у 80 – 90-х рр. тиск досяг 130 атм при температурі до 540 °С. Для подальшого збільшення тиску і температу-

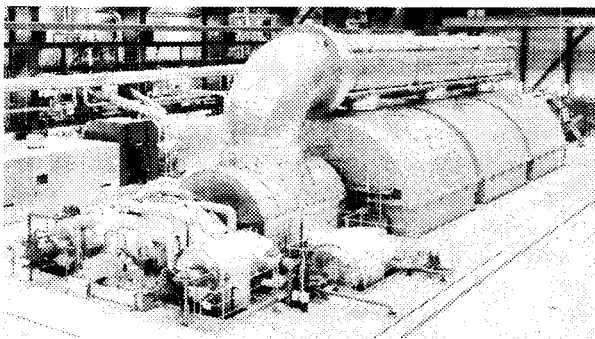


Рисунок 2.18 – Енергоблок сучасної теплоелектро-станції в складі парових котлів, турбін і генераторів

ри потрібне корінне удосконалення всіх елементів котлів і використання більш міцних і жаростійких матеріалів [5, 27].

#### 2.4 Двигуни внутрішнього згоряння

У парових двигунах (поршневій машині і турбіні) під час їх роботи реалізується подвійне перетворення енергії: спочатку енергія згоряння палива переходить у теплову енергію пари, далі остання перетворюється на механічну роботу. В результаті знижується загальний ККД двигуна. Крім цього поршневі паросилові установки, особливо на початковому етапі, були громіздкими, важкими, незручними в експлуатації і тому непридатними для використання у випадках необхідності забезпечення компактних розмірів машини або одержання великої потужності на одиницю маси двигуна [3, 26].

Вже досить давно у вчених та винахідників виникла ідея реалізації теплового двигуна, в якому спалювання палива здійснювалось всередині його робочого об'єму, щоб, таким чином, енергія згоряння одразу перетворювалась б на механічну роботу. В перспективі ККД такого двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) мав бути більшим, ніж у поршневих парових машин. Правда досить довго для ДВЗ не могли знайти придатного палива.

У 1673 р. відомий вчений Х. Гюйгенс запропонував схему порохового ДВЗ [5]. Передбачалось, що порох буде порціями подаватись у нижню поршневу порожнину вертикально встановленого циліндра двигуна (штокова порожнина мала з'єднуватись з атмосферою) і далі після запалювання порохові гази підніматимуть поршень вгору. Виходити назовні гази повинні були через бокові вікна у гільзі циліндра, після чого поршень під впливом сили власного тяжіння та атмосферного тиску мав опускатись вниз у вихідне положення.

У 1688 р. колишній асистент Гюйгенса Д. Папен виготовив реальний зразок порохового двигуна, додатково обладнавши його клапанами для випускання вихлопних газів. Але у зв'язку з тим, що температура горіння пороху є більшою 3000 °С, двигун виявився недовговічним [12].

У 1799 р. француз Пилип Лебон відкрив спосіб одержання світільного газу шляхом сухої перегонки деревини або вугілля й у 1801 р. розробив двигун, що працював на цьому газі [4, 5]. Принцип дії ДВЗ Лебона ґрунту-

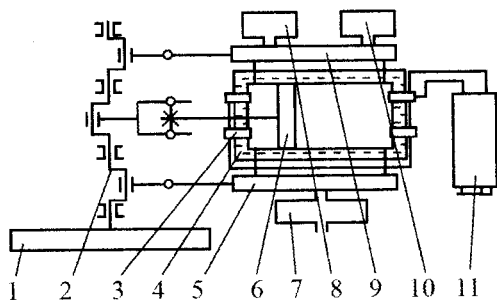


вався на відомій властивості світільного газу, а саме: вибуху газоповітряної суміші при її запалюванні з виділенням великої кількості теплоти та одночасним розширенням продуктів згоряння. Конструкція двигуна Лебона містила два компресори і камеру змішування. Один компресор повинний був накачувати в камеру стиснене повітря, а інший – стиснений світільний газ з газогенератора. Газоповітряна суміш мала надходити далі у робочий циліндр, де запалюватись. Двигун передбачався подвійної дії, тобто тиск продуктів згоряння на поршень повинен був створюватись з обох його сторін по чергово. Лебон не встиг втілити в життя свій винахід, оскільки у 1804 р. загинув. Тільки в 1820 р. у Кембриджі У. Сесіл продемонстрував діючу модель газового ДВЗ [5, 15].

У наступні роки кілька винахідників з різних країн намагалися створити роботоздатний двигун на світільному газі. Однак усі ці спроби не привели до появи на ринку двигунів, що могли б успішно конкурувати з паровою машиною [3].

Честь створення комерційно успішного ДВЗ належить бельгійському інженеру Жану Етьєну Ленуару. Працюючи на гальванічному заводі, Ленуар прийшов до думки, що паливо-повітряну суміш у газовому двигуні можна запалити за допомогою електричної іскри, і вирішив побудувати двигун на основі цієї ідеї. Він винайшов двотактний горизонтальний ДВЗ подвійної дії (рисунк 2.19) [5, 18].

Двигун конструктивно нагадував парову машину, але працював на суміші світільного газу і повітря, що стискалися окремо насосами і по чергово подавались через розподільник з механічним керуванням і ковзним золотником у порожнини робочого циліндра. Для запалювання суміші служили чотири електричні свічки, закручені по дві в кожну з кришок циліндра. Відпрацьовані гази виводились через розподільник, аналогічний тому, що використовувався для пальної суміші.



Рисунк 2.19 – Схема газового двигуна Ленуара: 1 – маховик; 2 – вал; 3 – свічки запалювання; 4 – охолоджувальна сорочка; 5, 9 – розподільники відведення і подачі робочого тіла; 6 – циліндр; 7, 8, 10 – колектори з вихлопними газами, світільним газом і з повітрям; 11 – індукційна котушка

Ленуар не одразу домігся успіху. Після того як вдалось виготовити всі деталі і скласти машину, вона пропрацювала зовсім небагато і зупинилася через те, що в результаті нагрівання поршень розширився і заклинився у циліндрі. Ленуар удосконалив свій двигун, продумавши систему водяного охолодження. Однак й друга

спроба запуску також закінчилася невдачею через нерівномірний хід поршня. Лемуар доповнив конструкцію системою змащення. Тільки тоді двигун почав працювати.

ДВЗ Лемуара був недосконалим: ненадійне запалювання, низький тиск (5 атм) у циліндрах, відсутність попереднього стиснення пальної суміші, потреба у великій кількості води для охолодження. ККД становив 4% [4].

Незважаючи на недоліки, газовий двигун був менш громіздким і важким порівняно з паровими машинами, простішим в керуванні, при запуску не потребував тривалої підготовки (розігрівання котла), а у стаціонарному режимі працював цілком автоматично, тоді як для роботи парової машини була потрібно постійна участь кочегара. З цих причин газовий мотор відразу залучив до себе увагу споживачів. Всього до 1864 р. було випущено понад 300 одиниць двигунів Лемуара, що використовувались як стаціонарні, суднові, локомотивні та автомобільні [16].

Але після появи у продажу чотиритактного ДВЗ конструкції німецького винахідника Ніколауса Отто (принцип дії якого широко використовується і сьогодні), двигун Лемуара швидко втрачає свої позиції на ринку, і врешті-решт витісняється двигуном Отто [7, 8].

ДВЗ Лемуара значно поступався конкуренту за термічним ККД та питомою потужністю (двигун з 18-літровим циліндром розвивав потужність усього в 2 к. с.). Адекватний йому за потужністю двигун Отто (у циклі якого вже був передбачений спеціальний такт стиснення) важив у кілька разів менше, і був набагато компактнішим. Навіть очевидні переваги двигуна Лемуара – відносно малий шум (наслідок вихлопу при практично атмосферному тиску) і низький рівень вібрацій (наслідок більш рівномірного розподілу робочих ходів по циклу) не допомогли йому витримати конкуренцію [7, 8].

У 1864 р. Отто одержав патент на свою модель газового двигуна із запаленням відкритим полум'ям через трубку, з ККД 15%. Двигуни Отто практично одразу стали користуватися великим попитом. В наступні роки їх було випущено біля 5 000 штук. Отто завзято працював над удосконаленням конструкції свого ДВЗ, але найголовніше було зроблено в 1876 р., коли Отто взяв патент на новий двигун з чотиритактним циклом (рисунок 2.20). Цей цикл й донині лежить в основі роботи більшості газових і бензинових ДВЗ [4, 7].

Чотиритактний цикл став найвищим технічним досягненням Отто. Але незабаром виявилось, що за кілька років до його винаходу точно такий же принцип роботи двигуна був описаний французьким інженером Бо де Рошем. Група французьких промисловців заперечила в суді патент Отто. Суд визнав їх доводи переконливими. Права Отто, що впливали з його патенту, були значно скорочені, у тому числі було анульовано його монопольне право на чотиритактний цикл [14]. Не зважаючи на те, що конкуренти налагодили випуск чотиритактних двигунів, відпрацьована багаторічним виробництвом модель Отто все одно була кращою, і попит на неї не спадав.

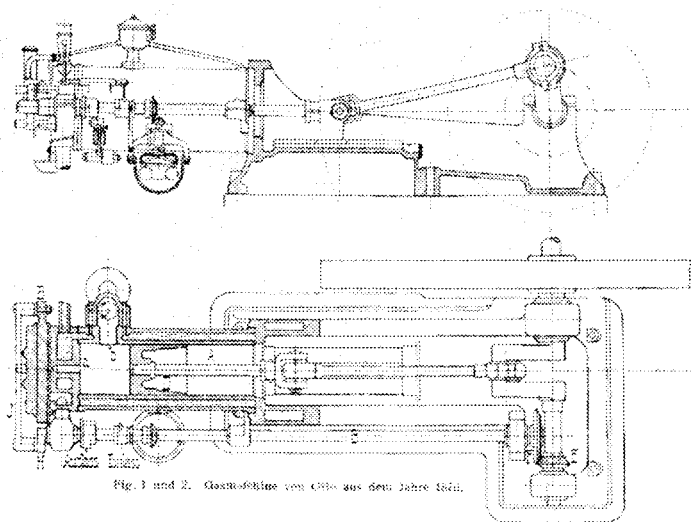


Fig. 1 und 2. Gasmaschinen von Otto aus dem Jahre 1860.

## Рисунок 2.20 – Конструкція ДВЗ Н. Отто з чотиритактним циклом

До 1897 р. було випущено близько 42 000 таких двигунів різної потужності. Однак та обставина, що як паливо використовувався світильний газ, сильно звужувала область застосування перших ДВЗ.

Кількість світильногазових заводів була незначною, тому пошуки нового пального для ДВЗ практично не прищипались. Зокрема, деякі винахідники намагалися застосувати як паливо пари продуктів перегонки нафти. Ще в 1872 р. американець Брайтон випробовував ДВЗ, що працював на гасі. Однак гас погано випаровувався, і Брайтон перейшов до більш легкого бензину. Але для того, щоб двигун на рідкому паливі міг успішно конкурувати з газовим, необхідно було створити спеціальний пристрій для випарювання бензину й одержання пальної суміші його з повітрям. У тому ж 1872 р. Брайтон придумав один з перших випарних карбюраторів, але він працював незадовільно [5, 12].

Роботоздатний бензиновий двигун з'явився тільки десятьма роками пізніше. Винахідником його був німецький інженер Готліб Даймлер. Багато років він працював у фірмі Отто і був членом її правління. На початку 80-х рр. він запропонував своєму шефу проект компактного бензинового двигуна, який можна було б використовувати на транспорті. Отто поставився до цієї пропозиції досить холодно. Тоді Даймлер разом зі своїм другом Вільгельмом Майбахом прийняв сміливе рішення – у 1882 р. вони пішли з фірми Отто, придбали невелику майстерню біля Штутгарта і почали працювати над своїм проектом [4, 5].

Проблема, що стояла перед Даймлером і Майбахом, була не з легких: вони вирішили створити двигун, що не потребував би газогенератора, був

би дуже легким і компактним, але при цьому достатньо потужним, щоб рухати екіпаж. Збільшення потужності Даймлер розраховував одержати за рахунок збільшення частоти обертання вала, але для цього необхідно було забезпечити необхідну частоту запалювання суміші. У 1883 р. Даймлером з Майбахом був створений перший бензиновий ДВЗ для промислової стаціонарної установки із запалюванням від розпеченої порожньої трубки, відкритої у циліндр. ДВЗ був горизонтальним, чотиритактним з повітряним охолодженням. Усмоктувальний клапан відкривався при створенні розрідження в циліндрі, випускний клапан відкривався і закривався механічно. Був використаний карбюратор випарного типу. У 1885 р. Даймлер побудував двигун з вертикальним циліндром. Він мав потужність 0,5 к. с. при 600 об/хв, робочий об'єм циліндра 0,262 л і масу 40 кг. Двигун міг працювати на газу і бензині, мав закритий картер з мастилом. Запуск здійснювався заводною рукояттю. У 1887 р. Даймлер використав водяне охолодження двигуна [4, 7, 9].

Одночасно з Даймлером ще один німецький інженер К. Бенц розробив чотиритактний двигун для автомобіля. Даний ДВЗ мав горизонтальний циліндр і вертикальний колінчастий вал. Маховик розташовувався в горизонтальній площині. Для підготовки паливної суміші застосовувався карбюратор випарного типу, запалювання забезпечували електричні свічки з живленням від котушки Румкорфа і батареї. Перший двигун Бенца мав потужність 0,88 к. с. при 315 об/хв [5, 8].

Розробки Даймлера та Бенца дозволили створити перші автомобілі (1885 р.) [4].

Процес випаровування рідкого палива в перших бензинових двигунах залишав бажати кращого. Тому справжню революцію у двигунобудуванні зробив винахід ефективного поплавкового карбюратора. Творцем його вважається угорський інженер Донат Банки. У 1893 р. він взяв патент на карбюратор з жиклером (рисунок 2.21) [7], що був прообразом усіх сучасних карбюраторів. В агрегаті Банки паливо через отвір 7 надходило з бака в робочу камеру 6, в якій плавав пустотілий латунний поплавок 3. На поплавок спиралась запірні голка 4 і коли рівень палива в камері досягав необхідної висоти, поплавок спливав, змушуючи голку перекривати отвір 7, припиняючи подачу палива в камеру 6. В резуль-

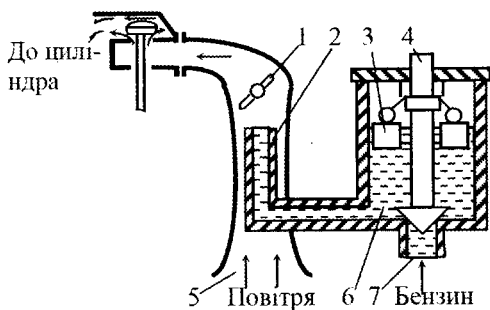


Рисунок 2.21 – Будова карбюратора: 1 – дросельна заслінка; 2 – трубка подачі палива; 3 – поплавок; 4 – запірні голка; 5 – дифузор; 6 – робоча камера; 7 – отвір для подачі палива

таті витрат палива його рівень у камері 6 знижувався, поплавок з голкою 4 опускались, що забезпечувало відновлення подачі палива. У такий спосіб у камері підтримувався постійний рівень палива. З камери 6 паливо надходило по трубі 2 у дифузор 5 карбюратора. Потік атмосферного повітря заходив у дифузор 5 і звужувався у перерізі, в якому у дифузор була виведена трубка 2. Останнє призводило до збільшення швидкості потоку повітря та спаду тиску у його середовищі. Під впливом різниці тисків (на вільній поверхні бензину у камері 6 – атмосферний, а на виході з трубки 2 – вакуумний) паливо відсмоктувалось у дифузор та змішувалось з повітрям. Кількість паливної суміші, що надходить у циліндри двигуна, а отже, й потужність останнього регулюються заслінкою 1, що звичайно приводиться в рух педалью акселератора.

На відміну від своїх попередників Банкі запропонував не випаровувати бензин, а дрібно розпилювати його у повітрі. Це забезпечувало рівномірне розподілення палива у циліндрі, а власне випарювання відбувалось вже в ході робочого циклу, під впливом теплоти від стискання. Головні переваги карбюраторних систем приготування паливоповітряної суміші: простота конструкції, низькі ціна та вартість ремонту й обслуговування, можливість діагностики і ремонту без залучення дорогого устаткування і фахівців [10, 12].

В наш час інжекторні системи подачі палива в більшості випадків замінили карбюратори. Це пов'язано з тим, що тільки інжектор може без обслуговування і регулювань тривалий час (сотні тисяч кілометрів пробігу) зберігати вихлоп автомобіля в рамках сучасних екологічних вимог і забезпечувати якісніше, порівняно з карбюратором, приготування необхідної паливної суміші на всіх режимах роботи двигуна [17].

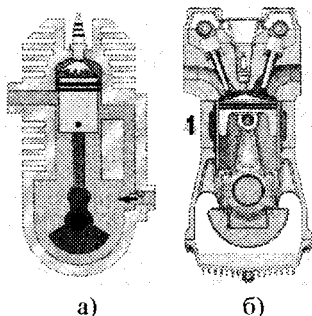


Рисунок 2.22 – Схеми роботи одноциліндрових двотактного (а) та чотиритактного (б) ДВЗ: 1 – впуск; 2 – стискання; 3 – розширення; 4 – випускання

Перші ДВЗ були одноциліндровими (рисунок 2.22), і для того щоб підвищити потужність двигуна звичайно збільшували об'єм циліндра. Пізніше цього стали домагатись збільшенням числа циліндрів. Наприкінці XIX століття з'явилися двоциліндрові ДВЗ, а з початку XX століття почали поширюватись чотирициліндрові двигуни (рисунок 2.23).

У 1895 р. німець Роберт Бош винайшов магнето високої напруги, що дозволило забезпечити надійне запалювання. У 1910 р. Ч. Кеттерінг (1876 – 1960 рр.) розробив електростартер для пуску двигуна [5]. Таким чином, основні елементи ДВЗ були відпрацьовані, починається його широке впровадження на транспорті та як привод стаціонарних установок.

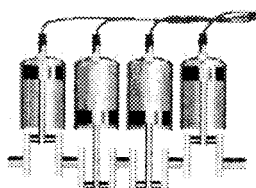


Рисунок 2.23 – Схема роботи рядного чотирициліндрового ДВЗ



Рисунок 2.24 – Енергобаланс автомобільного ДВЗ: 1 – 40% віддано воді, що охолоджує циліндр; 2 – 25% виноситься вихлопними газами; 3 – 10% тертя; 4 – 25% – корисна робота

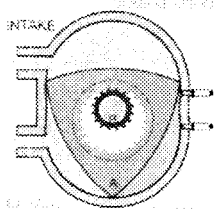


Рисунок 2.25 – Схема роботи роторно-поршневого ДВЗ

У ХХ столітті йшло безупинне конструктивне удосконалювання ДВЗ, пов'язане з розвитком автo- і літакобудування, створенням нових зразків військової техніки. З'явилися багатоциліндрові V-подібні і зіркоподібні двигуни, змінювалися конструкції карбюраторів. Будувалися двигуни як з водяним, так і з повітряним охолодженням. Збільшувався ступінь стиску в циліндрах. У 40-х рр. він досяг 6,5 – 6,8, а на даний час – 10...12. Зростає частота обертання колінчастого вала двигуна. Використовується електронне запалювання. На рисунку 2.28 наведена діаграма енергетичного балансу автомобільного ДВЗ [28].

Вимоги підвищення екологічної чистоти та економічності автомобілів привели до створення гібридних двигунів, що практично постійно працюють у оптимальному режимі (максимальний ККД, найменш шкідливі вихлопи).

Одночасно з удосконаленням поршневих ДВЗ ведуться пошуки кардинально нових конструктивних рішень.

У 1957 р. в Німеччині Вальтером Фройдом сумісно із Феліксом Ванкелем був розроблений роторно-поршневий двигун внутрішнього згоряння (РПД), відомий також як двигун Ванкеля (рисунок 2.25) [5]. У ньому застосований обертний ротор, розміщений в розточці – робочій камері корпусу, що має форму епітрохіди. Ротор установлений на валу і жорстко з'єднаний із зубчастим колесом, що входить у зачеплення з центральною нерухомою шестернею. Грані ротора ковзають по поверхнях камери, відтинаючи змінні об'єми, в яких реалізуються 4 такти робочого циклу ДВЗ: впуск, стиснення, розширення (робочий хід) і випуск без застосування спеціального механізму газорозподілу. Герметизація камер забезпечується радіальними і торцевими ущільнювальними пластинами, що притискаються до циліндра відцентровими силами, тиском газу і стрічкових пружин. Сумішоутворення, запалювання, змащення, охолодження, запуск принципово такі ж, як і в звичайного поршневого ДВЗ.

Відсутність механізму газорозподілу робить РПД значно простішим за чотиритактний поршневий (економія становить біля тисячі деталей), компактнішим (відсутні картерний простір, колінвал і шатуни) і з високою пи-

томою потужністю. Так, сучасний серійний РПД з робочим об'ємом 1300 см<sup>3</sup> має потужність 220 к. с. (з турбокомпресором – 350 к. с.) менші в 1,5 – 2 рази габаритні розміри, ніж поршневий ДВЗ аналогічної потужності та менше на 35 – 40 % число деталей. За один оберт РПД виконує три повних робочих цикли, що еквівалентно роботі шестициліндрового поршневого ДВЗ. Іншими перевагами РПД перед звичайними бензиновими двигунами є низький рівень вібрацій (РПД механічно цілком урівноважений) та відмінні динамічні характеристики (на низькій передачі можливо без зайвого навантаження на двигун розігнати машину до 100 км/год) [5, 12, 16].

Але РПД має і недоліки. Так з'єднання ротора з вихідним валом через ексцентриковий механізм обумовлює інтенсивний тиск між поверхнями тертя, що у поєднанні з високою температурою призводить до швидкого зносу двигуна. У зв'язку з останнім виникає потреба у періодичній заміні мастила. Ще однією важливою проблемою вважається зношування ущільнювачів. Оскільки площа їх контакту з поверхнями робочої камери невелика, а перепад тиску значний, робоче середовище може проходити через ущільнення в інші об'єми камери, що призводить до спаду ККД і підвищення токсичності вихлопу. Крім цього, через малу матеріалоемність камери згоряння її стінки швидко перегріваються, а високі вимоги до точності та якості виконання деталей двигуна, нетехнологічність поверхонь епітрохoidalної камери роблять РПД складним і дорогим у виробництві.

В свій час ліцензії на виробництво РПД придбали всі провідні автомобілебудівні компанії, але на даний момент двигуни цього типу серійно випускають тільки японська фірма Mazda та російський ВАЗ. Інженерам Mazda вдалось усунути всі вказані вище основні проблеми РПД, в тому числі токсичність вихлопу і неекономічність. Так, двокамерний двигун Mazda «Repeis» об'ємом всього 1,3 л видає потужність у 250 к. с. [22].

Одночасно з двигунами на газоподібних паливах (природний газ) та паливах, що легко випаровуються (бензини), розроблялися двигуни на важкому паливі, у тому числі на сирій нафті. У 1806 р. К. і Ж. Н. Ньєпси розробили і виготовили перший нафтовий двигун, але запустити його не змогли. У період з 1884 по 1890 рр. в доволі значних кількостях випускалися стаціонарні калоризаторні двигуни, що працювали на гасі і більш важких сортах пального, а також на сирій нафті. У них для запалення суміші палива і повітря використовувалися порожні калильні кулі – калоризатори, на розпечену поверхню яких і подавалося пальне. В Україні калоризаторні двигуни називали «нафтянками» і використовували до 1920-х рр. [5, 19].

У 1892 р. з'явився двигун англійця Е. Стюарта, що працював на нафті. В циліндрі двигуна повітря стискалося до високого тиску, а потім більша його частина випускалася в окрему камеру, стінки якої перед пуском двигуна розжарювалися паяльною лампою. Нафта подавалася в ту ж камеру, випаровувалася і займалася від розпеченої поверхні. Після запуску самостійна робота двигуна підтримувалася вже без підведення тепла ззовні [29].

У 1892 р. німецький інженер Р. Дизель (1858 – 1913 рр.) висунув ідею «раціонального теплового двигуна», одержав патент на нього і у 1897 р. побудував зразок ДВЗ із механічним розпилюванням і самозапалюванням від стискання. Компресорне розпилення палива стисненим повітрям Дизель реалізувати не зміг, але пізніше воно широко застосовувалося. Двигун за прізвиськом винахідника одержав назву «дизель» [5, 28].

В дизелі піддається стисканню не паливна суміш, а чисте повітря. Застосовується 11 – 12-разовий стиск, в результаті якого температура повітря збільшується до 500 – 600 °С. Коли стискання завершується, в циліндр упорскується паливо. Робиться це за допомогою форсунки, що працює від стисненого повітря, яке нагнітається компресором або потужним насосом. Запалювання палива здійснюється внаслідок високої температури повітря в циліндрі. Час горіння палива значно більший, ніж час горіння суміші бензин – повітря в ДВЗ, поршень здійснює робочий хід, наприкінці якого відпрацьовані гази викидаються в атмосферу [28].

Дизель виявився більш економічним, ніж бензиновий ДВЗ (див. рисунок 2.24) Він має ККД до 40 %, а дизелі з турбонаддувом і проміжним охолодженням – понад 50 % (наприклад, MAN S80ME-C7 витрачає тільки 155 г палива на кВт·год, досягаючи ефективності 54,4 %).

У 1898 р. на Путиловському заводі в Петербурзі інженером Г. Тринклером був побудований перший у світі «безкомпресорний нафтовий двигун високого тиску», тобто дизельний двигун у його сучасному вигляді з форкамерою, що назвали «тринклер-мотором». При зіставленні «дизель-мотора» і «тринклер-мотора» російська конструкція, що була запропонована на півтора року пізніше німецької і випробувана на рік пізніше, виявилась набагато простішою, надійнішою і перспективнішою. «Тринклер-мотори» не мали повітряного компресора, а підведення тепла в них було більш поступовим і розтягненим в часі порівняно з двигуном Дизеля.

У 1947 р. відбулося розширене засідання Паризької академії наук, на якому ухвалили: 1. Закріпити за Росією пріоритет у створенні безкомпресорного двигуна із запаленням від стискання (цикл Тринклера); 2. Зберегти для всіх двигунів, що працюють із запаленням від стискання назву «дизель-мотор», щоб відзначити науковий і технічний внесок Р. Дизеля в енергетичне машинобудування [29].

У 1903 р. на Сормовському заводі був побудований перший у світі теплохід «Вандал» – корабель з дизельним двигуном. На ньому установили три трициліндрові чотиритактні дизелі конструкції заводу Е. Нобеля по 120 к. с. кожний [5]. Перші суднові дизелі конструктивно практично не відрізнялися від стаціонарних, але були більш швидкохідними, з меншим ходом поршня і регульованою частотою обертання колінчастого вала.

Спочатку дизелі використовувалися лише в стаціонарних механізмах і силових установках морських судів, оскільки існуючі тоді системи упорскування палива не забезпечували високої швидкості обертання валів двигунів даного типу. У 1920-х рр. німецький інженер Р. Бош удосконалив па-



ливний насос високого тиску, використання якого для нагнітання й упорскування палива дозволило відмовитись від окремого повітряного компресора й уможливило збільшення швидкості обертання. Затребуваний у такому вигляді високооборотний дизель став користуватися усе більшою популярністю як силовий агрегат для допоміжного, громадського, а пізніше й пасажирського транспорту [12].

Залежно від конструкції камери згоряння дизелів існує декілька їх типів. Так, у дизелі з безпосереднім упорскуванням або з нерозділеною камерою згоряння остання виконана в поршні, а паливо впорскується в надпоршневий простір. Головна перевага такого двигуна – менші витрати палива; недолік – підвищений шум при роботі. В даний момент ведуться інтенсивні роботи з усунення вказаного недоліку.

Другий тип дизелів – з відокремленою (вихровою) камерою, в яку подається паливо і яка зв'язана з циліндром спеціальним каналом. Під час стискання повітря останнє, потрапляючи у вихрову камеру, інтенсивно закручується, що сприяє кращому перемішуванню палива та повітря і самозапалюванню суміші. Дана схема довго вважалась найбільш оптимальною і широко використовувалася. Однак, внаслідок гіршої економічності протягом двох десятиліть йде активне витиснення таких двигунів дизелями з безпосереднім упорскуванням палива [3].

Через те, що впорскування палива в дизелі здійснюється під високим тиском, жорстких вимог до летючості палива не висувається, що дозволяє використовувати в ньому низькосортні важкі мастила [3].

Дизельний двигун не може розвивати високих обертів, оскільки при надмірному збільшенні подачі до його циліндрів палива останнє не встигає догоріти, що призводить до зниження питомої потужності двигуна і є причиною малого поширення дизелів в авіації. При роботі на максимальній експлуатаційній потужності в циліндрах дизеля також залишається багато сажі в результаті, як кажуть в подібних випадках залізничники, «тепловоз дає ведмедя».

Порівняно з бензиновими двигунами, у вихлопних газах дизельного двигуна менше окису вуглецю (CO), але останнім часом, у зв'язку з установленням на перших каталітичних конвертерів, ця перевага не є такою помітною. Основні токсичні гази, що присутні у вихлопі дизелів в значних кількостях – це вуглеводні (НС або СН), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) і сажа у вигляді чорного диму. Вдихання даних продуктів може призвести до астми і раку легень. Більше всього забруднюють атмосферу дизелі вантажівок і автобусів, що часто є старими і невідрегульованими. Ситуація з поліпшенням екологічності дизелів почала змінюватися лише в останні роки, у зв'язку з впровадженням двигунів системи «Common-rail», в яких впорскування палива здійснюється електрично-керованими форсунками під тиском 1000 – 2500 атм (для порівняння тиск палива у форсунках звичайного дизеля з механічним упорскуванням складає 100 – 400 атм). Подачу електричних керувальних імпульсів забезпечує електронний блок, що одержує

сигнали від набору датчиків. Датчики ж відстежують основні параметри двигуна, визначаючи момент початку та тривалість паливного імпульсу. Завдяки цьому за екологічною чистотою сучасний дизель нічим не поступається своєму бензиновому побратиму. Однак каталітична система сучасних транспортних дизелів значно складніша аналогічних систем бензинових моторів, оскільки каталізатор перших повинен «вміти» працювати в умовах нестабільного складу вихлопних газів [6].

Іншим важливим аспектом, що стосується безпеки експлуатації, є те, що дизельне паливо нелетке і, таким чином, імовірність загоряння дизелів набагато нижча, ніж бензинових ДВЗ, тим більше, що в них не використовується система запалювання. Разом з високою паливною економічністю це стало причиною широкого застосування дизелів на танках, оскільки в повсякденній небойовій експлуатації зменшувався ризик виникнення пожежі в моторному відділенні через витіки палива [8]. Менша пожежонебезпека дизельного двигуна в бойових умовах є міфом, оскільки після пробиття броні снаряд або його осколки мають температуру, що значно перевищує температуру спалаху парів дизельного палива. З іншого боку, дизельний двигун поступається карбюраторному за питомою потужністю, і тому в ряді випадків більш виграним для танкобудування може бути використання саме карбюраторного силового агрегата [10].

Явними недоліками дизелів є необхідність використання стартера великої потужності, помутніння і застигання літнього дизельного палива при низьких температурах, складність у ремонті паливної апаратури (в першу чергу, насосів високого тиску, що є пристроями, виготовленими з високою точністю). Крім цього, дизелі вкрай чутливі до забруднення палива механічними частинками і водою, що дуже швидко виводять паливну апаратуру з ладу [7].

Міфом є зараз також і твердження про підвищений рівень шуму дизельних двигунів. Правильно відрегульований дизель лише трохи «гучніший» бензинового, що помітно лише на холостих обертах. На робочих же режимах різниці практично немає. Гучно працюючий двигун свідчить про неправильну експлуатацію або про можливі несправності. Правда старі дизелі з механічним упорскуванням дійсно відрізняються досить жорсткою роботою. Тільки з появою акумуляторних паливних систем «Common-rail» вдалось значно знизити шум при роботі дизелів, насамперед за рахунок розділення кожного імпульсу упорскування на декілька (як правило, на 2 – 5 імпульсів) [9].

Часи, коли дизельне паливо коштувало в три рази дешевше бензину, давно пройшли. Зараз різниця складає лише приблизно 10 – 30% від ціни палива. Незважаючи на те, що питома теплота згоряння дизельного палива (42.7 МДж/кг) менша, ніж для бензину (44 – 47 МДж/кг), основна економічність обумовлена вищим ККД дизельного двигуна. У середньому сучасний дизель витрачає на 30% менше палива, ніж бензиновий ДВЗ. Термін служби дизельного двигуна набагато більший бензинового і може сягати

400 – 600 тис. км. Запчастини для дизелів дещо дорожчі, як і вартість ремонту. Таким чином, сукупні витрати на експлуатацію дизельного двигуна при правильній експлуатації будуть не набагато меншими, ніж для бензинового [8, 9].

Раніше вважалось, що дизель погано заводиться в мороз. Але зараз, при правильній експлуатації і відповідній підготовці до зими проблем із двигуном не виникає. Наприклад, дизель VW-Audi 1,9 TDI (77 кВт/105 к. с.) оснащений системою швидкого запуску в холодну пору, що забезпечує нагрівання свічок накалювання до 1000 °С за 2 с [6].

З'явилась також можливість переобладнання дизеля під використання як паливо більш дешевого газу. Так, ще у 2005 р. італійські тюнінгові фірми пропонували дизелі, що ефективно працювали на метані. В наш час успішно зарекомендували себе варіанти застосування газодизелів на пропані, що перевершують газові двигуни, створені на основі бензинових ДВЗ за рахунок вишого ступеня стиснення газоповітряної суміші [9, 10].

Дизелі знайшли широке застосування як двигуни автомобілів, тепловозів, тракторів, танків, важких літаків, річкових і морських суден.

Найбільшим і найпотужнішим у світі судновим дизелем є 14-циліндровий Sultzer RT-flex96с, створений компанією Wartsila у 2002 р. для встановлення на великі морські контейнеровози і танкери. Його основні характеристики: робочий об'єм – 25 480 л; діаметр циліндра – 960 мм; хід поршня – 2,5 м; потужність – 108 920 к. с. при 102 об/хв (віддача з літра 4,3 к. с.); крутний момент – 7 571 221 Н·м; витрати палива – 13 724 л/год; суха маса – 2300 т; довжина – 27 м; висота – 13 м [8].

Найбільший і найпотужніший дизель для легкового автомобіля – це Audi 6.0 V12 TDI, що з 2008 р. встановлюється на автомобілях Audi Q7. Його конфігурація: 12 V-подібно розташованих циліндрів робочим об'ємом 5934 см<sup>3</sup>; діаметр циліндра – 83 мм; хід поршня – 91,4 мм; ступінь стиснення – 16; потужність – 500 к.с. при 3750 об/хв (віддача з літра 84,3 к.с.); обертовий момент – 1000 Н·м [10].

## 2.5 Газотурбінні та турбореактивні двигуни

В другій половині ХХ ст. з поршневіми ДВЗ успішно конкурують газотурбінні (ГТД) і турбореактивні (ТРД) двигуни [30].

Схема ГТД, показана на рисунку 2.26, була запропонована ще у 1791 р. англійцем Д. Барбером [5]. В даному тепловому двигуні атмосферне повітря за допомогою компресора 1 нагнітається у камери згорання 4, куди також подається паливо – будь-яке, що може бути дисперговане (бензин, гас, солярка, мазут, природний або водяний газ, спирт і навіть подрібнене вугілля), із забезпеченням запалювання газоповітряної суміші. Продукти згорання під значним тиском надходять на лопаті компресорної 2 та тягової 5 турбін, викликаючи їх обертання. Турбіна 5 приводить вхідний вал 6 робо-

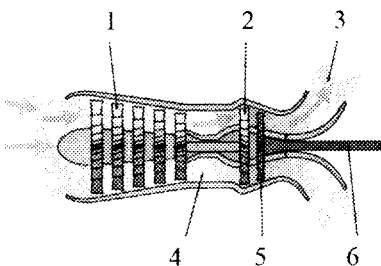


Рисунок 2.26 – Схема ГТД: 1 – компресор; 2 – компресорна турбіна; 3 – вихлоп; 4 – камери згоряння; 5 – тягова турбіна; 6 – приводний вал

чої машини. Газотурбінні двигуни мають найбільшу питому потужність серед ДВЗ – до 6 кВт/кг.

Перший дослідний зразок ГТД був сконструйований та випробуваний у 1897 р. П. Д. Кузьмінським [6]. Двигун являв собою турбіну, що працювала на парогазовій суміші, утворюваній під постійним тиском у камері згоряння. Паливом служив гас. Ресурс турбіни був невеликим через відсутність достатньо жароміцних сталей для виготовлення лопатей турбіни.

Роботи зі створення ГТД наприкінці XIX – на початку XX ст. велись та-

кож Штольцем, Хольцвартом (Німеччина), Моссом (США), Арменго, Барбезою (Франція), але запропоновані ними зразки були малопотужними та ненадійними [31].

У 1909 р. російський інженер Н. Герасимов запропонував використовувати газову турбіну як авіаційний двигун. Однак забезпечити в той час тривалу роботу ГТД було неможливо через відсутність жаростійких сплавів, що можуть працювати при 500...600 °С [31]. Не була розроблена і теорія газових турбін. У 20-х рр. ГТД все ще вважали безперспективними. У 1924 р. В. І. Базаров удосконалив схему газотурбінної установки (ГТУ) і її конструкцію. Він запропонував конструкцію авіаційного двигуна, в якому потужність турбіни витрачалася на привод відцентрового компресора й обертання повітряного гвинта. Дана схема була через 13 років запатентована в Англії Ф. Уїтлом і в Німеччині П. фон Охайном [7].

Таким чином, наприкінці 20-х рр. сформувався основні положення щодо конструкції та робочих параметрів ГТУ: до складу установки входять компресори для стиснення повітря, камери згоряння палива і газова турбіна, що працює на газах, які утворюються при згорянні палива. Температура газів на вході турбіни повинна бути не нижчою 750 °С. При цьому ККД становить 38%, а при температурі 1300 °С – 55% [30]. Значна частина потужності, одержана турбіною, витрачається на привод компресора. Конструктивна реалізація складових ГТУ повинна відповідати її призначенню. Для створення ГТУ необхідні міцні жаростійкі сталі, а також високоефективні компресори.

Перший одноступінчастий вакуумний компресор – вентилятор був створений А. А. Саблуковим у 1832 р. У 1854 р. Н. Теплов розробив і випробував осьовий багатоступінчастий повітряний компресор із ККД 83%. Приблизно на 30 років пізніше аналогічний компресор запропонував Парсонс. У 1929 р. Б. С. Стечкин розробив теорію і методи теплового розрахунку повітряно-реактивних двигунів [8].

Усе це створило передумови для реалізації ГТД у 30-х рр. Причиною їх розробки була криза поршневих авіаційних двигунів, з якими найбільш досконалі літаки того часу у горизонтальному польоті досягали максимальних швидкостей не більших 600 – 650 км/год. Для подальшого збільшення швидкості польоту необхідно було нарощувати потужності двигунів, а це приводило до багаторазового зростання їх маси та витрат палива. Наприклад, поршневий авіаційний двигун потужністю 12200 к. с. мав би масу 6 т. У зв'язку з цим, у Великобританії, Франції, США, СРСР, Італії і насамперед у Німеччині, яка збиралась тоді воювати зі всім світом і розробляла супер-зброю, почалися строго секретні роботи зі створення ГТД.

Фірма «Хейнкель» (Німеччина) розробила і випробувала перший дослідний зразок ТРД HeS-1 в 1937 р. До його складу входив відцентровий компресор, одноступінчаста доцентрова турбіна і випарна камера згоряння. Відпрацьовані гази виходили через реактивне сопло, створюючи реактивну тягу. Двигун мав масу 360 кг і забезпечував при частоті обертання 11300 об/хв тягу у 500 кгс. У 1939 р. літак He-178 (рисунок 2.27), оснащений HeS-1 зробив перший політ [30].

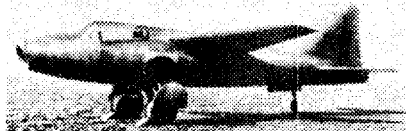


Рисунок 2.27 – Перший дослідний літак з ТРД фон Охайна He-178

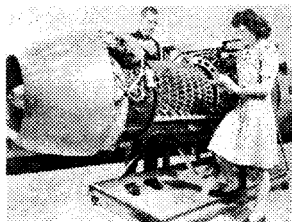


Рисунок 2.28 – Перший у світі крупносерійний ТРД Junko 004

У 1941 р. піднялись у повітря англійський та італійський дослідні літаки з ТРД, а в 1942 р. – американський турбореактивний винищувач «Ейркомет» [5, 8].

У СРСР роботи зі створення ГТД велися КБ під керівництвом А. А. Миклуліна, В. Я. Климова, А. М. Люлька і інших. Перший радянський авіаційний ГТД з рідинним охолодженням був спроектований у 1936 р. під керівництвом В. В. Уварова [9].

У 1941 – 1945 р. у Німеччині були розроблені серійні ТРД Junko-004 (рисунок 2.28) і BMW-003 з тягою 1000 кгс. У Великобританії в роки Другої Світової війни серійно випускались ТРД «Дербент» і «Нін» [7, 8].

На рисунку 2.29 показані основні типи авіаційних ТРД. У двоконтурних ТРД (рисунок 2.29, б, г) та турбогвинтових (ТГД) – (рисунок 2.29, в) двигунах турбіна обертає не тільки компресор, а і вентилятор або повітряний гвинт. Частина енергії газів, що залишилася, створює реактивну тягу. Потужність сучасних авіаційних ТРД доходить до 20 тис. к. с. Запуск їх (розкручування вала компресора) здійснюється за допомогою невеликого електродвигуна або шляхом подачі стисненого повітря на лопатки компресора [31].

Одночасно з авіаційними з 1930-х рр. розроблялись стаціонарні, а з 1945 р. – транспортні газотурбінні установки.

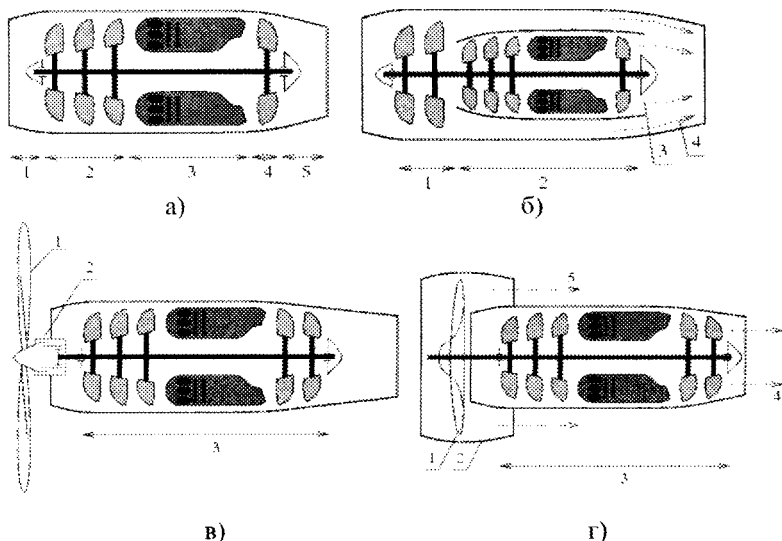


Рисунок 2.29 – Схеми авіаційних ТРД: а – одноконтурного; б – двоконтурного зі змішуванням потоків; в – турбогвинтового; г – двоконтурного без змішування потоків

У 1930 р. у СРСР була організована газотурбінна лабораторія В. М. Маковського, в якій були створені теорія і методи розрахунку, що дозволили побудувати і випробувати в 1940 р. стаціонарну газову осьову двоступінчасту турбіну потужністю 1000 к. с. [8].

У 1938 – 1941 рр. у Швейцарії під керівництвом А. Стодола також велися активні роботи зі створення стаціонарних ГТУ і в 1939 р. фірмою «Броун Боварі» були виготовлені агрегати потужністю 2 і 4 МВт для електростанцій. У США перші стаціонарні ГТУ з'явилися в 1949 р. А в 1956 р. сумарна потужність агрегатів даного типу досягла 1 млн кВт [7, 30].

Збільшуються потужності енергетичних ГТУ, які використовуються як привод генераторів на електростанціях і будуються за єдиними типовими схемами (рисунок 2.30). У 1981 р. фірма «Броун Боварі» (Швейцарія) виготовила стаціонарну енергетичну ГТУ типу LGT11/8 потужністю 220 МВт [12].

Стаціонарні ГТУ застосовуються також в хімічній і металургійній промисловості. Зокрема, турбіни на доменному газі експлуатуються у Росії, Японії, Італії, Індії. Оскільки до їх ефективності не висуваються особливо жорсткі вимоги, конструкція ГТУ досить проста. Вони працюють при відносно низьких температурах і тисках, тому мають підвищений ресурс. Однак найбільше поширення одержали стаціонарні ГТУ привода компресорних станцій магістральних газопроводів [3, 8].

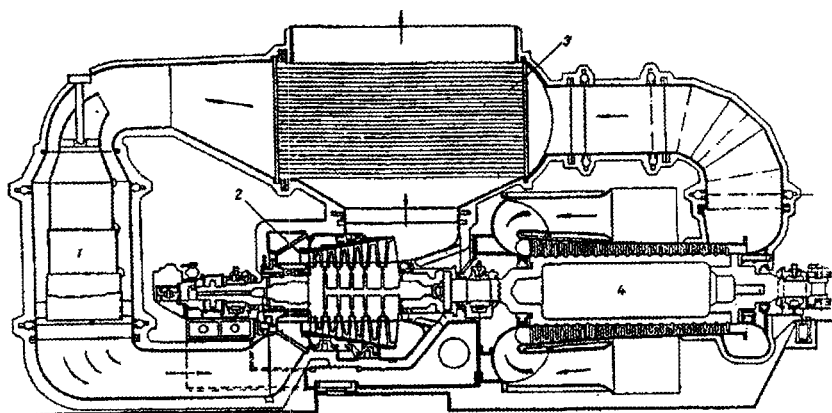


Рисунок 2.30 – Схема газотурбінної установки: 1 – камера згоряння, 2 – турбіна, 3 – регенератор, 4 – компресор

Ще один перспективний напрямок розвитку ГТУ – створення станцій з газифікацією вугілля. Розробка таких ГТУ ведеться у Великобританії, Італії, Німеччині й інших країнах. Дослідно-промислова ГТУ «Келлерман» (Німеччина) такого типу забезпечує зниження питомих капітальних витрат порівняно з пиловугільною паросиловою установкою на 25% [30].

ГТУ великої потужності експлуатуються на парогазових електростанціях, ефективність яких внаслідок комбінованого використання енергії пари і продуктів згоряння палива значно вища, ніж у електростанцій, оснащених тільки ГТУ.

Суднові ГТУ одержали бурхливий розвиток в останні 30 років. На кораблях і судах встановлюються як важкі, так і легкі ГТУ. ГТУ важкого типу застосовуються на потужних кораблях як привод гребних гвинтів. За конструкцією вони аналогічні промисловим ГТУ. Легкі установки авіаційного або близького до авіаційного типу експлуатуються на судах на повітряній подушці та на підводних крилах.

У 1950-х рр. на судах почали встановлювати ГТУ з вільнопоршневи-ми генераторами газу (ВПГГ) – (рисунок 2.31) [5]. ВПГГ працює на важких, важкозаймистих паливах. Порівняно низька температура продуктів їх згоряння дозволяє використовувати в конструкції ГТУ дешевші матеріали і забезпечувати більший ресурс їх роботи [30].

Конструктивно ВПГГ являє собою двотактний дизель з водяним охолодженням, але без кривошипно-шатунних механізмів та колінчастого вала. Звичайно ВПГГ містить по два циліндри і компресори, розташовані в ряд. Повітря в порожнині між поршнем і кришкою компресора служить амортизатором, під дією якого на певному етапі робочого циклу поршень повертається до центра генератора. Газорозподіл у циліндрах щільний.

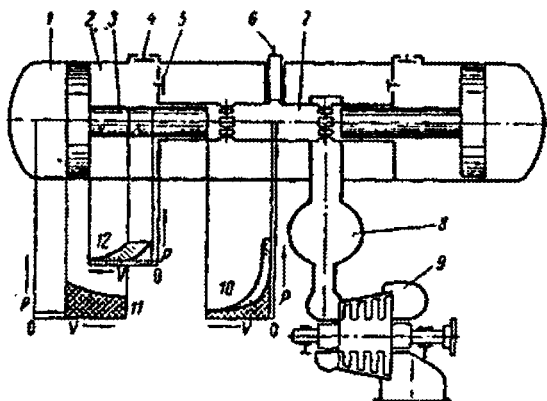


Рисунок 2.31 – Схема ГТУ з ВПГТ: 1 – амортизатори, 2 – компресори, 3 – поршні, 4 і 5 – впускні і випускні клапани, 6 – форсунка, 7 – камера згоряння, 8 – газозбірник, 9 – газова турбіна, 10, 11, 12 – діаграми робочих процесів в двигуні і компресорі

внаслідок чого відкриваються впускні клапани і повітря з атмосфери заходить в компресори. На етапі спаду тиску в циліндрах, поршні під дією стиснених амортизаторів повертаються у вихідні положення до центра генератора. Під час їх повернення повітря з порожнин витискається через випускні клапани і щілини у порожнини циліндрів, де змішується з паливом, поданим форсункою. Внаслідок високих тиску (до 100 атм) і температури (до 700 °С) повітря забезпечується самозапалювання палива і більш повне його згоряння. Продукти згоряння подаються на лопатки турбіни. Температура і тиск на вході турбіни невеликі – відповідно 450 ... 500 °С і 3 ... 4 атм, що дозволяє підвищити термін служби ГТУ навіть і при використанні менш дорогих матеріалів [31].

До достоїнств ВПГТ також відносяться порівняльна простота їх конструкції, гарна урівноваженість, довговічність, компактність. Недоліки – складність пуску і регулювання, нестійкість роботи при часткових навантаженнях (з розвитком мікропроцесорних систем керування останній недовік став неактуальним).

У 1950 р. був випробуваний перший легковий автомобіль із ГТД фірми «Бритіш Ровер» потужністю 150 к. с., пізніше з'явилась 10-тонна газотурбінна вантажівка. Легкові автомобілі та автобуси з ГТД (рисунок 2.32, 2.33) виготовлялись в Італії, США і СРСР [4, 7, 9].

Перші залізничні локомотиви з ГТД – газотурбовози були побудовані в США на початку 50-х рр. компаніями «Дженерал електрик» і «Америкен локомотив». У 1958 р. в США був випробуваний трисекційний

Синхронний рух поршнів забезпечується за допомогою синхронізувального механізму (важільного або рейкового з паразитною шестірнею).

Працює генератор таким чином. Після запалювання в циліндрах чергової порції палива, поршні компресорів під дією тисків продуктів згоряння, створюваних на торцях штоків, розходяться у протилежні сторони, стискаючи повітря в амортизаторах. Одночасно в порожнинах компресорів створюється розрідження,



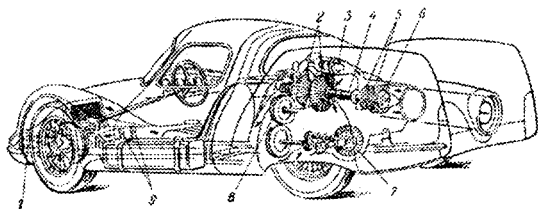


Рисунок 2.32 – Схема газотурбінного автомобіля «Фіат»: 1 – впуск повітря; 2 – компресор; 3 – камера згоряння; 4 – вал; 5 – компресорна турбіна; 6 – тягова турбіна; 7 – диференціал; 8 – редуктор; 9 – педалі газу і гальма

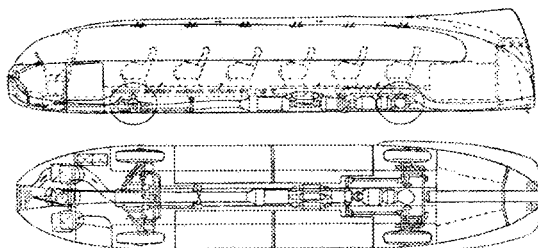


Рисунок 2.33 – Схема газотурбінного автобуса «Золотий дельфін» (Італія)

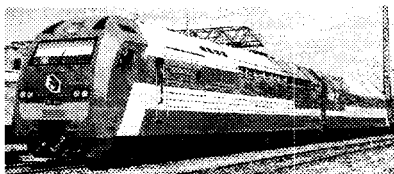


Рисунок 2.34 – Найпотужніший газотурбовоз світу – російський ГТ1: потужність – 8300 кВт; швидкість – до 100 км/год

встановлений ГТД потужністю 1250 к. с. Наприкінці 1979 р. у США почався серійний випуск танків М1 «Абрамс» (рисунок 2.35, в) із ГТД потужністю 1500 к. с. [5, 9].

Робота зі створення великопотужних (до сотень тисяч кВт) газотурбінних агрегатів стимулюється їх високим ККД. При температурі 750 °С ККД доходить до 38%, при 1200 ... 1300 °С – до 50%. Запуск газотурбінної установки може бути здійснений за 15 с, а необхідні виробничі площі в два рази менші, ніж у паротурбінної аналогічної потужності. Основні напрямки удосконалення ГТД – використання охолодження для лопатей турбіни і за-

газотурбовоз потужністю 8000 к. с. з ККД 18%. Паливом служив мазут, швидкість руху досягала 200 км/год [4]. У СРСР перший газотурбовоз потужністю 3500 к.с. був випущений у 1959 р. Сучасні газотурбовози (рисунок 2.34) розвивають швидкість до 290 км/год. Для підвищення ККД транспортні ГТД будують з теплообмінниками, що підігрівають повітря, яке надходить у камери згоряння.

Світовий досвід використання ГТД на танках нараховує всього три приклади. Першим з них був шведський безбаштовий танк Strv-103 (1966 р.) – (рисунок 2.35,

а). На ньому установили дизель К-60 «Роллс-Ройс» 240 к. с. з вертикальним опозитним розташуванням циліндрів і ГТД «Во-льво» 270 к. с., що працювали спільно. У СРСР перший у світі великосерійний основний танк із ГТД Т-80БВ був прийнятий на озброєння в 1976 р. Двигун даної машини мав потужність 1100 к. с. Пізніше, у 1985 р. на танку Т-80У (рисунок 2.35, б) був

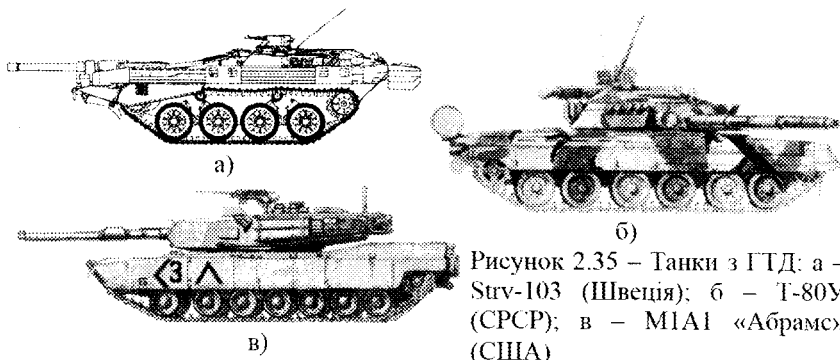


Рисунок 2.35 – Танки з ГТД: а – Strv-103 (Швеція); б – Т-80У (СРСР); в – М1А1 «Абрамс» (США)

стосування жаростійких матеріалів, що дозволяють підвищити робочу температуру турбіни.

В даний час газотурбінні агрегати виготовляються для електростанцій, суден, потужних локомотивів залізниць, танків і великих автомобілів.

## 2.6 Двигуни зовнішнього згоряння

Поршневі двигуни зовнішнього згоряння з постійним робочим тілом у циліндрі і регенерацією теплоти називають двигунами Стірлінга (ДС або стірлінгами). Р. Стірлінг – шотландський пастор – винайшов цей двигун у 1816 р., оскільки був стурбований травматизмом робітників, що працювали у його приході з паровими двигунами. Дані двигуни часто вибухали через низьку якість заліза, з якого вони виготовлялися. Більш міцного матеріалу в ті роки не існувало. Стірлінг вирішив удосконалити конструкцію «двигуна гарячого повітря», що був відомий ще з кінця XVII ст. в надії на те, що такий двигун буде більш безпечним. Досягненням Стірлінга було додання очисника, який він назвав «економ». У сучасній науковій літературі даний очисник називається «регенератором» (теплообмінником). Він забезпечує збільшення продуктивності двигуна шляхом утримання тепла в теплій частині двигуна, у той час як робоче тіло охолоджується. Все це суттєво підвищує ефективність системи. Двигун Стірлінга вже не міг вибухнути, оскільки працював при більш низькому тиску, ніж парова машина, і не міг спричинити опіки парою. У 1818 р. Стірлінг побудував перший практичний варіант свого двигуна і використовував його в приводі насоса для відкачування води з кар'єру. У 1843 р. двигун Стірлінга був установлений на заводі, де він у той час працював інженером [5, 9].

Схема ДС подана на рисунку 2.36. Джерело тепла 15 нагріває газ у правій частині теплообмінного циліндра 5. Газ розширюється, проходить по каналах поршня 6, що знаходиться у лівій позиції (поршень заповнений теплоізолювальним матеріалом). Далі через з'єднувальну трубку 3 газ надходить у поршкову порожнину робочого циліндра 1, тисне на робочий поршень 2, що опускається, штовхає шатуни 9, 11 і повертає маховик 8. При

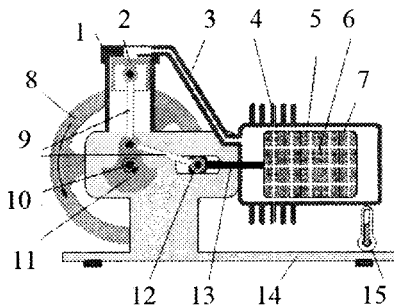


Рисунок 2.36 – Схема двигуна Стірлінга: 1 – робочий циліндр; 2 – робочий поршень; 3 – з'єднувальна трубка; 4 – оребрення; 5 – теплообмінний циліндр; 6 – поршень для витискання газу; 7 – теплоізоляція; 8 – маховик; 9, 11 – шатуни; 10 – вихідний вал; 12 – повзун; 13 – шток; 14 – корпус; 15 – джерело тепла

мірів двигуна – діаметр циліндра 4,2 м, хід поршня 1,5 м [5] (розробка Д. Еріксона, 1853 р.). Поява ДВЗ на деякий час закрила питання про удосконалювання ДС.

У 30-і рр. XX ст. фірма «Філіпс» почала розробку ДС на базі сучасних знань і досягнень техніки. Їй удалося створити двигун із замкненим циклом. Стірлінг фірми «Філіпс» має циліндр, у якому знаходиться гелій або водень під тиском 10...20 МПа. У другій половині XX ст. стірлінг знову став предметом досліджень і тепер розглядається як перспективний [3, 9].

Проблема герметизації енергії і передачі обертання вала двигуна була вирішена у 1950-х рр. за допомогою металевої діафрагми, що деформується. У 60-х рр. для ущільнення була використана діафрагма із високотемпературної гуми «вітон», що має ресурс 25 000 год при температурі 100 °С. Можливо також використання магнітних герметичних муфт [5, 8].

У 1960-80-х рр. дослідження стірлінгів розпочали великі автомобільні та електротехнічні фірми – «Дженерал моторс», «Форд», «МАН», «Дженерал електрик» і інші. Були виконані розробки ДС з ядерним і сонячним джерелами енергії для космічних апаратів. Сучасні стірлінги за технічним ККД і ресурсом не поступаються дизелям, температурні навантаження в них нижчі, ніж в газових турбінах. Крім того, в ДС при роботі на рідкому паливі використовується регенеративне нагрівання внутрішнього і зовнішнього регенераторів повітря, що надходить у камеру згоряння [7].

Окрім циклу нагрівання та регенерації можлива реалізація зворотного (холодильного) циклу Стірлінга. У 1834 р. Д. Гершель описав його теоре-

цьому одночасно вправо рухається поршень 6. Він витісняє газ з правої частини теплообмінного циліндра 5 у ліву холодну частину, що має оребрення 4. Таким чином, газ вистигає, у поршневій порожнині робочого циліндра 1 виникає розрідження, під впливом якого робочий поршень 2 піднімається вгору, після чого цикл повторюється спочатку.

ДС не могли конкурувати з паровими машинами, але, незважаючи на це, у XIX ст. в невеликих кількостях будувались малопотужні (до 5 к. с.) зразки двигунів даного типу. ДС показав себе надійним і досить ефективним. Спроба зробити ДС більшої потужності (близько 200 к. с. при 9 об/хв) виявилася невдалою, внаслідок великих роз-

тично, а в 1866 р. А. Кірк виготовив холодильну машину, в якій був реалізований зворотний цикл [5].

У 1953 р. згідно з принципом Стірлінга був створений зріджувач повітря, а пізніше – побудований ряд кріогенних машин різної продуктивності (машини Колінза і Джиффорда – Мак-Магона).

Різновидом стірлінга є вільнопоршневий двигун У. Біла. Аналогічний двигун розроблявся для апарата штучного кровообігу, торпедного озброєння і т. д.

Однією з основних переваг ДС, що змушує займатись його розробкою є «всєдність». Як і всі інші двигуни зовнішнього згоряння, він може працювати від майже будь-якого перепаду температур: наприклад, перепаду між різними шарами води в океані, від сонця, від ядерного або ізотопного нагрівача, вугільної або дров'яної печі і т. д.

Другою перевагою стірлінга є простота конструкції. Він не має в своєму складі додаткових систем, таких як газорозподільний механізм, стартер. Його характеристики дозволяють позбутися від коробки передач.

Завдяки простоті конструкції та відсутності багатьох «ламких» агрегатів стірлінг має небувалий для інших двигунів ресурс у десятки і сотні тисяч годин безперервної роботи.

У випадку перетворення на електрику сонячної енергії ККД ДС сягає 31,25% [10].

Стірлінг не має вихлопу, а значить – не шумить. Бета-стірлінг із ромбічним механізмом є ідеально збалансованим пристроєм і, при достатньо високій якості виготовлення, практично не створює вібрацій (амплітуда вібрації менша 0,0038 мм).

Сам по собі стірлінг не має якихось частин або процесів, що можуть призводити до забруднення навколишнього середовища. Він не витрачає робоче тіло. Екологічність двигуна обумовлена насамперед екологічністю джерела тепла, оскільки забезпечити повноту згоряння палива в двигуні зовнішнього згоряння простіше, ніж у ДВЗ (паливо горить постійно, без вибухів) [12].

Основним недоліком ДС є матеріалосність. У двигунів зовнішнього згоряння взагалі, і двигуна Стірлінга зокрема, робоче тіло необхідно охолоджувати, і це призводить до істотного збільшення масо-габаритних показників силової установки.

Для одержання характеристик, порівнянних з характеристиками ДВЗ, у стірлінгах доводиться застосовувати високі тиски (понад 100 атм) і особливі види робочого тіла – водень, гелій [6].

Крім цього, тепло не підводиться до робочого тіла безпосередньо, а тільки через стінки теплообмінників. Стінки мають обмежену теплопровідність, через що ККД виявляється нижчим, ніж можна було очікувати. Гарячий теплообмінник працює в дуже напружених умовах теплопередачі і при дуже високих тисках, що потребує застосування високоякісних і дорогих матеріалів. Створення теплообмінника, що задовольняв би суперечли-

вим вимогам, є досить проблематичним. Чим більша площа теплообміну, тим менші втрати тепла. Але при цьому зростають розміри теплообмінника та об'єму робочого тіла, які не повною мірою беруть участь у роботі. Оскільки джерело тепла розташоване зовні, двигун повільно реагує на зміну теплового потоку, що підводиться до циліндра, і не відразу може видати потрібну потужність при запуску [11].

Для швидкої зміни потужності ДС використовуються методи, відмінні від тих, котрі застосовувалися в двигунах внутрішнього згоряння: буферна ємність змінюваного об'єму, зміна середнього тиску робочого тіла в камерах, зміна фазового кута між робочим поршнем і витискачем. В останньому випадку реакція двигуна на керувальну дію є практично миттєвою.

Застосування стірлінгів можливо у достатньо широкому діапазоні потужностей. Вони можуть бути використані в холодильній техніці, як двигуни автомобілів, хімічних та теплових насосів, енергетичних установок різного типу, криокомпресорів і т. д. Запропонований ряд перспективних проєктів ДС різного призначення, однак поки не вдається зменшити їх розміри, спростити конструкцію і знизити вартість.

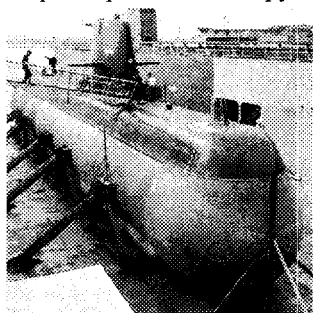


Рисунок 2.37 – Шведський стірлінг-електричний підводний човен «Готланд»

У 1988 р. шведська субмарина типу «Наккен» була переобладнана під двигун Стірлінга. З ними вона пройшла під водою більше 10 000 годин. Таким чином, саме шведи відкрили в підводному кораблебудуванні еру допоміжних анаеробних рухових установок. І якщо «Наккен» був першим дослідним кораблем цього підкласу, то субмарини типу «Готланд» (рисунок 2.37) стали першими серійними човнами з двигунами Стірлінга, що дозволяють їм знаходитися під водою безупинно до 20 діб. В наш час всі підводні човни ВМС Швеції оснащені двигунами Стірлінга [7, 9].

## 2.7 Контрольні запитання

1. Яким є принцип дії пароатмосферних машин?
2. Чим відрзнялась парова машина Д.Уатта подвійної дії від пароатмосферних машин?
3. В яких галузях використовувались парові машини Уатта, як вони удосконалювались?
4. Що собою являли парові машини подвійної дії?
5. Що собою являли прямоточні парові машини?
6. Чому в деяких галузях використання парових машин було незручним? Наведіть приклади.
7. Яким є максимальний ККД поршневих парових машин?

8. Чому практична потреба у парових турбінах виникла тільки наприкінці XIX ст.?
9. В чому різниця між активними і реактивними паровими турбінами?
10. Яким є зараз максимальний ККД парових турбін, від чого залежить його значення?
11. Як удосконалювались парові котли, на які типи їх поділяли?
12. Що відрізняє жаротрубні та водотрубні парові котли?
13. Що собою являють прямоточні парові котли, за рахунок чого забезпечується їх висока ефективність?
14. Які переваги мають двигуни внутрішнього згоряння порівняно із поршневими паровими машинами?
15. Яке робоче тіло використовувалось у перших двигунах внутрішнього згоряння?
16. Що собою являли перші практично придатні для використання на транспорті двигуни внутрішнього згоряння конструкції Г. Даймлера і К. Бенца?
17. За якими напрямками удосконалювались двигуни внутрішнього згоряння?
18. Що собою являв роторно-поршневий двигун Ф. Ванкеля?
19. Яким є принцип дії поплавкового карбюратора?
20. Чому в даний момент карбюраторні ДВЗ в основному витіснені інжекторними?
21. Які переваги мають дизельні двигуни порівняно із карбюраторними двигунами внутрішнього згоряння, в чому принципова відміна дизелів?
22. Яким є принцип дії газотурбінного двигуна?
23. На які різновиди поділяють турбореактивні двигуни, в чому між ними різниця?
24. Чому до 1930-х рр. не було передумов для створення роботоздатного і ефективного газотурбінного двигуна?
25. В яких галузях використовуються газотурбінні і турбореактивні двигуни, на яких видах транспорту їх установлюють?
26. Яким є принцип дії вільнопоршневого генератора газів, для чого він використовується?
27. Яким є принцип дії двигуна Стірлінга, які переваги він має порівняно із двигунами внутрішнього згоряння?
28. В яких галузях застосовуються двигуни Стірлінга?

## 3 РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН

### 3.1 Первинні природні джерела енергії та еволюція їх використання

**Енергетика** – галузь техніки, задачами якої є використання первинних природних видів енергії, створення та експлуатація енергетичних машин і пристроїв для перетворення і передачі енергії на відстані [5, 32].

**Енергія** – властивість, здатність до виконання механічної роботи, забезпечення хімічних перетворень або вироблення теплоти [33].

Енергетика є частиною техносфери, яка забезпечує функціонування останньої. Джерела енергії – природа і її явища: м'язова сила живих істот, сонячні промені, вітер, вода, що рухається, теплота надр Землі, згоряння палива, теплота ядерного розпаду і синтезу [27].

Названі джерела існують у природі вічно, але їх практична розробка, створення нових типів енергетичних машин і способів перетворення енергії реалізуються лише у випадку досягнення достатнього рівня розвитку фундаментальної науки, а також за наявності суспільної потреби і відповідно до неї.

Кожному етапу розвитку суспільства і виробництва відповідають свої особливості енергетики, використовувані види природних джерел енергії, типи енергетичних машин і пристроїв.

Приблизно за 400 тис. р. до н. е. людина опанувала вогнем – енергією сонця, акумульованою в біомасі (рисунок 3.1, а). Під час неоліту – 4 тисяч років до н. е. – почалась трудова діяльність людства, в процесі якої використовувалась в основному енергія самої людини (рисунок 3.1, б).

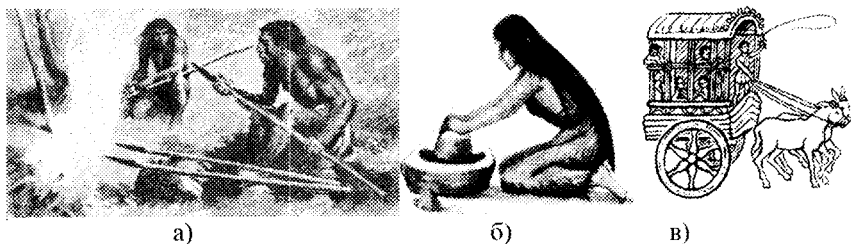


Рисунок 3.1 – Перші енергетичні джерела, освоєні людиною

За 3 тис. р. до н.е. люди почали використовувати тварин у землеробстві, а пізніше – запрягати їх у візки на колесах (рисунок 3.1, в).

На етапі існування рабовласницького ладу (на Сході даний етап тривав з кінця IV до початку II тисячоріччя до н. е., у Грузії – з V по IV ст. до н. е.) основним джерелом енергії була сила рабів [5]. Останні прокладали зрошувальні канали, осушували землі, зводили грандіозні споруди (наприклад, єгипетські піраміди), займалися ткацтвом, добували золото і т. д. (рисунок 3.2). Поширення рабської праці прискорило відокремлення ремесла

від землеробства. Рабовласники звільнилися від фізичної праці, переклали її на рабів і, таким чином, змогли зайнятись розумовою діяльністю. В результаті виникли філософія і інші науки.

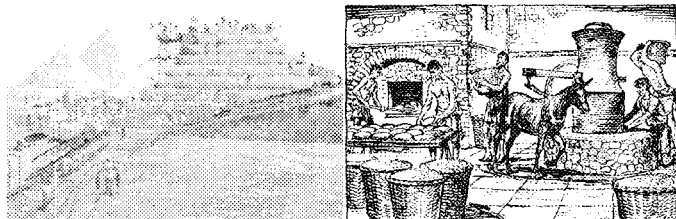


Рисунок 3.2 – Використання енергії рабів

Розвиток ремесел привів до створення перших технічних пристроїв – гончарного круга, ткацького верстата, підйомних пристроїв – блоків, водопідйомних коліс, млинів. Однак ремесло удосконалювалося на основі фізичної сили рабів і техніка виробництва залишалася на низькому рівні.

Поступово рабство зживало себе. Повстання рабів, міжусобиці, напади варварів привели до закінчення епохи «живої енергетики». На зміну рабовласницькому способу виробництва прийшли феодальні форми.

Ремісничє виробництво у феодальному суспільстві залежало від мускульної сили, уся техніка ремесла ґрунтувалася на використанні ручної праці (рисунок 3.3). Поступово з'явилися кооперація ремісників і мануфактурні підприємства (XIV – XV ст.), що викликало необхідність у нових джерелах енергії. Пошуки їх привели до широкого впровадження вітрових та водяних коліс (рисунок 3.4) [32].

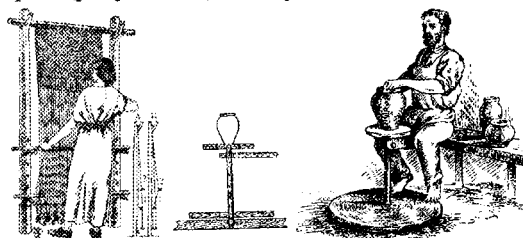


Рисунок 3.3 – Ремісничє виробництво

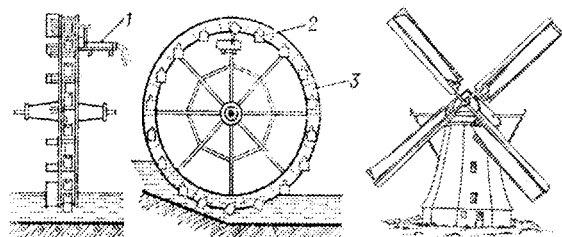


Рисунок 3.4 – Використання водяних і вітрових коліс

Енергія вітру використовувалася і значно раніше. Перші фінікійські вітрильники плавали біля східних берегів Середземного моря вже в III тисячоріччі до н. е., а розквіт вітрильних суден настав у X – XVII ст. [33].

Водяні колеса, що оберталися рабами, з III тисячоріччя до н. е.



установлювалися для підйому води на Нілі, Євфраті, Янцзи. Давні греки і римляни використовували водяне колесо як двигун для привода насосів і млинів. В II ст. водяні млини були вже достатньо поширеними. Їх будували і для виконання різноманітних сільськогосподарських робіт, наприклад, для вичавлювання олії. У Давньому Римі при імператорі Велізарії плавучі водяні колеса качали воду з Тібру. Водяні млини в Центральній Європі й Англії в VI – VIII ст. одержали помітне розповсюдження, але тільки в мануфактурний період водяне колесо стало головним двигуном у промисловості [5, 27].

Економічні зв'язки континентів, установлені в результаті великих географічних відкриттів, інтенсифікація торгівлі потребували усе більших об'ємів товарів, для чого необхідно було розширювати виробництва й оснащувати їх машинами з механічним приводом. Потреба в металі привела до розвитку гірничої справи. При цьому повинні були бути вирішені задачі піднімання добутої породи і відкачування води. Необхідність у збільшенні потужності машин привела до зростання розмірів коліс, зміни їх конструкції, появи гребель, що збільшують напір [32].

До середини XVIII ст. з'явилася велика кількість фабрик із приводом верстатів від водяних коліс. ККД водяного колеса сягав 70%. Їх експлуатували на текстильних і металообробних фабриках, залізобудівних заводах і т. д. Однак використання коліс мало свої недоліки. Насамперед, вони були тихохідними, а прискорювальні передачі ще неможливо було виготовляти. Крім того, енергію коліс можна було застосовувати не у всіх місцях. Їх установлювали в першу чергу там, де були швидкі і повноводні ріки. Шахти і кар'єри, як правило, залишалися без водяної енергії. Ряд труднощів був викликаний зміною пір року – зменшенням або збільшенням витрат води залежно від сезону, замерзанням рік.

Вітряки з'явилися пізніше млинів. У Європі про них вперше згадують в XII ст. Спочатку вітряки мали лопаті, що оберталися в горизонтальній площині і тільки в XIV – XVI ст. їх почали оснащувати вертикальними вітровими колесами [34].

Вітряк був дешевшим за водяне колесо, але кількість виробленої ним енергії залежала від мінливого енергоносія – вітру. Вітряки поширилися, в першу чергу, в районах, де не було швидких рік – у Німеччині, Україні, Голландії. Однак і вони не могли бути універсальним двигуном для промисловості.

Водна енергетика прискорила розвиток виробничих сил, але була не в змозі встигати за ними. Це порушувало питання про пошуки більш ефективного джерела енергії.

З кінця 60-х рр. XVIII ст. фабрична система потребувала нового потужного двигуна, універсального за використанням і цілком керованого. Даний двигун повинен був звільнити промисловість від прив'язки до природних джерел, дозволити створювати виробництво в будь-якому місці і, в першу чергу, поблизу родовищ викопної сировини.

Таким двигуном стала парова машина, що з'явилась на межі XVIII – XIX ст. і забезпечувала перетворення теплоти згоряння палива в енергію водяної пари, а потім у механічну роботу. Незважаючи на двоступінчасте перетворення енергії, що знижувало загальний ККД, парові установки завоювали світ і стали основним двигуном виробничих і транспортних машин у XIX ст. (рисунк 3.5). Протягом усього XIX ст. йшло поліпшення характеристик парових двигунів. Удосконалювалися котли, підвищувався тиск пари, будувалися машини багаторазового розширення, покращувався паророзподіл, підвищувався ККД установок і їх потужність. Остання у заводських машин досягла 3000 к. с., у паровозів – 1000 к. с., у суднових установок – 30000 к. с. [5, 7].

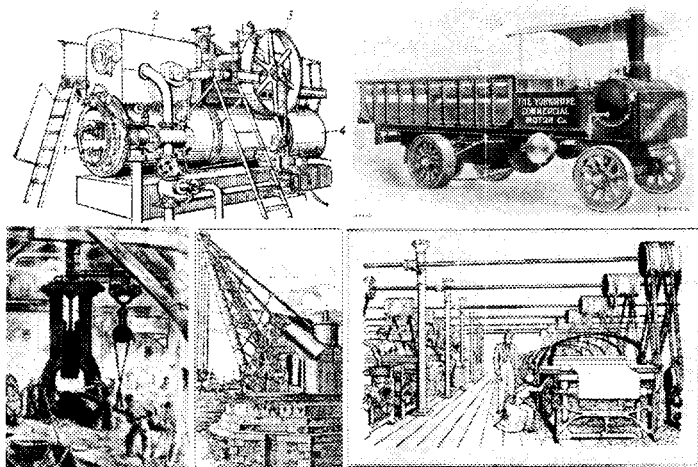


Рисунок 3.5 – Використання поршневих парових машин

У період 1830 – 1870 рр. значний розвиток знов одержали гідравлічні двигуни. Витіснення водяного колеса універсальним паровим двигуном не виключало використання енергії води там, де це було зручним. Але при цьому водяний двигун зазнав суттєвих змін: швидкість обертання збільшилась до 4 – 10 об/хв, значно зросла потужність [33].

До 90-х рр. XIX ст. груповий привід від паросилових установок з поршневими паровими машинами, складними системами пасових передач і трансмісійних валів був основою машинного капіталістичного виробництва. Однак наприкінці XIX ст. настала криза заводської енергетики з механічними розподільними системами. Вони вже не могли забезпечити подальшого якісного зростання виробництва [16].

Вихід був знайдений у переході до більш гнучкого і досконалого типу привода – електричного привода. Технічний прогрес енергетики наприкінці XIX ст. став можливий у результаті поступового накопичення наукових знань в області електромагнітних явищ. Дослідження електрики і магнети-

зму, створення теорії електрики привели до розробки генераторів електричного струму і електродвигунів. Наприкінці XIX – на початку XX ст. на базі паросилових і гідравлічних турбін, електрогенераторів, що перетворюють механічну енергію в електричну, систем передачі електроенергії й електродвигунів виникла електроенергетика. Це дозволило відокремити установки, що виробляють енергію, від її споживачів і перейти від групового привода машин до індивідуального. Потреба в передачі енергії і її розподілі викликала створення енергосистем, а потім і їх об'єднання [8].

Наприкінці XIX – на початку XX ст. зроблено новий крок до удосконалення використання енергії палива – були розроблені і почали широко впроваджуватися, особливо на транспорті – в автомобілях і літаках – двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). В них було реалізоване одноступінчатє перетворення енергії згоряння палива в механічну енергію. Внаслідок високої конструктивної досконалості ДВЗ став основним типом двигуна транспортних засобів і стаціонарних установок невеликої потужності.

Ще одним типом теплових двигунів є газові турбіни і турбореактивні двигуни, які починаючи з 40-х рр. широко використовуються на транспорті (повітряному, водному та наземному), в енергетиці та промисловості.

XX ст. ознаменовано успіхами в дослідженні атома і використанні його енергії. Роботи учених багатьох країн стали основою сучасної атомної техніки. Перша неконтрольована ядерна реакція під час вибуху атомної бомби була практично здійснена в США в 1945 р., а потім в СРСР в 1949 р. 27 червня 1954 р. в СРСР, у м. Обнинську запрацювала перша атомна електростанція – реалізована керована ланцюгова ядерна реакція. У даний час атомна енергетика бурхливо розвивається в усьому світі. На рисунку 3.6 показані енергетичні машини епохи НТР.

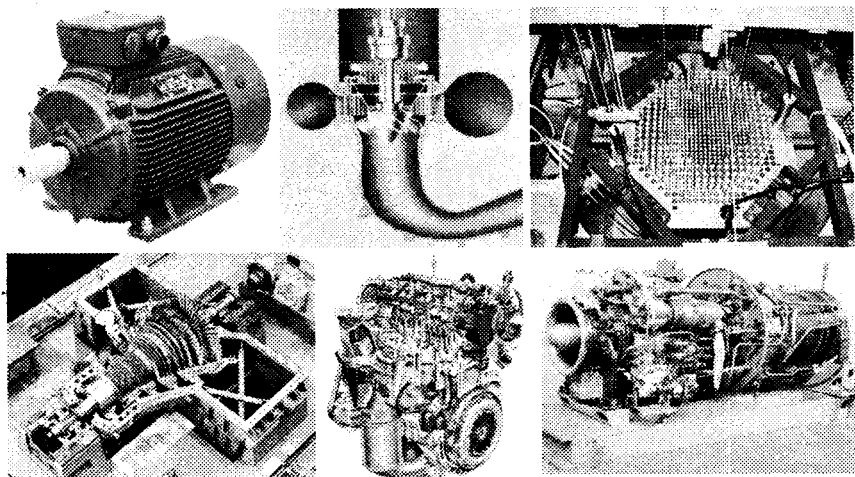


Рисунок 3.6 – Енергетичні машини епохи НТР

У ХХ ст. споживання людством енергії значно виросло. Якщо прийняти за одиницю енергоспоживання первісної людини, яка щодня витрачала  $8 \cdot 10^6$  Дж енергії, то в 1920 р. середнє світове споживання на 1 людину в день складало вже 4, а у 1980 р. – 18 одиниць. При цьому в економічно розвинених країнах воно перевищило 50, а в США досягло 104...112 одиниць [27]. Для забезпечення такого зростання постійно нарощується енергооснащеність суспільства, причому у майбутньому важливим є не екстенсивне, а інтенсивне її збільшення за рахунок удосконалення методів використання природних енергоджерел, прискорення розвитку перспективних галузей енергетики (атомної, гео- і геліоенергетики) і т. д. (рисунок 3.7)



Рисунок 3.7 – Структура світового енергоспоживання у 2008 р.

укових підстав, проте з 70-х рр. ХХ ст. проводилися всебічні дослідження довгострокових перспектив енергетики [5, 27, 33].

Було визнано, що в умовах планети з скінченними запасами неоновлюваних ресурсів і обмеженими допустимими масштабами використання поновлюваних ресурсів, зростання енергетики й енергоспоживання (як і збільшення населення планети) не можуть продовжуватися довгостроково,

а повинні поступово стабілізуватися на певному рівні. Збільшення споживання неоновлюваних запасів палива вже призвело до забруднення повітря і води, надлишку пилу і вуглекислого газу в атмосфері, зростання парникового ефекту (рисунок 3.8).

Усі види енергії, що використовуються людством, кінцево перетворюються на теплоту. Якщо ж її кількість досягне 5% від сума-

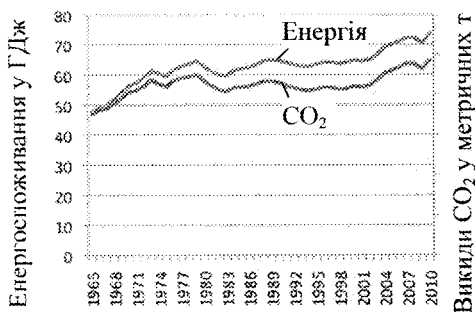


Рисунок 3.8 – Енергоспоживання і викиди  $\text{CO}_2$  на душу населення

рної енергії сонячної радіації, то можуть відбутися необоротні зміни теплового балансу і клімату планети. Виходячи з цього повинна будуватися загальна стратегія енергетичного розвитку світу і здійснюватись перехід на нову технічну і технологічну основи, що поєднують раціональне використання природних джерел енергії з енергозберігаючими й екологічно чистими технологіями [35] (рисунок 3.9).

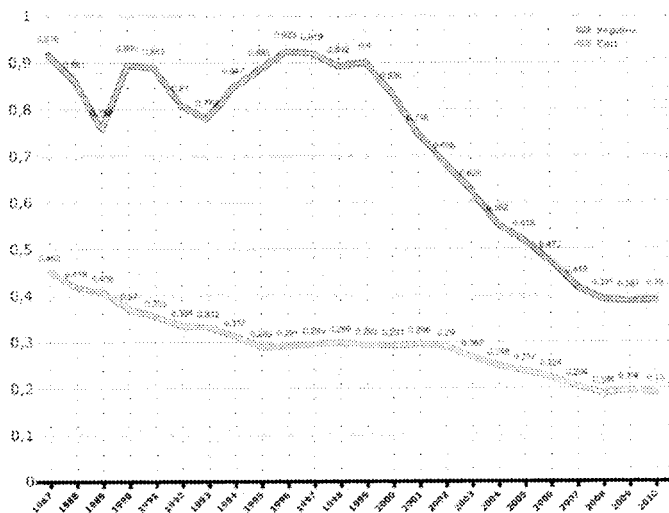


Рисунок 3.9 – Динаміка енергосмності України і Світу (у кілограмах нафтового еквіваленту на один долар ВВП)

Дослідження показали, що крім непоновлюваного органічного палива людство може використовувати практично необмежені ресурси сонячної радіації, величезні геотермальні, ядерні і термоядерні ресурси, енергію морських припливів і т. д.

Величина світових потенційних ресурсів поновлюваних природних джерел енергії (ППДЕ), принципово доступних для практичного використання, багаторазово перевищує всі перспективні потреби людства. Одночасно слід зазначити, що концентрація багатьох ППДЕ, що припадає на одиницю площі поверхні Землі, низька, тому їх розробка при існуючих технологіях потребує великих питомих витрат на одиницю встановленої потужності. Однак удосконалення технологій використання ППДЕ, корисно і виправдано, як у найближчому майбутньому, так і в перспективі [32, 35].

Вже в наш час можливе широке використання сонячної, геотермальної, вітрової, припливної енергії, а також енергії біомаси.

Час дешевої енергії закінчується. Із виснаженням легкодоступних джерел енергії вона стає все більш капіталомісткою. Це відноситься не тільки до атомної і термоядерної енергії, енергії геліо- і геотермальних джерел, але і до нафти та газу. Видобуток їх з глибинного і полярного шельфів, а

також транспортування потребують значних капіталовкладень. Конкурен-  
тностдатність технологій ППДЕ буде зростати залежно від виснаження та  
подорожчання традиційних енергетичних ресурсів, а також від темпів нау-  
ково-технічного прогресу.

Очевидно, що у XXI ст., поряд із продовженням та інтенсифікацією ро-  
зробки викопних енергоресурсів, буде зростати частка використання невичер-  
панних джерел енергії, що стануть основними в другій половині XXI ст.  
За даними світової енергетичної конференції [27] обсяги виробництва первинних енергоресурсів до 2020 р. будуть основними за своїми величинами.  
У зв'язку із вищесказаним, повинні значно збільшитися витрати на розро-  
бку технологій використання поновлюваних енергоресурсів і створення  
нового покоління енергетичних машин. Нові технології приведуть до  
утворення міжнародних енергосистем і зростання енергооснащеності люд-  
ства в цілому, до поширення використання електроенергії на виробництві,  
в побуті і на транспорті. Вирішення проблем енергетики може бути отри-  
мано лише при поєднанні удосконалювання способів одержання енергії з  
енергозберігаючими технологіями.

### 3.2 Гідроенергетика

В давніх землеробських державах за III тис. р. до н. е. на Нілі, Євфраті,  
Янцзи для подачі води на поля використовувалися плавучі водяні колеса,  
що приводили в дію раби. У I ст. до н. е. римський письменник Марк Ві-  
трувій Поліон у книзі «Архітектура» описав самодійне водопідйомне коле-  
со, яке окрім ємностей, що піднімають воду, мало лопаті, які силою води  
обертають колесо [16, 18, 33].

Пізніше водяне колесо одержало поширення в приводах млинів. Це  
відзначив історик Страбон. Від давніх греків млин перейшов до давніх ри-  
млян і з II ст. досить помітно розповсюдився. Водяне колесо стало викори-  
стовуватися для вичавлювання олії і подачі води у водопровід Риму [5].

У феодальний період історії водяні колеса поширилися в Центральній  
Європі. Перше згадування про водяний млин на р. Мозель відноситься до  
340 р. Наприкінці VI ст. млини з'явилися у Франції, у VIII ст. – в Англії  
[7].

З XI – XIII ст. водяне колесо почало використовуватися для шахтного  
водопідйому і привода технологічних машин – шаповалень, паперових та  
дробильних млинів, повітродувних міхів, лісопилень і т. п. Водяні колеса  
стають основним двигуном для мануфактурної промисловості. Ставилися  
вони не тільки на ріках. У 1044 р. на узбережжі Адріатичного моря були  
споруджені колеса, що приводились в рух енергією припливу. Пізніше во-  
ни з'явилися в Англії (Дувр, 1066 р.), Франції, Росії й Америці [4].

Поступово, у зв'язку із необхідністю підвищення ефективності водяно-  
го колеса як джерела механічної енергії відмовилися від його установа  
у вільному потоці води і перейшли до спорудження гребель, що збільшу-

ють напір води. Залежно від величини напору застосовувалися три типи водяних коліс (рисунок 3.10) [4]:

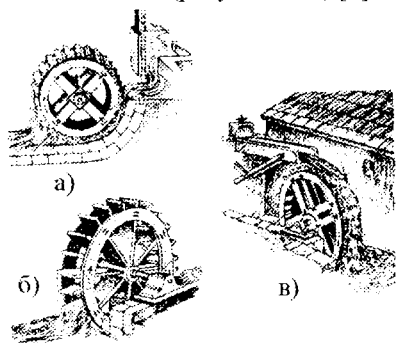


Рисунок 3.10 – Типи водяних коліс: а – середньобійне; б – нижньобійне; в – верхньобійне

Рисуюнок 3.10 – Типи водяних коліс: а – середньобійне; б – нижньобійне; в – верхньобійне

Рисуюнок 3.10 – Типи водяних коліс: а – середньобійне; б – нижньобійне; в – верхньобійне

- нижньобійні (вільні) із ККД 30...35%;
- середньобійні з ККД 60...65%;
- верхньобійні (наливні) із ККД 60...65% (при виконанні в металі – 75...80%).

Потужність коліс досягала декількох десятків кіловат, частота обертання – 10 об/хв. До XVIII ст. поступово відбувся перехід до верхньобійних коліс, що виготовлялись, в основному, з металевих елементів.

Водяні колеса приводили в дію досить складні і потужні споруди. У 1682 р. А. Де Віль і Р. Салем побудували на р. Сені в Парижі установку з 13 коліс діаметром 8 м і загальною шириною 34 м. Колеса приводили в дію 235 поршневих насосів продуктивністю 3000 м<sup>3</sup> води за добу з напором 163 м для живлення фонтанів Версаля і Марлі (рисунок 3.11) [5].

Потужну гідротехнічну споруду побудував у 1783 – 1789 рр. К. Фролов на алтайських Колівано-Воскресенських рудниках. Воно включало греблю

висотою 17,5 м і довжиною 128 м, а також колеса діаметром 4,3 і 17 м, що приводили в дію лісопилну раму, машину для підйому руди з глибини 102 м і насоси для відкачування води з глибини 213 м (рисунок 3.12) [4].

В усті р. Клайд (Шотландія) на папіропрядильні працювало металеве колесо діаметром більше 21 м і шириною 4 м [5].

Незважаючи на окремі успіхи в створенні і використанні

станні водяних коліс, назрівала енергетична криза, пов'язана з розбіжністю місця розташування джерел гідралічної енергії і сировини з промисловими підприємствами, рудниками і шахтами. Розвиток виробництва потребував потужного, універсального і керованого джерела енергії, що могло бути легко доставлене до місця використання і дозволило б звільнити проми-

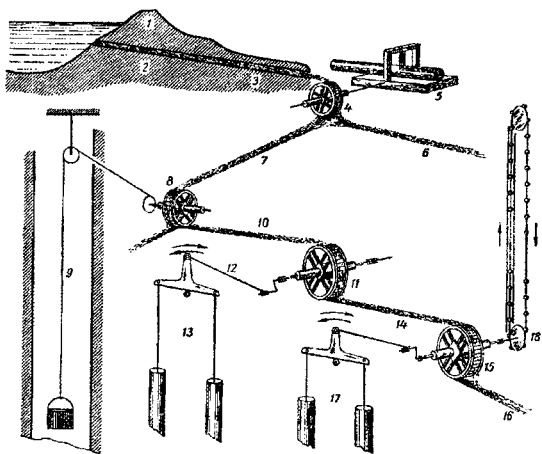


Рисунок 3.12 – Гідротехнічна споруда К. Фролова

машин підвищилися і привод від звичайних водяних коліс вже не відповідав вимогам. Технічні параметри гідродвигуна – число обертів, потужність та інші – потрібно було також поліпшувати.

У XVII ст. з'явилось горизонтальне водяне колесо з ківшоподібними лопатями – прообраз активної турбіни. Швидкість його була вищою, ніж у звичайного колеса. У 1832 р. за ініціативою К. Бюрдена гідравлічні двигуни даного типу почали називати «турбінами». Упродовж XVII – XIX ст. розроблялись та удосконалювались активні і реактивні, радіальні, осьові та комбіновані гідротурбіни з все більшими ККД, потужністю та швидкістю обертання. У 1838 р. Ж. Понселе опублікував теорію турбін, що послужило поштовхом для створення нових конструкцій [5].

У 1880 р. професор Фінк запропонував радіальний напрямний апарат з поворотними лопатями для підвищення ефективності регулювання витрат води. Для великих напорів води в 1880 р. А. Пельтоном була спроектована активна ківшова турбіна (робочий напір води до 1800 м) [5, 32].

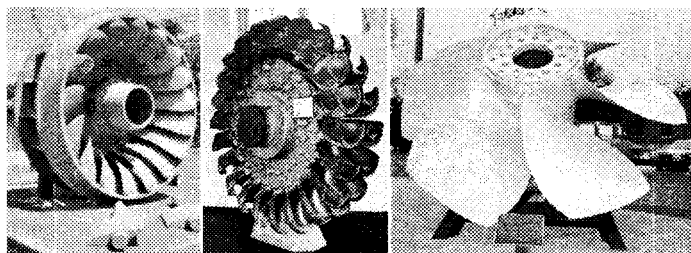
Таким чином, в результаті удосконалення гідравлічних турбін у 1871 – 1900 рр. і створення електрогенераторів, з'явилась можливість розпочати будівництво гідроелектростанцій (ГЕС). Останнім кроком в поліпшенні конструкції гідротурбін була розробка В. Капланом у 1912 р. осьової реактивної турбіни пропелерного типу з поворотними лопатями. На рисунку 3.13 зображені основні типи гідротурбін [31, 33].

В наш час широко використовуються поворотно-лопатеві і пропелерні апарати. Прикладом перших можуть бути турбіни Саяно-Шушенської ГЕС, що мають при напорі 220 м і частоті обертання 93,8 об/хв потужність 720 МВт і ККД 95,8% [5, 27].

словість від прив'язки до рік. Дана задача була вирішена зі створенням парового двигуна.

Втративши своє монопольне положення джерела енергії, водяне колесо та гідроенергетика зберегли свої переваги там, де це дозволяли природні умови. За ККД і вартістю експлуатації гідродвигун був набагато вигіднішим парового, тому що не потребував витрат на паливо. Згодом продуктивність і число обертів технологічних





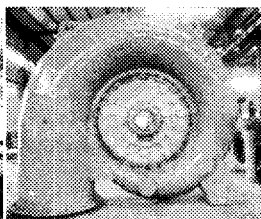
а)

б)

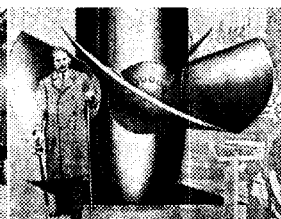
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.13 – Типи гідротурбін: а – радіально-осьова (Френсіса); б – ковшова активна (Пельтона); в, г – діагональні; д – зі спіральним напрямним апаратом; е – поворотно-лопатєва (Каплана)

Гідротурбіни є основою ГЕС, будівництво яких обумовлено такими факторами [5]:

- собівартість гідроенергії в 10 разів нижча за собівартість енергії теплоелектростанцій (ТЕС);

- гідроресурси постійно природно відновлюються;

- висока маневреність ГЕС (малий час пуску в дію).

Разом з цим ГЕС мають і недоліки:

- висока вартість та велика тривалість спорудження зі значним обсягом земляних бетонних робіт;

- вплив на навколишнє середовище (затоплення земельних територій і утворення водоймищ);

- залежність продуктивності від водності потоку і її сезонних змін.

Незважаючи на вказані недоліки, ГЕС будуються в усьому світі. На рисунку 3.14 подано поперечний розріз греблі ГЕС.

У 1932 р. була споруджена перша велика ГЕС на території України – Дніпрогес (рисунок 3.15), з установленою потужністю 560 МВт. У результаті будівництва греблі були затоплені дніпровські пороги, що забезпечило судноплавство по всьому Дніпру. Гребля електростанції утворює Дніпровське водоймище. На той час це була найбільша гідроелектростанція СРСР. До складу гідровузла входять: будівля ГЕС довжиною 236 м і шириною 70 м, розташована на правому березі, з машинною залом, у якій розміщені 9 радіально-осьових гідроагрегатів [27] (шість гідроагрегатів РО45-В-545 з



Рисунок 3.14 – Поперечний розріз рівнинної ГЕС пригребельного типу



Рисунок 3.15 – Дніпрогес

потужністю турбін 73,6 МВт, частота обертання турбін 83,3 об/хв, виготовлені Харківським ВАТ «Турбоатом» у 1997 – 2002 рр.); щитова стінка довжиною 216 м, водозливна криволінійна гребля довжиною по гребеню 760 м, найбільшою будівельною висотою 60 м; глуха гребля довжиною по гребеню

251 м. ГЕС автоматизована, обладнана телекеруванням, телевимірюванням і телесигналізацією основного устаткування. Напірний фронт довжиною 1200 м утворює Дніпровське водоймище. У 1969 було розпочато розширення гідровузла будівництвом Дніпрогесу II потужністю 828 МВт, що у комплексі із судноплавним шлюзом було закінчено до 1975 р.

Після Дніпрогесу був споруджений цілий каскад ГЕС на Дніпрі, що включає також Київську (408,5 МВт), Капівську (444 МВт), Кременчуцьку (625 МВт), Дніпродзержинську (352 МВт, довжина напірного фронту греблі – 36,5 км) і Каховську (351 МВт) ГЕС [27, 33].

Із середини ХХ ст. загальною тенденцією гідроенергетики є збільшення потужності ГЕС (потужності агрегатів, довжини греблі і напору води). Створені Льюїстонська ГЕС на Ніагарі (2170 МВт), ГЕС Даллес на ріці Колумбія (1716 МВт). В СРСР закінчено спорудження каскаду Волзьких

ГЕС загальною потужністю 7150 МВт, на Ангари і Єнісеї (Іркутська – 660 МВт, Братська – 4500 МВт, Усть-Ілімська – 4320 МВт, Красноярська – 6000 МВт, Саяно-Шушенська – 6400 МВт). Гребля останньої мала висоту 220 м і довжину 1066 м [32].

Найбільшими на даний момент електростанціями розглядуваного типу є ГЕС Санься (рисунок 3.16) у Китаї на р. Янцзи (потужність 22,4 ГВт), а

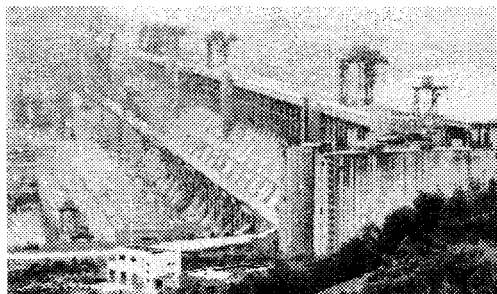


Рисунок 3.16 – ГЕС Санься

також ГЕС Ітайпу на р. Парана, що належить Бразилії та Парагваю (сумарна потужність – 14 ГВт, довжина – близько 8 км, висота – 196 м, ширина біля основи – 400 м).

Висота греблі ГЕС Санься – 185 м, довжина – 2309 м, середньорічне вироблення електроенергії – близько 100 млрд кВт·год, вартість будівництва – 24 млрд доларів. У трьох будинках ГЕС

розміщені 32 радіально-осьових гідроагрегати потужністю по 700 МВт, що працюють при максимальному напорі 113 м. Напірні споруди ГЕС утворюють велике водоймище, при створенні якого були затоплені 27820 га оброблюваних земель, переселено близько 1,2 млн чоловік. Під воду пішли міста Ваньсянь і Ушань.

Крім річкових ГЕС будуються і гідроакумулюючі станції (ГАЕС) [5]. Їх призначення – покриття піків навантажень в енергосистемах. ГАЕС має оборотні гідроагрегати, що можуть працювати як насоси і як гідрогенератори. У період малого навантаження в енергосистемі вони накачують воду у верхній б'єф (басейн), а під час піків навантаження спрацьовують, віддаючи енергію в систему. За рубежом ГАЕС почали створювати в 60-х рр. В СРСР перша подібна станція стала до ладу в 1972 р. – ГАЕС з напором 70 м у складі Київського гідровузла. Потужність Київської ГАЕС (рисунок 3.17) – 225 МВт. На ній

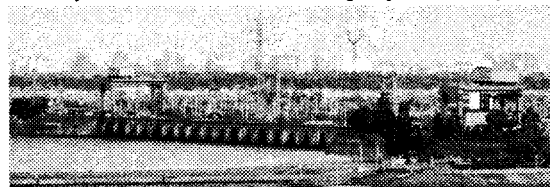


Рисунок 3.17 – Київська ГАЕС

ній встановлено 6 гідроагрегатів по 33 МВт. Нижній б'єф – Київське водоймище, верхній – штучний басейн об'ємом 3 млн м<sup>3</sup>. Час роботи на повну потужність – 3 год,

час пуску – 1...1,5 хв [32, 33].

В ряді країн, наприклад, в Італії, Швеції, Норвегії, Франції, Швейцарії, Канаді на частку ГЕС припадає значна частка вироблюваної електроенергії. У Норвегії і Швеції вона перевищує 90%. У США в 1974 р. використо-

увалось близько 40% запасів річкової гідроенергії, в Канаді – 74%, Франції – 70%, у середньому в країнах Європи – близько 40%. В Україні можливості для нарощування гідроенергетичного потенціалу практично вичерпані [27, 34].

Поряд з експлуатацією гідроресурсів рік існують можливості для використання припливної енергії морів і океанів. З цією метою споруджуються припливні гідроелектростанції (ПЕС) (рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 – Різновиди сучасних ПЕС

Гребля ПЕС під час припливу і відпливу почергово пропускає воду в затоку і назад у море. Гідроагрегати станції виробляють електроенергію як під час припливу, так і відпливу. Перша у світі велика ПЕС потужністю 240 МВт була побудована у 1967 р. у Франції біля устя ріки Ранс. Вартість виробленої енергії станції в 2,5 рази вища за вартість енергії звичайної ГЕС аналогічної потужності [32].

### 3.3 Вітроенергетика

Енергія вітру використовувалася вже за 3000 років до н. е. для приведення в рух вітрильників у Єгипті і Китаї. Ймовірно в той же самий час були побудовані перші вітряки. Використовувались на рівнинній місцевості з переважно незмінним напрямком вітру. В середньовічному рукописі 1270 р. [20, 29] зберігся опис подібних пристроїв.

У Європі вітряні двигуни з'явилися в XII ст. – у 1105 р. був виданий дозвіл монастирю на побудову вітряка. Але знайомий нам вигляд – колесо з лопатями, що обертається у вертикальній площині (рисунок 3.19) – вітряки отримали значно пізніше. Особливо широко подібні пристрої «класичної» схеми використовувались в Голландії для приводів водяних насосів осушення низовин. Вітряні двигуни розповсюджувалися в першу чергу там, де не було рік і не можна було поставити водяне колесо – на рівнинах Німеччини, Італії, України, Голландії. Удосконалювання лопатевих вітряків привело до появи конструкцій двох типів – козлового і шатрового. У машини козлового типу вся вежа повертається на опорному стовпі. В шатровій конструкції, більш стійкій і надійній,

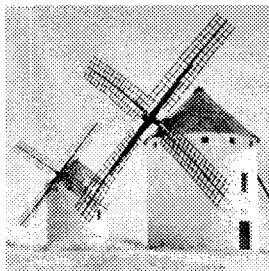


Рисунок 3.19 – Вітряки

вежа нерухома, а повертається верхня частина – намет з вітровим колесом. Звичайно козлові вітряки мають колесо діаметром 8...10 м і потужність до 6 к. с. Шатрові – колесо до 25 м і потужність до 25 к. с. [34].

У зв'язку з тим, що сила вітру змінюється протягом доби і сезону, вітряки як привод придатні лише для незалежних робочих механізмів. Проте, і в ХХ ст. вони експлуатувалися досить широко. Так, у Росії в 1914 р. працювало 250000 селянських вітряків загальною потужністю близько  $1,4 \cdot 10^6$  кВт. У 20 – 30-і рр. М. С. Жуковським була розроблена теорія вітродвигунів [5].

В роки, що передували Великій Вітчизняній війні, в СРСР широко використовувалися багатолопатеві вітродвигуни з діаметром колеса до 18 м і потужністю до 30 кВт. У зв'язку з електрифікацією села в 60-х рр. виробництво вітрової енергії в СРСР в основному припинилося. Енергетична криза 70-х рр. примусила повернутися до вітродвигунів [34].

Сучасні вітрогенератори (рисунок 3.20) працюють при швидкостях ві-

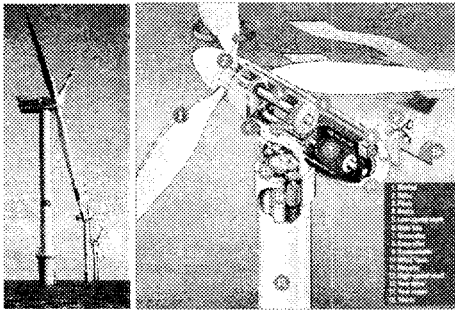


Рисунок 3.20 – Загальний вид та будова вітрогенератора: 1 – лопаті; 2 – ротор; 3 – поворот лопат; 4 – гальмо; 5 – тихохідний вал; 6 – редуктор; 7 – генератор; 8 – контролер; 9 – анемометр; 10 – флюгер; 11 – гондола; 12 – швидкохідний вал; 13 – привод поворота; 14 – електродвигун поворота; 15 – вежа

ру від 3 – 4 м/с до 25 м/с. Потужність вітрогенератора залежить від площі, що займається лопатями генератора. Наприклад, турбіни потужністю 3 МВт (V90) виробництва данської фірми Vestas мають загальну висоту 115 метрів, висоту вежі 70 метрів і діаметр лопатей 90 метрів.

У 2004 р. німецька компанія REpower Systems побудувала свій вітрогенератор потужністю 5,0 МВт. Діаметр ротора цієї турбіни 126 м, вага гондоли – 200 тонн, висота вежі – 120 м. Наприкінці 2005 р. фірма Enercon створила вітрогенератор потужністю 6,0 МВт. Діаметр його ротора склав 114 метрів, висота вежі 124 метра. Компанія Clipper Windpower розробляє

вітрогенератор потужністю 7,5 МВт для офшорного застосування [34].

Компанія Magenn розробила апарат легшим за повітря з установленим на ньому вітрогенератором. Апарат піднімається на висоту 120 – 300 метрів. Немає необхідності будувати вежу і займати землю. Апарат працює в діапазоні швидкостей вітру від 1 м/с до 28 м/с і може переміщатися у вітряні регіони або швидко встановлюватися в місцях катастроф [34].

Найбільше поширення у світі одержала конструкція вітрогенератора з трьома лопатями і горизонтальною віссю обертання, хоча подекуди ще зустрічаються і дволопатеві.

Найбільш перспективними місцями для виробництва енергії з вітру вважаються прибережні зони. У морі, на відстані 10 – 12 км від берега будуються офшорні вітряні електростанції. Вежі вітрогенераторів встановлюють на фундаменти з палів, забитих на глибину до 30 метрів [34].

Можуть використовуватись й інші типи підводних фундаментів, а також платформи, що плавають. Перший прототип вітряної турбіни, що плаває, побудований компанією H Technologies BV у 2007 р. Вітрогенератор потужністю 80 кВт встановлений на платформі, у 10,6 морських милях від берега Південної Італії. У червні 2009 р. компанії Siemens AG і норвезька Statoil оголосили про встановлення першої у світі комерційної вітроенергетичної турбіни, що плаває, потужністю 2,3 МВт [34].

Найбільш перспективними для розвитку малої вітроенергетики вважаються регіони з вартістю електроенергії більшою \$0,1 за кВт·год. Собівартість електроенергії, виробленої малими вітрогенераторами в 2006 р. у США складала \$0,10-\$0,11 за кВт·год. Очікується, що в найближчі 5 років собівартість знизиться до \$0,07 за кВт·год [34].

У 2010 р. сумарні потужності вітряної енергетики вирости в усьому світі до 170 ГВт. У 2007 р. вітряні електростанції світу виробили близько 200 млрд кВт·год, що складає приблизно 1,3% світового споживання електроенергії. Загальносвітова зайнятість в індустрії вітроенергетики у 2008 р. складала 400 тисяч чоловік, а ринок устаткування для розглядуваної галузі виріс до 36,5 мільярдів євро [34].

На рисунку 3.21 показано розподіл потужностей вітрогенераторів по частинах світу.

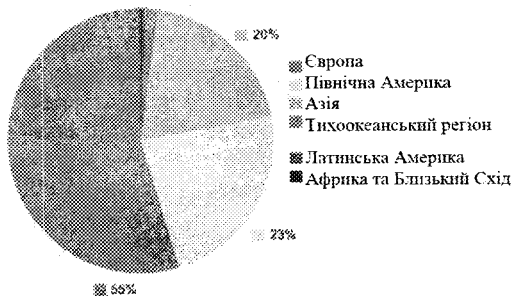


Рисунок 3.21 – Розподіл потужностей вітрогенераторів по частинах Світу

Країни Євросоюзу у 2005 р. виробили з енергії вітру близько 3% споживаної електроенергії. Для Данії цей показник складає 18,3%, для Німеччини – 6,2%, для Індії – 3%, для США – 1% [34].

Португалія й Іспанія в деякі дні 2007 р. з енергії вітру виробляли близько 20% електроенергії. 22 березня 2008 р. в Іспанії з енергії вітру було вироблено 40,8% всієї електроенергії країни. Нарощуються потужності ВЕС України та інших країн СНД (рисунок 3.22) [34].

Проте, сучасні ВЕС поки що не конкурентоздатні з електростанціями, в яких розробляються інші види джерел енергії. Необхідно підвищувати

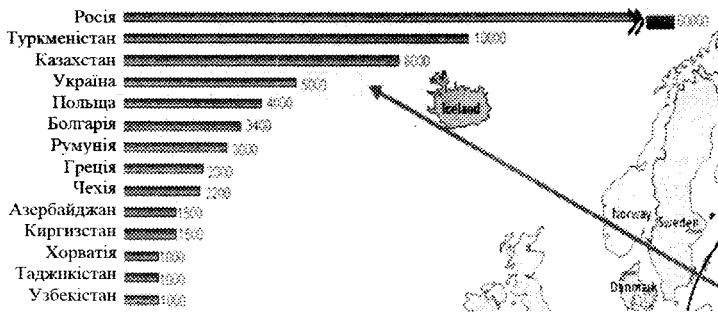


Рисунок 3.22 – Виробництво вітроелектроенергії деякими країнами СНД та Європи

ККД вітродвигунів, знижувати їх металоємність і вирішувати проблему акумулювання енергії [5].

### 3.4 Геотермальні енергетичні джерела

Людство вже дуже давно знайомо з виверженнями вулканів, гарячими джерелами води і гейзерами. За різними підрахунками, температура в центрі Землі становить, мінімум, 6650 °С. Швидкість остигання Земля приблизно дорівнює 300 – 350 °С у мільярд років. Земля містить  $42 \cdot 10^{12}$  Вт тепла, з яких 2% утримується в корі і 98% – у мантії і ядрі. У зв'язку із цим, температура в шахтах і свердловинах зі збільшенням глибини на 30 м зростає приблизно на 1°С. Є райони, в яких вказане зростання ще більше – до 2-х і більше градусів. У районах вулканічної активності глибини, що мають температуру в 200...300 °С, відносно невеликі [32]. Сучасні технології не дозволяють досягти тепла, що знаходиться занадто глибоко, але і 840 000 000 000 Вт (2%) доступної геотермальної енергії можуть забезпечити потреби людства на довгий час. Області навколо країв континентальних плит є найкращим місцем для будівництва геотермальних станцій, тому що кора в таких зонах набагато тонша.

У світі відомо чотири типи родовищ глибинної теплоти [5]:

- парогідротерми – родовища пари і пароводяної суміші, що самовиливається;
- гідротерми – родовища гарячої води, що самовиливається;
- термоаномальні зони з підвищеним температурним градієнтом;
- петрогеотермальні зони з нагрітими до високих температур сухими гірськими породами розташовуються в районах вулканічної активності.

В даний час розробляються в основному перші два типи родовищ. При температурах води або пари більших 150 °С вони застосовуються для вироблення електроенергії (ГеоТЕС), при 30...150 °С – як джерела теплоти.

Перевагами геотермальної енергії можна вважати практичну невичерпність ресурсів, незалежність від зовнішніх умов, часу доби і року; можли-

вість комплексного використання термальних вод для потреб теплоелектроенергетики (постачання гарячої води, тепла, вироблення електроенергії), а також медицини. Недоліками її є висока мінералізація термальних вод більшості родовищ і наявність токсичних сполук металів, що унеможливує в більшості випадків скидання термальних вод у природні водойми. Крім цього, значною проблемою є необхідність зворотного закачування відпрацьованої води в підземний водоносний горизонт.

Відомо, що в Давньому Римі гаряча вода в терми Каракалли підводилася з-під землі (рисунок 3.23).

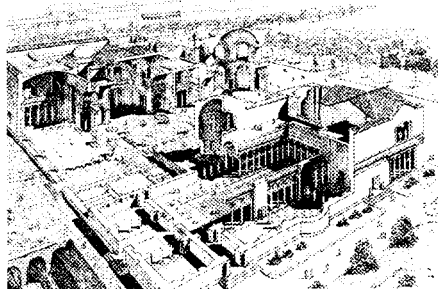


Рисунок 3.23 – Терми Каракалла у Давньому Римі

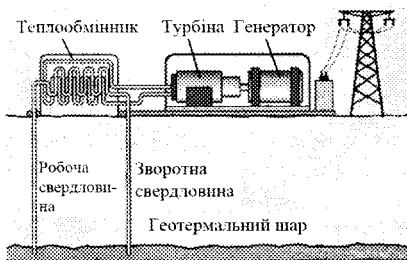


Рисунок 3.24 – Схема ГеоТЕС



Рисунок 3.25 – Ісландська ГеоТЕС

Перша енергетична установка, в якій теплота підземної водяної пари перетворювалась у електроенергію, була побудована в м. Лардерелло (Італія) в 1904 р. У 50-х роках ГеоТЕС в Лардарелло мала потужність 274 тис. кВт і споживала за годину 3000 т пари тиском 0,5 МПа при температурі 200 °С зі свердловин глибиною 150...300 м [5]. Схема ГеоТЕС показана на рисунку 3.24. Аналогічні електростанції працюють у багатьох країнах.

Підземна енергія застосовується і для теплопостачання. Наприклад, в Ісландії м. Рейк'явік опалюється тільки за рахунок підземної теплоти (рисунок 3.25) [3, 5].

Наприкінці 2008 р. загальна потужність ГеоТЕС світу складала 10,5 млн кВт [34].

В багатьох країнах розвідані значні запаси термальних вод, широкі термоаномальні зони, але освоєння їх енергії потребує значних проектно-конструкторських робіт і великих матеріальних витрат.

### 3.5 Геліоенергетичні джерела

Сонце – найдавніше джерело енергії, відоме людині. Своїм існуванням усе живе на Землі зобов'язане Сонцю. Людство використовує його енергію, сконцентровану в їжі й органічному паливі.

Потік променевої енергії, що падає на Землю протягом року, становить приблизно  $1,6 \cdot 10^{18}$  кВт-год, що в 13000 разів більше сучасного світо-



вого енергоспоживання за цей же період [5]. Однак, на відміну від викопних палив і геотермальної енергії, сонячне випромінювання не може акумулюватися та зберігатися. Реалізований на початку XXI ст. внесок геоенергетики в загальний обсяг енерговиробництва мізерно малий, тому що донедавна вважалося більш доцільним використання енергії води, нафти, газу, вугілля і ядерного палива. Це пов'язано з тим, що щільність сонячного випромінювання досить низька – у середньому  $0,25 \text{ кВт/м}^2$  біля земної поверхні. Крім цього, слід врахувати нерегулярність надходження енергії, що обумовлено залежністю її величини від погоди (хмарності, температури), а також часу доби і географічної широти, на якій розташовуються сонячні генератори (рисунк 3.26) [5].

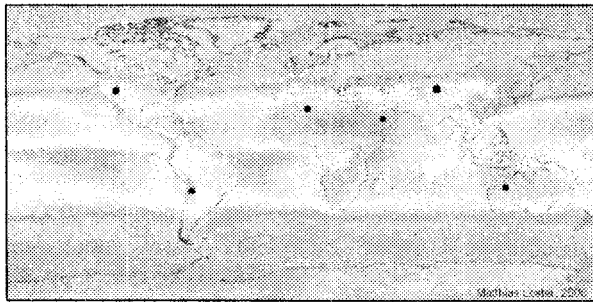


Рисунок 3.26 – Зміна питомої потужності сонячного випромінювання на поверхні Землі

Сонця звуки. У XVIII ст. німець А. Кірхер пояснив це явище нагріванням сонячними променями повітря в порах каменю. Повітря розширювалося і виходило через пори назовні, викликаючи звуки [5, 8].

За свідченням Плутарха при облозі Сіракуз Архімед за допомогою великої кількості металевих дзеркал, що концентрували сонячне світло, спалив частину римського флоту з 65 галер на відстані польоту стріли – близько 200 м (рисунк 3.27). У 1973 р. дане свідчення було перевірено грецькими фізиками під керівництвом І. Саккаса. 70 чоловік з відполірованими мідними щитами направили «сонячні зайчики» на макет давньоримського корабля, який миттєво спалахнув. Очевидно, Плутарх описав реальну подію.

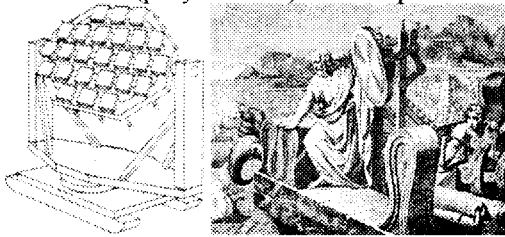


Рисунок 3.27 – Використання Архімедом металевих запалювальних дзеркал

Багато століть людина використовувала сонячне тепло для сушіння овочів, фруктів, деревини, випарювання солі з води.

В одній з давньостипетських легенд XV ст. до н. е. розповідається про статую фараона Аменхотепа III і кам'яного птаха, що видавали при сході

Сонця звуки. Пізніше почалися розробки пристроїв, в яких соняч-

на енергія використовувалась для одержання пари, що служила робочим тілом. У 1615 р. француз С. де Ко винайшов сонячний насос. У 1833 р. американець Д. Еріксон побудував повітряний двигун з параболоциліндричним концентратором сонячних променів для підігріву. У цей же час А. Піфф створив паровий двигун потужністю 0,5 кВт із концентратором площею  $10 \text{ м}^2$ . Аналогічну установку з параболічним дзеркалом у 1860 р. розробив та реалізував Огюст Мушо. Пізніше (у 1866 р.) він створив сонячну насосну установку, піч для варіння їжі, а в 1878 р. – сонячний холодильник. Перший плоский колектор сонячної енергії був побудований Ш. Тельсром. Його робоча площа складала  $20 \text{ м}^2$ , робочим тілом був аміак, від колектора приводився в дію поршневий двигун. У 1860 р. професор Цераський у Москві плавив метал в фокусі параболічного дзеркала при температурі більше  $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ . У 1871 р. в Чилі американець Ч. Уілсон побудував велику геліоустановку для дистиляції води. У 1885 р. була запропонована сонячна установка для водопостачання з колектором, установленим на даху. У подальшому було зроблено ще ряд винаходів в області геліотехніки, однак в системі енергетики до 2-ї половини ХХ ст. вона практично не використовувалася [9, 10].

Головні напрямки сучасної наземної геліоенергетики – електропостачання невеликих виробництв і задоволення побутових потреб у зонах віддалених від енергосистем та систем теплопостачання (рисунок 3.28). Створення великомасштабної геліоенергетики все ще віддалена мета.

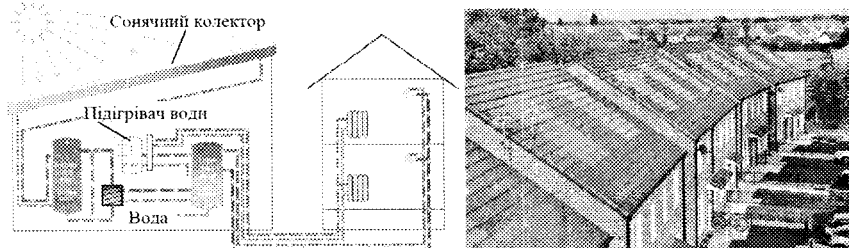


Рисунок 3.28 – Мала геліоенергетика

Автономні сонячні установки для постачання теплом останнім часом отримують все більш широке розповсюдження. Так, в Японії водою, підігрітою Сонцем, користуються близько 5 млн чоловік. В Ізраїлі 800 тис. будинків обладнані сонячними водонагрівачами, основним елементом яких є плоскі колектори з ККД до 50%, що забезпечують нагрівання до  $50 - 55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Термін служби колекторів 30...40 років. Аналогічні установки діють в США, на Кубі і в інших країнах [5, 7].

Сонячні електростанції (СЕС) (рисунок 3.29) перетворюють концентровану теплову сонячну енергію у водяну пару, яка забезпечує обертання турбогенератора. Станції обладнуються акумуляторами теплоти і системами автоматичного керування.

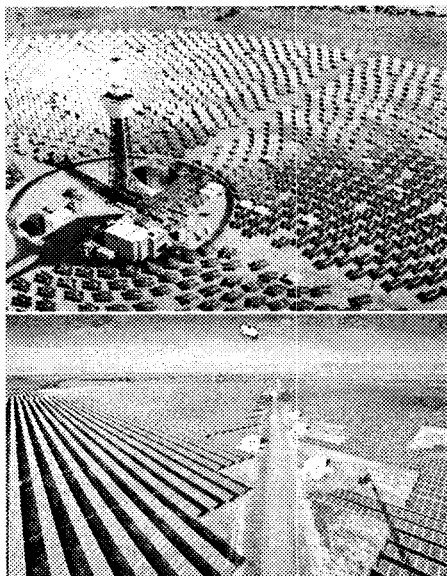


Рисунок 3.29 – Сучасні СЕС

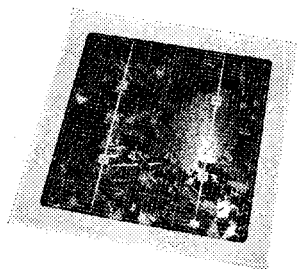


Рисунок 3.30 – Сонячна батарея на основі полікристалічного кремнію

елементів у світі ціна електрики, виробленої сонячними батареями (СБ), зменшується на 20 – 30% [34].

Вперше сонячні батареї були використані у 1958 р. для енергопостачання космічних апаратів – третього радянського супутника Землі й американського супутника «Авангард». В космосі сонячне випромінювання є єдиним постійним джерелом енергії для супутників і кораблів. Потужність СБ досягає десятків кіловат, у перспективі – сотень кіловат [5].

Перші СБ мали ККД 4...6%. Значні досягнення в технології їх виготовлення дозволили суттєво підвищити цей показник. Російські дослідники

У СРСР перша СЕС потужністю 5 МВт була введена в дію в Криму в 1985 р. В останні роки в Криму споруджені і стали до ладу СЕС у Перово і Охотніково потужністю відповідно 100 і 80 МВт – одні з найпотужніших в світі.

Особливо перспективним слід вважати використання фотоелектричних перетворювачів – сонячних батарей (рисунок 3.30). Хоча фотоелементи були відомі ще в XIX ст., потужні перетворювачі світлової енергії в електричну стали можливими зі створенням наприкінці 40-х рр. XX ст. напівпровідників. Великий внесок у їх розробку зробив академік А. Ф. Йоффе [5].

Батареї складаються з елементів, що послідовно або паралельно з'єднуються у групи для одержання необхідної сили струму і напруги. Батарея площею 1 м<sup>2</sup> генерує до 100 Вт·год енергії [5].

Якщо в 1985 р. встановлена потужність фотоелементів світу складала 21 МВт, то за один тільки 2006 р. було встановлено 1744 МВт, що на 19 % більше, ніж у 2005 р. Динаміку зростання встановленої потужності СЕС світу ілюструє діаграма на рисунку 3.31. Розподілення цієї потужності між країнами показано на рисунку 3.32 [3].

Слід також взяти до уваги, що у випадку подвоєння встановленої потужності фотоелементів

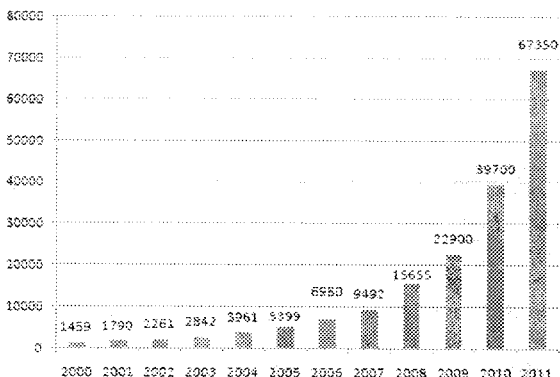


Рисунок 3.31 – Зростання встановленої потужності СЕС світу, МВт

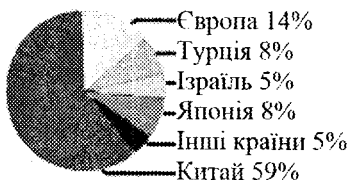


Рисунок 3.32 – Розподілення встановленої потужності СЕС між країнами

зельні електростанції, оскільки у випадку їх впровадження зменшуються витрати на будівництво й експлуатацію ЛЕП [5, 9].

### 3.6 Енергія біомаси

Людство навчилося використовувати біогаз давно. У I тисячорічч до н. е. на території сучасної Німеччини вже існували примітивні біогазові установки. Алемани, що населяли заболочені землі басейну Ельби, додумалися шити зі шкіри тенти, накривати ними болото, відводити газ по шкіряних трубах до свого житла і спалювати його для готування їжі.

До складу біогазу входять: метан – 50 – 87%,  $\text{CO}_2$  – 13 – 50%, крім цього, є незначні домішки  $\text{H}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$ . Після очищення біогазу від  $\text{CO}_2$  отримують біометан, який є повним аналогом природного газу, відмінність тільки в походженні [6].

Перелік органічних відходів, придатних для виробництва біогазу: гній, пташиний послід, зернова і мелясна післяспиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, фекальні осади, відходи рибних і забійних цехів, трава, побутові відходи, відходи молокозаводів (солоня і солодка молочна сироватка), відходи виробництва біодизелю – технічний гліцерин – при вироб-

важають, що ККД СБ може бути збільшений до 93% (СБ на каскадних гетероструктурах) при значному зниженні вартості елементів. Це зробить доцільним їх використання і в наземних умовах при наближенні ефективності СБ до ефективності теплових електростанцій. Існують пропозиції щодо створення космічних геостанцій, але проблемою залишається

їх висока вартість, а головне – доставка енергії на Землю [5].

Наприкінці ХХ ст. у більш ніж 70 країнах були прийняті програми розвитку геоенергетики. Лідером в даній галузі стала Швейцарія, де невеликі геоеустановки працюють паралельно з загальною електромережею. Очікується, що в Європі СБ почнуть в окремих районах витісняти дизельні електростанції, оскільки у випадку їх впровадження зменшуються витрати на будівництво й експлуатацію ЛЕП [5, 9].

нигтві біодизелью з рапсу, відходи виробництва соків – макуха фруктовая, ягідна, овочева, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю і патоки – мезга і сироп, відходи переробки картоплі.

У розвинених країнах маса сухих органічних відходів життєдіяльності на 1 людину за рік складає 5 т. Загальна маса відходів сягає 3,2 млрд т за рік, у тому числі в США – 1 млрд т. При цьому на частку міських відходів припадає 25%, сільгоспвиробництва – 75%, у тому числі, тваринництва – 25%. Переробка органічних відходів у газ і рідке паливо дає за рік 180 млн т умовного палива. При цьому комплексно вирішуються проблеми екології, ліквідації відходів і одержання палива [5, 6].

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду використовуваної сировини. З тонни гною великої рогатої худоби виходить 50 – 65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану – 60%, 150 – 500 м<sup>3</sup> біогазу з різних видів рослин з вмістом метану до 70 %. Максимальну кількість біогазу – 1300 м<sup>3</sup> з вмістом метану до 87% – можна одержати з жиру [10].

Виробництво біогазу дозволяє запобігти викидам метану в атмосферу, оскільки він впливає на парниковий ефект у 21 раз сильніше за CO<sub>2</sub> і знаходиться в атмосфері 12 років. Захоплення метану – кращий короткостроковий спосіб запобігання глобального потепління [5, 9].

Перероблений гній, барда й інші відходи застосовуються у подальшому як добриво в сільському господарстві. Це дозволяє знизити використання хімічних добрив і скоротити навантаження на ґрунтові води.

Виробляється біогаз у промислових (рисунок 3.33) та кустарних установках.

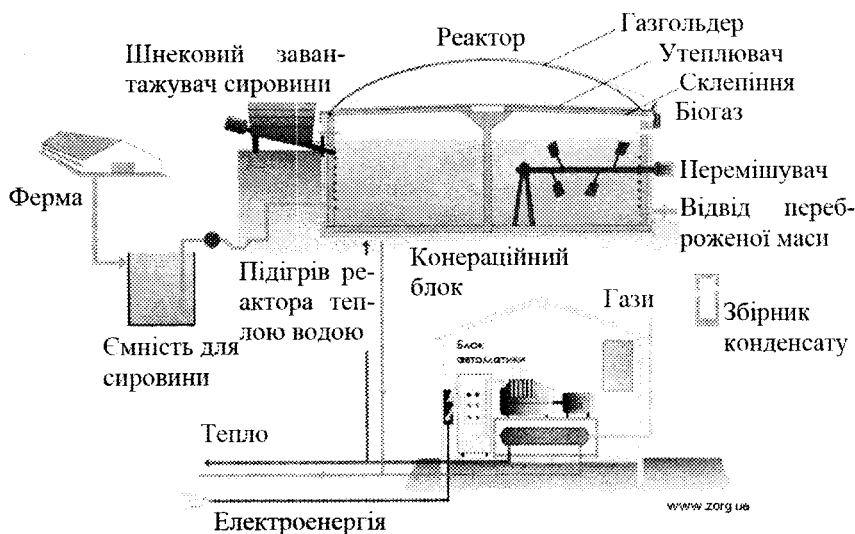


Рисунок 3.33 – Будова біогазового реактора

Промислові установки відрізняються від кустарних наявністю механізації, систем підігріву, гомогенізації, контролю, автоматики та безпеки. Найбільш розповсюджений метод – анаеробне зброжування в метантенках.

Відходи періодично подаються за допомогою насосної станції або завантажувача у реактор установки. Реактор являє собою утеплений залізо-бетонний резервуар, що підігрівається й обладнаний міксерами. У реакторі живуть корисні бактерії, що живляться відходами. Продуктом життєдіяльності бактерій є біогаз. Для підтримки життєдіяльності бактерій потрібна подача корму – відходів, підігрів до 35 °С і періодичне перемішування. Біогаз, що виробляється, накопичується в сховищі (газгольдері), далі проходить систему очищення і подається до споживачів (котел або електрогенератор). Реактор працює без доступу повітря, є герметичним та безпечним.

Біогаз використовують як паливо для виробництва: електроенергії, тепла або пари, або як автомобільне паливо [34].

Біогазові установки можуть установлюватися як очисні споруди на фермах, птахофабриках, спиртових заводах, цукрових заводах, м'ясокомбінатах (рисунок 3.34).

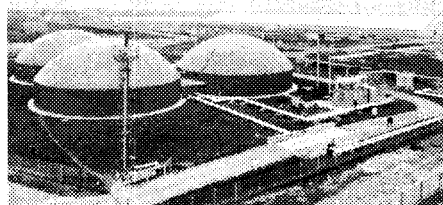


Рисунок 3.34 – Біогазові установки біля ферми

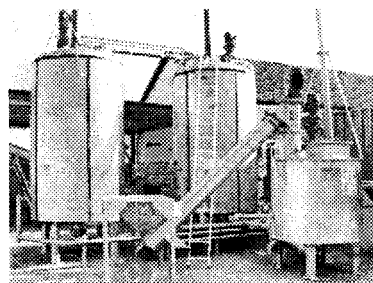


Рисунок 3.35 – Малопотужна біогазова установка

Серед промислово розвинутих країн провідне місце у виробництві і використанні біогазу за відносними показниками належить Данії – біогаз займає до 18% у її загальному енергобалансі. За абсолютними показниками за кількістю середніх і великих установок провідне місце займає Німеччина (8000 тис. установок). У Західній Європі не менше половини всіх птахоферм опалюються біогазом [7].

В Індії, В'єтнамі, Непалі й інших країнах будують малі (односіймейні) біогазові установки (рисунок 3.35). Одержуваний у них газ використовується для готування їжі. Більше всього малих біогазових установок знаходиться в Китаї – більше 18 млн (на кінець 2006 р.). Вони виробляють близько 7 млрд м<sup>3</sup> біогазу за рік, що забезпечує паливом приблизно 60 млн селян [8, 9].

В Індії з 1981 року до 2006 року було встановлено 3,8 млн малих біогазових установок [10].

Авто-концерни Volvo і Scania виготовляють автобуси з двигунами, що працюють на біогазі. Такі автобуси активно використовуються в містах

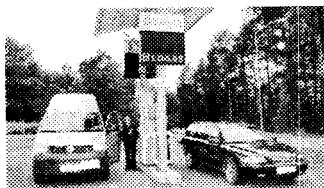


Рисунок 3.36 – Біогазова автозаправна станція

Швейцарії. За прогнозами спеціалістів до 2010 року 10% автотранспорту Швейцарії буде працювати на біогазі (рисунок 3.36).

Муніципалітет Осло (Норвегія) на початку 2009 р. перевів на біогаз 80 міських автобусів. Вартість біогазу складає €0,4 – €0,5 за літр у бензиновому еквіваленті. При успішному завершенні випробовувань на біогаз будуть переведені ще 400 автобусів [34].

### 3.7 Теплові електричні станції

Сучасні теплові електростанції (ТЕС) будуються за блоковою схемою – «котел – турбіна – генератор». Це дозволяє відмовитись від резервних парогенераторів і зробити паропроводи короткими. Робочі процеси блоків повністю автоматизовані [5].

Якісне зростання теплоенергетики супроводжувалось удосконаленням використовуваного обладнання. Якщо в 1900 – 1910 рр. одинична потужність паротурбінного агрегата була не більшою 10 МВт, то в 90-х рр. вона досягла 300 – 1200 МВт. При цьому за рахунок підвищення тиску і температури пари отримане підвищення ККД із 4...5% на перших електростанціях до 38...42% на сучасних станціях (при тиску пари 240 атм і температурі 565 °С). Одночасно витрати палива (в умовному обчисленні – теплотворна спроможність 7000 ккал на 1 кг палива) на 1 кВт·год знизилась з 1350 г у 1920 р. до 305 г у 2006 р. [3, 7]

Більшість ТЕС виробляють тільки електроенергію, а відпрацьована пара перетворюється у конденсаторі на воду з віддачею їйому значної частини енергії палива (рисунок 3.37). Одним з напрямків розвитку ТЕС є створення теплоелектроцентралей (ТЕЦ), на яких реалізується комбіноване виробництво електричної та теплової енергії – пари або гарячої води для побутових чи виробничих потреб (опалення, підігрів). В результаті збільшується ККД: у ТЕЦ він складає 71%, у конденсаційних ТЕС або так званих ДРЕС (державна районна електростанція) – 42% [5].

Ідея комбінованого вироблення теплоти й електроенергії була висловлена в 1880 р. інженерами І. Тіме і В. Кирпічовим. Постачання теплою спочатку забезпечувалось окремими малопотужними установками, потім районними котельнями і, нарешті, ТЕЦ. Перша ТЕЦ була споруджена у 1924 р. в Ленінграді під керівництвом інженерів Дмитрієва і Гюнтера [5].

Одним з основних елементів ТЕЦ є теплофікаційна турбіна. Пара, що відпрацьовала в турбіні або в її частині, використовується для теплопостачання (безпосередньо або для підігріву води). Таким чином, корисне використання пари збільшується вдвічі порівняно з конденсаційною паротурбінною установкою.

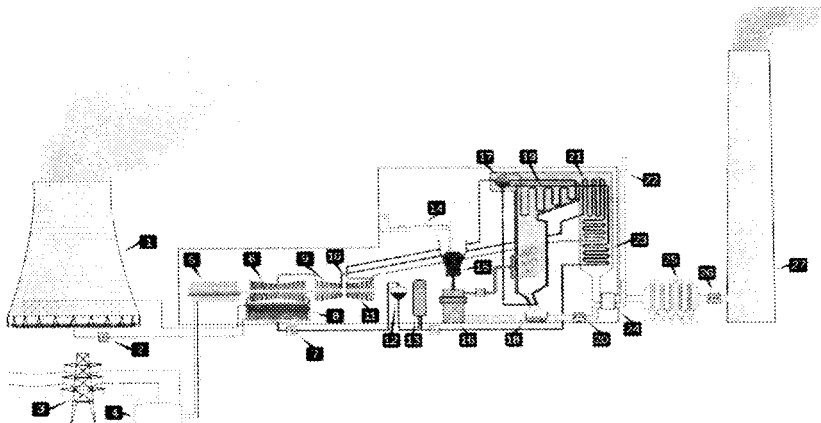


Рисунок 3.37 – Схема конденсаційної ТЕС: 1 – градирня; 2, 7 – насоси; 3 – ЛЕП; 4 – трансформатор; 5 – генератор; 6 – турбіна низького тиску; 8 – конденсатор; 9 – турбіна середнього тиску; 10 – клапан; 11 – турбіна високого тиску; 12 – деаератор; 13 – підігрівник; 14 – транспортер паливоподавання; 15 – бункер вугілля; 16 – млин для вугілля; 17 – барабан; 18 – шлаковидалення; 19, 21, 24 – пароперегрівники; 20 – вентилятор; 22 – повітрозабірник; 23 – економайзер; 25 – фільтр; 26 – димосос; 27 – димар

Перша теплофікаційна турбіна потужністю 12 МВт була випущена Ленінградським машинобудівним заводом у 1932 р. У 1971 р. на Уральському турбомоторному заводі була виготовлена перша теплофікаційна турбіна потужністю 250 МВт [5].

На даний момент ТЕС і ТЕЦ складають основу електроенергетики України (70% від загальної потужності). Однак на станціях даного типу практично відсутні можливості для швидкої зміни продуктивності у випадку збільшення або зменшення навантаження в енергосистемі. Тому за кордоном (особливо в США) досить широке розповсюдження одержали енергетичні установки з газовими турбінами (ГТУ), що мають гарну маневреність (запуск здійснюється за 1...1,5 хв) при невеликих капітальних витратах на спорудження. Створюються також комбіновані парогазові установки (ПГУ), які включають газову турбіну і парогенератор. Вони більш економічні, але менш маневрені, ніж ГТУ. В Україні експлуатуються ГТУ одиничної потужності 2,5...250 МВт. ГТУ з турбіною ГТ-100 працюють в піковому режимі 1200 год протягом року при 300 запусках. Пуск і навантаження ГТУ здійснюється автоматично. Паливом служить продукт вторинної перегонки нафти [5, 8].

ПГУ експлуатуються з 1981 р. В них газова турбіна працює на газотурбінному рідкому паливі, а відпрацьовані гази викидаються в топку парового котла. В інших випадках паливо згоряє в топці парогенератора, а турбі-



на працює на топкових газах, при цьому автономна робота парової частини неможлива.

### 3.8 Атомна енергетика

Виникнення атомної енергетики було результатом розвитку фундаментальної ядерної фізики кінця XIX – початку XX ст.

Початковий атомізм зародився ще у Давній Греції. у V-III ст. до н. е, завдяки Демокриту та Епікуру. У XVII – XIX ст. атомізм став основою фізики і хімії. Кінець XIX ст. ознаменувався рядом відкриттів, пов'язаних зі структурою речовини [36 – 38].

У 1895 р. В. К. Рентген відкрив X-промені, які пізніше почали називати рентгенівськими. У 1896 р. А. Беккерель першим описав явище радіоактивності. У 1898 р. Д. Д. Томсон відкрив електрон і запропонував першу модель атома, що враховує наявність електронів в його структурі. У тому ж році М. Кюрі і П. Кюрі знайшли радіоактивні елементи полоній і радій. У 1902 р. Е. Резерфорд запропонував планетарну модель атома й у 1903 р. разом з Ф. Содді сформулював закон радіоактивного розпаду. П. Кюрі й А. Лаборд установили факт безупинного виділення теплоти радієм – приблизно 100 кал за годину кожним грамом речовини, що ознаменувало відкриття нового джерела енергії – атомної енергії [5].

У 1905 р. А. Ейнштейн сформулював принцип еквівалентності сил гравітації й інерції. У 1911 р. Е. Резерфорд відкрив атомне ядро і в 1919 р. здійснив першу штучну ядерну реакцію, бомбардуючи  $\alpha$ -частинками атоми азоту. У 1913 р. Н. Бор, використовуючи квантову теорію М. Планка і модель Резерфорда, розробив теорію планетарного атома [36].

1919 – 1940 рр. були ознаменовані бурхливим розвитком ядерної фізики на основі досліджень Н. Бора, А. Ейнштейна, В. Паулі, Е. Фермі, М. Планка, Д. Франка, Г. Герца, П. Дірака, В. Гейзенберга, Л. Де Бройля, Е. Шредінгера, Е. Резерфорда, Е. Лоуренса, І. Кюрі і Ф. Жоліо-Кюрі, Д. Д. Іваненко і багатьох інших учених різних країн [36 – 38].

У 1932 р. Д. Чедвік відкрив нейтрон, а К. Андерсон – позитрон; В. Гейзенберг і Д. Д. Іваненко створили протонно-нейтронну теорію ядра. У 1934 р. І. і Ф. Жоліо-Кюрі відкрили штучну радіоактивність, а Фермі почав дослідити із впливом на важкі ядра нейтронами. У 1935 р. був відкритий ізотоп водню – дейтерій (Г. Юрі, Ф. Бриквед, Г. Мерфі) та уран-235 (А. Демпстер) [36].

У 1937 р. І. Кюрі спостерігала ділення урану під впливом повільних нейтронів. У 1938 р. О. Ганом, Ф. Штрассманом і Л. Мейтнер було відкрито розщеплення урану. Теорію даного явища дали Я. Френкель, Н. Бор і Уїдлер (рисунк 3.38) [5].

У 1939 р. Ф. Жоліо-Кюрі, Г. Хальбан і Л. Коварський показали можливість ланцюгової реакції в урані з виділенням при розпаді нейтронів. Їх висновки були такими: у зв'язку з тим, що при кожному діленні виділяється в

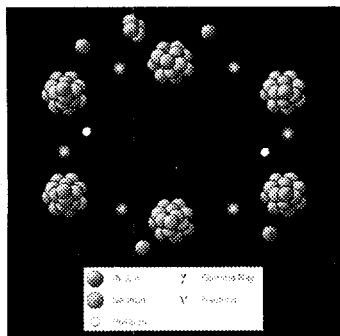


Рисунок 3.38 – Ядерна реакція ділення

середньому три нейтрони, реакція має ланцюговий вибуховий характер; загальна енергія, що звільняється при діленні ядер, величезна; імовірність ділення атома тим більша, чим повільніше переміщуються нейтрони; уповільнення нейтронів можна досягти введенням графіту, а затримки розвитку реакції – введенням карбиду бора, що поглинає нейтрони. Були виконані розрахунки і досліди, що підтвердили теоретичні висновки. Поразка Франції у війні з Німеччиною перешкодила продовженню робіт [8].

У СРСР дослідження з розщеплення ядер проводили Я. Зельдович і Ю. Харитон. У 1939 р. Г. Фльоров і К. Петржак відкрили мимовільний розпад урану. І. В. Курчатов на нараді з ядерної фізики зробив повідомлення про можливість ланцюгової реакції.

До середини 1939 р. учені світу досягли рівня знань, що дозволяв почати роботи з оволодіння енергією атома. Друга світова війна розділила фізиків фронтами і на перший план вийшли військові аспекти. Наукові публікації з ядерної фізики припинилися. Зовнішня розвідка СРСР у 1939 – 1940 рр. одержала інформацію, що в Німеччині і Великобританії ведуться дослідження, які можуть привести до створення надпотужної зброї.

Роботи в Німеччині викликали занепокоєння фізиків-антифашистів. Вони інформували владу США про потенціал атомної зброї і небезпеку оволодіння нею нацистами. А. Ейнштейн знав про роботи в Німеччині і у серпні 1939 р. направив лист президенту США Ф. Рузвельту про реальність створення у Німеччині потужної атомної бомби [5].

Восени 1939 р. провідні німецькі фізики Е. Шуман, В. Гейзенберг, К.-Ф. фон Вайцеккер, П. Гратек, О. Ган, В. Грот були об'єднані в «Уранове суспільство» при Управлінні армійських озброєнь Німеччини. Центром атомних досліджень став Берлінський фізичний інститут. Крім того, до роботи були залучені ряд фізико-хімічних інститутів і університетів. До 1940 р. В. Гейзенберг і його група закінчили теоретичні розробки ядерного реактора на урані і важкій воді. В 1940 р. було завершено будівництво першого дослідного реактора (рисунок 3.39). Фірма «Ауергезельшафт» почала випуск металевого урану. Фірма «Сіменс» розробила технологію очищення графіту, який передбачалось використовувати як сповільнювач нейтронів. Проектувалося енергетичне забезпечення проекту. У 1941 р. німецький фізик Хоутерманс передав фізикам США повідомлення про початок робіт у Німеччині зі створення атомної бомби [7].

У 1939 – 1941 рр. Німеччина мала всі умови для створення атомної зброї – потужну промисловість і достатні наукові кадри. Вайцеккер навіть подав заявку на конструкторську плутонієвої бомби. Був потрібний тільки час

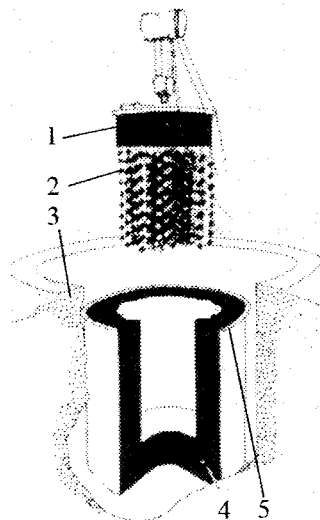


Рисунок 3.39 – Схема німецького ядерного реактора: 1 – графіт; 2 – уранові блоки; 3 – бетонний резервуар з охолодною водою; 4 – графітовий резервуар з важкою водою; 5 – алюмінієвий циліндр

на розробку технологічних методів одержання урану-235, удосконалення реакторів і т. д. Однак німецькі вчені прийняли ряд невдалих теоретичних і технічних рішень, виправити які в Німеччині в 1942 – 1944 рр. уже не було можливості. Наприклад, німці використовували як сповільнювач важку воду, а не графіт. Теоретичні роботи в Німеччині не перейшли в практичні через труднощі із сировиною, помилки військових начальників – керівників проекту, недостатнього фінансування й інших причин, а головне – війна прийшла на територію Німеччини. Радянська армія врятувала Світ від німецької атомної бомби [8 – 10].

У Великобританії також проводили роботи з розробки атомної зброї. У серпні 1941 р. британський військовий кабінет доручив концерну «Імперіал кемікал індастріз» ведення проекту «Трубний сплав» зі створення уранової бомби. Однак умов для його швидкої реалізації не було. Роботи відставали від американських і в 1942 р. припинилися. США не хотіли ділитися з англійськими союзниками атомними секретами [36].

Не було можливості оволодіти ядерною зброєю в 1940 – 1945 рр. і у Радянського Союзу. У 1940 р. в СРСР вважали, що створення атомної бомби в принципі можливо, але практично в найближчому майбутньому – нездійсненно. Саме такий висновок зробила комісія АН СРСР під головуванням академіка В. Г. Хлопіна. Вона рекомендувала лише стежити за відповідними публікаціями на Заході. Але з 1940 р. усі публікації з атомної проблеми припинилися – роботи стали засекречувати. Інформація надходила лише по лінії зовнішньої розвідки НКДБ [38].

Інша ситуація, ніж у країнах Європи, охоплених війною, склалася в США. З початком війни там опинилися А. Ейнштейн, Е. Фермі, Л. Сцилард, Е. Теллер, Х. Беті, Д. Франк, Ю. Вігнер, В. Вайскопф, П. Дебай і інші фізики-атомники. У 1943 р. у США приїхав Н. Бор.

Після листа Ейнштейна був створений консультативний «Урановий комітет», що подав у листопаді 1939 р. доповідь про реальність створення атомної бомби. У березні 1940 р. Ейнштейн направив Рузвельту повторний лист, але і далі продовжувалися лише обговорення (рисунок 3.41) та попередні дослідження проблеми. Тільки у серпні 1942 р. адміністрація США затвердила «Манхеттенський проект» як організацію, задачею якої були



Рисунок 3.40 – Дискусія в університеті Берклі (США) з приводу циклотрона (зліва - направо): Е. Лоуренс, А. Кромптон, В. Буш, Д. Конант, К. Кромптон, А. Луміс

розробка і виробництво атомної бомби. Обсяг фінансування був колосальний – \$22 млрд за нинішнім курсом. До реалізації проекту було залучено 130000 чоловік, що перевищувало чисельність корпусу Ейзенхауера, який висадився в Європі в 1944 р. Керівником проекту був призначений генерал Л. Гровс. Були побудовані «атомні» міста Оук-Рідж і Хенфорд, лабораторне місто в Лос-Аламосі (рисунок 3.41). Розробку конструкції бомби доручили Р. Оппенгеймеру, що працював в університеті Берклі. Він став керівником Лос-Аламоської національної лабораторії [37].

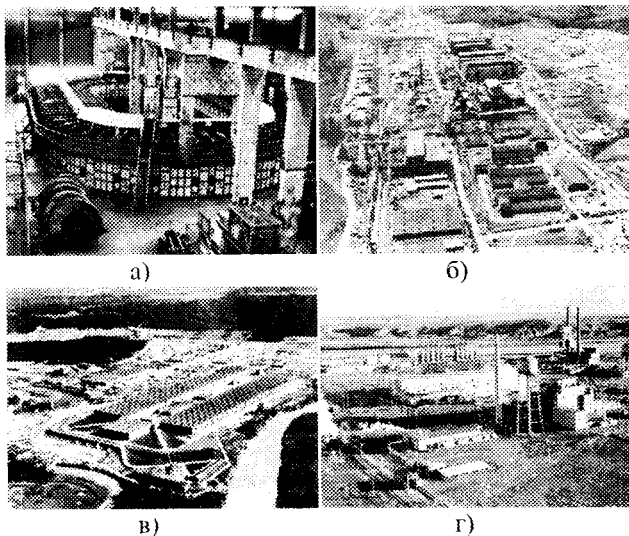


Рисунок 3.41 – Основні об'єкти Манхеттенського проекту: а – циклотрон Лоуренса; б – електромагнітний завод в Оук-Рідж; в – газодифузійний завод в Оук-Рідж; г – плутонієвий реактор у Хенфорді

У грудні 1942 р. у Чікаго групою Е. Фермі був пущений перший ядерний ураново-графітовий реактор, у якому вдалося здійснити керовану ланцюгову реакцію з природним ураном-235 і графітовим сповільнювачем нейтронів. Маса реактора становила 1250 т, з них графіт у блоках  $106 \times 106 \times 418$  мм – 425 т, 3200 уранових стержнів діаметром 56 мм мали масу 9 т, а 14500 елементів з окису урану – 45 т [36].

З початку 1943 р. у Хенфорді почалося будівництво заводів для розділення ізотопів урану і виробництва плутонію. Перший виробничий реактор був запущений у вересні 1944 р.

Уже після закінчення війни в Європі 16 червня 1945 р. на авіабазі Аламогордо (США) був здійснений експериментальний атомний вибух – неконтрольована ланцюгова ядерна реакція, а 6 серпня 1945 р. на Хіросімі була скинута перша атомна бомба потужністю 20 кілотонн (рисунок 3.42).

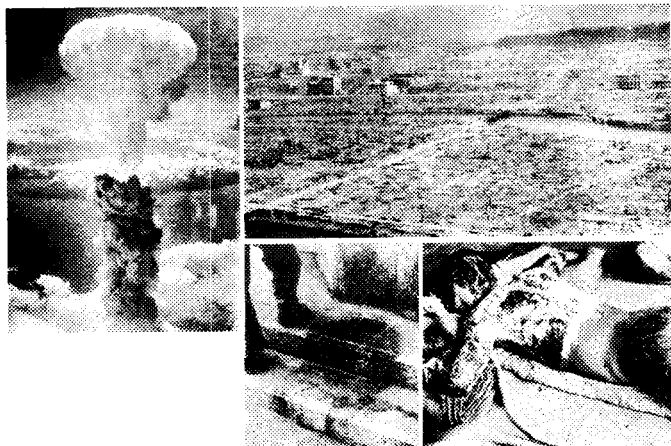


Рисунок 3.42 – Фотографії, зроблені під час і після ядерного вибуху у Хіросімі

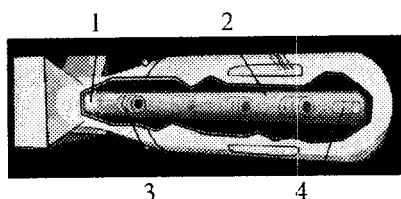


Рисунок 3.43 – Будова атомної бомби потужністю 20 кт, скинутої 6.08.45 р. на Хіросімі: 1 – звичайна вибухівка; 2 – гарматний ствол; 3 – порожня уранова «куля»; 4 – циліндрична «ціль»

Бомба складалася з оболонки, у якій знаходився ядерний заряд, розділений на дві частини. Маса кожної частини була менша за критичну, при якій відбувається ланцюгова реакція, що самопідтримується. З'єднання частин заряду за допомогою звичайної вибухівки з дистанційною запальною трубкою створювало критичну масу, що викликало ланцюгову реакцію ділення важких ядер вибухового характеру (рисунок 3.43).

Оволодіння США атомною зброєю зробило необхідним створення в найкоротший термін радянської атомної бомби.

Ще в 1942 р. у відділенні науково-технічної розвідки держбезпеки СРСР була почата справа «Енормас», до якої збиралася розвідувальна науково-технічна інформація про ядерну зброю. Спочатку відомості про створення уранової бомби сприймалися недовірливо. Проте в жовтні 1942 р.

Сталін прийняв академіків А. Ф. Йоффе і В. І. Вернадського з питання атомної проблеми. П. Капіца кілька разів звертався до уряду з інформацією про початок робіт зі створення атомної бомби в США і Німеччині. У 1942 р. з наукових кіл, близьких до Р. Опенгеймера, прийшла інформація про ядерний реактор Фермі в Чикаго. У зв'язку з цим у лютому 1943 р. Сталін підписав постанову про організацію робіт з військового використання атомної енергії. У квітні 1943 р. при АН СРСР була утворена Центральна лабораторія № 2 з атомної проблеми. Керівником її став професор І. В. Курчатов. В 1944 р. інформація в «Енормас» показала, що в США ведеться не тільки теоретична робота, але й інженерні розробки атомної бомби. У серпні 1945 р. був створений Спеціальний комітет із проблеми № 1 на чолі із Л. П. Берія. Його задачею було створення науково-технічного забезпечення атомної зброї й атомної промисловості [5, 8, 36].

У грудні 1946 р. під керівництвом Курчатова була реалізована керована ланцюгова реакція ділення ядер урану. У серпні 1949 р. на Семипалатинському полігоні був здійснений перший у СРСР атомний вибух, потужністю 22 кілотонни. Перша радянська атомна бомба РДС-1 була розроблена під керівництвом Ю. Б. Харитона (рисунок 3.44).



Рисунок 3.44 – Перші радянські атомна бомба РДС-1 та ядерний вибух

При створенні РДС-1 був використаний науковий потенціал Заходу. Результати ряду атомних досліджень США й Великобританії були отримані радянською зовнішньою розвідкою. Крім цього, провідні західні фізики, у тому числі Р. Опенгеймер, Н. Бор, Е. Фермі, Л. Сциллард і інші, тим чи іншим шляхом безкорисливо допомагали СРСР, вважаючи, що монополія США призведе до ядерної війни [5, 37]. Добута розвідкою інформація сприяла прискореній розробці радянської ядерної зброї, дозволила приймати однозначні рішення технічних проблем, а не перевіряти можливі варіанти. Однак основне – теоретична розробка проблеми з урахуванням отриманої інформації і технічна реалізація – були виконані радянськими вченими й інженерами. РДС-1 являла собою аналог першої американської атомної бомби. РДС-2 оригінальної конструкції була вдвічі потужніша, а за габаритами набагато менша РДС-1. Поява в 1949 р. радянської атомної бомби втримало США від спроби використання власного ядерного потенціалу проти СРСР.

Можливість керування швидкістю ланцюгової реакції розщеплення

важких ядер напшовхнула на думку про використання теплоти, що виділяється для вироблення електроенергії. Енергія урану насправді велика: 14 см<sup>3</sup> урану-235 рівноцінні за тепловиділенням 470 м<sup>3</sup> нафти, 800 м<sup>3</sup> кам'яного вугілля і 1 млн м<sup>3</sup> природного газу [5].

Агрегат, у якому здійснюється регульована ланцюгова реакція називається атомним реактором. В графітових блоках реактора знаходяться стержні речовини, що розщеплюється. Маса її повинна бути не менша за критичну для конкретного реактора – забезпечувати утворення за одиницю часу такої самої кількості нейтронів, яка поглинається в реакторі. При розщепленні урану випускаються швидкі нейтрони, що сповільнюються графітом і в результаті збуджують реакцію. Під час останньої виділяється теплота, що відводиться теплоносієм і використовується для вироблення пари. Пара приводить в рух турбогенератор.

У 1954 р. в СРСР у м. Обнінську пущена перша у світі промислова атомна електрична станція (АЕС), потужністю 5 МВт. Створення АЕС було складною задачею, яка була вирішена колективами конструкторських бюро і інститутів під керівництвом І. Курчатова, Д. Блохінцева, А. Лейпунського, М. Доллежала, А. Красіна, В. Малих [37].

Реактор станції працював на збагаченому урані із вмістом урану-235 5%. Активна зона реактора діаметром 1,5 м і висотою 1,7 м була заповнена графітом, у якому виконані 128 робочих каналів для тепловидільних елементів (ТВЕЛів). Завантаження реактора ураном складало 550 кг, добові витрати – 30 г. Регулювання здійснювалося за допомогою 18 стержнів з карбїду бора, що поглинає нейтрони. Кожен з ТВЕЛів складався з 2 коаксіальних сталевих трубок, вставлених одна в одну. Трубка меншого діаметра служила для підведення води. Уран знаходився в проміжку між внутрішньою та зовнішньою трубками. Тиск води в трубках – 100 атм, температура 290 °С. За таких умов вода не кипить. У теплообміннику при протіканні по трубках води 1-го контуру утворюється перегріта пара тиском 12 атм із температурою 270 °С, що надходить у турбіну (рисунок 3.45). Теплова потужність реактора – 30000 кВт. Повний ККД АЕС – 19% [38].

Пуск першої АЕС послужив поштовхом до створення атомних енергоустановок різного призначення в усьому світі [5, 38]:

- 1955 р. – у США побудовано перший атомний підводний човен «Наутилус» з потужністю силової установки 13,4 тис. к. с. (рисунок 3.46);

- 1957 р. – у СРСР спущено на воду атомний криголам «Ленін» з установкою потужністю 44 тис. к. с. (див. рисунок 3.46);

- 1958 р. – у СРСР стала до ладу перша черга АЕС потужністю 100 МВт і т. д.

Атомні реактори будувались з різними теплоносіями: водою, вуглекислим газом, гелієм, рідким натрієм; одно-, дво- і триконтурними.

В даний час в основному використовують три типи реакторів [5, 38]:

- корпусні з водою під тиском типу ВВЕР – водо-водяний енергетичний реактор (на Заході їх позначають PWR);

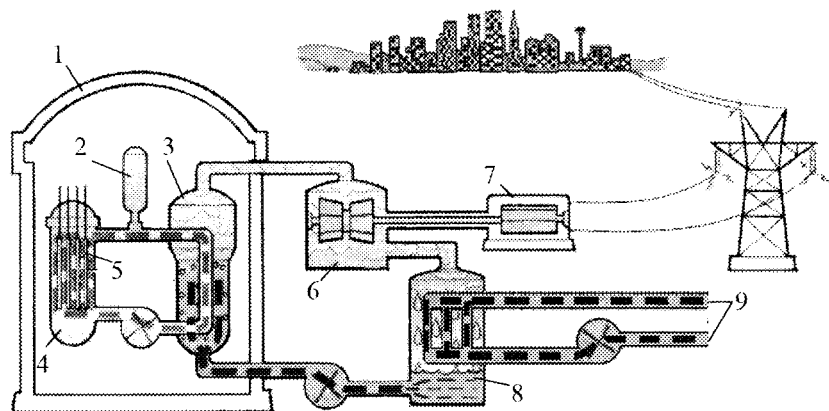


Рисунок 3.45 – Схема роботи АЕС: 1 – будівля реактора; 2 – компенсатор тиску; 3 – парогенератор; 4 – реактор; 5 – стержні керування; 6 – турбіна; 7 – електрогенератор; 8 – парогенератор; 9 – до водосховища або градирні

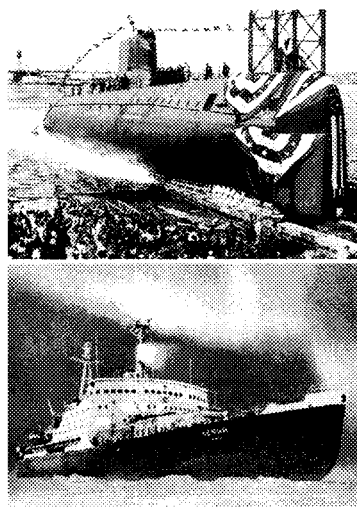


Рисунок 3.46 – Перші атомні підводний човен «Наутилус» (США) та криголам «Ленін» (СРСР)

- киплячі каналні уран-графітові типу РБМК (ВВР) – реактор великої потужності киплячий;

- реактори на швидких нейтронах з натрієвим охолоджувачем типу БН.

Принцип дії реакторів перших двох типів однаковий (див. рисунок 3.47). У середині агрегата розташовуються ТВЕЛі. Кожен з ТВЕЛів являє собою цирконієву трубку, в якій знаходиться суміш урану-235 і урану-238. В сталевому корпусі ВВЕР знаходяться ТВЕЛі, а також вода першого контуру, яка є одночасно сповільнювачем нейтронів і теплоносієм. Контактуючи із ТВЕЛами, вода першого контуру нагрівається і стає радіоактивною, тому для безпосереднього вироблення електроенергії вона не використовується, а служить для нагрівання у теплообміннику води другого контуру. Пара, що утворюється в теплообміннику, надходить і в турбоагрегат [5, 7].

Перший ВВЕР був уведений в дію на Нововоронезькій АЕС у 1964 р. Пізніше у СРСР був освоєний серійний випуск енергоблоків з реакторами ВВЕР-440 і ВВЕР-1000 електричною потужністю 440 і 1000 МВт. У даний час реактори даного типу є найбільш поширеними [37, 38].



Корпус РВПК заповнюється графітними блоками. В блоках виконані канали, у яких розміщені цирконієві труби з ТВЕЛами усередині. У трубах циркулює вода під високим тиском. Вода нагрівається і частково випаровується. АЕС із РБМК є одноконтурними. На Обнінській АЕС був встановлений реактор типу РБМК. В СРСР серійно випускалися енергоблоки з РБМК-1000 і 1500 потужністю 1000 і 1500 МВт [36].

У реакторах БН сповільнювача нейтронів немає (рисунок 3.47). ТВЕЛи охолоджуються рідким натрієм. У корпусі реактора розміщується обмінник, у якому натрій випаровує воду, що потім надходить у турбоагрегат. Робота на швидких нейтронах дозволяє використовувати як паливо уран-238, запаси якого в природі достатні. Крім того, у ТВЕЛлах утворюється плутоній-239, що також є ядерним паливом. Під час реакції плутоній використовується не повністю і після закінчення циклу вилучається. В зв'язку з цим, реактори БН називають також розмножувачами (бридерами). На даний момент вони є найбільш перспективними, але й складнішими та дорожчими за реактори перших двох типів, оскільки потребують реалізації більш надійних засобів безпеки [8].

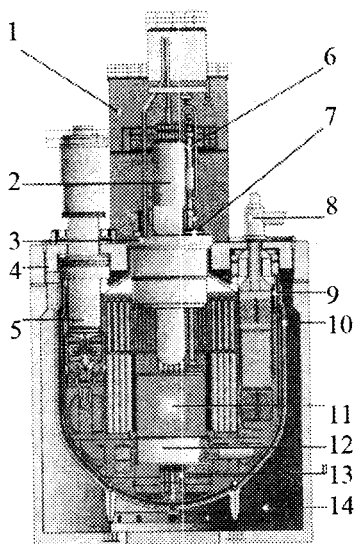


Рисунок 3.47 – Схема реактора БН: 1 – захисний ковпак; 2 – поворотна колона; 3, 7 – поворотні пробки; 4 – плита верхнього захисту; 5 – головний циркуляційний насос; 6 – механізм перевантаження; 8 – проміжний теплообмінник; 9 – основний корпус; 10 – захисний корпус; 11 – активна зона; 12 – напірна камера; 13 – уловлювач фрагментів; 14 – порожнина реактора

Перші досліді з бридерами були розпочаті в 1956 р. в США, але після аварії 1966 р., яка закінчилась розплавленням ТВЕЛів, вони були тимчасово припинені. У СРСР реактор БН був уперше введений у виробничу експлуатацію на Шевченківській АЕС у 1972 р. На базі отриманого досвіду на Білоярській АЕС був запущений БН-600 потужністю 600 МВт і розроблений БН-1600 потужністю 1600 МВт [5, 9].

Світовими лідерами у виробництві ядерної електроенергії є: США (788,6 млрд кВт·год), Франція (426,8 млрд кВт·год), Японія (273,8 млрд кВт·год) і Німеччина (158,4 млрд кВт·год). В Росії у

2006 р. на АЕС вироблено 154,7 млрд кВт·год.

Наприкінці червня 2008 р. заступник голови Міжнародної агенції з атомної енергії (МАГАТЕ) Юрій Соколов заявив, що до 2030 р. АЕС лишатимуться ключовим джерелом електроенергії, а кількісно збільшаться на 60%.

Найбільша кількість ядерних реакторів функціонує у США – 103 реактори. Далі йдуть Франція – 59 реакторів; Японія – 55 реакторів і Росія – 31 реактор. В Україні працює 15 ядерних реакторів. Крім цього, на даний момент будуються ядерні реактори: у Китаї – 27 реакторів; в Росії – 11 реакторів; Південній Кореї – 5 реакторів, Об'єднаних Арабських Еміратах – 4 реактори та в інших країнах, в тому числі 2 реактори в Україні.

В деяких державах енергія, що виробляється АЕС, становить досить значну частку в загальному обсязі її виробництва. Наприклад у Франції цей показник становить 78%, в Бельгії – 54%, в Україні – 48%, у Швеції – 43%.

Запорізька АЕС у м. Энергодар з шістьма реакторами сумарною потужністю 6 ГВт є найбільшою АЕС у Європі. А найпотужнішими у світі є японські АЕС Фукусіма І і ІІ – 8,814 ГВт (рисунок 3.48).

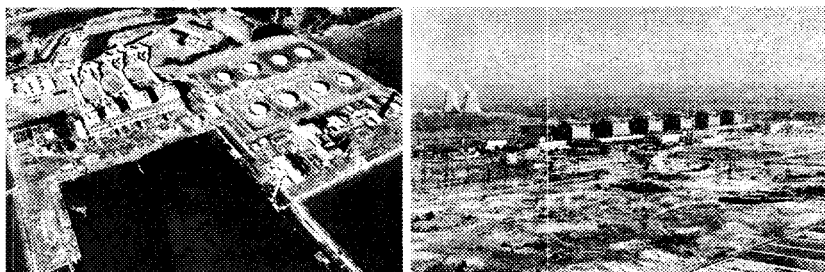


Рисунок 3.48 – АЕС Фукусіма І, ІІ (Японія) та Запорізька (Україна)

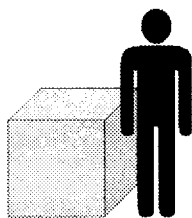


Рисунок 3.49 – Порівняльний об'єм палива, використаного за рік одним реактором типу ВВЕР-1000

Перевагами АЕС є [5]:

- невеликий об'єм використовуваного палива і можливість його повторного використання після переробки (рисунок 3.49). Для порівняння – одна ДРЕС потужністю 2000 МВт спалює за добу два поїзди вугілля);
- висока потужність: 1000 – 1600 МВт на енергоблок;
- низька собівартість енергії, особливо теплової;
- можливість розміщення в регіонах, розташованих удалині від великих водноенергетичних ресурсів, великих родовищ вугілля, у місцях, де обмежені можливості для використання сонячної або вітряної електроенергетики.

• при роботі АЕС в атмосферу викидається певна кількість іонізованого газу, однак звичайна теплова електростанція разом з димом викидає ще більшу кількість радіоактивних елементів, що містяться у кам'яному вугіллі.

Однак АЕС мають і недоліки:

- опромінене паливо є небезпечним, потребує складних і дорогих заходів для переробки і збереження;
- небажаний режим роботи зі змінною потужністю для реакторів, що працюють на теплових нейтронах;
- з погляду статистики і страхування великі аварії вкрай малоімовірні, однак наслідки таких інцидентів є надзвичайно важкими;
- великі капітальні вкладення, як питомі, на 1 МВт установленної потужності для блоків потужністю до 700 – 800 МВт, так і загальні, на будівництво станції, створення її інфраструктури, а також у випадку можливої ліквідації.

Незважаючи на зазначені недоліки, атомна енергія є найперспективнішою. Альтернативні способи одержання енергії за рахунок припливів, вітру, Сонця, геотермальних джерел тощо на даний момент мають порівняно невисокий рівень ефективності, в основному через низьку концентрацію використовуваної енергії (рисунок 3.50).

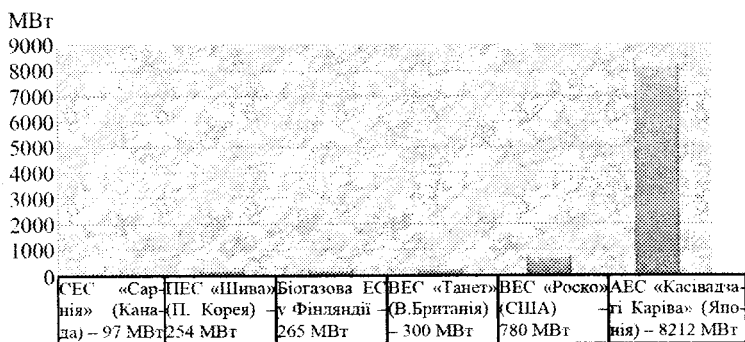


Рисунок 3.50 – Порівняння найпотужніших об'єктів відновлюваної енергетики із однією із найпотужніших АЕС (станом на 2011 р.)

До того ж дані способи при їх реалізації становлять ризик для екології і туризму («брудне» виробництво фотоелектричних елементів, небезпека вітряних станцій для птахів, зміна ПЕС динаміки хвиль).

Академік Анаголій Александров: «Ядерна енергетика великих масштабів з'явиться найбільшим благом для людства і дозволить розв'язати цілий ряд гострих проблем» [38].

В наш час розробляються міжнародні проекти ядерних реакторів нового покоління, наприклад ГТ-МГР, що дозволять підвищити безпеку і збільшити ККД АЕС.

Росія почала будівництво першої у світі плавучої АЕС. Вона дозволить вирішити проблему недостачі енергії у віддалених прибережних районах країни.

США і Японія ведуть розробки міні-АЕС, потужністю порядку 10 – 20 МВт для тепло- і електропостачання окремих виробництв, житлових комплексів, а в перспективі – і індивідуальних будинків. Зі зменшенням потужності установки зростає передбачуваний масштаб виробництва. Малогабаритні реактори (наприклад, NuRegion АЕС) створюються з використанням безпечних технологій, що забезпечує багаторазове зменшення можливості витoku ядерної речовини.

Урядом США прийнята Атомна воднева ініціатива. Ведуться роботи (разом з Південною Кореєю) зі створення атомних реакторів нового покоління, здатних виробляти великі кількості водню. Спеціалісти прогнозують, що один такий енергоблок буде виробляти щодня водень у кількості, еквівалентній 750000 літрам бензину. Фінансуються дослідження можливостей виробництва водню на існуючих атомних електростанціях.

Ще більш цікавою, хоча і відносно віддаленою перспективою виглядає використання енергії ядерного синтезу. Термоядерні реактори, за розрахунками, будуть споживати менше палива на одиницю виробленої енергії, тоді як саме паливо (дейтерій, літій, гелій-3), а також продукти його синтезу є нерадіоактивними, а отже, й екологічно безпечними.

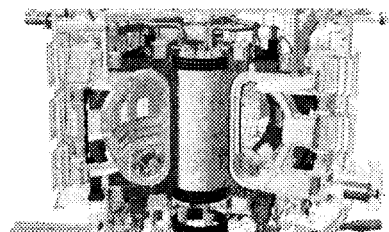


Рисунок 3.51 – Схема термоядерного реактора ITER

В даний момент за участі понад десяти розвинених країн на півдні Франції будується міжнародний експериментальний термоядерний реактор ITER (рисунок 3.51).

Фізичною основою термоядерної енергетики є реакції синтезу ядер. Практичний інтерес становлять реакції ізотопів водню – дейтерію і тритію (рисунок 3.52). Одержувана при цьому енергія в 4 рази більша, ніж дає ділення

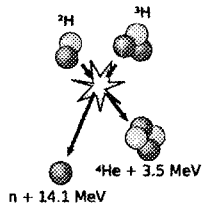


Рисунок 3.52 – Термоядерна реакція

важких ядер. Створення термоядерних реакторів потребує вирішення найскладніших задач, оскільки для реакції синтезу необхідний розігрів палива до температур порядку ( $10^8 \dots 10^9$ ) °С. Отриману плазму потрібно теплоізолювати від конструкції установки й утримати (рисунок 3.53) [3, 5].

Намітилися два варіанти термоядерних установок: стелларатори і токамаки. Утримання плазми забезпечується магнітним полем в тороїдальних камерах. У стеллараторах магнітне поле створюється струмами, що проходять у зовнішніх котушках. У токамаках поле створюється струмами в самій плазмі. Більш перспективними вважаються токама-

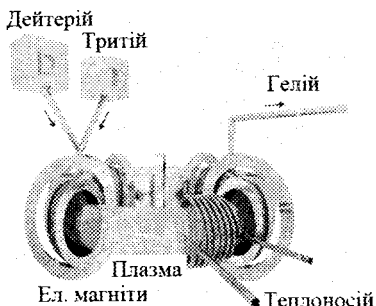


Рисунок 3.53 – Схема реалізації термоядерної реакції у тороїдальній камері

ки (назва розшифровується як «Тороїдальна КАмера з МАгнітними Котушка-ми»). Перші експерименти з ними були розпочаті в Інституті атомної енергії ім. І. В. Курчатова ще в 1956 р. Зараз вони ведуться в Росії, США, Великобританії й інших країнах. Для розігріву палива використовують струми НВЧ і потужні лазери. Обмотки, що створюють поля, виконують надпровідними. Роботи з термоядерного синтезу ще далекі від завершення, але можна сподіватися на значні успіхи в даній галузі у XXI ст. [5].

### 3.9 Електричні мережі та енергосистеми

З початком створення у XX ст. електростанцій змінилася схема розподілу електроенергії. Замість ліній, що з'єднували одну станцію й одного споживача, з'явилися електричні мережі, які об'єднували велике число паралельно працюючих електростанцій в енергетичну систему (ЕС). Від ЕС енергію одержували безліч споживачів. Передумовою їх створення було будівництво електростанцій і ліній електропередачі ЛЕП [39, 40] (рисунок 3.54). Зі збільшенням потужності ЛЕП почали організовуватись окремі регіональні ЕС, а потім здійснювалось їх об'єднання у єдину ЕС (СЕС) (рисунок 3.55).

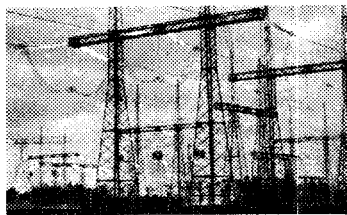


Рисунок 3.54 – Опори ЛЕП

Забезпечення нормальної роботи ЕС потребує дотримання певних технічних умов. Загальне зростання їх потужності, а також числа паралельно працюючих електростанцій, ускладнення режимів роботи призводить до зниження запасу статичної і

динамічної стійкості ЕС.

Так, для стабільної роботи ЕС необхідно, щоб ЛЕП мали достатню пропускну спроможність за потужністю, а станції – достатній запас потужностей для покриття пікових навантажень і виключення перевантаження агрегатів та виходу їх із синхронізму. Особливе значення при вирішенні вказаної задачі отримує диспетчерське оперативне керування ЕС, якому підпорядковується весь черговий персонал електростанцій, підстанцій і лінійних служб. Головною задачею диспетчерського керування є забезпечення стійкості ЕС. Диспетчерські пункти керування електростанціями оснащуються мнемосхемами ЕС, приладами для вимірювання та контролю, сигналізацією і, головне, системами зв'язку, що дозволяють керувати

ЕС та підстанціями. У 40-х рр. почало впроваджуватись телекерування ЕС [5, 8].

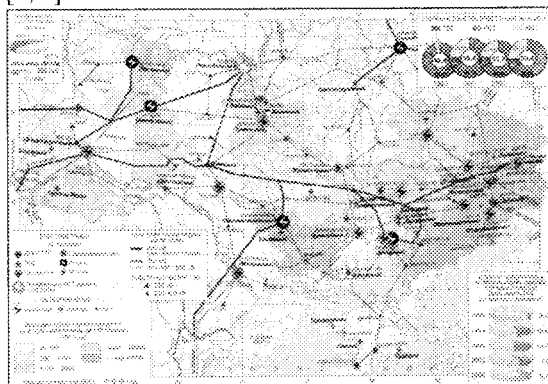


Рисунок 3.55 – Енергосистема України

мереж напругою 400 кВ. Єдиного диспетчерського центра в даній ЕС немає. Зв'язок ЕС Великобританії і континенту здійснюється передачами постійного струму [39].

США не мають єдиної ЕС. Експлуатуються кілька ЕС. В енергетиці США існують чотири сектори – приватні й акціонерні компанії (77% потужностей), федеральні компанії (10%), муніципальні компанії (10%) і кооперативи (3%). Частки потужностей електростанцій США основних типів такі: ТЕС – 69,2% від загальної, ГЕС – 12,4%, АЕС – 9,2%, ГТУ – 8,3%, дизельних – 0,9%. ТЕЦ у США не будують [5, 39].

У СРСР до та після Великої Вітчизняної війни створювалися регіональні (обласні) ЕС; у 60 – 65-х рр. було здійснене їх збільшення і утворено 11 об'єднаних ЕС із сумарною потужністю 198011,4 МВт. У 1965 р. у Єдину Європейську систему (ЄЕС) були об'єднані 43 ЕС і 4 енергорайони із сумарною потужністю 54 млн кВт і виробництвом 292 млрд кВт·год за рік. У подальшому процес інтеграції регіональних систем СРСР у ЄЕС і збільшення її потужності продовжувався. У 1984 р. потужність ЄЕС становила 248 млн кВт із виробленням 1260 млрд кВт·год електроенергії. До ЄЕС не увійшли ЕС Середньої Азії і Далекého Сходу [5, 27].

Основою ЄЕС є мережа ЛЕП довжиною від 200 до 1200 км і напругою 220 і 500 кВ. Між об'єднаними енергетичними системами (ОЕС) Центра, Заходу й іншими ОЕС діють ЛЕП 750 кВ. При великих відстанях і потужностях між ОЕС використовуються ЛЕП довжиною 2000 км і напругою 1150 і 1500 кВ. Передача по них електроенергії потребує спорудження підстанцій з потужною апаратурою комутації.

Керування ЄЕС здійснюється центральним диспетчерським управлінням, якому підпорядковуються оперативнo-диспетчерські управління ОЕС і великі ЕС міжсистемного значення [39, 40].

В наш час потужні ЕС експлуатуються в Німеччині, Великобританії, Франції, США, Росії, Україні й інших країнах [7, 10, 40].

Велика різниця в структурі виробництва енергії в країнах Західної Європи при значній загальній потужності електростанцій обумовила необхідність створення розвиненої системи міждержавних електричних

ЛЕП постійного струму почали інтенсивно будувати у 60 – 80-х рр. За-стосування їх стало можливим завдяки створенню потужних випрямних і інверторних установок. У передачах постійного струму практично відсутні втрати. Кабельні лінії на постійному струмі більш надійні і мають у 3...4 рази більшу пропускну спроможність, ніж на змінному. Але головним є можливість з'єднання ЕС, що працюють у несинхронному режимі, а також підвищення стійкості роботи ЕС. Це має велике значення, тому що порушення синхронного режиму ЕС призводить до важких аварій і її розвалу. З 1965 по 1982 рр. у різних країнах відбулося 9 великих аварій тривалістю до 25 год і сумарною потужністю відключених споживачів до 40 млн кВт у кожній. Дві такі аварії мали місце у Нью-Йорку в 1965 і 1977 рр. [5, 39].

На рисунку 3.56 подано діаграму річного виробництва електроенергії по країнах світу.

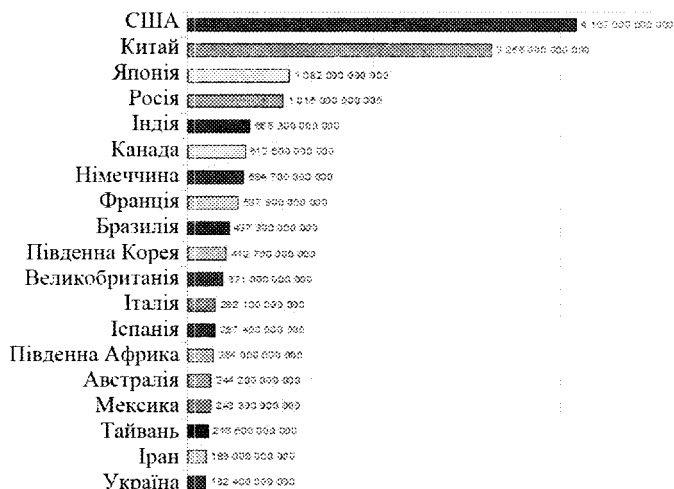


Рисунок 3.56 – Річне виробництво електроенергії в деяких країнах світу

### 3.10 Контрольні запитання

1. Що входить до задач енергетики; яким є її практичне значення?
2. Що таке енергія; які існують первинні природні енергетичні джерела?
3. Що собою являла епоха «живої енергетики»?
4. Розкажіть про перші способи використання енергії води, що рухається.
5. Як стародавня людина почала використовувати енергію вітру?
6. Який двигун дозволив звільнити промисловість від прив'язки до первинних джерел енергії; яким було його значення?

7. Як удосконалювались гідравлічні двигуни у другій половині XIX – на початку XX ст.?
8. Якими є довгострокові перспективи розвитку енергетики?
9. В чому причина все більш широкого використання поновлюваних природних джерел енергії?
10. Якими були типи водяних коліс?
11. Що таке гідротурбіна; які відомі основні класифікації гідротурбін?
12. Якими є переваги та недоліки гідроелектростанцій?
13. Розкажіть про основні ГЕС України.
14. Що собою являють ГАЕС та ПЕС?
15. Розкажіть про основні типи перших вітроподвигунів.
16. Розкажіть про перспективні конструкції вітроподвигунів.
17. Що собою являють геотермальні енергетичні джерела?
18. Розкажіть про початковий період розвитку геліоенергетики.
19. Як зараз використовується сонячна енергія?
20. Що собою являють СЕС?
21. Розкажіть про удосконалення та використання фотоелементів.
22. Яка біомаса використовується для виробництва енергії?
23. На що переробляється біомаса і який ефект від цього можна одержати?
24. Що собою являються установки для виробництва біогазу?
25. Як у різних країнах світу використовується енергія біогазу?
26. Якими є основні типи ТЕС, чим вони відрізняються?
27. Якими є переваги енергетичних ГТУ та ПГУ?
28. Назвіть основні відкриття, що послужили основою для атомної і ядерної фізики.
29. Якими є умови протікання ланцюгової ядерної реакції?
30. Якими були причини невдачі створення німецькими вченими атомної бомби?
31. Який принцип покладений в основу уранової атомної бомби?
32. Розкажіть про будову та принцип дії атомної електростанції.
33. Якими є умови реалізації процесів термоядерного синтезу?
34. Яким є потенціал термоядерної енергетики?
35. Що було метою «Манхеттенського проекту»? Назвіть основні стадії його реалізації.
36. Розкажіть про основні типи атомних реакторів.
37. Яким є призначення ЛЕП та єдиних енергетичних систем (СЕС)?
38. Назвіть основні умови стабільної роботи СЕС.
39. Розкажіть про основні енергетичні системи Світу.
40. Якими є переваги ЛЕП постійного струму порівняно із ЛЕП змінного струму?
41. Якою була структура споживання електроенергії у СРСР і США?
42. Якими є переваги та недоліки АЕС?
43. Якими є перспективи атомної енергетики?



## 4 РОЗВИТОК ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

### 4.1 Практичне значення, основні поняття та галузі машинобудування

Машинобудування – галузь важкої промисловості, що забезпечує виготовлення різних машин, знарядь, приладів, а також предметів споживання і продукції оборонного призначення.

Машинобудування є найбільшою комплексною галуззю, що визначає рівень науково-технічного прогресу у всьому народному господарстві, оскільки забезпечує інші галузі машинами, обладнанням, приладами, а населення – предметами споживання. Включає також металообробку, ремонт машин і устаткування. Для неї особливо характерне поглиблення спеціалізації виробництва і розширення його масштабів [14].

До перерахованих груп галузей машинобудування слід додати і «малу» металургію – виробництво сталі і прокату як в ливарних цехах машинобудівних підприємств, так і на окремих спеціалізованих підприємствах з виготовлення литва, поковок, штамповок і зварних конструкцій.

Машинобудування як галузь промисловості виникла у XVIII ст. Винахід прядильної машини, ткацького верстата, парової машини як універсального двигуна й інших машин забезпечило створення машин для виробництва. Був винайдений супорт, удосконалені металорізальні верстати, створені їх нові типи. Перехід від мануфактури до машинного виробництва відкрив епоху великої машинної індустрії, промислового капіталізму і знаменував повний технічний переворот і крутий злам суспільних відносин виробництва.

Основними елементами розвитку сучасного машинобудування є удосконалення засобів виробництва, методів його організації (наприклад, використання технологій серійного і масового виготовлення), перехід до стандартизації, автоматизації й інформаційного забезпечення процесів.

Значення машинобудівного комплексу важко переоцінити. Найважливіше його завдання – реалізація досягнень науково-технічного прогресу, забезпечення комплексної механізації і автоматизації виробництва, забезпечення народногосподарських галузей новою технікою, задоволення потреб населення у споживчих товарах [41].

У таблиці 4.1 подано основні показники найбільших світових машинобудівних компаній [42] за підсумками 2012 р. Згідно із таблицею у даний момент провідну роль у розглядуваній галузі відіграють приладобудівні компанії: Apple, IBM та Samsung Electronics. Apple за прибутковістю перевершує навіть нафтові енергогіганти British Petroleum, Exxon Mobil і Royal Dutch Shell. В сферу діяльності третьої компанії таблиці – General Electric – входить безліч різних напрямків, але з моменту її заснування основними є машинобудування й енергетика. Крім цього, очевидно, що

останнім часом набирають ваги автомобілебудівні компанії (Toyota Motor).

Таблиця 4.1

Компанія	Ринкова капіталізація, млрд \$	Оборот, млрд \$	Чисті прибутки, млрд \$
Apple	559.00 (1)*	65.23	25.22
IBM	241.75 (5)	107	16
General Electric	212.302 (9)	150.21	11.2
Samsung Electronics	181.77 (17)	247.5	18.3
Toyota Motor	149.59 (30)	204.1	2.3

\* у дужках зазначена позиція в загальному рейтингу за відповідним показником

Країни, що є основними експортерами продукції машинобудування, як правило, відіграють провідну роль й у світовій економіці (рисунок 4.1), що дозволяє їм навіть в умовах глобальної кризи зберігати відносну стабільність [42].

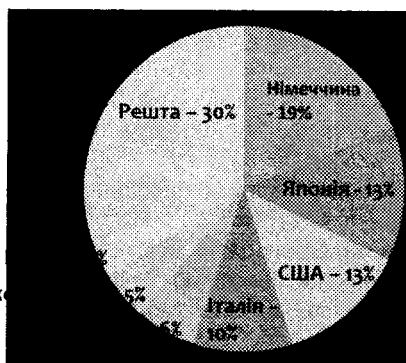


Рисунок 4.1 – Частка основних країн-постачальників машин та обладнання у світовому експорті

Об'єктом машинобудівного виробництва є виріб, яким називають продукт кінцевої стадії виробництва. Ним може бути будь-який предмет або множина предметів виробництва, які виробляють на підприємстві. Для автомобільного заводу виробом є автомобіль, для моторного – мотор, для заводу з виробництва заготовок – виливок, поковка тощо. Стандарти передбачають такі види виробів: заготовки, деталі, складальні одиниці, комплекси та комплекти [41, 43].

Заготовка – виріб, з якого внаслідок зміни форми, розмірів, шорсткості поверхонь та властивостей матеріалу отримують деталь чи суцільну складальну одиницю.

Деталь – це виріб, який виготовляють без складальних операцій, наприклад, вал, шестерня, гайка тощо.

Складальна одиниця – виріб, частини якого з'єднуються між собою внаслідок виконання складальних операцій (згинчування, склеювання, зварювання, запресовування, зшивання, розвальцьовування, заклепування), наприклад, електродвигун, муфта, зварена ферма чи корпус.

*Комплекс* – дві або більше складальні одиниці, що з'єднані між собою на заводі при виконанні складальних операцій та призначені для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій.

*Комплект* – два або більше виробів, не з'єднаних між собою та призначених для виконання однакових функцій допоміжного характеру (запчастини, інструмент, пристрої, комплект вимірювальної апаратури).

Основним конструкційним матеріалом в машинобудуванні є чорний метал і, отже, головний сировинний постачальник – чорна металургія. В той же час, в сучасному машинобудуванні чорні метали все більше замінюються кольоровими, перш за все – легкими (алюміній), а також – композитами і пластмасою.

Проте в машинобудуванні, яке є найбільш складною галуззю, що визначає рівень НТП, все не так однозначно, як в інших галузях промисловості. У сучасному машинобудуванні основну роль відіграють трудомісткі, наукомісткі, нематеріаломісткі виробництва (за винятком ряду підгалузей важкого машинобудування, виробництва металевих виробів і конструкцій, заготовок тощо). Тому, перш за все, слід говорити про основний ресурс – чималу кількість висококваліфікованої робочої сили. Велике значення мають і споживачі, якими є не тільки населення, але й інші підприємства і навіть галузі [44].

До сировинних проблем галузі відносяться: зменшення споживання металу за рахунок підвищення його якості і зниження ваги виробів, скорочення відходів і втрат металу при його обробці шляхом максимального наближення форми і розмірів заготовки до форми і розмірів готових деталей.

Розрізняють три основні типи машинобудівного виробництва: масове, серійне та одиничне.

Належність виробництва до того чи іншого типу визначається кількістю та номенклатурою виготовлених виробів, способами їх виготовлення та транспортування від одного робочого місця до наступного, ступенем спеціалізації робочих місць [45].

*Масове виробництво* характеризується безперервним виготовленням виробів вузької номенклатури на вузькоспеціалізованих робочих місцях. Даний тип виробництва дозволяє механізувати та автоматизувати технологічний процес у цілому та організувати його максимально ефективно.

*Серійне виробництво* характеризується виготовленням обмеженої номенклатури виробів (деталі виготовляють партіями, а складальні одиниці – серіями), що повторюється через певні проміжки часу, а також широкою спеціалізацією робочих місць. Розділення серійного виробництва на крупно-, середньо- та дрібносерійне є умовним, оскільки у різних галузях машинобудування при одній і тій же кількості виробів у серії, але при суттєвій різниці їх розмірів, складності та трудомісткості виробництво може бути віднесене як до одного, так і до другого типу. За рівнем механізації та

автоматизації крупносерійне виробництво наближається до масового, а дрібносерійне – до одиничного.

*Одиничне виробництво* – відрізняється виготовленням широкої номенклатури виробів у декількох екземплярах кожен. При цьому дана номенклатура повторюється через невизначені проміжки часу або взагалі не повторюється. Робочі місця не мають певної спеціалізації. Значний процент технологічних операцій виконують вручну.

Традиційно машинобудування поділяють на такі групи галузей [41] – важке; загальне; середнє; точне машинобудування; виробництво металевих виробів і заготовок; ремонт машин і устаткування.

**Важке машинобудування** містить галузі:

- Гірничошахтне машинобудування;
- Металургійне машинобудування;
- Енергетичне машинобудування;
- Підйомно-транспортне машинобудування.

**Загальне машинобудування** включає галузі:

- Залізничне машинобудування;
- Суднобудування;
- Авіаційна промисловість;
- Ракетно-космічна галузь;
- Виробництво технологічного устаткування по галузях;
- Будівельне і комунальне машинобудування;
- Сільськогосподарське машинобудування;
- Хімічне машинобудування;
- Лісопромислове машинобудування.

**Середнє машинобудування:**

- Автомобільна промисловість;
- Тракторобудування;
- Верстатобудування;
- Робототехніка;
- Інструментальна промисловість;
- Устаткування легкої промисловості;
- Устаткування харчової промисловості;
- Промисловість побутових приладів і машин;
- Виробництво військової техніки.

**Точне машинобудування:**

- Приладобудування;
- Радіотехнічна і електронна промисловість;
- Електротехнічна промисловість.

**Виробництво металевих виробів і заготовок:**

- Виробництво ножових виробів, столових приладів, замкових і скоб'яних виробів, фурнітури;
- Виробництво масових металовиробів – дріт, канати, цвяхи, кріплення.

У машинобудуванні можна виділити старіші і новіші галузі. До останніх відносяться електроніка, радіотехніка, робототехніка, ракетно-космічна промисловість та інші галузі, що виникли в другій половині ХХ ст. У другій половині ХІХ і першій половині ХХ ст. з'явилися авіа- і автотранспортна техніка, електровозо- і тепловозобудування, виробництво устаткування для численних галузей народного господарства і промисловості. До старих галузей, що виникли ще в ХVІІІ і першій половині ХІХ ст. відноситься виробництво машин і обладнання для гірничих підприємств, енергетики, будівництва, металургії, сільськогосподарської і військової техніки, паровозо- і суднобудування [14, 41].

#### **4.2 Основні регіони, продукція та особливості розміщення галузей машинобудування**

Розміщення машинобудування в цілому визначається соціально-економічними чинниками і перш за все – наявністю достатньо великої кількості кваліфікованих трудових ресурсів, а також – споживачів готової продукції. Характерною рисою машинобудування, що впливає на розміщення, є високий розвиток спеціалізації і кооперації. Спеціалізація полегшує організацію масового виробництва, сприяє раціональнішому використанню устаткування, підвищенню продуктивності праці. Однією з найбільш характерних, в плані широкого розвитку спеціалізації і кооперації підприємств, в машинобудуванні є автопромисловість [46].

У даний момент виділяються три основні регіони машинобудування.

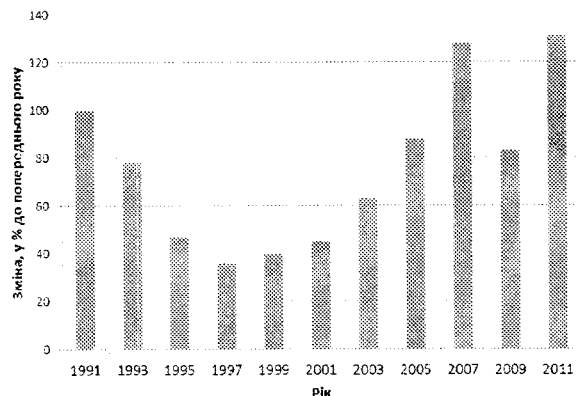
Провідне місце серед них за масштабами виробництва (30% світового) займає регіон Північної Америки, що включає США, Канаду, Мексику. Він особливо виділяється за виробництвом великих ЕОМ, літаків, ракетно-космічної техніки, причому в США майже половина всієї машинобудівної продукції прямує на експорт [41].

Регіон Східної і Південно-Східної Азії за обсягами виробництва приблизно дорівнює регіону Північної Америки і фактично ділить з ним перше та друге місця. Лідирує в ньому Китай, який за темпами зростання цієї галузі випередив США, Японію і Європу. В свою чергу Японія в середині 50-х років за вартістю машинобудівної продукції знаходилася на рівні Італії, але до середини 60-х років досягла рівня ФРН і Великобританії, а в середині 70-х років набагато його перевершила. Окрім Китаю та Японії, до складу основних машинобудівних країн регіону справедливо слід включити і такі «країни нової індустріалізації» як Індія, Республіка Корея, Сінгапур [41].

На третій регіон, що включає країни Європи, припадає більше 1/5 обсягів продукції світового машинобудування. Як безперечний лідер тут виступає Німеччина, потім йдуть Франція, Великобританія, Італія, Іспанія, що спеціалізуються, перш за все, на масових видах машинобудування, включаючи верстатобудування, автомобілебудування і т. п. Частка маши-

нобудівної продукції в експорті найбільша у Німеччини (див. рисунок 4.1). Але за експортом машин і устаткування з розрахунку на душу населення перше місце не тільки в регіоні, але і в світі займає Швейцарія [41].

На додаток не можна не сказати про те, що четвертий машинобудівний регіон утворюють країни СНД, машинобудування яких відрізняються великим об'ємом виробництва і устаткування, але відставанням у розвитку наукомістких галузей. Окрім відзначених регіонів на машинобудівній карті світу помітне місце займають також Бразилія і Австралія [41].



Машинобудування України є порівняно розвинутою галуззю, що останні роки переживає певний підйом (рисунок 4.2).

Таким є у загальних рисах регіональний підхід до теми. Але для деяких окремих галузей машинобудування потрібно дати поглиблену оцінку їх розміщення та розвитку.

Рисунок 4.2 – Зміна обсягів продукції машинобудування в Україні за роки незалежності

**Важке машинобудування.** Важке машинобудування виробляє гірничошахтне, підійомно-транспортне, металургійне обладнання, устаткування для хімічного та будівельного комплексів, шляхові машини (бульдозери, екскаватори, катки, грейдери) тощо. Воно є металомістким, тому тяжіє до металургійних баз; водночас воно – громіздке, тому тяжіє до споживача. Продукція цієї галузі випускається невеликими партіями або навіть одиничними зразками (парові котли, турбіни, прокатні стани), а само виробництво є трудомістким (рисунок 4.3) [41].

Високим рівнем розвитку важкого машинобудування виділяються насамперед розвинені країни, де є важка промисловість. У країнах, що розвиваються, важке машинобудування орієнтується на видобувну промисловість (видобування нафти, газу, руди, вугілля) або на металургійну промисловість (Індія, Бразилія, Аргентина).

Важке машинобудування України включає виробництво металургійного, гірничого, підійомно-транспортного обладнання, енергетичних блоків (парових котлів, атомних реакторів, турбін, генераторів), а також іншої металосміної та великогабаритної продукції. При цьому створюються підприємства повного циклу з випуском продукції невеликими серіями або інди-

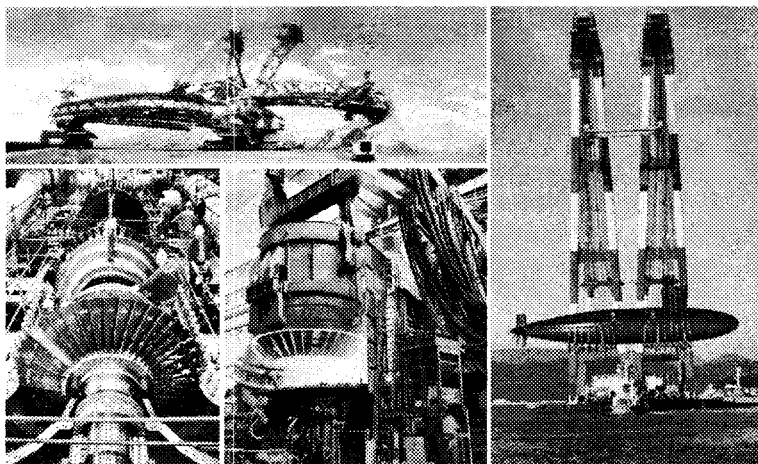


Рисунок 4.3 – Продукція важкого машинобудування

відуального призначення. Потреба у великій кількості металу, складність транспортування готової продукції зумовлюють розміщення даних підприємств поруч з металургійними центрами, хоча інколи вони розташовуються і в районах споживання готової продукції. За класичний приклад раціонального розміщення підприємств важкого машинобудування може бути взято виробничий комплекс Донецько-Придніпровського району, що включає підприємства Краматорська, Дніпропетровська, Харкова, Донецька, Маріуполя тощо [41].

**Верстатобудування.** У верстатобудуванні – провідній галузі середнього машинобудування – у 80-х рр. ХХ ст. виділялись п'ять основних країн виробників: Японія, ФРН, СРСР, США, Італія, на які за вартістю припадало 2/3 випуску верстатів в світі. Вони ж забезпечували майже 60% їх експорту і 45% імпорту. Перше місце за розмірами експорту займала ФРН, друге – Японія [41].

Наприкінці 1990-х рр. світове виробництво металорізальних верстатів склало понад 1,2 млн одиниць. Країни колишнього СРСР, який був раніше одним з лідерів світового верстатобудування, зараз практично втратили дану галузь. В наш час з виробництва верстатобудівної продукції виділяються: Китай, Японія та Німеччина. А далі щільною групою йдуть Італія, Південна Корея, Тайвань, США.

В Україні центрами верстатобудування є міста Краматорськ (НКМЗ), Київ (завод верстатів-автоматів), Харків (завод агрегатних верстатів), Одеса (верстатобудівний), Запоріжжя (верстатобудівний), Житомир (завод верстатів-автоматів). Крім цього, підприємства даної галузі розташовані у містах Мелітополь, Лубни, Корсунь-Шевченківський [41].



Рисунок 4.4 – Сучасні верстати з ЧПК

грамним керуванням (ЧПК) (рисунок 4.4), що мають значні технологічні можливості та ефективність.

**Транспортне машинобудування.** Транспортне машинобудування включає виробництва автомобілів, морських та річкових суден, локомотивів, вагонів, трамваїв, тролейбусів тощо. Воно розміщене переважно в економічно розвинених країнах, де є попит на цю продукцію, крім цього, воно орієнтується на сировинну базу [41].

#### *Автомобілебудування*

Автомобілебудування позначене великою капіталомісткістю, а гостра конкуренція зумовлює високий рівень монополізації. Крім цього, для галузі характерні розвинена кооперація і орієнтація основного виробництва на райони концентрації кваліфікованих трудових ресурсів, що виділяються високою технічною культурою. Автомобілебудування за останні десятиліття перетворилося на одну з найбільших галузей машинобудування та й усієї промисловості. Якщо перед другою світовою війною всі країни виробляли приблизно 4 млн автомобілів за рік, а в 1950 р. – 10 млн, то в 70-х рр. їх випуск перевищив 30 млн, в 80-х рр. – 40 млн, а на початку 90-х рр. – 45 млн [41]. За даними ОІСА у 2011 р. у світі було вироблено близько 60 млн легкових автомобілів (останні становлять понад 70% від загального числа наземних транспортних засобів).



Рисунок 4.5 – Виробництво автомобілів у світі у 2011 р. (млн шт.)

Число верстатів в Україні в останні роки сильно скоротилось, внаслідок виведення з експлуатації старого обладнання. Інша вітчизняна тенденція – все більш широке впровадження верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

На рисунку 4.5 подано основні країни-автовиробники (за підсумками 2011 р.).

Найбільшими в світі центрами автобудування є Токіо, Нагоя, Кобе, Йокогама (Японія), Детройт (США), Вольфсбург, Штутгарт, Мюнхен, Кельн (Німеччина), Париж (Франція),



Турін (Італія), Лондон (Великобританія), Сеул (Південна Корея), Торонто (Канада), Сан-Паулу (Бразилія) [41].

Найбільшим світовим споживачем автомобілів за підсумками 2010 р. є Китай (близько 14 млн машин), далі йдуть США, Бразилія, Німеччина, Індія, Великобританія, Росія.

Серед фірм найбільшими виробниками у 2010 р. були:

1. Toyota (Японія) – 8,56 млн шт.;
2. General Motors (США) – 8,48 млн шт.;
3. Volkswagen (Німеччина) – 7,34 млн шт.;
4. Hyundai Motor (Південна Корея) – 5,76 млн шт.;
5. Ford (США) – 4,99 млн шт.;
6. Nissan (Японія) – 3,98 млн шт.;
7. Honda – 3,64 млн шт.

В Україні з 2008 р., у зв'язку із світовою фінансовою кризою, виробництво автомобілів скоротилось більше, ніж у чотири рази. Інша тенденція вітчизняного авторинку – домінування на ньому автомобілів імпортного виробництва (рисунок 4.6).

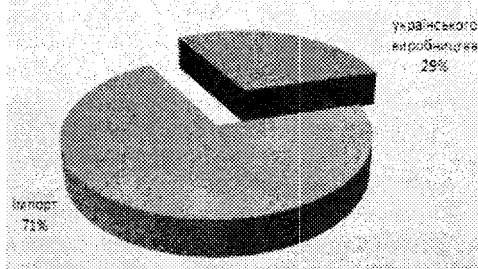


Рисунок 4.6 – Загальна структура сучасного автомобільного ринку України

(вантажівки «Татра»). Найбільші фірми з виробництва вантажівок розташовуються в Японії («Міцубісі», «Ніссан»), Італії («Івеко»), Швеції («Вольво»), «Сканія»), Франції («Рено»), ФРН («Даймлер», «МАН») та США («Дженерал Моторс», «Форд», «Крайслер») [41].

Виробництво автобусів знаходиться у ФРН («Мерседес»), Угорщині («Ікарус»), Україні («ЛАЗ»), Росії («ПАЗ», «ЛіАЗ»), США, Японії, Швеції («Вольво»), Франції («Рено») [41].

Виробництво мотоциклів в основному розташовується в Японії («Хонда», «Сузукі», «Ямаха», «Кавасакі»); ФРН («БМВ»), Франції («Пежо»), США та Італії [41].

**Залізничне машинобудування.** Дана галузь історично склалась там, де була розвинена мережа залізниць: у Західній Європі, Росії, Україні, США, Японії, а останнім часом – в Китаї та Індії. У більшості розвинених країн в даний момент випускають і використовують, в основному, елект-

ровози (виняток – США, де висока питома вага тепловозів). В країнах, що розвиваються, застосовують тепловози і паровози. Найновіші типи локомотивів запроваджує Японія, швидкість руху на її залізницях Тихоокеанського узбережжя є найвищою. У США розроблено новий тип швидкісного залізничного складу, який рухається зі швидкістю 240 км/год і є одним із найнадійніших з огляду на безпеку руху. В Україні тепловози та електровози виробляються у Луганську (рисунок 4.7). Харкові та Дніпропетровську, трамвай – у Луганську, тролейбуси – у Дніпропетровську [41].

За даними Всесвітнього банку, експлуатований локомотивний парк залізниць усього світу нараховує приблизно 86 тис. тепловозів і 27 тис. електровозів. В Україні тепловози поширені по всій мережі залізниць і виконують близько 98% маневрової роботи і близько 40% пасажирських і вантажних перевезень. Загальне число тепловозів у парку

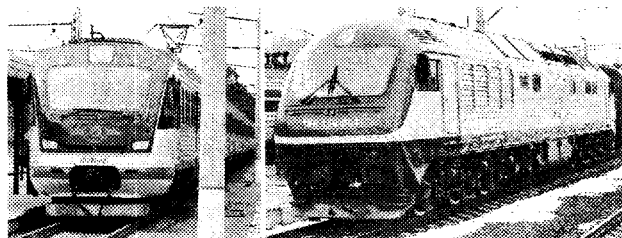


Рисунок 4.7 – Українські електровоз ЕПЛ2Т-031 та тепловоз ТЕП 150-001

Укрзалізниці більше за число електровозів, але за рахунок того, що з найбільш вантажонапружених ліній тепловози витіснені електровозами, частка тепловозів у вантажоперевезеннях менша [41].

Діаграми на рисунку 4.8 відображають основні тенденції в українському залізничному машинобудуванні.

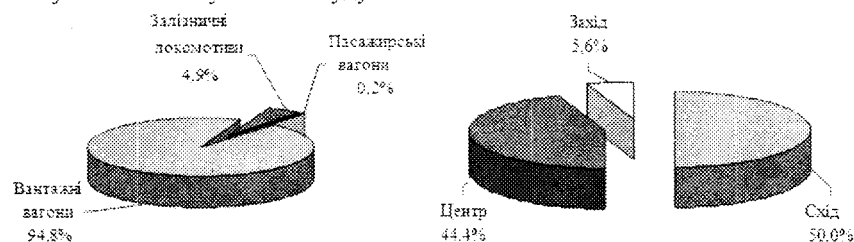


Рисунок 4.8 – Розподілення продукції українського залізничного машинобудування за видами та регіонами

**Суднобудування.** У суднобудівній промисловості світу підйом припав на 60-ті і першу половину 70-х рр. ХХ ст. Свого піку він досяг в 1975 р., коли на воду були спущені судна сумарною водотоннажністю в 35 млн т (рисунок 4.9). (Для порівняння: у 1950 р. – 3,5 млн т, в 1960 р. – 8 млн т). Але потім ця галузь вступила в час тривалого спаду, викликаного, перш за все, світовою енергетичною кризою і різким скороченням мор-

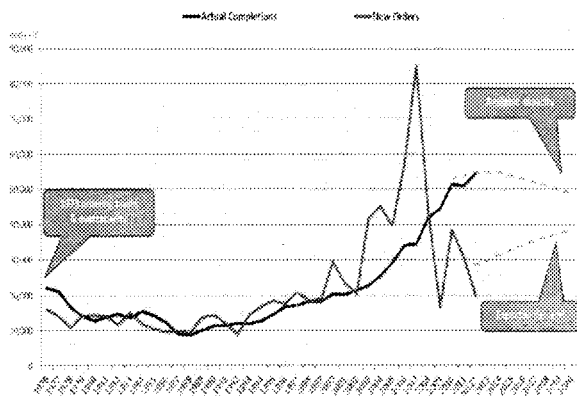


Рисунок 4.9 – Зміна обсягів продукції світового суднобудування в останні 45 років та оцінка на найближчу перспективу (синій графік – фактичний обсяг; червоний графік – обсяг замовлень)

ним регіоном розвитку цієї галузі була Західна Європа, в якій особливо виділялася Великобританія, що мала світову першість у розглядуваній підгалузі з початку XIX ст. Перед другою світовою війною вона одна спускала на воду половину всього світового тоннажу морських судів. Вагомою часткою суднобудування виділялися і інші країни Західної Європи. У 1950 р. в «першу десятку» суднобудівних країн входили (без СРСР): Великобританія, США, Японія, Швеція, Нідерланди, ФРН, Данія, Італія, Норвегія, Канада [41].

У останні роки в суднобудуванні за тоннажем і кількістю спушених на воду суден домінує Китай, що у 2010 р. перегнав Південну Корею (рисунок 4.10). Успіх Китаю обумовлений дешевиною робочої сили даної країни, а також тим, що основною продукцією китайських суднобудівників є зараз невеликі дешеві кораблі. Але у Південній Кореї використовуються найпередовіші у світі технології суднобудування, забезпечуються високі продуктивність праці робітників та загальна ефективність верфей (завдяки максимальній концентрації виробни-

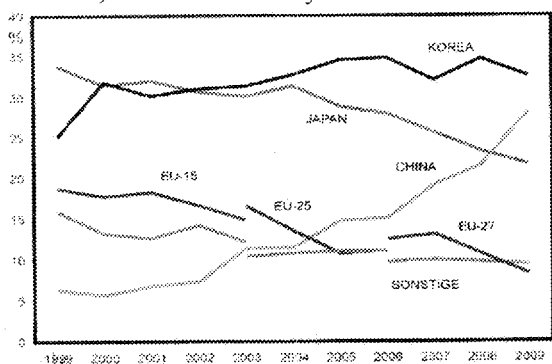


Рисунок 4.10 – Розподілення обсягів продукції світового суднобудування в останні роки по основних країнах – виробниках

ських перевезень нафти [41]. З кінця 1980-х рр. знову почався підйом, що продовжувався аж до 2008 р. – початку світової фінансової кризи. Виробничі потужності світового суднобудування в наші дні використовуються лише на 40%.

Одночасно відбулися кардинальні зрушення і в географії світового суднобудування. До другої світової війни головним

китайських суднобудівників є зараз невеликі дешеві кораблі. Але у Південній Кореї використовуються найпередовіші у світі технології суднобудування, забезпечуються високі продуктивність праці робітників та загальна ефективність верфей (завдяки максимальній концентрації виробни-

чих потужностей у одному невеличкому регіоні, тоді як в Європі ці потужності, в основному, знаходяться у різних країнах). Так, найбільша у світі Південнокорейська верф в Ульсані, що належить компанії «Hyundai Heavy Industries» забезпечує спуск на воду нових суден вартістю по \$80 мільйонів кожні чотири робочі дні. Найбільшими судновиробниками Південної Кореї, окрім «Hyundai» є також «Samsung Heavy Industries», «Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering» і «STX Shipbuilding». У 2007 р. остання придбала «Aker Yards» – найбільшу суднобудівну групу в Європі. Загальна частка обсягів продукції суднобудування Європейських країн становить зараз лише десяту частку обсягів Китаю та Південної Кореї.

У 2000-х рр. в суднобудуванні України розпочався підйом, що тривав до 2008 р. Поліпшення ситуації обумовлювалось структурною перебудовою галузі: перетворенням переважної більшості підприємств у відкриті акціонерні суспільства, відокремленням від них непрофільних виробництв та соціальної сфери, що потребувала крупних витрат на утримання. Сприяливим чинником стала також кооперація ряду українських заводів з європейськими суднобудівниками: в Україні будують корпуси суден, а добувають їх в Європі. Завдяки такій схемі замовлення на будівництво корпусів судів різних типів сьогодні мають «Damen Shipyards Ocean», суднобудівельні заводи «Затока» (Керч), «Ленінська кузня» (Київ), Київська і Кілійський суднобудівельно-судоремонтні заводи [41].

Проте чимало проблем залишається. На ряді підприємств продовжується будівництво суден за раніше укладеними збитковими контрактами. Заводи зазнають величезних труднощів з отриманням кредитів для модернізації виробництва, з браком оборотних коштів, із завантаженням потужностей.

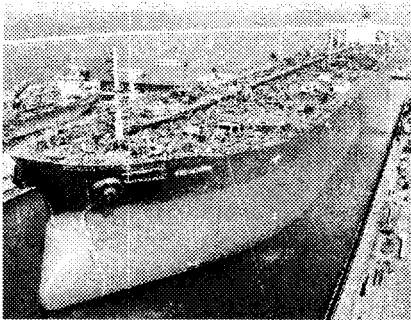


Рисунок 4.11 – Супертанкер Knock Nevis: довжина – 458 м; ширина – 69 м; вантажомісткість – 564 763 т; потужність силової установки – 50000 к. с.

Серед основних видів продукції суднобудування в останні роки найбільшим попитом користуються танкери (рисунок 4.11), судна для перевезення наливних вантажів та рефрижератори.

Високу ефективність галузі забезпечує використання під час складання кораблів блоково-модульного методу (рисунок 4.12).

**Сільськогосподарське машинобудування.** Сільськогосподарське машинобудування здійснює виготовлення машин для механізації всіх видів сільськогосподарського виробництва (обробки ґрунту, посі-

ву культур, збору урожаю), а також устаткування для тваринництва. Всі ці

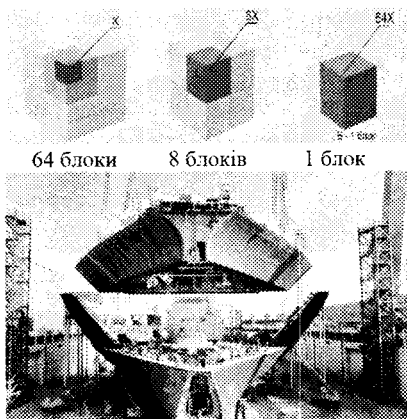


Рисунок 4.12 – Використання блоково-модульного методу складання кораблів

Тракторне машинобудування включає підприємства з виробництва тракторів, тракторних і комбайнових двигунів, спеціалізовані заводи з виготовлення агрегатів, вузлів, деталей і запасних частин до тракторів. На початку 90-х рр. XX ст. в Україні працювали 22 підприємства даної галузі. Українським центром тракторобудування є Харків (заводи: тракторний ім. С. Орджонікідзе, моторобудівний, завод тракторних самохідних шасі «Серп і Молот», тракторних двигунів «Поршень» та інші). Комплектуючі для тракторів виробляються у Кіровограді (завод сівалок) і Києві [41].

**Електротехнічна промисловість, виробництво електронної техніки, фотоапаратів та годинників.** Явна тенденція до збільшення частки країн Східної і Південно-Східної Азії простежується і у випуску масової продукції побутового призначення.

Ще в 1980 р. перші п'ять місць в переліку країн-виробників радіоапаратури займали Японія, США, СРСР, ФРН і Франція. Тепер же всі місця в «першій п'ятірці» належать країнам Східної і Південно-Східної Азії, що випускають переважно дешеві радіоприймачі, магнітоли, телевізори, відеомагнітофони, DVD-плеєри, комп'ютери тощо. Особливо сильний «ривок» за 80-ті рр. XX ст. зробив Гонконг, де радіотехнічну продукцію випускають сотні фірм [41]. В останні роки Китай в цілому став беззаперечним лідером даного напрямку.

Багато в чому аналогічна ситуація склалася і в світовому виробництві годинників. До початку 1970-х рр. визнаним лідером в цій галузі була Швейцарія, що випускала приблизно 100 млн наручних годинників за рік. Але після винаходу кварцового годинника годинникова промисловість цієї країни вступила в смугу кризи, а на перше місце вийшла Японія. Потім

машини орієнтуються на споживача і виробляються у тих країнах, де в них виникає потреба.

Розвинені країни, що добилися високого рівня механізації сільського господарства, скорочують виробництво сільськогосподарської техніки, приділяють увагу підвищенню її якості і розширенню технологічних можливостей, тоді як за абсолютними показниками виробництва все більше поступаються країнам, що розвиваються.

В Україні у Луганську й Кіровограді випускають комбайни, у Херсоні – кукурудозбиральні та зернозбиральні, у Дніпропетровську – бурякозбиральні [41].

Японію обігнав Гонконг, що виробляв прості і дешеві електронні годинники, і тепер в «першій десятці» вже п'ять азіатських країн.

З виробництва телевізорів світовими лідерами є: Китай, Південна Корея, Японія. Серед фірм виробників телевізорів на передових позиціях за результатами 2012 р. знаходяться Samsung та LG Electronics (обидві – Південнокорейські), далі TCL (Китай) і Sony (Японія).

З виробництва пральних машин виділяється Китай; магнітофонів – Китай, Японія; комп'ютерів – США, Японія, Китай, промислових роботів – США, Німеччина і Японія.

У «першій десятці» країн-виробників фотоапаратів азіатські країни продовжують утримувати п'ять місць.

Приладобудування – це виробництво електро- та радіовимірювальних оптичних приладів, засобів зв'язку тощо. Найбільшими виробниками електротехнічного устаткування у світі є компанії АВВ (Швейцарія та Швеція), Siemens (ФРН), General Electric (США), GEC-Alsthom (Франція та Великобританія) [41].

Вказані галузі виробництва з'явилися спочатку у Європі, США та Японії, а потім в розрахунок на дешеву робочу силу були перенесені також у «країни нової індустріалізації» – у Східну і Південно-Східну Азію, а також у Латинську Америку.

Одним із напрямів приладобудування є електронна промисловість. Вона зародилась у США, потім перейшла до Європи і Японії, а тепер змістилась до Китаю, Південної Кореї, Сінгапуру, Гонконгу, Тайваню, Бразилії. Спочатку в цих країнах складали тільки побутову електроніку з американських, європейських та японських деталей; тепер там впроваджене інтегроване виробництво, яке містить всі основні стадії (рисунок 4.13). Випускаються персональні комп'ютери, великі інтегральні схеми, периферійні системи, обладнання для електронного проектування, засоби зв'язку, волоконна оптика тощо.



Рисунок 4.13 – Складання персональних комп'ютерів на китайському підприємстві

За даними компанії Gartner у 2012 р. вперше за 11 років обсяг постачань ПК порівняно з попереднім роком скоротився на 1,2% і становив 348,7 млн пристроїв.

З 2012 р. лідером за продажами ПК стала компанія Lenovo (Китай), що обігнала американську корпорацію Hewlett-Packard (рисунок 4.14).

Нарощування потужностей суперкомп'ютерів у останні роки здійснюється як за рахунок підвищення кількості їх процесорних ядер, так і в результаті збільшення продуктивності самих процесорів (рисунок 4.15). Також на рисунку 4.16 подано дані про використання у суперкомп'ютерах процесорів та операційних систем різних фірм.

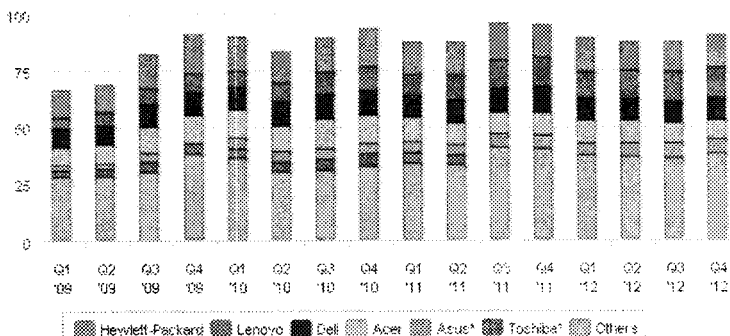


Рисунок 4.14 – Обсяги світового постачання ПК основними фірмами виробниками по кварталах 2009 – 2012 рр. (млн шт.)

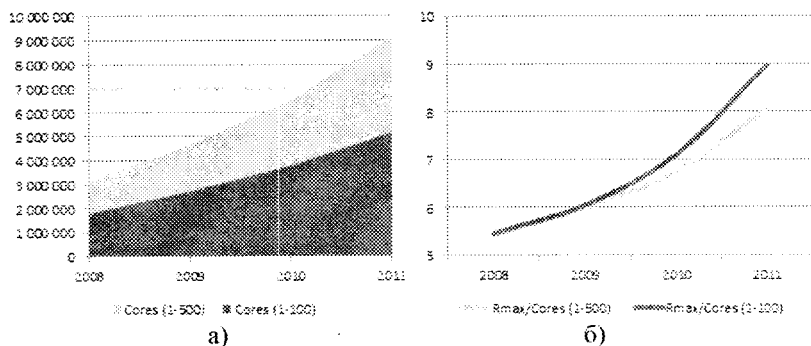
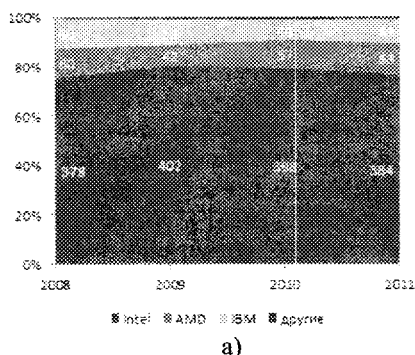


Рисунок 4.15 – Діаграми зростання у останні роки числа процесорних ядер (а) та потужності одного ядра (б) суперкомп'ютерів



Операційна система	Кількість	Частка, %
Linux	455	91.00 %
Windows	5	1.00 %
Unix	22	4.40 %
BSD Based	1	0.20 %
Mixed	17	3.40 %
<b>Totals</b>	<b>500</b>	<b>100%</b>

Рисунок 4.16 – Використання у суперкомп'ютерах в останні роки процесорів (а) та операційних систем (б) основних фірм-виробників

Найпотужнішим на даний момент суперкомп'ютером є американський

Jaguar Kraken Cray XT5, що знаходиться у Оук-Ріджській Національній лабораторії (штат Теннессі, США) і має 224162 процесорних ядер та продуктивність  $1750 \cdot 10^{12}$  операцій за секунду (рисунок 4.17).

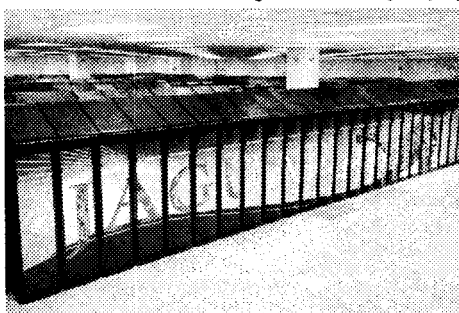


Рисунок 4.17 – Найпотужніший суперкомп'ютер світу Jaguar Kraken Cray XT5 фірми Cray (США)

В Україні електронна галузь теж широко представлена: більшість продукції виробляється на підприємствах військово-промислового комплексу. Серед центрів виділяються Київ, Дніпропетровськ, Львів, Одеса, Харків, Сімферополь [41].

В наш час електротехнічна промисловість і електроніка характеризуються складною структурою і в розвинених країнах спираються на розвинену наукову базу, висококваліфікованих

робітників і споживача, тоді як в нових індустріальних країнах – на дешеві трудові ресурси.

**Аерокосмічна промисловість.** Авіаційна промисловість, виробництва космічних апаратів та ракет орієнтовані на наукову базу і висококваліфіковані кадри та є тільки в економічно розвинених країнах.

Найбільшими виробниками авіаційної техніки є США (Х'юстон, Сієтл, Атланта, Нью-Йорк), Росія (Москва, Воронеж, Самара, Нижній Новгород, Іркутськ, Казань, Комсомольськ-на-Амурі), Франція (Париж і Тулуза), Німеччина (Штутгарт і Мюнхен), Великобританія (Лондон) і Італія (Турін).

Серед компаній найбільшу кількість цивільних літаків виробляють Boeing (США) та Airbus (консорціум Західної Європи), які є глобальними конкурентами (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Обсяги замовлень цивільних літаків корпораціям Boeing (США) та Airbus (Німеччина, Великобританія, Франція, Іспанія) у останні роки

Обсяги замовлень літаків по роках	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005
Фірми:								
■ Airbus	230	1419	574	271	777	1341	790	1055
■ Boeing	694	805	530	142	662	1413	1044	1002

Військові літаки у останні роки випускають в основному російські фірми «Сухой» та «РСК Міг», американські «Lockheed Martin» та «Boeing»,



європейські «Dassault» та «Eurofighter», китайська «Chengdu». В Україні виготовляють авіадвигуни (завод «Мотор-Січ» в Запоріжжі). Авіазаводи у Києві та Харкові налагоджують випуск літаків Ту-334, Ан-140, Ан-74, Ан-74ТК (рисунок 4.18).



**Ан-74тк100:** вантажопідйомність – 10 т; крейсерська швидкість – 650 – 700 км/год; дальність польоту – 5700 км

**Ан-140:** пасажиромісткість – 52 чол.; крейсерська швидкість – 540 км/год; дальність польоту – до 3700 км

Рисунок 4.18 – Українські близькомагістральні літаки

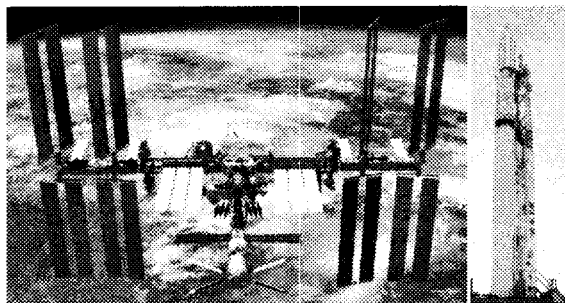


Рисунок 4.19 – Міжнародна космічна станція та український ракетоносій «Зеніт-2»

ракетоносії «Зеніт» (див. рисунок 4.19). Крім цього, Україна бере участь у комічній програмі «Морський старт» [41].

**Розподілення продукції та виробничих потужностей машинобудування.** Майже 3/4 продукції машинобудування перерозподіляється між розвиненими країнами. Це обумовлено тим, що країни, які розвиваються, не можуть дозволити собі великих витрат на розробку, виготовлення, придбання та експлуатацію нових високотехнологічних машин. Розвинені капіталістичні і нові індустріальні країни виділяються масштабами продукції машинобудування, призначеної на експорт, а звідси їх підвищена увага до поліпшення якості продукції, що випускається [41].

Основні вантажопотоки машинобудівної продукції розподіляються таким чином:

У виробництві космічної техніки також має місце кооперація: США брали участь у будівництві міжнародної космічної станції (рисунок 4.19), Франція виробляє ракети «Оріон», Росія – штучні супутники, космічні станції, кораблі та модулі, а також ракетоносії «Протон»; Україна –

Японія – США;  
США – Західна Європа;  
Західна Європа – США та решта Світу.

Машинобудівний комплекс Росії, України, інших країн СНД, а також Індії, Бразилії, Аргентини працює переважно на внутрішній ринок, що обумовлено порівняно низькою якістю продукції, яка ним випускається.

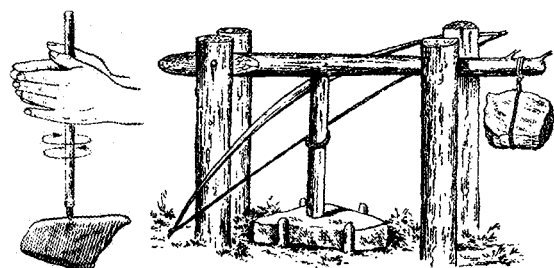
Що стосується розподілення машинобудівного виробництва на території України, то у Західному та Центральному економічних районах переважає в основному трудомістке й нематеріалоємне виробництво: добре розвинені верстатобудування, автобудування, приладобудування, виробництво електро- та радіоапаратури, засобів автоматизації, технологічного обладнання. Центри верстатобудування це – Київ, Житомир, Львів. Виробництво приладів та засобів автоматизації здійснюється в основному у Києві, Житомирі, Львові, Мукачеві, Черкасах. Сільськогосподарське машинобудування тяжіє до місць споживання готової продукції [41].

Південь України спеціалізується на суднобудуванні, судноремонті, виробництві сільськогосподарських машин, верстатів, будівельно-пляхового й підйомно-транспортного обладнання, машин для легкої та харчової промисловості. Морське й річкове суднобудування розвинене у Миколаєві, Херсоні, Керчі, судноремонт – у Одесі, Іллічівську, Херсоні, Севастополі.

В цілому машинобудівний комплекс України має значний науково-виробничий потенціал; в ньому зосереджена третина промислово-виробничих фондів і майже половина промислово-виробничих потужностей країни [41].

### 4.3 Розвиток верстатобудування

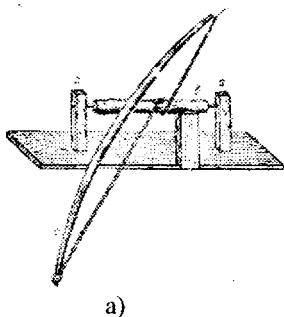
Ще в епоху неоліту перед людиною виникла проблема обробки кам'яних знарядь праці і полювання, зокрема висвердлювання в них круглих отворів. Це стало основною причиною створення пристроїв, в яких обробка здійснювалась за рахунок обертання інструмента. Поступово дані пристрої перетворилися в абразивні верстати з інструментом – точильним каменем, закріпленим на валу, що приводився в обертання рукояттю. На



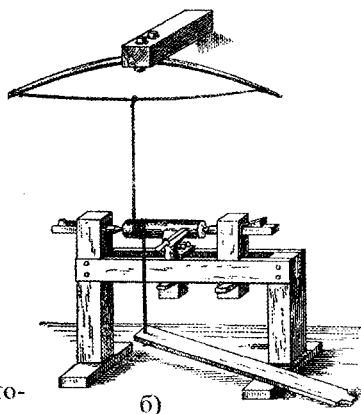
таких верстатах оброблялися як кам'яні, так і металеві заготовки (рисуюнок 4.20) [14].

Приблизно в V ст. до н. е. був створений прототип токарного верстака, у якому оберталася вже заготовка, а інструмент – різець – знаходився в руках майстра (ри-

Рисунок 4.20 – Перші зразки абразивних (свердильних) верстатів



а)



б)

Рисунок 4.21 – Перші токарні верстати

сунок 4.21, а).

Обертання здійснювалося за допомогою лука, тяги якого була обведена навколо заготовки. Будова більш досконалого лучкового токарного верстата з педаллю показана на рисунку 4.21, б. Подібне обладнання ви-

користовувалося давніми єгиптянами, греками і римлянами. На початку нашої ери привод шпинделя токарного і абразивного верстатів здійснювався від кривошипно-шатунного педального механізму, а з XV ст. – від водяного колеса або кінної тяги через пасову передачу [46].

Перші фрезерні верстати були розроблені для нарізання зубчастих коліс і містили дільний пристрій, відомий вже у XVI ст. Наприкінці XVII ст. був створений верстат для нарізання зубців годинникових коліс – І. Бюн (Франція), Я. Лейпольд (Німеччина). У XVIII ст. А. К. Нартов (1694 – 1756 рр.) побудував універсальний зубофрезерний верстат [46].

Перший стругальний верстат сконструйований у Франції в 1719 р.

Де ла Гіром. Він мав стіл, що вертикально рухався і приводився в дію від педального привода; інструмент – різець – був нерухомим. У 1751 р. французьким механіком Н. Фоком був запропонований стругальний верстат з нерухомим столом і приводним інструментом, який переміщувався при обертанні вручну маховика [14].

У 1769 р. для обробки внутрішніх поверхонь циліндрів парових машин Смітсон виготовив розточувальний верстат, який у 1775 р. удосконалив Д. Уїлкінсон – вперше використана борштанга (рисунок 4.22) [46].

Поява та розвиток верстатів різного призначення створювали передумови виникнення машинобудування. І хоча у мануфактурний період розвитку виробничих сил машинобудування як галузі ще не існу-

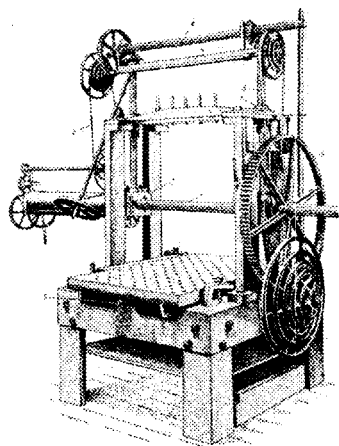


Рисунок 4.22 – Розточувальний верстат з борштангою

вало, вже експлуатувалися найпростіші токарні, свердлильні, фрезерні, стругальні і шліфувальні верстати. Техніка виробництва, незважаючи на примітивність, була досить різноманітною. Основний робочий процес у верстатах даного періоду забезпечувала рука людини, яка переміщувала інструмент. Людина була звичайно і джерелом енергії для привода верстата. Найбільше поширення мав токарний верстат, однак він тоді був лише складним знаряддям праці, але не робочою машиною [14].

У ході промислової революції XVIII ст. виникла потреба у виготовленні великої кількості точних і однакових деталей. Останнє сприяло створенню робочих машин та самохідного супорта. При цьому машини стали виготовлятися машинами, що означало корінну зміну техніки і технології виробництва.

Задачу створення механізованого супорта першим вирішив А. К. Нартов у 1729 р., але в той час практичної потреби в ньому не було, крім того, привод верстата Нартова залишився ручним (рисунок 4.23) [4].

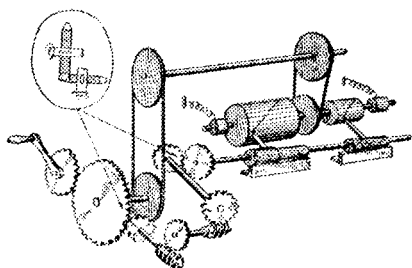


Рисунок 4.23 – Привод токарного верстата А. Нартова із самохідним супортом

Поздовжнє і поперечне переміщення. Підвищилась продуктивність і точність обробки, розширилась номенклатура виготовлюваних деталей. У 1797 р. Модслі побудував токарний верстат із самохідним супортом, змінними шестірнями в приводі та чавунною станиною (рисунок 4.24), а пізніше в тому ж році – і токарно-гвинторізний верстат [46].

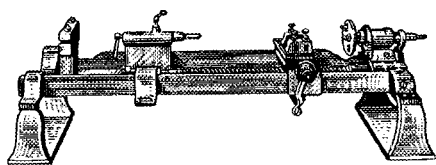


Рисунок 4.24 – Токарний верстат Г. Модслі з механізованим супортом

У першій половині XIX ст. ідея механізованого супорта була перенесена і на інші групи верстатів. Один за одним з'являлися фрезерні – І. Уїтні (1818 р.), Д. Несміт (1829 р.), стругальний – Р. Робертс (1819 р.), поперечно-стругальний – Д. Несміт (1836 р.), токарно-карусельний (І. Бодмер, 1839 р.) верстати, токарно-гвинторізний автомат – Й. Уїтворт (1835 р.) (рисунок 4.25). В результаті, до середини XIX ст. машинобудування було

У 1772 р. у «Енциклопедії» Дідро і Д'Аламбера було вперше наведено зображення хрестового супорта токарного верстата (рисунок 4.10). Пропонований ними супорт міг повертатися навколо своєї осі і подаватися до заготовки, але не був механізованим.

У 1794 р. англійцем Г. Модслі був створений хрестовий механізований супорт для токарного верстата. З його допомогою установлений на двох каретках різець міг здійснювати поздовжнє і поперечне переміщення. Підвищилась продуктивність і точність обробки, розширилась номенклатура виготовлюваних деталей. У 1797 р. Модслі побудував токарний верстат із самохідним супортом, змінними шестірнями в приводі та чавунною станиною (рисунок 4.24), а пізніше в тому ж році – і токарно-гвинторізний верстат [46].

В першій половині XIX ст. ідея механізованого супорта була перенесена і на інші групи верстатів. Один за одним з'являлися фрезерні – І. Уїтні (1818 р.), Д. Несміт (1829 р.), стругальний – Р. Робертс (1819 р.), поперечно-стругальний – Д. Несміт (1836 р.), токарно-карусельний (І. Бодмер, 1839 р.) верстати, токарно-гвинторізний автомат – Й. Уїтворт (1835 р.) (рисунок 4.25). В результаті, до середини XIX ст. машинобудування було

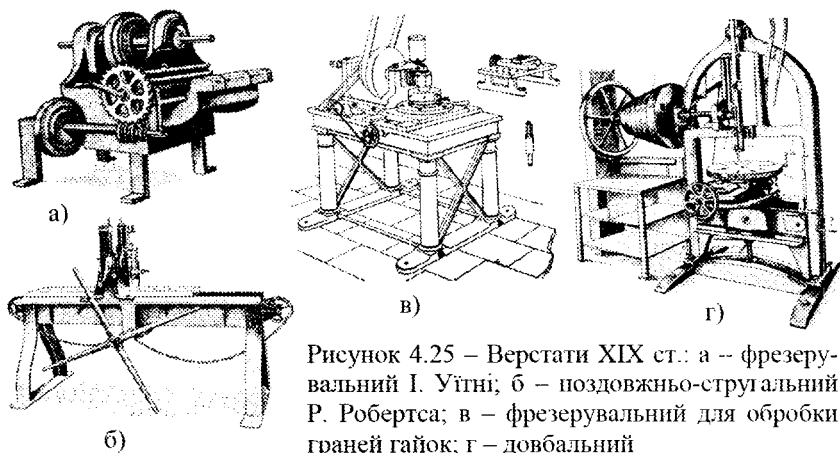


Рисунок 4.25 – Верстати XIX ст.: а – фрезерувальний І. Уїтні; б – поздовжньо-стругальний Р. Робертса; в – фрезерувальний для обробки граней гайок; г – довбальний

забезпечено основними робочими машинами, що виконували всі необхідні операції металообробки. Машини приводилися в дію від теплового двигуна Уатта (рисунок 4.26) за допомогою громіздких трансмісій – систем валів і пасових передач [46].

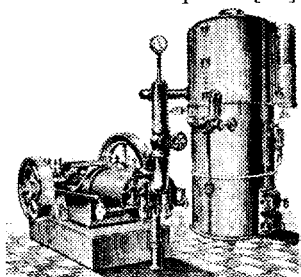


Рисунок 4.26 – Заводська парова машина

Як вже вказувалось вище, – механізація верстатів дозволила підвищити точність виготовлення деталей машин. Методи точної обробки були розроблені англійським верстатобудівником Йосипом Уїтвортом (1803 – 1887 рр.). Він також винайшов першу вимірвальну машину, запропонував систему стандартизації різьб і ввів калібри, за допомогою яких оброблювані деталі можна було вимірювати з точністю до сотих і тисячних часток міліметра [4, 14].

До 70-х рр. XIX ст. машинобудування перетворилося на галузь заводського виробництва, причому частина підприємств мала вузьку спеціалізацію (наприклад, виготовлення парових машин, текстильних або металорізальних верстатів). Поряд з ними з'являлися і багатопрофільні підприємства. Найбільш розвинутою і технічно оснащеною в той час була промисловість Великобританії. Інтенсивно нарощувався виробничий потенціал США та Німеччині. Інші країни мали слабе машинобудування. Удосконалення верстатів стало основою для створення нової техніки в XIX ст. Зростаючий попит на машини для транспорту, будівництва, військової справи, металургії, енергетики й інших галузей, успіхи металургії, що забезпечувала випуск високоякісних сталей, викликали швидкий розвиток машинобудування. З 70-х рр. XIX ст. до початку першої світової війни обсяг продукції машинобудування виріс

у 5,5 раза. При цьому 85% загального об'єму припадали на США, Німеччину й Великобританію [14].

Випереджальними темпами йшов розвиток верстатобудування. Від універсальних машин був здійснений перехід до спеціального обладнання, призначеного для виготовлення деталей певного типорозміру. З'явилися верстати з індивідуальним електроприводом, що забезпечило можливість електричної автоматизації робочого процесу.

Підвищувалася якість машин. В результаті використання інструментів з легуваних інструментальних сталей збільшувалась продуктивність обробки різанням. Відбувається диференціація різальних інструментів. З'явилися різьбові і черв'ячні фрези, фасонні різці, зуборізні інструменти і т. д. (рисунок 4.27) [46].

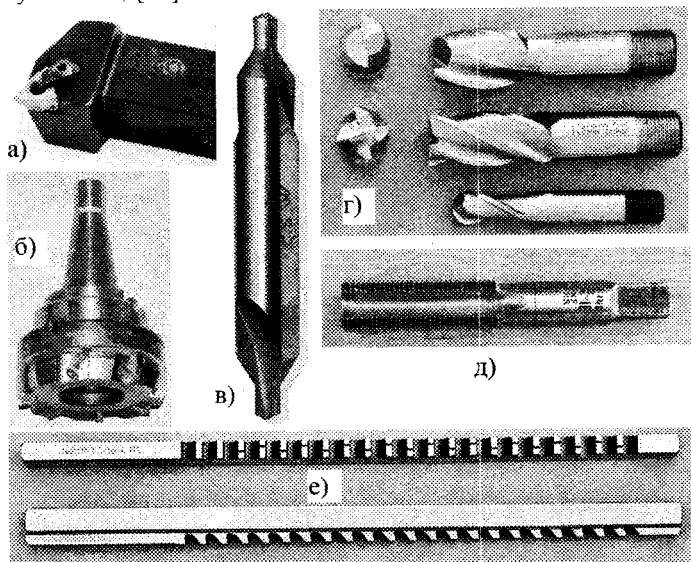


Рисунок 4.27 – Сучасні різальні інструменти: а – прохідний різець з твердосплавною пластиною; б – торцева фреза; в – центрувальне свердло; г – кінцеві фрези; д – мітчик; е – шпонкові протяжки

Потреби механообробки обумовили появу нового напрямку інженерної діяльності – розробки теорії різання металів. Закони різання і стружкоутворення сформулював російський учений І. А. Тіме (1838 – 1920 рр.). У 1880 – 1900 рр. К. А. Зворікін (1861 – 1928 рр.) досліджував основні питання кінематики і динаміки процесу різання металів. Американський вчений А. Тейлор (1856 – 1915 рр.) у 1880 – 1906 рр. розробив методику визначення режимів різання при токарній обробці, що мало велике практичне значення для зменшення витрат часу на підготовку виробництва, збільшення стійкості інструмента, підвищення продуктивності [4, 5].

Парові машини як привод верстатів були незручними (потребували багато часу на запуск і постійного контролю під час роботи), неефективними (ККД порядку 10%), крім цього, використовувались разом з громіздкими трансмісіями (рисунок 4.28). Тому наприкінці XIX – на початку XX століття паровий привод верстатів почали замінювати спочатку груповим електричним, а пізніше й індивідуальним електроприводом (рисунок 4.29) [14].

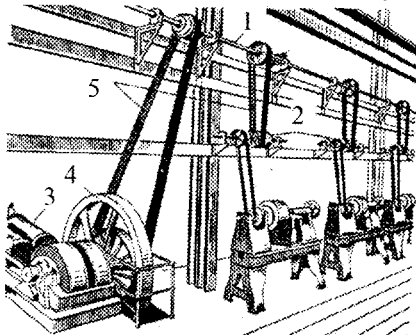


Рисунок 4.28 – Схема роботи групового приводу: 1 – трансмісійний вал; 2 – контрприводи; 3 – парова машина; 4 – маховик; 5 – паси

Удосконалювались системи регулювання кінематичних параметрів верстатів (рисунок 4.30). З'явилися численні типи основних груп верстатів: горизонтально-розточувальні – для обробки довгих циліндричних заготовок (гарматних стволів, гребних валів), лобові токарні – для підрізання торцевих поверхонь великого діаметра, токарно-карусельні – для обробки великогабаритних заготовок, круглошліфувальні і фрезерні верстати різного призначення.

Удосконалювались системи регулювання кінематичних параметрів верстатів (рисунок 4.30).

Спеціалізація верстатів залежно від виконуваних виробничих операцій забезпечила можливість автоматизації промисловості. Поява автоматів і напівавтоматів – токарного автомата Х. Спенсера (1873 р.), пруткового напівавтомата Джонсона (1870 – 1890 рр.), автоматів фірми «Клівленд» для нарізання різьб, свердління отворів і фрезерування, багатошпіндельних автоматів – призвела до зміни організації і технології виробництва в машинобудуванні [47].

Підвищення точності обробки уможливило перехід до масового виробництва в галузях, що особливо швидко розвивались – енергомашинобудуванні, автомобіле- і тракторобудуванні, приладобудуванні, авіа- і двигунобудуванні. Це стало можливим завдяки забезпеченню високої якості продукції при вищій продуктивності виробничих процесів та нижчій кваліфікації робітників, в результаті чого знизилась собівартість виробів.

Підвищення точності обробки уможливило перехід до масового виробництва в галузях, що особливо швидко розвивались – енергомашинобудуванні, автомобіле- і тракторобудуванні, приладобудуванні, авіа- і двигунобудуванні. Це стало можливим завдяки забезпеченню високої якості продукції при вищій продуктивності виробничих процесів та нижчій кваліфікації робітників, в результаті чого знизилась собівартість виробів.

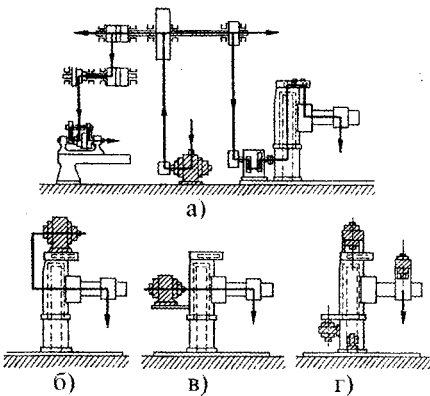


Рисунок 4.29 – Удосконалення електропривода верстатів: а – груповий привод; б, в – індивідуальний привод кожного верстата; г – індивідуальний привод кожного руху верстата

Підвищення точності обробки уможливило перехід до масового виробництва в галузях, що особливо швидко розвивались – енергомашинобудуванні, автомобіле- і тракторобудуванні, приладобудуванні, авіа- і двигунобудуванні. Це стало можливим завдяки забезпеченню високої якості продукції при вищій продуктивності виробничих процесів та нижчій кваліфікації робітників, в результаті чого знизилась собівартість виробів.

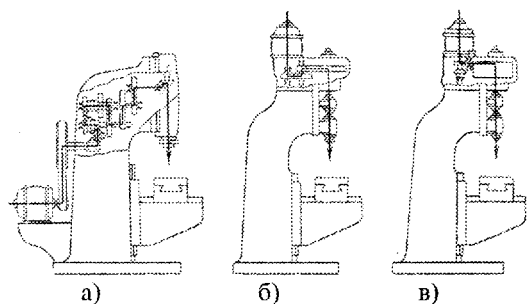


Рисунок 4.30 – Удосконалення систем регулювання кінематичних параметрів верстатів: а – механічне регулювання; б – електромеханічне регулювання; в – безступінчасте регулювання за допомогою електродвигуна постійного струму

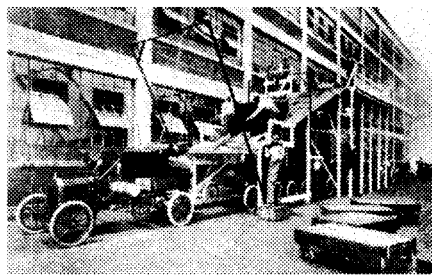


Рисунок 4.31 – Останній етап складання автомобілів на конвеєрі заводу Форда (початок ХХ ст.)

Масове і крупносерійне виробництва потребували також впровадження напівавтоматів і агрегатних верстатів. Широке використання напівавтоматів фірм «Магдебург» і «Лево» почалося в 30-х рр. у воєнній промисловості Німеччини. У цей же час у США були створені автомати і напівавтомати для авіаційної, автомобільної, тракторної і військової галузей промисловості. Їх випускали 17 фірм. Услід за Німеччиною і США автомати стали розробляти й інші країни. У СРСР освоєння даного обладнання почалося в роки першої п'ятирічки [44].

Автомати та напівавтомати оснащуються пристроями, що забезпечують керування в заданій послідовності всіма системами машини. Перші автомати мали механічні пристрої керування. Розвиток електротехніки привів до появи систем з релейним автоматичним керуванням за допомогою кінцевих вимикачів, установлених у певних положеннях на виконавчих елементах або на станині автомата. В наш час функцію керувального пристрою в автоматизованих верстатах виконують комп'ютерні системи, які крім керування згідно із заданою програмою забезпечують ще й контроль стану інструмента та його заміну, що сприяє підвищенню продуктивності виробничого процесу та якості готової продукції [45, 48].

Ступінь автоматизації машини може бути підвищений за рахунок введення пристроїв для автоматичного виконання операцій, не пов'язаних з робочим циклом. Йдеться про так звані позациклові механізми, наприклад,

Однією з форм масового виробництва стали потокові лінії для виготовлення деталей і складання з них машин. Уперше поточе виробництво було створено в автомобільній промисловості Г. Фордом у 1913 р. (рисунок 4.31) [14].

У СРСР конвеєрне виробництво автомобілів уперше було створено в 1929 р. на Московському автозаводі. Воно широко розповсюдилося й в інших галузях промисловості.

Масове і крупносерійне виробництва потребували також впровадження напівавтоматів і агрегатних верстатів. Широке використання напівавтоматів фірм «Магдебург» і «Лево» почалося в 30-х рр. у воєнній промисловості Німеччини. У цей же час у США були створені автомати і напівавтомати для авіаційної, автомобільної, тракторної і військової галузей промисловості. Їх випускали 17 фірм. Услід за Німеччиною і США автомати стали розробляти й інші країни. У СРСР освоєння даного обладнання почалося в роки першої п'ятирічки [44].



для збирання і відведення стружки, змащення, контролю якості виробів (не пов'язаних з автоматичним підналагодженням), визначення кількості виробів і т. д. [49, 50].

Перехід до автоматів дозволив не тільки підвищити продуктивність та якість, але й поліпшити умови праці. Однак при частих змінах виду продукції, що випускається, використання вузькоспеціалізованих автоматів стає практично неможливим. Прагнення усунути цей недолік привело до створення агрегатних верстатів (рисунок 4.32), що складаються з набору нормалізованих вузлів-

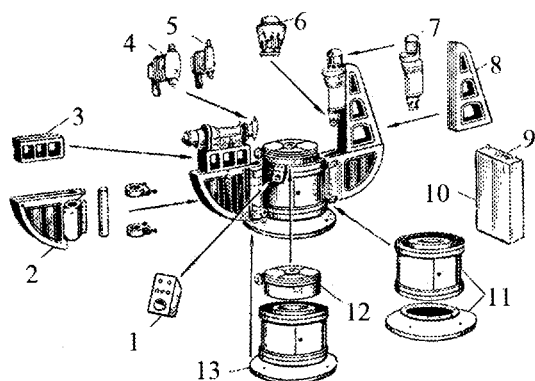


Рисунок 4.32 – Компонування агрегатного верстата: 1 – пульт керування; 2 – горизонтальний кронштейн; 3 – проміжна плита; 4, 5 – фрезерувальні головки; 6 – багатошпindelна головка; 7 – силова бабка; 8 – вертикальний кронштейн; 9 – командо-апарат; 10 – електрошафа; 11, 13 – станина; 12 – ділильний стіл

агрегатів різного призначення, при цьому склад і компонування агрегатів залежать від розмірів та конфігурації виробу, а також технології його виготовлення. Агрегатні верстати забезпечують здійснення різних видів обробки і одночасно декількома інструментами. Отримали також розповсюдження і багатопозиційні агрегатні верстати з поворотними ділильними столами, призначені для обробки виробів широкої номенклатури. Число агрегатів з індивідуальним електроприводом в таких верстатах може сягати 12. Перші агрегатні верстати були впроваджені в Німеччині наприкінці 20-х рр., а потім – у США в автомобільній промисловості.

У 30-х рр. значно збільшився асортимент використовуваних у машинобудуванні матеріалів – від легких сплавів до спеціальних жаростійких сталей з високими механічними властивостями [49].

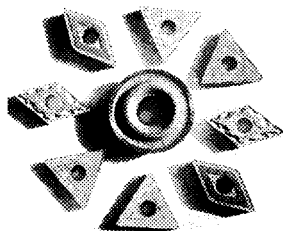


Рисунок 4.33 – Твердосплавні різальні пластини

Удосконалення верстатів супроводжувалося розробками нового різального інструмента. На початку ХХ ст. почали використовувати різці з швидкорізальних сталей, що зберігають роботоздатність при температурах 400...650 °С. З кінця 20-х рр. отримали поширення різальні пластинки з твердих сплавів (рисунок 4.33), за допомогою яких вдалось збільшити швидкість обробки в 4...5 разів. З 50-х рр. в інструментах застосовується металокераміка [49].

Зростаюча складність технічних систем обумовила появу і розвиток верстатів високої точності – координатно-розточувальних, координатно-шліфувальних та інших. У найбільших обсягах виробництво подібного обладнання здійснювалося у Швейцарії. У СРСР високоточні верстатні системи почали впроваджуватися тільки після 1950 р.

Жорсткість вимог до точності виробів викликала помітний розвиток у 30-х рр. контрольно-вимірювальної техніки, включаючи контрольні автомати [51].

Одночасно з масовим випуском верстатів легкої та середньої категорії в 30-х і особливо в 40 – 50-х рр. почалося будівництво важкого обладнання (токарних, карусельних, фрезерних верстатів) для виготовлення деталей великих гідравлічних і парових турбін, гребних валів і інших виробів масою до 200 ... 300 т (рисунок 4.34). У СРСР важке обладнання випускали

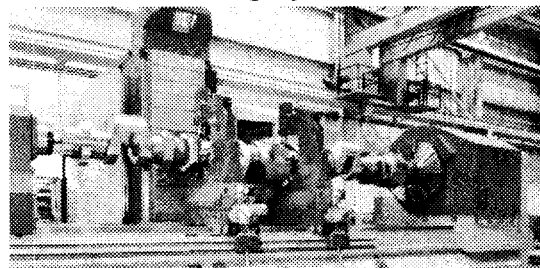


Рисунок 4.34 – Унікальний токарний верстат для обточування шийок колінчастих валів

Горьківський завод фрезерних верстатів, Краматорський, Рязанський, Коломенський заводи важкого машинобудування [3, 14].

Розвиток масового виробництва закономірно привів до створення автоматичних верстатних ліній (рисунок 4.35).

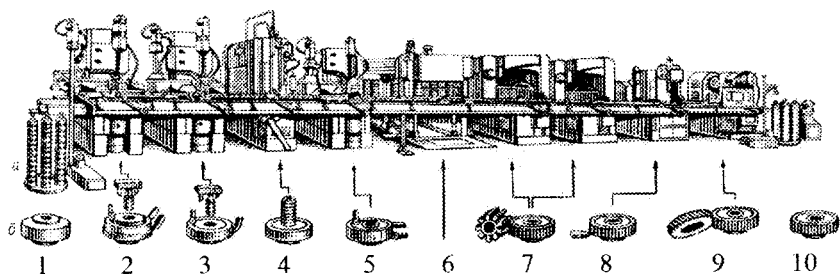


Рисунок 4.35 – Автоматична лінія для обробки зубчастих коліс: а – загальний вигляд; б – технологічний процес: 1 – заготівка; 2 – I-а токарна операція; 3 – II-а токарна операція; 4 – протягування; 5 – чистова токарна операція; 6 – бункер; 7 – фрезерування; 8 – зубозаокруглення; 9 – шевінгування; 10 – готове зубчасте колесо

Перша така лінія з механічним керуванням для виготовлення блоків циліндрів автомобільних двигунів була встановлена у Великобританії в 1923 – 1924 рр. компанією «Морріс Моторз». На лінії працювали 22 оператори, виконувалось 53 операції й оброблялось 15 блоків за годину. Лінія виявилася ненадійною в експлуатації. У 1928 р. в США фірма «А. О. Сміт і

К<sup>о</sup>» побудувала лінію для випуску автомобільних рам. На ній щодня виготовлялося 10000 рам, обслуговування здійснювали 120 робітників. У 1929 р. фірма «Грехем Пейдж Моторз» (США) запустила лінію на базі агрегатних систем для обробки блоків циліндрів. Верстати на ній були взаємозамінними, зв'язаними транспортером і загальним керуванням. Лінія успішно використовувалась.

У СРСР перша автоматична лінія була пущена на Сталінградському тракторному заводі у 1939 – 1940 рр. Широке розповсюдження автоматичні лінії одержали у 40 – 50-і рр., причому вони включали не тільки металорізальні верстати, але і ковальсько-пресове та ливарне обладнання [45].

Наприкінці 50-х рр. Л. П. Кошкін розробив автоматичні роторні лінії, що склалися з роторних операційних машин, розташованих у технологічній послідовності і транспортних роторних пристроїв. Робочий час таких ліній сягав 95% (рисунок 4.36) [47].

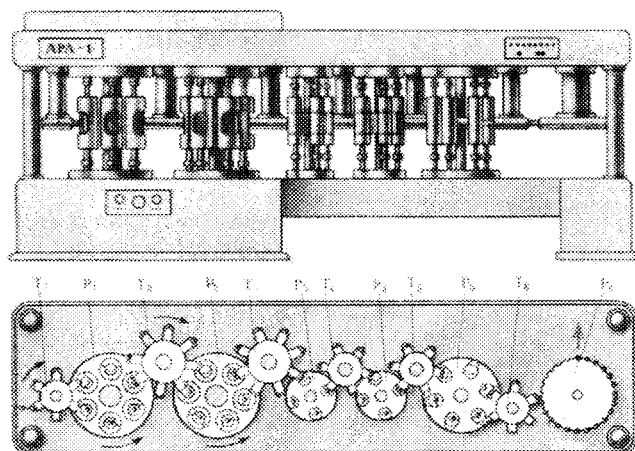


Рисунок 4.36 – Типова конструкція автоматичної роторної лінії: P1, ..., P6 – технологічні ротори; T1, ..., T6 – транспортні ротори

Збільшення обсягів механічної обробки в 60 – 70-х рр. змусило звернути увагу на економію матеріалів і розробку способів зменшення частки відходів виробництва. Це привело до появи нових методів одержання заготовок: високоточних штампувань, періодичного прокату, лиття (преци-

зійного, за вишлавлюваними моделями, кокільного, під тиском, коркового). Виникла ще одна галузь інженерної діяльності – порошкова металургія. На підприємствах порошкової металургії заготовки виробів спочатку пресуються з металевих порошків, а потім спікаються при високих температурах. У цей же період певне поширення одержали методи електрофізичної обробки високоміцних і жаростійких матеріалів (рисунок 4.37). З'явилися перші промислові роботи і маніпулятори (рисунок 4.38) [52].

Особливо великі зміни в машинобудуванні почалися в 70 – 80-х рр. з розвитком напівпровідникової електроніки і використанням її в системах керування й автоматизації верстатів і роботів. Були створені пристрої чис-

лового програмного керування (ПЧПК) різних класів і призначення, в результаті застосування яких змінились технології обробки й організація виробництва. Зовнішній вигляд фрезерувального та токарного верстатів з ЧПК показаний на рисунку 4.39 [53, 54].

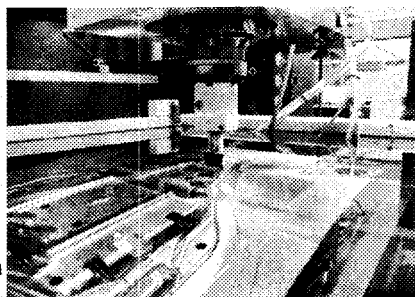
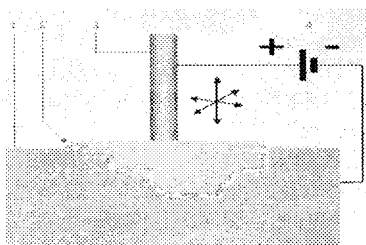


Рисунок 4.37 – Принципова схема та фотографія верстата для електроіскрової обробки



Рисунок 4.38 – Сучасні промислові роботи

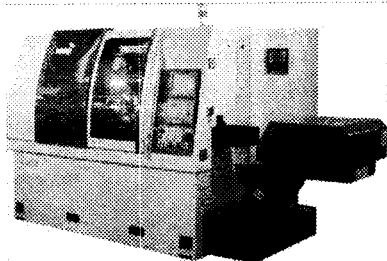
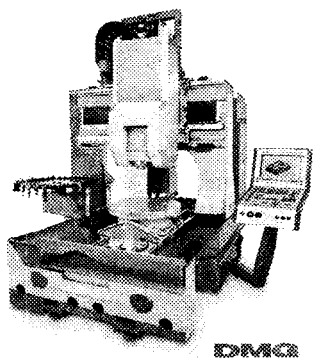


Рисунок 4.39 – Сучасні фрезерувальний та токарний верстати з ЧПК

Поряд з автоматизованим та спеціалізованим технологічним обладнанням розроблені багатоцільові верстати з інструментальними магазинами і ПЧПК – оброблювальні центри. В подібних системах ЧПК забезпечує високопродуктивну обробку виробів різної конфігурації при широких можливостях легкого швидкого переналагодження на виготовлення нової продукції – високої гнучкості [53, 54].

#### 4.4 Сучасні тенденції верстатобудування

Основною задачею машинобудування є виготовлення нової техніки і комплектуючих для різних галузей промисловості. В умовах ринкових відносин конкуренція в сфері наукомістких техніки і технології набуває особливої гостроти.

Вирішальну роль у конкурентній боротьбі відіграють фактори технічної новизни виробів, а також їх якості. Важливими є також раціональність конструкції та технології виготовлення, функціональні, експлуатаційні, естетичні, ергономічні та інші параметри машини [49, 51]. Саме рівень техніки і технології визначає можливості випередження конкурентів, одержання пріоритету в тій чи іншій сфері, забезпечення конкурентної здатності підприємства, галузі та промисловості країни в цілому.

Відмічені взаємозалежності дозволяють зробити висновок про необхідність періодичної модернізації виробництва, постійного підвищення якості продукції, збільшення числа модифікацій машин, що випускаються, впровадження нового високоефективного і гнучкого технологічного обладнання, матеріалозберігаючих, енергозберігаючих та безвідходних технологій, зниження виробничої собівартості.

Машинобудівне виробництво визначає рівень техніки початку XXI ст. і одночасно є результатом її розвитку. НТР породила нові види устаткування і форми організації виробництва, що поступово витісняють старі. Основними тенденціями сучасного машинобудування є [44]:

- прискорена заміна верстатів перших поколінь з механічною й електричною автоматикою на автомати з електронним керуванням, в яких передбачена можливість введення керувальних програм через пульти верстата або за допомогою клавіатури ПЧПК. В блоці пам'яті ЧПК подібного обладнання може бути записано значне число типових робочих та допоміжних операцій [53, 54];

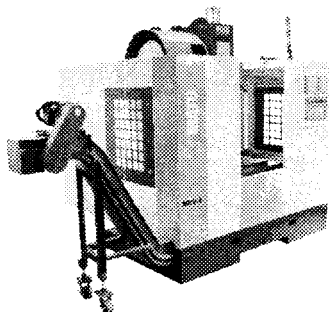


Рисунок 4.40 – Оброблювальний центр з ЧПК та інструментальним магазином

- впровадження багатоопераційних оброблювальних центрів з інструментальними магазинами і ЧПК (рисунок 4.40) [53, 54];

- використання автоматизованого міжопераційного транспорту і роботів, систем автоматизованого контролю;

- перехід до роботизованих технологічних комплексів (РТК) і гнучких автоматизованих виробництв (ГАВ), відмова в ряді випадків від автоматичних ліній [55, 56];

- реалізація в системах ЧПК адаптивних принципів керування;

- впровадження систем автоматизованого проектування технологічних процесів, методів оптимізації технологічних процесів

за точністю, що досягається, продуктивністю й економічністю, при забезпеченні високих функціональних і експлуатаційних параметрів машини;

- створення систем автоматизованого керування типовими технічними об'єктами і технологічними процесами з оптимізацією параметрів;

- удосконалення технології механічної обробки та складання за рахунок використання продуктивних режимів різання, високоефективних способів одержання заготовок, маловідходних, безвідходних і енергозберігаючих технологій, електрофізичних та інших перспективних методів.

Необхідно відзначити, що широке впровадження автоматів з ЧПК і роботів (РТК і ГАВ) несе певну соціальну напруженість. Створення так званих «безлюдних» виробництв викликає безробіття. При цьому змінюється і кваліфікаційна структура працюючих [55, 56]. Тому вже зараз ряд держав наклали обмеження на обсяги застосування ГВС.

#### 4.5 Контрольні запитання

1. Якими є задачі та практичне значення машинобудування?
2. Якою є збільшена структура галузей машинобудування?
3. Дайте означення об'єкта машинобудівного виробництва, заготовки, деталі, складальної одиниці, комплексу, комплекта.
4. Якими є сировинні ресурси та проблеми галузі?
5. Дайте характеристику типам машинобудівного виробництва.
6. Якими є основні машинобудівні регіони?
7. Дайте характеристику тенденцій важкого машинобудування.
8. Розкажіть про сучасне автомобілебудування.
9. Якими є сучасні світові тенденції локомотивобудування?
10. Розкажіть про останні тенденції у світовому суднобудуванні.
11. Якими є тенденції сільськогосподарського машинобудування?
12. Яким чином розвивається світове приладобудування?
13. Назвіть основні країни та фірми-виробники аерокосмічної техніки.
14. Якою є спеціалізація регіонів України з виробництва продукції машинобудування?
15. Якими були перші верстати, створені людиною?
16. Як був створений самохідний супорт до верстатів? Розкажіть про практичне значення даного винаходу.
17. Як змінились верстати в епоху промислової революції?
18. Розкажіть про диференціацію металорізальних верстатів та різальних інструментів в епоху промислової революції.
19. Розкажіть про створення напівавтоматів та автоматів.
20. Розкажіть про створення потокових ліній та агрегатних верстатів.
21. Розкажіть про нові інструментальні матеріали, що з'явилися у XX ст.
22. Розкажіть про створення автоматичних та роторних ліній.
23. Які зміни відбулись у машинобудуванні у 60 – 80-х рр. XX ст.?
24. Якими є сучасні тенденції машинобудування?

### 5.1 Залізничний транспорт

Транспорт є найважливішим засобом здійснення будь-якого виробничого процесу. Особливе значення він отримує з розвитком машинної індустрії у зв'язку із необхідністю швидкого переміщення сировини і виробів на значні відстані, а також перевезення пасажирів.

Попередницею залізниці була кінно-чавунна рейкова дорога. Ідея рейкового шляху виникла ще в XVI ст. у гірничій справі. Перші вагонетки (рисунок 5.1) з'явилися в Англії в 1586 р. На рудниках використовувалися

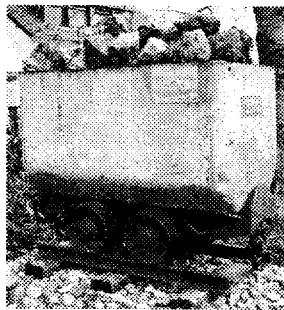


Рисунок 5.1 – Вагонетка

дерев'яні рейки, по яких перекочувалися вручну вагонетки з рудою. Пізніше з'являються під'їзні колії і на промислових підприємствах. Для довговічності дерев'яні рейки почали покривати залізом. Перші чавунні рейки були використані в Англії в 60-х рр. XVIII ст. на гірничих підприємствах. Вони виявилися ламкими і швидко зношувалися, але по них можна було переміщувати за допомогою коней вже цілі потяги з вагонеток. Наприкінці XVIII ст. біля Лондона була побудована кінно-чавунна дорога загального користування довжиною близько 40 км. По ній один кінь тягнув потяг масою 9,2 т [14].

У 1803 р. англійський інженер Ніксон застосував рейки з ковкого заліза. Форма поперечного перерізу рейок поступово змінювалася. Спочатку вона була коритоподібною (Рейнольдс), потім кутникового типу (Курр) і, нарешті, грибоподібною (Джесон) (рисунок 5.2). Серійне виробництво рейок освоєно у Великобританії з 1820 р. [4]

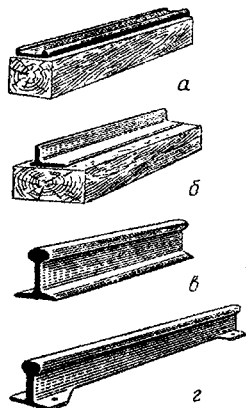


Рисунок 5.2 – Зміна профілю рейок

З появою парової машини почалися дослідні установлення на візках, що пересуваються по рейкових шляхах. Їм передували спроби створення безрейкового парового транспорту. Першою такою спробою слід вважати виготовлення та випробування бельгійським ченцем Ф. Фербістом в середині XVII ст. діючої моделі парового екіпажа [3].

У 1763 р. французький інженер Н. Ж. Коньо побудував паровий візок власної розробки у натуральну величину. Машина пропрацювала усього 15 хвилин. У 1770 р. Коньо випробував більш досконалий візок, який виявився некерованим (рисунок 5.3) [4, 8].

У 80-х рр. XVIII ст. у Великобританії



Рисунок 5.3 – Паровий візок  
Н. Ж. Куньо

цілому, необхідність везти воду і паливо по досить поганих дорогах, високі вартість і складність експлуатації парових дилижансів і омнібусів [10].

Більш успішними були роботи зі створення парових локомотивів для рейкових шляхів. У 1803 р. шотландський інженер Р. Тревітік сконструював перший паровоз (рисунок 5.4) й у 1804 р. провів його випробовування. Машина перевозила вантаж масою 15 т зі швидкістю 8 км/год. Власна маса

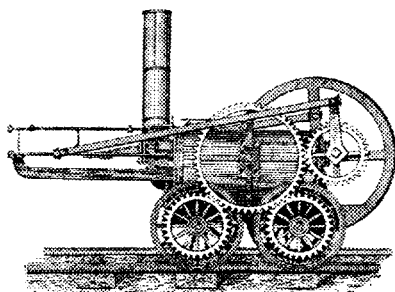


Рисунок 5.4 – Перший паровоз  
Р. Тревітика

паровоза становила 6 т. Котел мав циліндричну форму, колеса були гладкими і оснащувались ребрами. Єдиний циліндр парового двигуна розташовувався горизонтально збоку від котла. Рух поршня передавався ведучим колесам за допомогою шатуна, кривошипа і системи зубчастих коліс. У 1807 р. Тревітік побудував у Лондоні першу дослідну кільцеву дорогу, по якій паровоз рухався зі швидкістю до 15 миль за годину.

У 1814 р. розробив і випробував свій перший паровоз Д. Стефенсон, який вирішив ряд важливих проблем зі створення парового залізничного транспорту. Стефенсон першим звернув увагу на необхідність випрямлення рейкових шляхів, зменшення ухилів, застосування сталевих рейок і збільшення тяги паровозів [4, 7].

В 1818 р. у Великобританії була побудована залізниця довжиною 61 км між містами Стоктон і Дарлінгтон, призначена для транспортування вугілля, а з 1825 р. і пасажирів. Потяг складався з 26 вагонів і перевозив зі швидкістю 15 миль за годину 90 т вантажу і 450 пасажирів.

У 1829 р. Стефенсон створив паровоз «Ракета» (рисунок 5.5). Потужність його була 13 к. с. Потяг масою 17 т паровоз переміщував зі швидкістю 25 км/год. Всі основні елементи «Ракети» реалізовувалися і у подальших розробках паровозів: коробкова топка, котел з димогарними трубами,



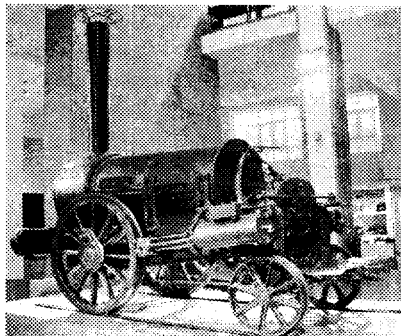


Рисунок 5.5 – Паровоз Д. Стефенсона «Ракета»

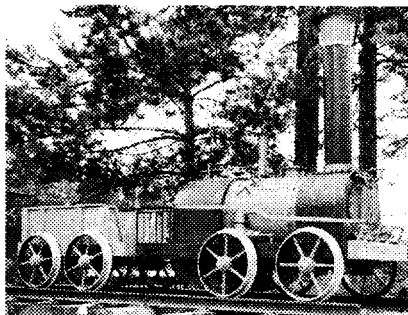


Рисунок 5.6 – Паровоз Ю. А. та М. Ю. Черепанових

1-3-1 кінця XIX ст. мав одну пару бігункових, три пари рушійних і пару підтримувальних коліс [4, 16].

З 1837 р. почалося проектування і будівництво залізниці Петербург – Москва. У 1845 – 1846 р. на Олександрівському чавуноливарному і механічному заводі в Петербурзі були виготовлені перші серійні російські паровози, а також пасажирські і вантажні вагони для першої ділянки залізниці Петербург – Москва. Паровози того часу (рисунок 5.8) випускалися з простою двоциліндровою машиною, що працювала на ненасиченій парі. Використовувався безкулісний механізм. На паровозі не було будки для машиніста і кочегара, площадок і поруччя навколо котла. Тендери мали дерев'яну раму і клепаній водяний бак. Паливом були дрова. Тиск пари становив 6 атм, маса машин була порядку 30 т. У 1851 р. було закінчене спорудження двоколісної залізниці Петербург – Москва. На ній було побудовано 252 штучні споруди, у тому числі 184 мости. Ширина колії російських доріг була прийнята рівною 5 футам – 1524 мм (ширина колії закордонних заліниць – 1435 мм) [16].

паровий ежектор для створення штучної тяги. Це був перший роботоздатний локомотив для заліниць [26].

У 1830 р. були відкриті залізниці між Ліверпулем і Манчестером (Англія), а також між Чарльстоном і Огестою (США) довжиною 64 км. У 1835 р. почали працювати дороги в Бельгії і Німеччині, у 1837 р. – у Росії й Австрії [4, 8].

У 1834 р. на Нижне-Тагільському заводі Юхимом і Мироном Черепановими був побудований перший російський паровоз (рисунок 5.6), що перевозив вантаж масою 3,3 т зі швидкістю до 16 км/год. Другий, побудований Черепановими паровоз, тягнув поїзд масою до 16 т. Ширина колії становила 1645 мм. Під тиском підприємців кінного візництва залізнична колія була розібрана. Доля паровозів дотепер не відома [4, 9, 14].

Тип паровозів визначався числом осей коліс різного призначення, розташованих за ходом руху: бігункових, рушійних та підтримувальних. Наприклад, показаний на рисунку 5.7 російський паровоз серії С<sup>р</sup> типу

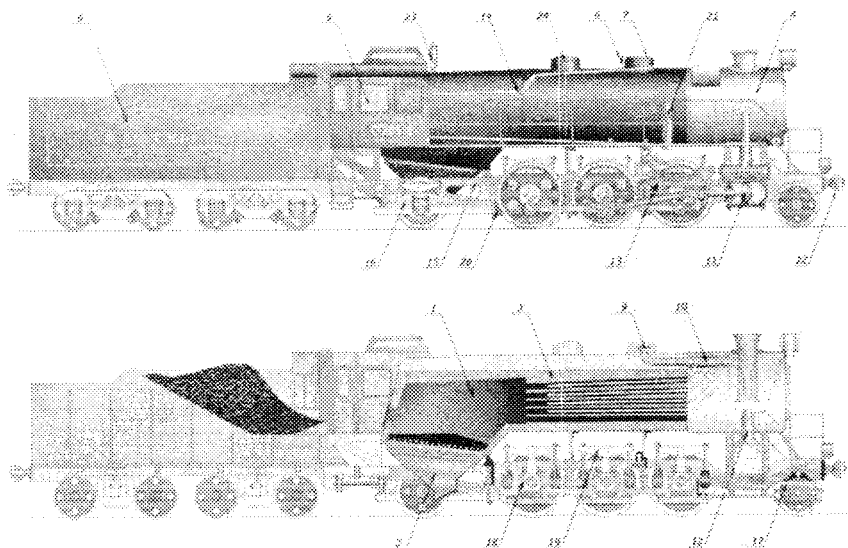


Рисунок 5.7 – Будова паровоза: 1 – топка; 2 – зольник; 3 – паровий котел; 4 – димова коробка; 5 – будка; 6 – тендер; 7 – паровий ковпак; 8 – запобіжний клапан; 9 – клапан регулятора; 10 – пароперегрівник; 11 – парова машина; 12 – конус; 13 – паророзподільний механізм; 14 – привод регулятора; 15 – екіпаж; 16 – підтримуючий візок; 17 – бігунковий візок; 18 – буksа; 19 – ресорна підвіска; 20 – гальмова колодка; 21 – пароповітряний насос; 22 – зчіпний пристрій; 23 – свисток; 24 – пісочниця

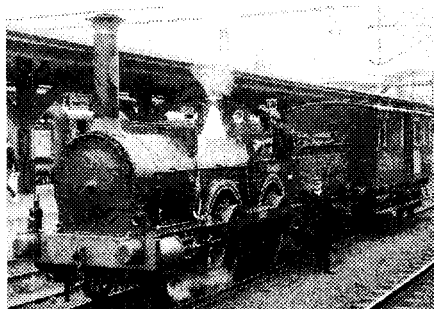


Рисунок 5.8 – Шведський паровоз серії В, 1856 р.

У цей час почалося бурхливе будівництво залізниць в усьому світі. Виникла нова галузь техніки – транспортне машинобудування. Розвиток залізниць супроводжувався удосконаленням паровозів. У період 1840 – 1890 рр. випускалися товарні паровози типу 0-3-0 зі зчіпною масою до 25 т, а також пасажирські локомотиви типів 2-3-0, 0-2-1 зі зчіпною масою до 16 т і двоциліндровою машиною, що працювала на ненасиченій парі.

Їх замінили більш потужні машини типу 0-4-0, танки-паровози і паровози системи Ферлі типу 0-3-0+0-3-0. В конструкціях локомотивів використовувалися паророзподільні кулісні механізми Стефенсона і Аллана, тиск пари становив 9 атм [5, 9].

Для перевезення запасу палива і води до паровозів чіпляли тендери, що розташовувались за кабіною керування. При роботі на лініях обмеженої довжини необхідний запас води і палива невеликий і ємності для нього розміщували з боків парового котла. В англійській мові ємність – це tank. Звідси і назва – танк-паровоз (рисунок 5.9). Використовували їх на приміських лініях, а також як маневрові станційні і заводські локомотиви.

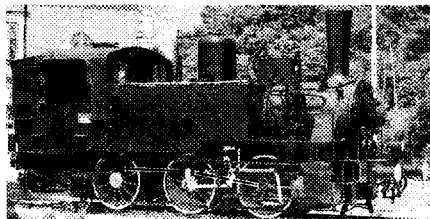


Рисунок 5.9 – Італійський танк-паровоз Gruppo 835

Танки-паровози мали меншу довжину і могли працювати на шляхах із кривими невеликого радіуса [7, 10, 14].

Паровоз системи Ферлі (рисунок 5.10) являв собою два танки-паровози, об'єднані в один, із загальною кабіною керування посередині. Такі машини експлуатувалися на лініях, де не було поворотних кіл для зчеплення локомотива з головою потягу при зміні напрямку руху.

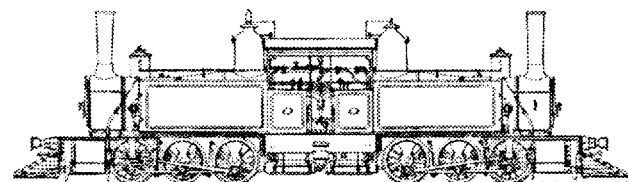


Рисунок 5.10 – Мексиканський паровоз системи Ферлі

руху.

До 40-х рр. XIX ст. максимальна швидкість руху експериментальних рекордних паровозів досягла 100 км/год. У цей же період роки з'явилися закриті товарні вагони, гвинтові стяжки для зчеплення вагонів, пасажирські спальні вагони, а в 60-х рр. – пульманівські спальні вагони-люкс. Велике значення мав винахід і впровадження пневматичних гальм американця Дж. Вестінгауза (патент 1869 р., впровадження – з 1872 р.). У 1875 р. довжина залізниць в усьому світі становила 294 тис. км, а до 1917 р. досягла 1146 тис. км. До 1913 р. у Росії було вже 70,5 тис. км залізничних колій [9, 14].

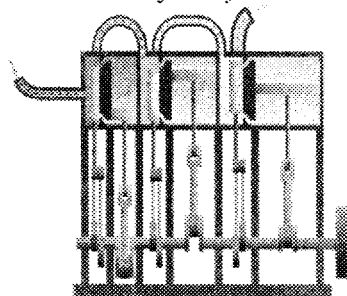


Рисунок 5.11 – Компаунд-машина з потрійним розширенням пари

У 1850 р. англійський машиніст Дж. Нікольсон запропонував проект паровоза системи «компаунд». Машина компаунд-паровоза (рисунок 5.11) містила послідовно установлені циліндри високого та низького тиску. Пара, що відпрацювала в циліндрі високого тиску, переходила у циліндр низького тиску більшого діаметра і удруге віддавала енергію і розширювалася, після чого виходила в атмосферу. Це дозволило знизити витрати вугілля на 30%. У 1855 р.

були виготовлені перші компаунд-паровози. Широке розповсюдження вони одержали з 1878 р., після того, як французький інженер М. Маллет удосконалив компаунд-машину і організував серійний випуск паровозів нової системи на заводі Шнейдера. У Росії перший компаунд-паровоз був виготовлений у 1891 р. Коломенським заводом, на якому пізніше будували і потужні паровози дуплекс-компаунд із чотирма паровими машинами [4, 6].

Зі збільшенням обсягів перевезень у 1890-х рр. відбувся перехід до паровозів типу 1-4-0, 0-4-0, 0-5-0, 1-5-0 і 1-5-1 з машинами, що працювали на насиченій і перегрітій парі. Застосування перегрівників систем В. Шмідта (1898 р.), Н. М. Ноткіна, Неймаєра, С. М. Чусова підвищило економічність паровоза і його ККД. Зчипна маса локомотивів досягла 85 т, швидкість – 50 км/год. Були впроваджені паророзподільні механізми систем Джоя і Вальсхарта (рисунок 5.12) [4, 7, 14].

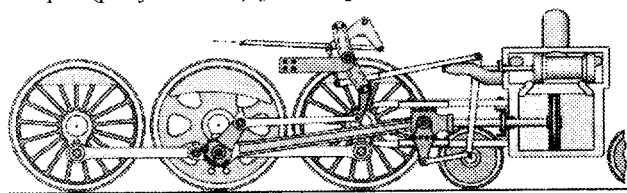


Рисунок 5.12 – Паророзподільний механізм Вальсхарта

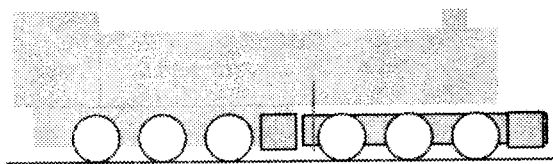


Рисунок 5.13 – Схема паровоза системи Маллета

Для збільшення потужності локомотива М. Маллет в 1887 р. побудував паровоз типу 0-3-0 + 0-3-0 із загальним котлом (рисунок 5.13). Перша група осей могла повертатися відносно рами паровоза. Циліндри машини низького тиску обертали три передні, а машини високого тиску – три задні осі [8].

Одночасно відбувався розвиток і удосконалення вагонного парку, створювалися нові конструкції кузовів різного призначення, колісних візків, ресорних підвісок, зчипних і гальмових пристроїв.

Після появи парових турбін почалися спроби створення паротурбовозів (рисунок 5.14) з механічною та електричною передачами. Але локомотиви даного типу виявились достатньо ефективними і надійними тільки при використанні з високими швидкостями руху. Тому розвитку даний напрямок не одержав [14].

Крім звичайного рухомого складу (локомотиви з вагонами) наприкінці XIX ст. на залізницях працювали ще і автономні вагони. В одному з кінців вагона-самоходу розміщалися невелика паросилова установка з вертикальним котлом, що приводив у рух одну або дві колісні пари, решта простору призначалась для пасажирів або вантажів. Швидкість досягала 70 км/год. З появою двигунів внутрішнього згоряння почали будувати автотриси

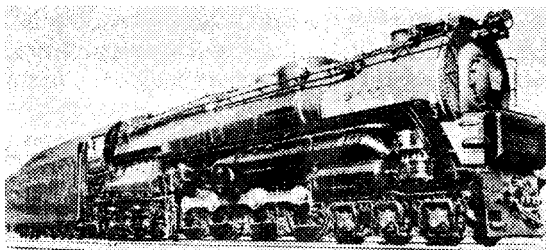


Рисунок 5.14 – Найбільший у світі американський парогурбовоз S2 типу 3-4-3 потужністю 6900 к. с. і макс. швидкістю 160 км/год; разом з тендером мав довжину 37,5 м.

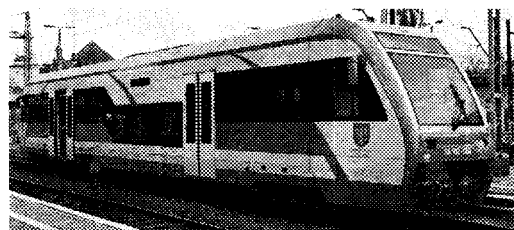


Рисунок 5.15 – Автомотриса SA103

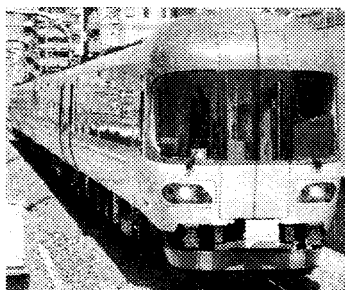


Рисунок 5.16 – Дизель-потяг

(рисунок 5.15), а з 1910 р. – акумуляторні електровагони. Автомотриси, як правило з дизелями, використовують і в наш час. Розвитком їх стали дизель-потяги, що мають швидкість до 120 км/год (рисунок 5.16).

Для залізниць України паровози спочатку, в основному, купувалися за кордоном, однак деяка їх частина будувалася і вітчизняними заводами: Харківським – з 1897 р. і Луганським – з 1900 р. До 1917 р. у Росії було випущено понад 19 тис. машин: товарні паровози серій О, Щ, Э, пасажирські – К, Г, С й їх модифікації, однак забезпечити зростаючі обсяги перевезень вони не могли [4, 14, 16].

У 1931 р. Луганський паровозобудівний завод випустив перший радянський магістральний товарний паровоз «Фелікс Дзержинський» – ФД типу 1-5-1 (рисунок 5.17). Керував його розробкою К. Н. Сушкін. ФД мав потужність 3100 к. с., швидкість руху до 85 км/год. Загальна маса становила 135 т, зчіпна – 104 т. Сила тяги – 23300 кгс (для порівняння: у першого радянського електровоза ВЛ19, який з'явився в той же самий час, що й ФД, сила тяги – 20000 кгс

при зчіпній масі 117 т). Тиск пари у котлі –  $15 \text{ кгс/см}^2$  [14, 16].

З 1932 р. Коломенським машинобудівним заводом випускався пасажирський паровоз «Йосип Сталін» – ІС типу 1-4-2. У 1934 р. Харківським паровозобудівним заводом освоєний випуск магістральної товарної машини «Серго Орджонікідзе» – СО типу 1-5-0 [16].

Останнім типом радянських магістральних товарних паровозів, що випускався у 1946 – 1947 р., був локомотив серії П типу 1-5-0, що працював на перегрітій парі тиском  $15 \text{ кгс/см}^2$ . Пасажирський варіант цього паровоза – ПЗ6 (рисунок 5.17) – був випущений у 1950 р. Він мав масу 135 т, зчіпну

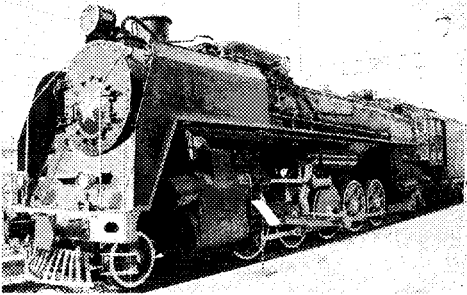


Рисунок 5.17 – Радянський паровоз серії ФД

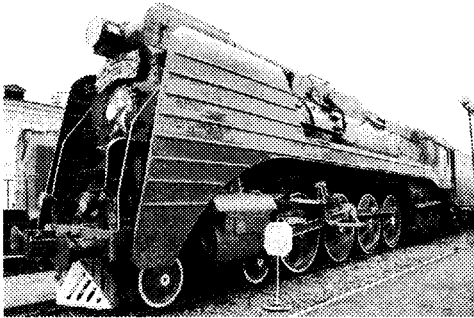


Рисунок 5.18 – Радянський паровоз ПЗ6

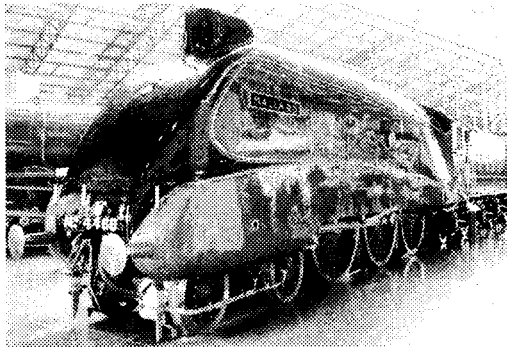


Рисунок 5.19 – Найшвидший паровоз у світі – англійський Mallard

масу 75 т, потужність 3000 к. с. і швидкість 125 км/год. ККД сягав 9,22% – найвище значення для радянських пасажирських паровозів. Витрати палива у ПЗ6 були на 19 – 22% менші, ніж у паровозів ІС [14, 16].

Паровози 1930 - 50-х рр. механізувалися, їх обладнували конденсаторами пари, надавали обтічних форм [12] і т. д.

Серед паровозів були чемпіони. Найбільшу швидкість – 202 км/год – з пасажирським потягом показав у 1938 р. паровоз «Маллард» N 4468, типу 2-3-1 (рисунок 5.19). У тому ж році швидкісний паровоз Луганського заводу N 6998 типу 2-3-2 розвив швидкість 180 км/год [10].

Найбільшими і найпотужнішими у світі були американські паровози Big Boy (рисунок 5.20) типу 2-4-0+2-4-0 (система Маллета): довжина з тендером – 40,47 м; службова маса паровоза з тендером – 548,3 т; потужність 6290 к. с., конструкційна швидкість 129 км/год [14].

Паровози пропрацювали на залізницях близько 120 років і в 1960 – 70-х рр. почали замінюватись тепловозами та електровозами. Пояснюється це, в першу чергу, порівняно низькими ефективністю та питомою потужністю паровозів. Їх загальний ККД не перевищував 10%. Для порівняння: ККД тепловоза – 28 – 32%, електровоза – 85 – 88% – при розрахунку від контактного дроту і 22 – 24% – при розрахунку від електростанції. В СРСР паровози використовувалися до середини 70-х рр. [14, 16].



Рисунок 5.20 – Найпотужніший у світі паровоз Big Boy



Рисунок 5.21 – Міський кінний диліжанс

пробувані вагони з паровими і пневматичними машинами, а також із ДВЗ. Перший міський танк-паровоз типу 0-2-0, оснащений вертикальним котлом і суміщений з пасажирським вагоном, розвивав максимальну швидкість 35 км/год. У вагонах із пневматичним приводом машина конструктивно була аналогічна поршневій паровій, але працювала на стисненому повітрі, що перевозилось у балонах. Запас ходу складав близько 15 км. Такі вагони з пневматичною тягою експлуатувалися в Нью-Йорку, Парижі, Відні й інших містах. Парові вагони уперше вийшли на вулиці в 1873 р. у Новому Орлеані (США) [14, 16].

Перші спроби використання електротяги на транспорті відносяться до кінця XIX ст. Відомі успішні досліди Ф. А. Піроцького, пов'язані із електроприводом вагона міської конки в Петербурзі (1880 р.), які були припинені під тиском правління Суспільства кінних залізниць Петербурга. У 1881 р. у Берліні була відкрита перша електрична трамвайна лінія довжиною 2,5 км, а до 1895 р. у найбільших містах Європи і США конки і паровики вже були замінені електричним трамваєм (рисунок 5.22). В Україні перший трамвай був пущений у 1892 р. у Києві [7, 9, 16].

З XIX в. рейковий транспорт експлуатується і як міський громадський. У квітні 1831 р. у Нью-Йорку організовується перша компанія, що займається будівництвом міських кінних залізниць. Перші два вагони аналогічні вагонам кінних диліжансів почали курсувати між Нью-Йорком і Гарлемом вже у листопаді 1832 р. (рисунок 5.21) У 1835 р. запрацювала кінна залізниця в Новому Орлеані, а до 1884 р. у США було побудовано 525 міських залізниць [14].

На території України перша кінна залізниця дорога пущена в 1880 р. у Одесі. Потяг складався з двох вагонів, місткістю 45 чоловік [14].

Вже у 70-х рр. в США була зроблена спроба заміни кінної тяги на механічну – були ви-

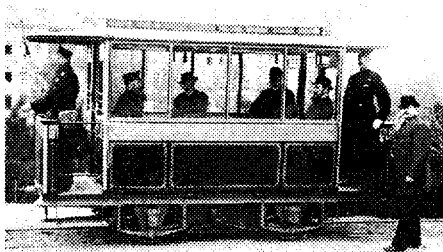


Рисунок 5.22 – Один з перших електричних трамваїв

кого рейкового транспорту: метро (рисунок 5.21) і монорельсові дороги. Назва «метро» запозичена з французької мови, в англомовних країнах його називають підземкою.

Перша підземна залізниця малого закладення на глибині 10...15 м довжиною 3,6 км із паровою тягою була побудована в Лондоні в 1863 р. До 1884 р. там же було створено кілька ліній і 27 станцій, а у 1891 р. здана в експлуатацію електрифікована лінія глибокого закладення (до 50 м), обладнана ескалаторами. У 1868 р. метро почало працювати в Нью-Йорку, у 1896 р. – у Будапешті, у 1900 р. – у Парижі, у Москві – з 1935 р., у Києві – з 1960 р, у Харкові – з 1975 р., у Кривому Розі – з 1986 р. (швидкісний трамвай), у Дніпропетровську – з 1995 р. Швидкість руху потягів метро становить близько 100 км/год. Для підведення живлення (825 В постійного струму) використовується контактна рейка [9, 10, 14].

Перша пасажирська монорельсова дорога споруджена у Вупперталлі (Німеччина) в 1901 р. Дана монорейка являє собою двоколіїну підвісну систему на естакадах, з 20 станціями, загальною довжиною 13,3 км, 10 кілометрів пляхів проходять над руслом ріки Вуппер на висоті близько 12 м, інші 3,3 км над вулицями міста на висоті близько 8 метрів (рисунок 5.23). Сучасні монорельсові поїзди розвивають швидкість руху до 125 км/год. Вартість спорудження монорельсових доріг вдвічі менша, ніж для метро [3, 14].



Рисунок 5.23 – Монорейка у Вупперталлі (Німеччина)

Успішна експлуатація електричного трамвая показала достоїнства електротяги. При однаковій з паровим локомотивом масі електровоз має у 2...3 рази більші потужність і швидкість руху, що дозволяє підвищити пропускну здатність дороги, прискорює транспортування вантажів. В електровозі є можливості для рекуперації енергії, секціонування, керування секціями з одного поста. Поліпшені умови роботи

У наш час міський електричний трамвай працює у всіх великих містах світу. Він став швидкісним (до 70 км/год), малощумним, має низькі підлоги і входи. Місткість вагонів виросла до 200 чоловік і більше, потужність приводних електродвигунів досягла 600 кВт.

Окрім трамвая, у даний час розвиваються ще два види міського електрифікованого пасажирського



машиністів. Переваги електротяги дозволили використовувати її там, де реалізація парової тяги утруднена: тунелі, важкі профілі – підйоми, часті зупинки – приміський рух, необхідність забезпечення високої пропускної здатності.

У 1879 р. В. Сіменс на Берлінській промисловій виставці демонстрував вузькоколіїну залізницю довжиною 300 м з електровозом постійного струму і п'ятьма візками для перевезення пасажирів. Аналогічну дослідну залізницю на постійному струмі довжиною 600 м у 1880 р. побудував Т. А. Едісон. В обох випадках для підведення струму використовувалися рейки. Наприкінці 80-х рр. була розроблена система повітряного живлення електровоза. На магістральних залізницях електротяга вперше була використана в США в 1895 р., а починаючи з 1901 р. – і на приміських залізницях Парижа. У 1903 р. у Німеччині на ділянці Марієнфельд – Цоссен електропоїзд на трифазному струмі розвинув швидкість 210 км/год [4, 8, 14].

У 20-х рр. ХХ ст. починається електрифікація основних залізниць США, Франції, Німеччини, Італії і СРСР. Були прийняті різні системи електроживлення: у США і Франції – постійний струм напругою 1500 і 3000 В, в Італії – трифазний змінний струм напругою 3000...4000 В, Німеччина, Швеція, Швейцарія і Норвегія в 20-х рр. використовували на залізницях однофазний змінний струм зниженої частоти 16,66 Гц напругою до 15 кВ. У СРСР була прийнята система постійного струму напругою 3000 В, однак з 50-х рр. здійснювалося переведення частини радянських електровозів на змінний струм підвищеної напруги (25 кВ при частоті 50 Гц). Доцільність такого переходу пов'язана зі значним зниженням витрат на спорудження підвісної мережі і тягових підстанцій (рисунк 5.24) [4, 16].

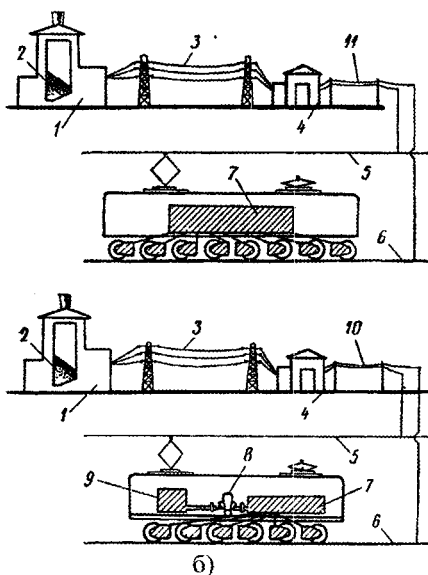
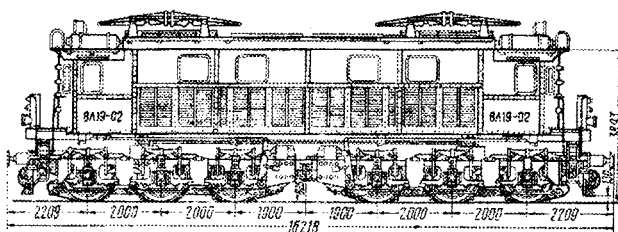


Рисунок 5.24 – Схеми тяги на змінному (а) і постійному (б) струмі: 1, 2 – електростанція; 3 – ЛЕП змінного струму; 4 – тягова підстанція; 5 – контактний провід; 6 – рейки; 7 – апарати керування; 8 – ртутний випрямник; 9 – трансформатор; 10, 11 – однофазний змінний струм

В наш час на території України широке розповсюдження як приміський пасажирський транспорт одержали моторні електровагони з двигунами потужністю до 200 кВт і причіпні електровагони – електрички. Вони мають швидкість руху до 130 км/год і початкове прискорення

до 0,6 м/с<sup>2</sup>; сумарна потужність десятивагонного потягу ЭР-2 – 4000 кВт (5435 к.с.) [14, 16].

В 1932 р. у СРСР був побудований для роботи на Сурамському перевалі (Кавказ) перший магістральний електровоз постійного струму серії СС (Советский Сурамский) потужністю 2040 кВт (2772 к.с.) зі зчіпною масою 126 т і максимальною швидкістю 65 км/год. З 30-х рр. серійно виготовлялися електровози серій ВЛ19 (Владимир Ленин) (рисуюнок 5.25), ПБ-21



Рисуюнок 5.25 – Перший радянський електровоз ВЛ19

(Политбюро ЦК ВКП(б)), СК (Сергей Киров), ВЛ22, ВЛ23 і т. д. (цифри у серії позначають навантаження від рушійних осей на рейки в тс) і інші.

Випускалися також електровози змінного струму ОР22, ВЛ61, ВЛ60, ВЛ80, ВЛ81, ВЛ83 потужністю 2040...7200 кВт. Довгі роки найпотужнішим (10020 кВт) електровозом у світі був радянський локомотив ВЛ85, створений у 1983 р., який має швидкість до 110 км/год. Довжина електрифікованих доріг продовжує збільшуватись і роль електротяги постійно зростає [4, 14, 16].

Прагнення замінити парову машину, що має низький ККД, більш ефективним рушієм довгий час стримувалося відсутністю потужного і надійного двигуна, який працює на важкому рідкому паливі, а також трансмісії, яка забезпечує надійну передачу енергії від двигуна на осі ведучих коліс. У 1894 р. проф. В. Л. Кірпічов розробив проект локомотива з основним нафтовим calorизаторним двигуном і паровою машиною для початку руху і розгону, під час яких обидва двигуни працювали спільно [3, 8, 14].

З винаходом дизеля питання вибору теплового двигуна для локомотива було вирішено. Однак дизель запускається стисненим повітрям або електростартером і працює в обмеженому діапазоні частот обертання. У зв'язку із цим, для впровадження його на залізничному транспорті, необхідна була проміжна передача (механічна, електрична або гідромеханічна) між двигуном і колісними парами.

Були виконані ряд розробок локомотивів з дизелями – тепловозів (рисуюнок 5.26). У 1905 р. проф. В. І. Гриневицький розробив спеціальний локомотивний дизель, що був виготовлений у 1912 р. на Путиловському заводі. Паралельно В. І. Гриневицький і інженер Б. М. Ошурков проектували тепловоз з безпосередньою передачею енергії на колісні пари. Робота не була доведена до кінця через смерть Гриневицького. У 1905 р. інженер Н. Г. Кузнецов і полковник А. І. Одинцов запропонували використовувати в тепловозі електротрансмісію. У 1913 р. студент МВТУ А. Н. Шелест у своєму дипломному проекті розробив тепловоз з газогенератором і порш-

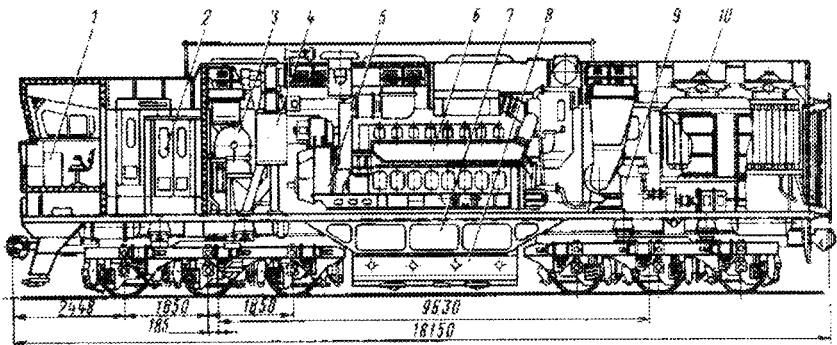


Рисунок 5.26 – Схема тепловоза ТЭ116: 1 – пульт керування; 2 – камера для електричних апаратів; 3 – мотор-вентилятор; 4 – випрямна установка; 5 – тяговий генератор; 6 – дизель; 7 – акумуляторна батарея; 8 – паливний бак; 9 – компресор; 10 – вентилятор холодильника

невим двигуном, що обертає колеса. Пізніше Шелест спроектував газотурбовоз. У 1913 р. інженер А. І. Липец розробив проєкт тепловоза з пневмомуфтою для регулювання швидкості, а в 1915 р. Є. Є. Леонткевич запропонував використовувати для цього триступінчасту коробку швидкостей. Згадані розробки в металі реалізовані не були [6, 9, 14].

У 1922 р. за пропозицією В. І. Леніна був оголошений конкурс на розробку тепловоза, на який проф. Я. М. Гаккель подав проєкт машини з електричною трансмісією. У 1924 р. даний проєкт був реалізований (рисунок 5.27). Потужність локомотива становила 800 к. с, маса 180 т, швидкість до 75 км/год. Наприкінці 1924 р. тепловоз пройшов обкатку і почав працювати з вантажними поїздами. Пізніше у СРСР були побудовані ряд експериментальних і серійних машин Е<sup>эл</sup>, ВМ, Д<sup>а</sup>, Д<sup>б</sup>.

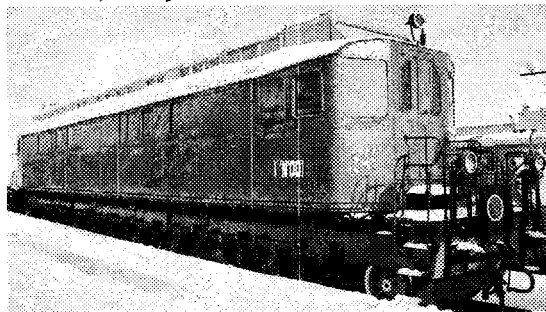


Рисунок 5.27 – Перший у світі тепловоз Щ<sup>эл</sup>1

Серійний випуск тепловозів у СРСР розпочався у 1932 р. Після Великої Вітчизняної війни Харківський завод транспортного машинобудування налагодив випуск машин серії ТЭ. Виготовлялися дизельні, газогенераторні, двосекційні і інші локомотиви. Тепловоз ТЭ3 (рисунок 5.28) потужністю 4000 к. с зі швидкістю до 100 км/год став основним видом вантажного локомотива на неелектрифікованих дорогах і прототипом подальших розробок [14, 16].

Тепловоз ТЭ3 (рисунок 5.28) потужністю 4000 к. с зі швидкістю до 100 км/год став основним видом вантажного локомотива на неелектрифікованих дорогах і прототипом подальших розробок [14, 16].



Рисунок 5.28 – Тепловоз ТЭЗ

Широке впровадження й об'ємне виробництво тепловозів у СРСР було почато у 1956 – 1960 рр. Тепер вони мають потужність 3...5 тис. к. с. і випускаються з електричними та гідравлічними трансмісіями [4, 9, 14].

Найпотужнішим тепловозом у світі був американський DDA40X (6600 к. с.), що випускався підрозділом фірми General Motors у 1969 – 71 рр.

Слід згадати також і про спроби поєднання паровоза і тепловоза в одній машині – теплопаровозі. Подібні локомотиви оснащувалися одночасно паровою машиною і двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ). Рух поршнів обох двигунів передавався на колеса. Розгін локомотива передбачався за допомогою парової машини, подальший рух забезпечували обидва двигуни. У 1926 р. у Генуї на заводі Ансальдо й у 1928 р. на заводі Кітсон у Лідсі були побудовані перші теплопаровози [10, 14].

У 1935 р. студент Московського електромеханічного інституту інженерів транспорту Л. М. Майзель запропонував локомотив, в якому парова машина використовувалась для початку руху, тоді як після розгону її циліндри працювали в складі ДВЗ. У 1939 – 41 рр. за даним принципом були побудовані кілька машин потужністю до 3500 к. с. зі швидкістю до 130 км/год (рисунок 5.29). Теплопаровози виявилися економічними – ККД

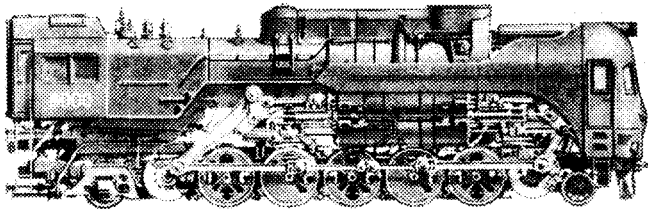


Рисунок 5.29 – Радянський теплопаровоз ТП1

до 16%, витрати палива в 2 рази менші, ніж у паровоза ІС. Випробовування продовжувалися до 1948 р. У цей час з'явилися

тепловози, перед якими складний конструктивно й в експлуатації теплопаровоз вже не мав переваг [14, 16].

Прагнення до підвищення швидкості руху магістральних поїздів обумовило створення газотурбовозів – локомотивів з газотурбінними двигунами (ГТД), що мають великі потужності при порівняно низькій власній масі (рисунок 5.30). Перші газотурбовози були побудовані в США на початку 50-х рр. компаніями «Дженерал електрик» і «Американ локомотив». У 1958 р. ними був створений трисекційний локомотив потужністю 8000 к. с. Газотурбовози працюють на дешевому мазуті, мають ККД 18% і розвивають швидкість до 160...200 км/год. У СРСР перший локомотив даного типу

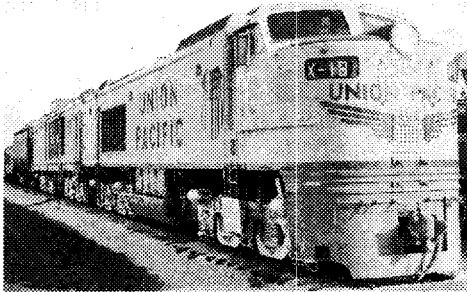


Рисунок 5.30 – Американський газотурбовоз Union Pacific 18

ККД при неповному навантаженні, значні витрати палива на холостому ході, що обумовлює необхідність мати на локомотиві допоміжну енергетичну установку.

У 2007 р. у Росії побудований новий дослідний газотурбовоз ГТ1-001, який розвиває швидкість до 100 км/год, потужність 8300 кВт (на даний момент найпотужніший газотурбовоз у світі); однієї заправки паливом (як таке застосовується зріджений природний газ) вистачає на 750 км. Передбачається, що газотурбовоз буде використовуватися в Сибіру, багатому запасами природного газу.

Перспективи розвитку залізниць пов'язані зі збільшенням їх пропускної здатності насамперед за рахунок підвищення швидкості руху рухомого складу за умов дотримання вимог безпеки. В 30-х рр. ХХ ст. швидкість пасажирських потягів не перевищувала 100 км/год. До 40-х рр. вона досягла 160...180 км/год, причому подальше її зростання стримувалось, в основному, недосконалістю шляхів. Після другої світової війни роботи зі збільшення швидкості руху були продовжені. Вони включали розробку швидкісних потягів та удосконалення шляхового господарства. У 50-х рр. у Франції на серійних вагонах була досягнута максимальна швидкість 331 км/год, в 70-х рр. – 380 км/год. У 80-х рр. став вже не рідкістю рух електропоїздів на лініях з середньою швидкістю 220...300 км/год. Такі потяги ходять у Японії, Франції, Іспанії й інших країнах. Однак надійним рух колісного транспорту по рейках може бути зі швидкістю не більше 400 км/год. Це межа технічних можливостей, а границя рентабельності експлуатації нижча. Основних перешкод для підвищення швидкості дві – недостатня безпека руху по традиційній залізничній колії і швидке зношування коліс і рейок [8, 9, 14].

Перспективним рішенням можна вважати створення рухомого складу на повітряній чи магнітній подушці, а також на електродинамічних підвісках. Технічні передумови для реалізації електродинамічних підвісок існують, але проблем ще більше. Це і необхідність у надточному керуванні підвісками, забезпеченні надпровідності у великогабаритних елементах і

потужністю 3500 к. с. був виготовлений на Коломенському заводі в 1959 р. [4]. Головною перевагою газотурбінних двигунів є можливість розвивати велику потужність при відносно невеликих розмірах і масі. Крім цього, ГТД можуть працювати на більш дешевому паливі при істотно менших витратах мастила. Недоліками даних двигунів є підвищені, порівняно з дизелем, витрати палива, різке зниження

т. д. Як двигун для швидкісного руху може бути використаний лінійний електричний або турбореактивний двигун. Незважаючи на фантастичність деяких ідей, у США, Великобританії, Німеччині, Японії і Франції йдуть розробки і макетування різноманітних варіантів швидкісних доріг.

У 2003 р. у Японії експериментальний потяг – маглев MLX01-901 (рис.

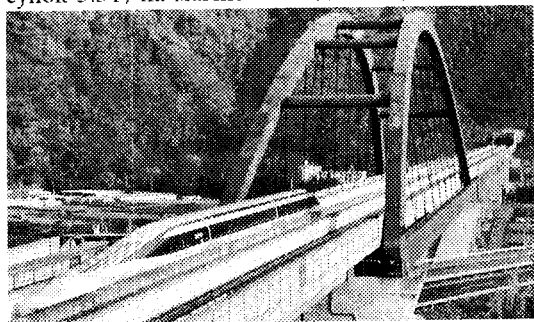


Рисунок 5.31 – Японський маглев MLX01-901

з надпровідною обмоткою розвив швидкість 581 км/год і це ще не межа. Під час переміщення маглев висить у повітрі, строго в зоні шляху, за рахунок відштовхування однойменних полюсів магнітів і притягнення різноіменних полюсів. Рух забезпечується від лінійного електродвигуна, розташованого на потязі, на шляху або і там, і там. Серйозною проблемою проектування поки що залишається велика вага досить потужних магнітів для створення сильного магнітного поля і утримання в повітрі масивного составу. Перевагами маглева є: теоретично найвища швидкість з тих, що можна одержати на загальнодоступному наземному транспорті; низький шум. Недоліки: висока вартість будівництва й обслуговування колії (порівняння з вартістю підземного метрополітену); значні маса магнітів та кількість споживаної електроенергії. Зараз найбільш активні розробки маглева ведуть Німеччина і Японія [14].

Слід зазначити, що в таких країнах як Індія, Китай, Аргентина, Південно-

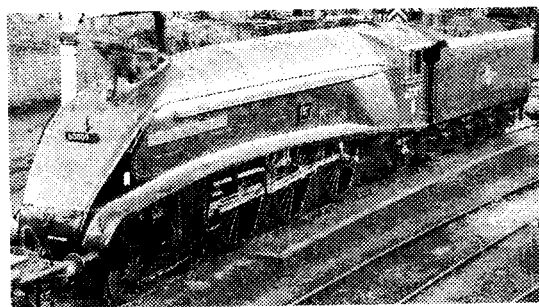


Рисунок 5.32 – Сучасний південноафриканський паровоз

но-Африканська Республіка та інших ще досить широко використовується парова тяга і будуються потужні вугільні паровози (рисунки 5.32) на основі новітніх досягнень теплотехніки і машинобудування з мікропроцесорним керуванням паророзподілом і подачею палива. На деяких з них використовується електрична

передача до рушійних коліс. ККД сучасних паровозів становить близько 15%. В умовах підвищення вартості нафти такі машини можуть конкурувати з тепловозами й електровозами [9, 14].

## 5.2 Безрейковий наземний транспорт

Перші відомі креслення автомобіля (із пружинним приводом) належать Леонардо да Вінчі, однак ні діючого екземпляра, ні відомостей про його існування до наших днів не дійшло. У 2004 р. експерти Музею історії науки з Флоренції змогли відновити за кресленнями цей автомобіль (рисунок 5.33), і довести правильність ідеї Леонардо. В епоху Відродження і пізніше в ряді європейських країн «саморушні» візки й екіпажі з пружинним двигуном будувалися в одиничних екземплярах для участі у святах і парадах.

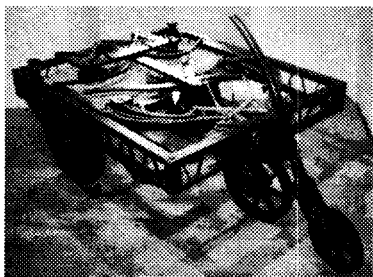


Рисунок 5.33 – Автомобіль Леонардо да Вінчі

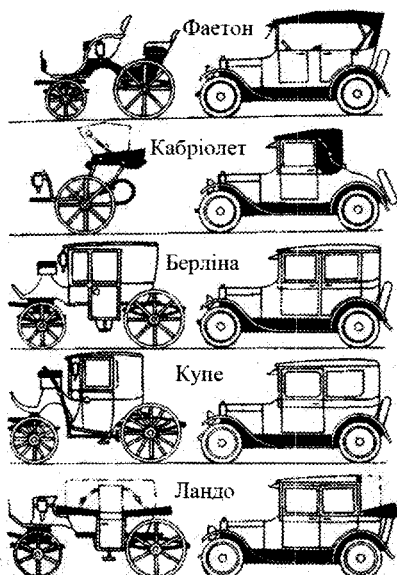


Рисунок 5.34 – Типи кузовів кінних екіпажів, реалізовані в автомобілях

Але основними попередниками автомобіля, у яких було запозичено його компонування, підвіску коліс, кузов і інші елементи, стали кінні екіпажі (рисунок 5.34). У 1599 р. в Італії виготовили першу карету із закритим кузовом і зашкеленими дверцятами. Провідною країною з виробництва пасажирських екіпажів у XVIII ст. стала Великобританія.

У 1704 р. були вперше застосовані ресори з листової сталі, у 1792 р. – металеві осі коліс, у 30-х рр. XIX ст. з'явилися суцільні, а в 1845 р. – пневматичні шини. У 1816 р. кучер Ланкеншпергер вперше обладнав екіпаж поворотною на шворнях передньою віссю. Усе це було використано в автомобілях, так само, як і назви типів кузовів: фаєтон, ландо, ландоле, візаві, кабриолет, брогам, баггі [14].

У 1600 р. в Голландії був реалізований перший саморушний вітрильний візок Стівена (рисунок 5.35), який перевозив 28 чоловік зі швидкістю до 34 км/год. Однак вітрило на суші не могло відігравати роль двигуна – не було відповідних доріг, змінювались напрямок та сила вітру [14].

У Росії в 1780-і рр. над проектом автомобіля працював відомий російський винахідник Іван Кулібін. У 1791 р. ним був виготовлений візок-самокат, у якому він застосував махове колесо, гальмо, коробку швидкостей, підшипники кочення [57].

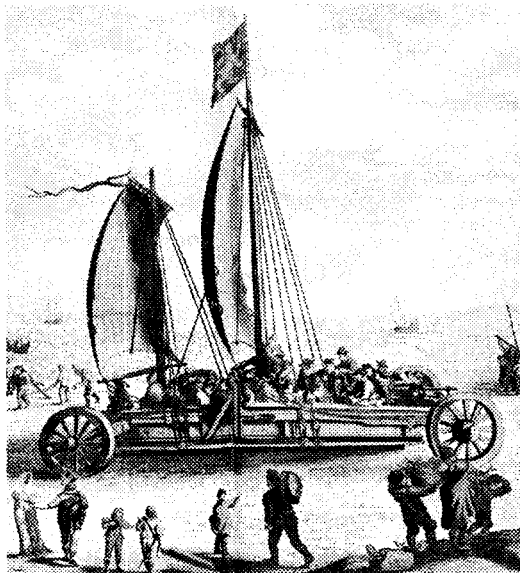


Рисунок 5.35 – Саморушний візок Стівена

Незважаючи на створення паровоза і безуспішні спроби реалізації Н.-Ж. Куньо й У. Мердоком безрейкових парових екіпажів (див. рисунок 5.3), на початку XIX ст. у Великобританії з'явився паровий диліжанс [57, 58]. Чотири «паровики» Голдсуорсі Гюрнея робили регулярні рейси і в 1831 р. наїздили 6 тис. км. З технічними зупинками на заправлення водою відстань 120 км вони долали за 12 год. У 30-х роках XIX ст. тільки у Великобританії експлуатувалися вже біля сотні паромобілів. Найбільш досконалі з них

пересувалися зі швидкістю до 30 км/год. Експлуатація паромобілів у Великобританії продовжувалася до 1865 р., коли англійський парламент видав закон про обмеження швидкості дорожніх локомотивів: на замських дорогах – 6,5 км/год, у населених пунктах – 3,5 км/год, причому перед екіпажем повинна була йти людина з прапорцем [14].

В армії Великобританії під час Кримської війни (1853 – 1856 рр.) застосовувалися колісні парові тягачі з котлом паровозного типу потужністю 6 к. с. для транспортування облогових гармат і боєприпасів загальною масою до 15 т зі швидкістю 6...7 км/год. Останні парові дорожні локомотиви брали участь в англо-бурській війні 1899 – 1902 рр. [3, 9].

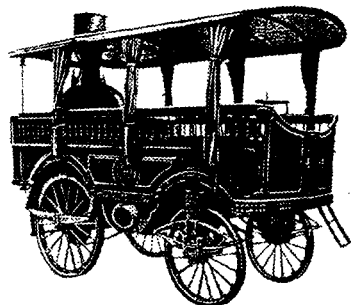


Рисунок 5.36 – Диліжанс А. Болле (1875 р.)

Парові екіпажі з'явилися і у Франції. Леон Серполле використав на своїй машині котел зі змійовиком і газовими пальниками, диференціал і ланцюгову передачу на колеса. У 1902 р. Серполле на паровому авто власної конструкції встановив рекорд швидкості у 120,77 км/год. Амадей Болле у 1880-х рр. продемонстрував візок (рисунок 5.36), що принципово повторював екіпаж Серполле. Він мав масу 3,5 т і витрачав 1,5 кг вугілля і 7 л води на 1 км шляху, при максимальній швидкості руху 38 км/год. На візку



Болле були реалізовані незалежна підвіска коліс і металевий кузов. Пізніше у Франції почали ходити парові автобуси (рисунок 5.37) [14].

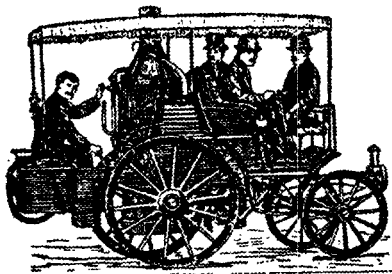


Рисунок 5.37 – Паровий автобус



Рисунок 5.38 – Паромобіль «Стенлі Рокет», який до 2009 р. залишався найшвидшим паромобілем світу

У США паровики будували до кінця XIX ст. Так, у 1898 р. фірма «Стенлі» випустила 100 паромобілів, а в 1899 р. фірма «Локомотиль» – 400 машин. На паромобілі «Стенлі Рокет» (рисунок 5.38) у 1906 р. був установлений рекорд швидкості 205,4 км/год.

У Росії з початку XIX ст. понад 50 винахідників пропонували проекти паромобілів [49]. У 1861 р. був створений і випробуваний «санний паровоз

для їзди по льоду узимку», який складався з парового локомотива на колесах із шипами і двох причіпних саней, розрахованих на перевезення 50 пасажирів

або 200 пудів вантажу зі швидкістю до 26 км/год [57].

Однак незважаючи на всі удосконалення, паровий автомобіль залишався незручним в експлуатації і значного поширення не одержав. Пуск паровика потребував багато часу і великого уміння машиніста. Парова машина була недостатньо надійною і дорогою. Паромобіль поступився місцем автомобілю з ДВЗ. Проте з його допомогою була доведена можливість механічного безрейкового пересування. Від паровиків залишилося і слово «шофер» – у перекладі з французької «кочегар».

Перший патент на екіпаж з ДВЗ, що працював на світільному газі, був виданий Франсуа Ісаку де Рівазу ще в 1807 р. У 1826 р. у Лондоні випробуваний екіпаж із газовим двигуном С. Брауна, який був досить громіздким і нееконімічним, внаслідок чого досліди припинили. Створення практично придатного засобу безрейкового пересування стало можливим з винаходом у 1884 р. Г. Даймлером і К. Бенцом бензинового карбюраторного двигуна (рисунок 5.39) [58].

У 1885 р. Г. Даймлер вперше установив свій ДВЗ на одномісну моторну коляску. У 1886 р. двомісний автомобіль Даймлера розвив максимальну швидкість до 18 км/год. Одночасно з Даймлером К. Бенц побудував триколісний автомобіль (див. рисунок 5.39), що досяг швидкості 15 км/год [14].

Створення автомобіля було підготовлено попереднім розвитком техніки. Уже були відомі паромобілі, запропонований ДВЗ, сконструйований карбюратор – Д. Брайтон (1872 р.), у 40-х рр. були винайдені суцільні гу-

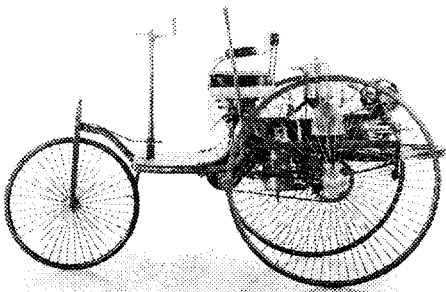
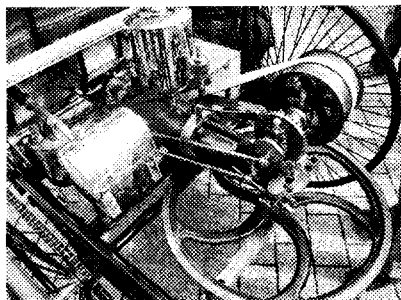


Рисунок 5.39 – Двигун та перший автомобіль К. Бенца (1886 р.)

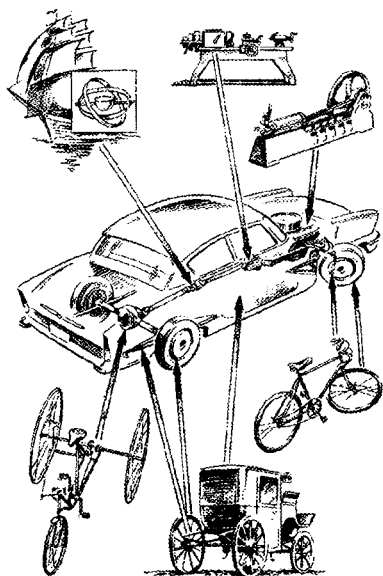


Рисунок 5.40 – Походження деяких вузлів автомобіля

мові, а потім й пневматичні шини – Р.-У. Томпсон і Д. Ж. Денлоц, коробка передач входила у конструкцію металорізальних верстатів, відомий був диференціал – А. Бо де Рош (1870-і роки). Поспдання вказаних елементів дало якісно новий результат (рисунок 5.40). Була створена принципово нова машина, що постійно удосконалювалася. У 1890-х рр. Р. Бош розробив котушку запалювання і магнето, пізніше, у 1910 р., Ч. Кеттерінг запропонував електростартер [14, 58].

Виникла нова галузь промисловості – автомобілебудування. У 1890 р. Даймлер заснував компанію з виробництва автомобілів і почав їх одиничний випуск. У 1896 р. був побудований завод Бенца в м. Айзенах. До 1890 р. відноситься створення французького виробництва автомобілів. У 1899 р. у м. Турін (Італія) запрацював завод «Фіат». В Австрії перший автомобіль

побудований у 1897 р., у США – в 1890-х рр. У 1913 р. Г. Фордом у Детройті (США) вперше організовано масове виробництво автомобілів [3].

Перші автомобілі нагадували кінні візки і були малопотужними: машина Даймлера – 12 к. с., Бенца – 5 к. с. До 1900 р. потужність автомобілів збільшилася до 30...40 к. с. Число циліндрів виросло до 4 і вже в 1899 р. була досягнута швидкість 112 км/год. У перших машин двигун розміщався позаду, під сидінням. Е. Левассор першим установив на автомобілях фірми «Панар-Левассор» двигун і радіатор спереду під капотом. При цьому обертальний момент від двигуна передавався через зчеплення і коробку пере-

дач на проміжний поперечний вал, а з нього ланцюгом – на задній міст. Гонки 1894 р. довели надійність даних конструктивних рішень. У 1898 р. французький конструктор А. Рено замінив ланцюгову передачу карданним валом (рисунок 5.41) [58].

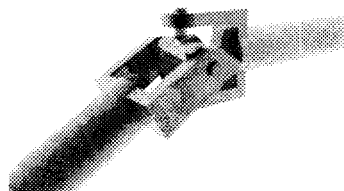


Рисунок 5.41 – Карданна передача

Майже одночасно з бензиновими автомобілями з'явилися електричні, які мали швидкість до 30 км/год і запас ходу між підзарядками акумуляторної батареї до 50 км при ємності батареї 10 кВт/год. Електромобілі оснащувалися електродвигунами постійного струму і ланцюговими передачами. Керування машиною було досить простим. До недоліків електромобілів відносились мала ємність і велика вага батареї. У 1899 р.

у США електромобілі становили 38%, паромобілі – 40%, бензинові автомобілі – 22% від загального числа машин. З удосконаленням ДВЗ електромобілі перестали будувати. У 1914 р. у Європі експлуатувалось тільки 1584 машини з електродвигунами. Пізніше вони, як і паромобілі, зникли зовсім.

На початку ХХ ст. автомобіль став загальнодоступним засобом пересування. В усіх промислових країнах виникали компанії з виробництва машин. Відомими конструкторами того часу були: Д. Б'юїк, А. Рено, А. Сітроен, М. Ліланд, Д. Студбейкер, В. Лянча, Ф. Порше, М. Ройс, М. Остін, Р. Олдс, Г. Форд, Г. Шевроле, Е. Бугатті, Д. Додж і інші [14, 58].

На машинах устанолювалися покажчики повороту, склоочисники, підсилювачі гальм, автоматичні і гідравлічні трансмісії, передні гальма. Виготовлялися автомобілі з безрамними кузовами, змінювалося місце установки двигуна і ведучих мостів. Створювалися машини з переднім приводом і заднім розташуванням двигуна (рисунок 5.42). Випускалися дешеві («Сітроен», «Пежо», «Опель», «Остін», «Форд», «Фіат») і дуже дорогі («Роллс-Ройс», «Каділлак», «Багатті») автомобілі. Безупинно удосконалювалися двигуни, гальма, підвіски й особливо кузова, змінювався зовнішній вигляд автомобілів.

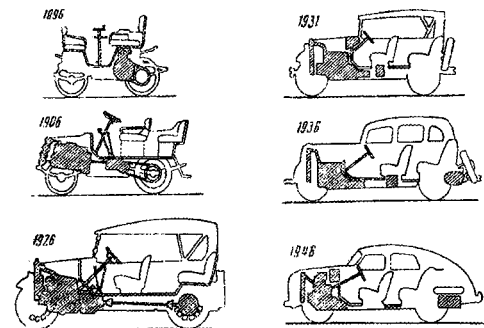


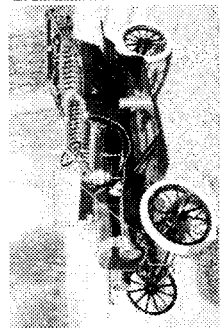
Рисунок 5.42 – Розвиток компонування автомобіля

Зростали обсяги випуску машин. У 1900 р. світовий парк автомобілів становив 20000 машин, в 1914 р. він збільшився до 1,9 млн.

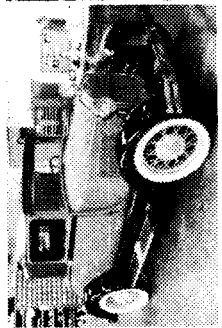
На рисунку 5.43 показано машини одного з лідерів сві-



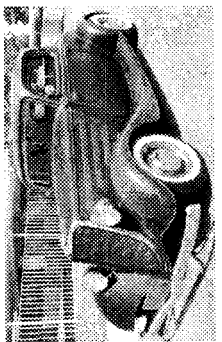
Ford A (1903 p.)



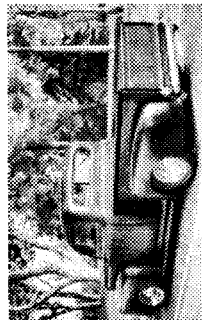
Ford T (1910 p.)



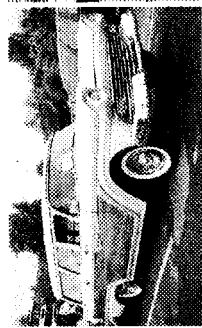
Model A (1928 p.)



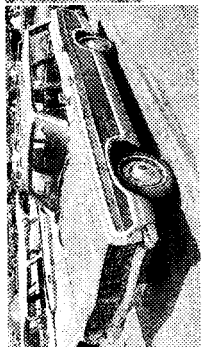
Model B (1934 p.)



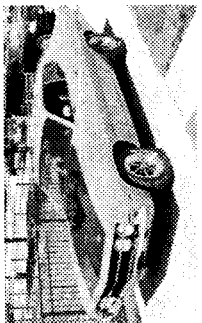
F100 (1951 p.)



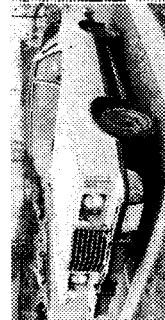
Country Squire (1957 p.)



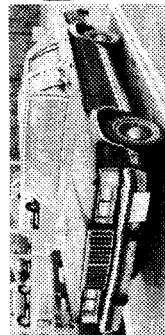
LTD Country Squire (1968 p.)



Torino Cobra (1970 p.)



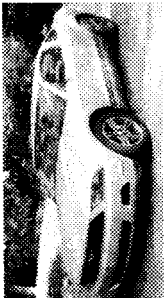
Thunderbird (1977 p.)



Mercury Grand Marquis (1983 p)



Crown Victoria LX (1992 p)



Mustang (2010 p)

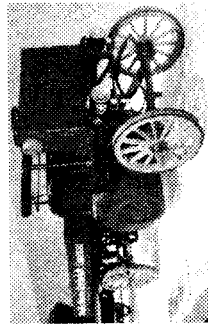
Рисунок 5.43 — Автомобілі фірми «Ford» 1900-х — 2000-х pp.

тового автомобілебудування фірми «Ford», що випускались з початку ХХ ст. і до 2010 р.

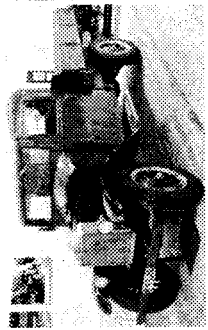
Одночасно з випуском легкових машин було налагоджено виробництво вантажівок, причому до 50% з них оснащувались дизелями. На рисунку 5.44 показано, як змінювався зовнішній вигляд вантажівок, автобусів та спеціальних машин у від кінця ХІХ ст. до початку ХХІ ст. У 1940 р. у світі було вже 46 млн, а в 1950 р. – 70 млн автомобілів [14].

У СРСР масове виробництво автомобілів було розгорнуто з 1924 р., але їх історія в Росії почалася задовго до цього [57, 58]. Перша машина марки «Панар-Левассор» була завезена у Одесу в 1891 р. До 1917 р. у країні нараховувалося близько 50 тис. машин [59].

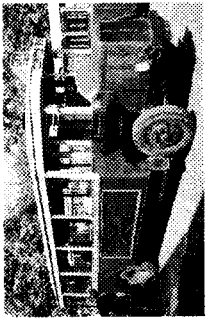
На території України першим підприємством з виробництва автомобілів вважається ЗАЗ, історія якого починається з 1863 р., коли голландець Абрагам Кооп створив у Олександрівську (нині Запоріжжя) завод з виробництва сільськогосподарської техніки. У 1908 р. був оснований Мелітопольський моторний завод (МеМЗ). З 1960 р. МеМЗ почав постачати свої двигуни на ЗАЗ. З 1975 р. МеМЗ увійшов до складу виробничого об'єднання «АВТОЗАЗ». Нині він є одним зі структурних підрозділів підприємства. У 1923 р. колишній завод Коопа був перейменований у «Комунар». Однак напрямок діяльності зберігся з врахуванням появи нової сільськогосподарської техніки – тракторів, збиральних комбайнів тощо. У 1961 р. підприємство перейменоване у Запорізький автомобільний завод. Завод починає випуск автомобіля – ЗАЗ-965 (рисунок 5.45) з двигуном повітряного охолодження, що увійшов в історію як «Горбатий Запорожець». У 1970 р. на конвеєр пішов оновлений «Запорожець» – ЗАЗ-968 (див. рисунок 5.45), що кардинально відрізнявся від свого попередника. Усього (з 1960 по 1994 рр.) було виготовлено 3 422 444 автомобілів «Запорожець». У 1988 р. почався випуск автомобілів «Таврія» – перших автомобілів з рідинним охолодженням двигуна, що випускаються на ЗАЗі. У 1998 р. завод переходить у повну власність корпорації GM-DAT; починається складання автомобілів «Таврія-Нова». У 1999 р. розпочатий випуск ліфтбека «Славута» (див. рисунок 5.45), створеного на шасі «Таврії» і з використанням її кузовних панелей. У 2003 р. завод змінює організаційну форму і перетворюється в закрите акціонерне товариство «Запорізький автомобільний завод» за участю іноземних інвестицій. У 2004 р. завод пережив повне оновлення засобів виробництва. Починається складання автомобілів VA3, Lanos, Opel. У 2006 р. «ЗАЗ» підтверджує відповідність власної системи керування якістю міжнародному стандарту ISO 9001:2000. Продукція ЗАТ «ЗАЗ» відповідає вимогам Євро 2. Освоєно випуск напівпричепів НХ2210 для перевезення легкових автомобілів. У цьому ж році була освоєна гама легкових китайських автомобілів Chery. У 2007 р. була знята з виробництва «Таврія», у 2008 р. – «Таврія-Нова» і «Таврія-пікап». Станом на 2013 р. завод виготовляє моделі ZAZ-Sens, ZAZ-Lanos, ZAZ-Forza (див. рисунок 5.45), ZAZ-Vida, ZAZ-A07AII-VAN.



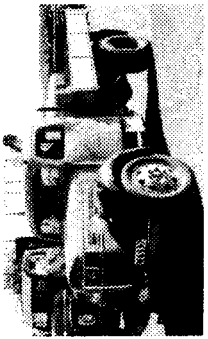
Даймлер МНВ (1898 р.)



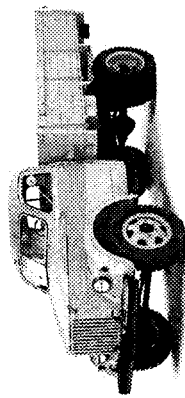
Volvo LV40 (1928 p.)



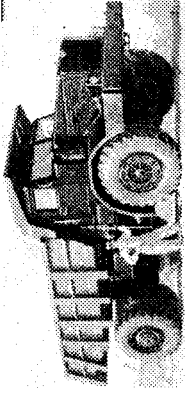
Renault TN6 A2 (1932 p.)



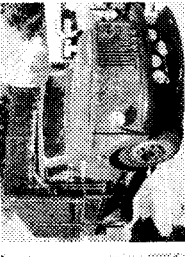
Volvo LV127 (1943 p.)



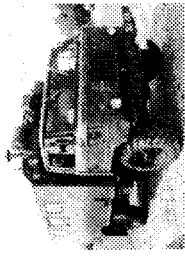
ГАЗ-51 (1946 p.)



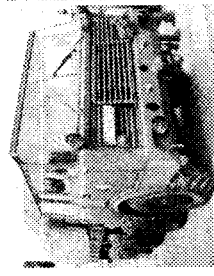
МАЗ-525 (1950 p.)



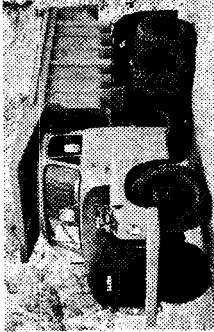
Volvo L485 (1961 p.)



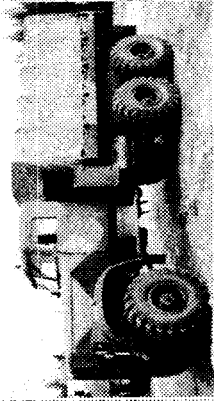
ГАЗ-66 (1964 p.)



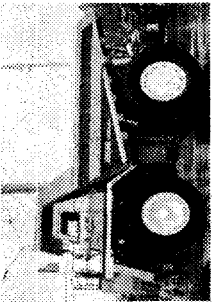
Татра Т813 (1968 p.)



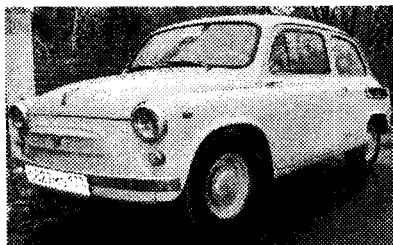
Татра Т148 S1 (1972 p.)



КРАЗ-255 (1990-і рр.)



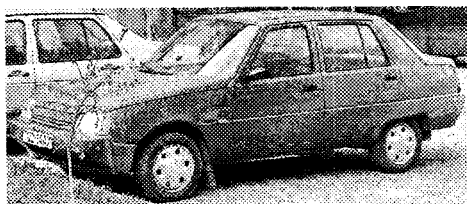
Белаз 75570 (2000-і рр.)



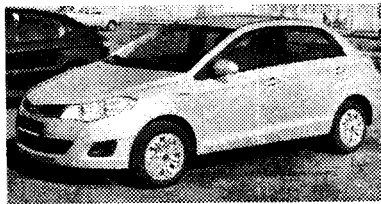
ЗАЗ-965



ЗАЗ-968



ЗАЗ-1103 «Славута»



ZAZ-Forza

Рисунок 5.45 – Автомобілі Запорізького автозаводу

Окрім «ЗАЗ» в Україні були побудовані Кременчуцький, Львівський і Луцький автозаводи.

### 5.3 Значення та сучасні тенденції автомобілебудування

Значення автомобільної промисловості й перспективи її розвитку залежать від того, яке місце займає автотранспорт у транспортно-енергетичній інфраструктурі, а також від його загальної ролі в національній економіці тієї або іншої країни. Як правило, країни-лідери автомобілебудування займають перші позиції і у світовій економіці; автомобільна галузь напряму впливає на технічний прогрес і краще багатьох статистичних даних говорить про платоспроможність населення, а значить і про рівень життя. Автомобільна промисловість, будучи, з одного боку, великим споживачем матеріальних, трудових і фінансових ресурсів, а з іншого боку – одним з основних виробників промислової продукції, відіграє важливу роль у розвитку суспільного виробництва й економіки країни в цілому.

За поєднанням конструктивно-технологічної складності виробів з масовими масштабами їх виготовлення автомобілебудування не має аналогів серед інших галузей сучасного машинобудування. Із цією особливістю пов'язаний високий ступінь концентрації капіталів в автомобільному виробництві, а також швидке скорочення числа фірм – самостійних продуцентів.

Вищевказані фактори обумовили загострення конкурентної боротьби між світовими автомобільними компаніями за збереження своєї частки на внутрішньому ринку й розширення експортної торгівлі. В умовах такої

жорсткої конкуренції деякі держави приймають ряд заходів, що обмежують вплив великих закордонних компаній на внутрішній автомобільний ринок.

Розвинені країни багато в чому залежать від автомобілебудування, тому що автомобілебудівні ТНК цих країн відіграють дуже велику роль в їх економіці.

У наш час в автомобільній промисловості триває процес зміни регіональної структури, початок якого був покладений у 80-і рр. ХХ ст. Цей процес містить у собі як перерозподіл частки виробництва між провідними центрами світового автомобілебудування, так і зростання в ньому частки країн, що розвиваються, в яких під впливом великих світових автомобільних компаній відбувається інтенсивний розвиток виробництва автомашин [58].

Можна вважати закінченим процес удосконалення автоматизованих заводів, на яких праця людини максимально спрощена або автоматизована, а на більшій частині конвеєрної лінії операції виконуються роботами. Окремі випадки збереження ручної праці характерні лише для застарілих заводів країн третього світу або для підприємств дрібносерійного й одного виробництва, на яких вона є традицією й дуже цінується.

Для сучасного автомобільного світу також властивий високий ступінь спеціалізації. Існує цілий ряд найбільших корпорацій, що спеціалізуються на випуску конкретних деталей і блоків автомобілів (моторів, трансмісій, покришок, глушників, приладів тощо). Такий поділ праці був обумовлений боротьбою за максимальну оптимізацію використання наявних засобів і досягнення найвищих технічних і експлуатаційних показників продукції.

Іншою важливою рисою автомобілебудування є внутрішня й міжфірмова кооперація. У наш час немає жодної великої автомобілебудівної компанії, що не мала б міжфірмових угод про взаємне постачання окремих компонентів, а також про спільну розробку або випуск продукції. Однак слід зазначити, що існують дрібні компанії, які меншою мірою залучені в цей процес.

В умовах ринкової, відкритої, нестабільної економічної кон'юнктури, характерної практично для всіх країн, значно підсилюється вплив експорту продукції на забезпечення стійкого економічного становища тієї або іншої компанії.

Підсилюється процес концентрації сил в автомобілебудівній галузі. Відповідно до результатів досліджень з п'яти з половиною тисяч постачальників галузі до кінця 2015 р. у світі залишиться менше половини, а з п'ятнадцяти великих автомобільних концернів – не більше десяти. У найближче десятиліття автомобілебудування особливо активно буде розвиватися в країнах Азії, Східної Європи й Південної Америки (тобто на ринках, які ще повною мірою не сформувалися). Згідно із прогнозами експертів щорічне зростання галузі в цих регіонах становитиме 7,5%. Кращі ша-



нши на виживання будуть мати ті компанії, які створять у цих частинах планети власні виробничі потужності.

Нижче по країнах представлені основні світові фірми-автовиробники, а також в дужках – марки автомобілів, якими вони володіють.

#### **Німеччина:**

1. Volkswagen (Volkswagen, Porsche, Audi, Seat, Skoda, Bentley, Lamborghini, Bugatti, Scania, MAN);
2. Daimler (Mercedes-Benz, Mercedes-AMG, Smart);
3. BMW (BMW, Rolls Royce, Mini).

#### **Франція:**

1. Renault - Nissan (Renault, Nissan, Infinity, Dacia, VA3);
2. PSA Peugeot Citroen (Peugeot, Citroen).

#### **Італія:**

Fiat (Fiat, Alfa Romeo, Lancia, Ferrari, Maserati, Iveco, Chrysler, Dodge, Jeep, Ram Truck).

#### **США:**

1. General Motors (Buick, Cadillac, Chevrolet, GMC, Holden, Opel, Vauxhall);
2. Ford (Ford, Lincoln).

#### **Японія:**

1. Toyota (Toyota, Lexus, Scion, Daihatsu, Hino);
2. Honda (Honda, Acura);
3. Mitsubishi Motors (Mitsubishi);
4. Mazda (Mazda);
5. Suzuki (Suzuki).

#### **Південна Корея:**

Hyundai (Hyundai, Kia).

У XXI ст. автомобільна промисловість вийшла із трьома чітко вираженими районами концентрації – регіони Північної Америки, Європи й Азії (Китай, Японія, Індія й Південна Корея).

Слід зазначити, для кожного з трьох основних автомобільних ринків характері свої особливості. Виробники в наш час повинні постійно вивчати споживчі смаки й переваги, інакше потенційний клієнт просто купить потрібний йому автомобіль у конкурента.

Для американських виробників кінця минулого сторіччя був характерним гігантизм: машини були дуже великими, як усередині, так і зовні. Особливо жажливими й незвичними для європейців або японців здавалися американські позашляховики (джипи). Оснащені великими двигунами (робочим об'ємом до 6 л) вони були вкрай неекономічними і в основному не використовувалися за призначенням (для бездоріжжя). Зараз американські авто виглядають інакше, хоча найпопулярнішим типом машини залишається пікап (рисунок 5.46, а). В цілому половина всіх проданих в Америці машини це – пікапи, позашляховики (див. рисунок 5.46, б) або мінівени (рисунок 5.46, в). Останні у 2000-х рр. були витиснені SUV і

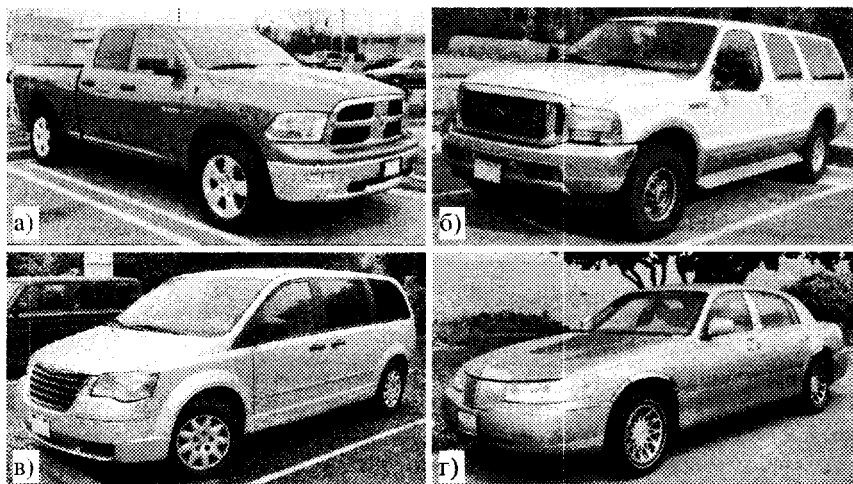


Рисунок 5.46 – Популярні типи американських автомобілів: а – пікап Dodge Ram 1500; б – позашляховик Ford Excursion; в – міні-вен Chrysler Town & Country; г – седан Lincoln Town Car

кроссоверами – гібридами «універсалів» та позашляховиків. Також популярними є великі седани представницького класу (див. рисунок 5.46, г). З технічної точки зору, мрія американця – це автомобіль із великим двигуном, автоматичною коробкою передач, з розташованим на кермовій колодці селектором та великим багажником.

Загальна кількість зареєстрованих у США автомобілів перевищує 200 млн. Правило «одна родина – один автомобіль», що діє, наприклад, в Україні, в США не поширене. Американці вважають за необхідне мати на сім'ю два – три автомобілі. Із цими показниками Америка є автомобільною державою № 1, підтверджуючи своє лідерство.

Однак, контролювати американський ринок вітчизняним виробникам (General Motors, Ford, Chrysler) стає все важче через масовий наступ іноземних виробників. Головним чином американські виробники були «біті» у класі люксових автомобілів. Маючи у своєму розпорядженні такі марки, як Cadillac і Lincoln, американці віддали за останні 10 років більшу частину цього сегмента ринку європейським маркам Mercedes-Benz, BMW і японському Lexus.

Втрати, понесені американськими виробниками, обчислюються десятками мільйонами доларів. Іде найгостріша конкурентна боротьба, у ході якої використовуються всі можливі способи й методи. В першу чергу іноземні виробники зробили ставку на якість.

Японські фірми на сьогоднішній день контролюють близько 25% авторинку США. Такий успіх став наслідком грамотної політики. Так, наприклад, компанії Toyota, Nissan і Honda спеціально для американців

створили такі бренди як Lexus, Infiniti і Acura, що дало їм ряд переваг. По-перше, у цих імен не було певного іміджу, отже, у покупців виникав додатковий інтерес. По-друге, для патріотично налаштованих американців табличка з написом «Made in USA» відігравала величезну роль. Адже заводи цих закордонних фірм перебували в Штатах, незважаючи на те, що управлялись вони з Японії. І по-третє, вищезгадані фірми прийшли на американський ринок з гарним товаром: «люксові» автомобілі були дуже високої якості (порівняно з вітчизняними), відповідали всім вимогам і пристрастям місцевих жителів та продавалися за дуже привабливими цінами. Крім цього, заводи, розташовані на території США, дають американцям гарні робочі місця, додаткові надходження до бюджету і збільшення ВВП.

Європейські автомобілі відрізняються своєю стриманістю й зовні дуже традиційні. Машини європейських виробників мають точний розподіл по класах і всі класи, починаючи з мікролітражних автомобілів і до представницьких седанів, добре продаються в Європі. Європейські автомобілі є меншими за габаритами, об'ємом двигуна та розмірами салону, ніж американські. Біля половини всіх проданих машин оснащені автоматичними трансмісіями. Салони євро-автомобілів частіше мають оздобу шкірою й деревом, а також добре продумані з погляду ергономіки. Широкою гамою представлені автомобілі менших класів, а також великі седани. Велика увага приділяється економічності й екологічності автомобіля. Крім цього, важливим критерієм при виборі авто для європейця є його ходові якості: цінуються керованість і комфорт.

Європа – це ринок, на якому частка нових автомобілів з дизельними двигунами є найвищою – 33%. Це пов'язано, насамперед, з підвищенням екологічності й зниженням вартості дизелів. До того ж вони не поступаються за динамічними характеристиками бензиновим моторам, тоді як витрати палива в них є значно нижчими. Вигода для споживача очевидна.

Азіатські автомобілі теж відрізняє свій дизайн. Вони частіше мають вузькі або маленькі фари й згладжені лінії кузова. «Японці» дуже гарні з технічної точки зору. За пропонованими опціями японський автомобіль для внутрішнього ринку може виграти в американського або європейського. Екологічність і економічність ставляться тут теж за основу. Дуже популярні в Японії й інших азіатських країнах маленькі й середні автомобілі, а також спортивні машини, основою для яких найчастіше є серійні седани. Велика увага приділяється моторам і ходовим якостям автомобілів, що повинні задовольняти аматорів активної їзди, які вибирають автомобілі тільки з ручною коробкою передач.

Азіатський ринок істотно відрізняється від американського або європейського ринків рядом принципів. Можна навіть виділити азіатський ринок, як «державу у державі», що живе за своїми, незалежними від зовнішніх впливів правилами. Японський автопром має строгий поділ модельного ряду на автомобілі для внутрішнього й зовнішнього ринків. Ті машини,

які продаються в Японії, можливо, ніколи не зможуть побачити й купити американець або німець. Вони набагато досконаліші за ті, що йдуть на експорт. Багато в чому це обумовлено менталітетом японців і жорсткими вимогами внутрішнього ринку в області екології, економії й стилю. Нові моделі з'являються частіше. Якщо на Заході модельний ряд фірм-автовиробників оновлюється кожні 5 – 7 рр., то японці й корейці оновлюють моделі для внутрішнього ринку через 3 – 4 рр.

Всі ці традиції й уподобання повинні бути обов'язково враховані виробниками для того, щоб їх автомобілі мали успіх у покупців. І дійсно проводяться численні дослідження в цій області для створення автомобілів під конкретний автомобільний ринок або країну.

Однак є й виключення – так звані «світові автомобілі», які розробляються для продажу на всіх континентах. Кілька останніх прикладів таких автомобілів – Volkswagen New Beetle і Mini (рисунок 5.47), які були побудовані з оглядкою на дизайн конкретних автомобілів середини минулого століття. У цьому випадку ностальгичний фактор відіграв величезну роль. Хоча з технічної точки зору ці автомобілі сучасні, але не ідеальні.

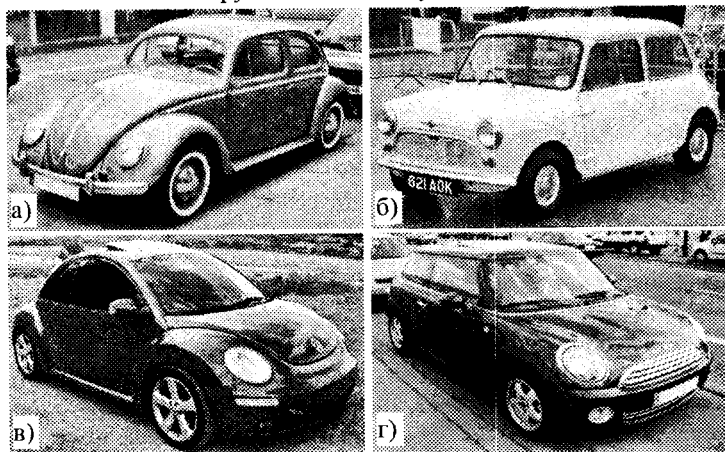


Рисунок 5.47 – Популярні автомобілі малого класу та їх сучасні версії: а – Volkswagen Beetle; б – Mini; в – Volkswagen New Beetle; г – Mini Cooper

Деякі фірми роблять автомобілі для конкретної категорії людей. Враховуються такі показники, як дохід, положення в суспільстві, вік і стиль життя.

У нинішніх умовах найгострішої конкурентної боротьби жодна велика фірма не може собі дозволити випускати близькі за класом автомобілі на різній технічній базі, тому що розробка принципово нової машини обходиться виробникові дуже дорого й потребує великих витрат часу. Це, в остаточному підсумку, впливає на своєчасність появи нового автомобіля у продажу й на його ціну. Тому великі автозаводи намагаються зайняти

проміжні ніші між основними моделями, роблячи невелику модернізацію й змінюючи зовнішність. Тим більше, що останнім часом автомобілі «нестандартних» розмірів і класів користуються непоганим попитом.

Один із прикладів – це побудова різних автомобілів концерном Volkswagen. На так званій базі Golf IV було створено сім різних автомобілів, що випускалися приблизно в один і той самий час (VW Golf, Audi A3, Skoda Octavia, Audi TT, Seat Toledo). У підсумку виграв і виробник, і споживач: Volkswagen отримав додатковий прибуток, тому що був представлений на ринку більшим числом автомобілів, близьких за класом; споживач вибрав гарний автомобіль собі до душі, заплативши розумну ціну.

Автовиробники за останні кілька років представили величезну кількість трансмісій у різних варіантах, а також нові двигуни і різновиди варіаторів, що замінили автоматичні коробки передач (тут попереду японці). Одним з еволюційних рухів вперед стала поява двигуна з розподіленим вприскуванням палива, який запатентувала фірма Mitsubishi. Авто з такими двигунами стали набагато динамічнішими, економічнішими й відповідними найсуворішим екологічним вимогам. Через кілька років після появи такого двигуна у Mitsubishi всі великі автофірми мають у своєму арсеналі його аналоги.

Величезні гроші витрачаються й на розробку нових автомобілів, у тому числі й на їх дизайн. Сучасні автомобілі – це не просто засоби пересування, а й предмети, які повинні викликати приємні відчуття в людей. З часом «засоби пересування» стають просто твором дизайнерського мистецтва. За цим стоїть багаторічна робота великих дизайн-центрів, у яких трудяться десятки й сотні фахівців з різних країн. Крім усього, інший дизайн нового автомобіля повинен нести в собі «фамільні риси». Тобто зовсім нова машина повинна зберегти відмітні риси попередніх поколінь. Авто повинно легко впізнаватись, щоб споживач міг із упевненістю сказати, що це BMW або, скажімо, Honda.

Значну роль в автопромисловості відіграють автосалони (виставки), що слугують для виробників важливим джерелом інформації: представляючи свої концепт-кари, пробні й передсерійні зразки, вони можуть зібрати побажання й дорікання відвідувачів, тобто потенційних покупців. Так само на виставці можна побачити своїх конкурентів і їх майбутні автомобілі й порівняти останні зі своїми. У той же час, виставивши на подіум майбутній автомобіль, якого ще немає в продажу, можна «підігріти» до нього попит, тобто виставка – це відмінне місце реклами. Детройтський, Женевський і Паризький автосалони є найбільшими й значимими автомобільними виставками. Так, наприклад, Детройтський автосалон 2013 р. відвідали 700 000 чоловік (рисунок 5.48). На шоу працювали 6 000 міжнародних ЗМІ з 63 країн і 37 000 представників торговельних марок з 2 000 компаній.

Як вказувалось вище, велика увага останнім часом приділяється екологічності автомобіля. Однак, цей же автомобіль повинен задовольняти



Рисунок 5.48 – Детройтський автосалон

потреби й простого водія – бути динамічним, зручним в експлуатації й відносно дешевим. Оптимальне рішення поки що так і не знайдене. Існує кілька напрямків, за якими йде розвиток «зелених» автомобілів.

Першим напрямком є використання електродвигунів. У 2004 р. в США експлуатувалося 55852 електромобіля, в тому числі велика кількість саморобних машин. Набори комплектуючих для конвертації автомобіля в електромобіль продаються в магазинах. Мінімальна вартість конвертації складає \$1500. Відповідно до досліджень IDTechEx, до 2015 р. ринок електротранспорту виросте приблизно у 7 разів і досягне \$227 млрд. Світовим лідером з виробництва електротранспорту є Китай.

Крім цього, невеликі електромобілі спрощеної конструкції (електрокари, електронавантажувачі і т. д.) широко застосовуються для перевезення вантажів на вокзалах, у цехах і великих магазинах, а також як атракціони. У даному випадку всі недоліки, як то малий запас ходу, висока власна вартість і маса, перекриваються перевагами: відсутністю шкідливих вихлопів і шуму, що принципово важливо для роботи в закритих приміщеннях. Формально до електромобілів такі машини відносити не прийнято.

Електромобілі відрізняються низькою вартістю експлуатації. Бензиновий Ford Ranger споживає 0,25 кВт·год на один кілометр шляху, електромобіль Toyota RAV-4 – 0,19 кВт·год/км. Середній річний пробіг автомобіля в США складає 19 200 км (тобто 52 км за день). При вартості електроенергії в Америці від 5 до 20 центів за кВт·год, вартість річного пробігу Ford Ranger складає від \$240 до \$1050, а у RAV-4 – від \$180 до \$970. В Україні вартість електроенергії істотно нижча – порядку 0,25 грн (3 центи) за кВт·год за денним тарифом. Таким чином, вартість експлуатації електромобіля в Україні буде нижчою, ніж у США, оскільки заряджатись він буде, мабуть, вночі. З огляду на те, що ціни на бензин в Україні значно вищі, ніж в США, в теплий період року витрати на енергоресурси для електромобілів будуть суттєво меншими за витрати на бензин для автомобіля. Сучасні акумуляторні батареї слугують біля трьох років або 85000 – 100000 км пробігу. ККД електродвигуна 90 – 95%. У міському циклі автомобіль використовує близько 3 к. с. потужності двигуна. Міський автотранспорт може бути цілком замінений на електромобілі.

На початку 1990-х рр. штат Каліфорнія був одним із найзагазованіших регіонів США. Тому владою штату було прийнято рішення – у 1998 р. 2%

продаваних у Каліфорнії автомобілів не повинні створювати вихлопів, а до 2003 р. – 10%. Компанія General Motors відреагувала однієї з перших і з 1996 р. почала серійний випуск моделі EV1 з електричним приводом (рисунок 5.49).

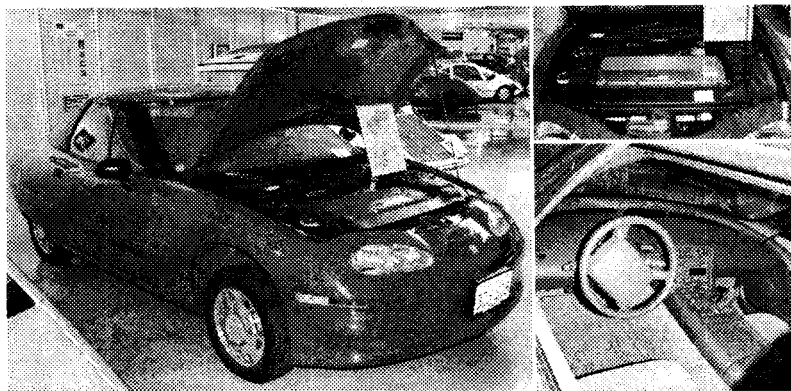


Рисунок 5.49 – Електромобіль EV1: запас ходу – до 250 км; швидкість – до 129 км/год; розгін до 96 км/год за 9 с; маса – 1350 кг, з них 533 кг – батарея, 132 кг – алюмінієвий кузов; двигун – трифазний змінного струму потужністю 102 кВт (138 к. с.) у діапазоні від 7000 до 14 000 об/хв; тривалість зарядки від побутової розетки – 10 – 12 год; вартість – до \$44000; виготовлено 1117 EV-1

Деякі автовиробники також почали продажі електромобілів у Каліфорнії. Основною масою користувачів EV1 стала голлівудська богемна публіка. Усього з 1997 р. в Каліфорнії було продано близько 5500 електромобілів різних виробників. Судячи з відгуків їх користувачів, машина їм дуже подобалася, і наступним кроком мав бути початок масових продажів електромобілів. Існує думка, що авто- і нафтовиробники, розуміючи реальність того, що електромобілі можуть витіснити звичайні машини, домоглися скасування закону. Майже всі виготовлені електромобілі в 2002 р. були вилучені у власників і знищені (тільки Toyota залишила власникам електричні RAV-4). Як причина називалась закінчення терміну служби акумуляторів.

В останні роки у зв'язку з безперервним зростанням цін на нафту електромобілі знову почали набирати популярність (рисунок 5.50). З 2007 р. в США відновилось промислове виробництво даних машин. Особливу активність проявляють невеликі підприємства (наприклад, «Tesla Motors»), оскільки їм не загрожує скорочення обсягу виробництва звичайних автомобілів.

Крім цього, велика увага приділяється автомобілям з гібридними двигунами. Поширеною маркою даного типу є Toyota Prius (рисунок 5.51). Prius має бензиновий двигун, два електричні мотор-генератори та акуму-



Рисунок 5.50 – Eliica (Electric Lithium-Ion Car) – прототип електромобіля, створений в університеті Токіо: швидкість – до 370 км/год; розгін до 100 км/год – за 4,1 с; дальність пробігу – до 370 км; потужність 8 електродвигунів – 480 кВт (640 к. с.); маса – 2400 кг; вартість – \$255000



Рисунок 5.51 – Перший серійний гібридний автомобіль Toyota Prius

бензиновий двигун Prius виключається (у інших автомобілів він працює на холостому ходу, витрачаючи бензин). Правда у довгих пробках система життєзабезпечення автомобіля (фари, бортовий комп'ютер, підсилювачі гальм і керма) «з'їдають» заряд батареї і двигун запускається для підзаряду батареї, але це все одно економічніше, ніж «крутити» бензиновий двигун об'ємом 2 л (еквівалент силовій установці Prius).

Ведуться роботи зі створення надекономічних машин з числом бензиновими двигунами. Лідер у цієї області концерн Volkswagen. Ним вже випускається модель Lupo, що витрачає менше 3 л дизельного палива на 100 км шляху. Зовсім нещодавно широкому загалу був показаний концепт-кар із витратами палива меншими за 1 л/100 км. Він розрахований на двох людей і набирає максимальну швидкість 120 км/год.

Про які-небудь революційні відкриття найближчим часом говорити поки не доводиться. Але роботи ведуться, й та фірма, що першою зробить екологічно чистий автомобіль доступним, безсумнівно, буде вважатися лідером.

лятор невисокої ємності 6.5 А·год, який часто називають високовольтною батареєю. При цьому електроенергія може генеруватись також за рахунок роботи бензинового двигуна і під час гальмування автомобіля (система рекуперативного гальмування). Мотори можуть працювати як окремо, так і разом. Роботою всіх двигунів керує бортовий комп'ютер. Завдяки

можливості як додавати потужність за рахунок електромоторів, так і витрачати частину потужності на зарядку акумулятора, а також (на низьких швидкостях) взагалі вимкати бензиновий двигун і їхати тільки за рахунок електрики, вдається оптимізувати роботу силовій установці. Під час зупинок у пробках, перед світлофорами тощо



## 5.4 Контрольні запитання

1. Яким є практичне значення транспорту?
2. Які технічні пристрої послужили основою для створення залізничного транспорту?
3. Які ідеї та розробки були запропоновані для удосконалення залізничного транспорту Д. Стефенсоном?
4. Розкажіть про основні типи і види паровозів.
5. Що собою являли паровози системи компаунд?
6. Що собою являли паротурбовози і теплопаровози, чому вони не одержали поширення?
7. Чому паровози були витіснені електровозами та тепловозами?
8. Як розвивався міський рейковий пасажирський транспорт?
9. Розкажіть про основні види сучасного міського рейкового пасажирського транспорту.
10. Розкажіть про будову тепловоза та його основні різновиди.
11. Якими є переваги та недоліки газотурбовозів?
12. Якими є перспективи розвитку залізничного транспорту, зокрема, підвищення швидкості його руху?
13. Що собою являють високошвидкісні потяги типу «маглев»?
14. Які транспортні засоби були попередниками автомобілів?
15. Чому паромобілі не одержали значного поширення?
16. Які винаходи послужили основою для створення автомобілів?
17. За якими напрямками здійснювалось удосконалення автомобілів у XX ст.?
18. Розкажіть про історію Запорізького автозаводу. Яку продукцію він зараз випускає?
19. Яким є значення автомобільної промисловості; від чого залежать перспективи її розвитку в тій чи іншій країні?
20. Як змінюється структура автомобільної промисловості; якими є загальні тенденції її розвитку?
21. Назвіть основні світові регіони автомобільної промисловості. Якими є особливості автомобілів, що в них випускаються?
22. Що собою являють «зелені автомобілі»? Назвіть їх основні типи.
23. Які переваги та недоліки мають електромобілі, чому вони не одержують поширення?

## 6 РОЗВИТОК АВІАЦІЇ

Основними факторами, що впливають на прогрес у літакобудуванні, є:

*Ефективність системи керування.* Спочатку планери керувалися при поворотах тіла пілота (Отто Лілієнталь) або перекосом крила (брати Райт). Сучасні літаки використовують різні засоби механізації крила та хвостового оперення – елерони, кермо напрямку і кермо висоти. На деяких військових літаках (наприклад, на винищувачі Су-27) аеродинамічна стійкість забезпечується спеціальною системою, причому політ без цієї системи фактично неможливий. Аеродинамічна нестійкість дозволяє забезпечити більш високу маневреність літального апарата, недоступну для аеродинамічно стійкого апарата.

*Питома потужність двигунів.* Авіаційні двигуни, починаючи від парових машин К. Адера й до поршневих, реактивних і ракетних двигунів, стають все більш легкими та ефективними.

*Легкість, жорсткість і міцність матеріалу планера літака.* Спочатку літальні апарати виготовлялися з тканини і дерева, потім стали використовуватися спеціально оброблені тканини і сталеві трубки, далі – цілком алюмінієві конструкції, а сьогодні все більше застосовуються титанові сплави і композиційні матеріали.

### 6.1 Початковий етап розвитку літальних апаратів

Мрія про політ описується в міфах різних народів світу (наприклад, про Дедала і Ікара). Перші спроби польоту часто пов'язані з ідеєю копіювання птахів, як у міфі про Дедала і його крила з пір'я і воску. Спроби будувати крила і зістрибувати з ними з високих веж повторювалися навіть у ХVІІ ст. [4, 13].

Близько 400 р. до н. е. Архіт Тарентський, давньогрецький філософ, математик, астроном, державний діяч і стратег розробив, можливо, перший літальний апарат, що являв собою модель птаха, і, як стверджують джерела, пролетів близько 200 м. Ця машина, яку винахідник назвав Голубом, під час польоту, імовірно, підвішувалась на тросі або на стержні [8].

Літаючий ліхтарик (прототип аеростатів з оболонкою, наповненою гарячим повітрям) був відомий у Китаї з ІІІ ст. н. е. Його винахід приписується генералу Чжуге Ляну, який використовував ліхтарики для залякування ворожих військ. З цією метою масляна лампа устанавлювалась під великим паперовим мішком, що через певний час під впливом гарячого повітря від лампи піднімався вгору. Як стверджує китайське джерело: «... вороги були охоплені страхом через світло в повітрі, думаючи, що то божественна сила ...» [7].

У 559 р. в одному з китайських рукописів був задокументований політ Юаня Хуантоу на повітряному змії з вежі, що було визначено як захід по-

карання. Засуджений пролетів над міськими стінами і приземлився живим, однак незабаром все ж таки був страчений.

У 852 р. арабський вчений і винахідник Аббас ібн Фірнас зістрибнув з мінарету Великої Мечеті (рисунок 6.1) у Кордові (Іспанія) разом з апаратом, схожим на парашут, і приземлився, одержавши незначні травми. Крила були зроблені з тканини, натягнутої на дерев'яні розпірки. У 877 р., у віці 65 років, ібн Фірнас розробив проєкт першого дельтаплану, що включав поверхні керування польотом. Разом з апаратом Ібн Фарнас розігнався з маленького пагорба, і, піднявшись у повітря, протримався в ньому десять хвилин. Це була перша спроба керованого польоту, що завершилася в тій же самій точці, в якій й почався [9, 10].

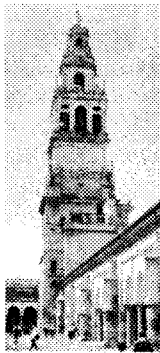


Рисунок 6.1 – Мінарет Великої Мечеті в Кордові, з якого у 852 р. зістрибнув ібн Фірнас

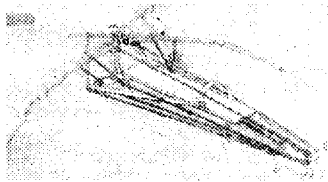


Рисунок 6.2 – Махольот Леонардо да Вінчі

За п'ять сторіч після ібн Фірнаса Леонардо да Вінчі розробив креслення дельтаплану, у якому внутрішні частини крил були зафіксовані, а поверхні керування змішені до їх кінців (так само, як при плануванні у птахів – рисунок 6.2). Але апарати Леонардо існували тільки у кресленнях і хоча й вважаються зараз роботоздатними, на них

ніколи і ніхто не літав. Безперспективність махольотів, що приводяться в дію тільки енергією людини, була вперше обґрунтована італійським ученим Д. Бореллі у XVIII ст. Р. Гук тоді ж висловив думку, що людина може полетіти тільки за допомогою механічного пристрою [6].

У 1633 р. турецький винахідник Лагарі Хасан Челебі піднявся у повітря на ракеті, що являла собою велику клітку з конічною вершиною і нижньою частиною, заповненою порохом. Це був перший відомий приклад польоту пілотованої ракети зі шгучним двигуном. Політ був виконаний під час святкування на честь народження дочки султана Мурада IV. Тривалість польоту становила близько 20 секунд, максимальна висота підйому досягала 300 м. Після згоряння пороху Лагарі здійснив м'яку посадку за допомогою крил, прикріплених до його тіла, що відіграли роль парашута. Винахідник був нагороджений султаном грішми і високою військовою посадою [9, 10].

У XVIII ст. Ломоносов висунув ідею апарата вертикального злету, важчого за повітря. Модель такого апарата – вертольота – була побудована французькими винахідниками Лоннуа і Б'єнвеню в 1784 р. Маса моделі становила близько 80 г [13].

Перші загальновідомі досліді з польотами повітряних куль були виконані французами братами Монгольф'є. У 1793 р. Монгольф'є виготовили

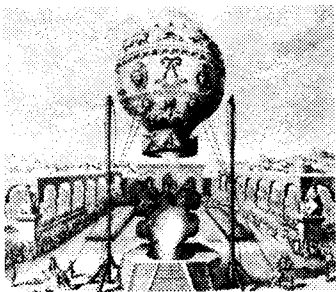


Рисунок 6.3 – Повітряна куля братів Монгольф'є

свою першу кулю з полотна, обклеєного папером (рисунок 6.3). Куля мала 11,7 м у поперечнику і за 10 хвилин злетіла з вантажем масою 200 кг на значну висоту, після чого впала у 1300 м від місця підйому [13].

Жак Шарль зважився наповнити кулю воднем і цим значно просунув уперед справу повітроплавання. Кулі, наповнювані теплим повітрям, одержали назву монгольф'єрів, а наповнені воднем – шарльєрів. Перший шарльєр піднявся з Марсова поля в Парижі 27.08.1783 р. і за три чверті години опустився в 20 км від Парижа. Всі ці польоти

були виконані без пасажирів. А 19.09.1793 р. Монгольф'є запустили у Версалі кулю, у кошику якої знаходились вівця, півень і гусак. На значній висоті куля прорвалася, але спустилася настільки плавно, що тварини не постраждали. Нарешті, 21.11.1783 р. уперше піднялися і благополучно спустилися на монгольф'єрі люди: Пілатр де Роз'є і маркіз Д'Арланд пролетіли 8 км. Повітря у кулі нагрівалось вогнем від деревини, але апарат ще не був керованим, тобто переміщався з волі вітру.

Робота над створенням керованої повітряної кулі продовжувалась упродовж 1800-х рр. Після появи парової машини англійський учений Дж. Кейлі (1816 р.) запропонував установлювати її на літальних апаратах. Дана ідея була реалізована в 1852 р. французом А. Жиффаром. У гондолі його повітряної кулі стояла парова машина потужністю 3 к. с., що обертала пропелер. Росіяни І. І. Третєський (1849 р.) і Н. М. Соковнін (1866 р.) розробили реактивні двигуни для аеростатів. У 1872 р. П. Хейнлейн (Австрія) побудував аеростат з газовим двигуном внутрішнього згоряння [3, 13].

У 1884 р. був здійснений перший цілком керований політ на французькому військовому аеростаті La France з електричним двигуном потужністю 8,5 к. с. Довжина апарата складала 52 м; за 23 хвилини була покрита відстань у 8 км. В цей же час з'явилися повітроплавальні апарати нового покоління – дирижаблі – сигароподібні аеростати з м'якими, напівтвердими або твердими оболонками, наповнені воднем і оснащені бензиновими ДВЗ. На початку ХХ ст. на дирижаблях починають здійснюватись регулярні пасажирські і вантажні рейси [8, 10].

Найбільшим дирижаблем – довжина 245 м, максимальний діаметр 41,2 м; об'єм газу в балонах  $200\ 000\ \text{м}^3$  – був німецький «Гінденбург» (рисунок 6.4), побудований у 1936 р. Апарат був оснащений чотирма дизелями «Даймлер-Бенц» потужністю 1200 к. с. кожен, міг підняти в повітря до 100 т корисного навантаження, розвивав швидкість до 135 км/год і перелітав з Німеччини до Нью-Йорка за 77 год. У корпусі дирижабля був ресторан з кухнею і салон з невеликим роялем. У нижній частині апарата була обладнана оглядова платформа. 6.06.1937 р. «Гінденбург» згорів під час

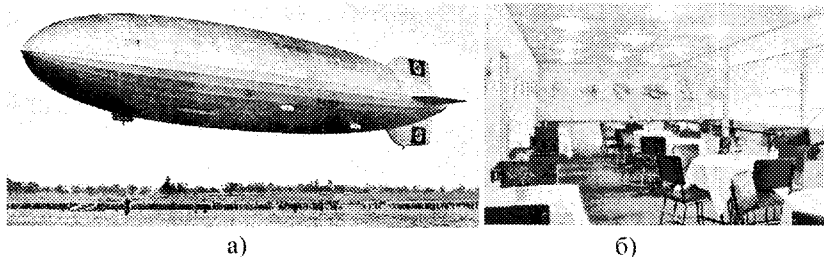


Рисунок 6.4 – Найбільший дирижабль світу «Гінденбург»: а – загальний вигляд; б – ресторан на дирижаблі

посадки у Нью-Йорку. З 97 чоловік пасажирів та екіпажу загинули 36. За версією телеканала «National Geographic», причиною загибелі дирижабля був статичний заряд електрики, що з'явився у його обшивці через грозу, яка проходила поблизу від льотного поля незадовго до посадки. Після цього всі пасажирські польоти дирижаблів були заборонені [6, 10, 13].

Величезні розміри забезпечували значну вантажопідйомність, але обмежували швидкість польоту дирижаблів. Крім того, використання як робоче тіло водню робило їх пожежо- і вибухонебезпечними.

Дирижаблі використовувалися у світових війнах і продовжують обмежено експлуатуватись в наші дні, але їх розвиток значною мірою загальмований прогресом апаратів, важчих за повітря. У 1999 р. після 478-годинної подорожі Бертран Пікар і Брайан Джонс першими в історії облетіли на повітряній кулі Землю.

Наприкінці XVIII ст. англійський учений Д. Кейлі провів перше серйозне вивчення фізики польоту. У 1799 р. він створив схему планера, що, за винятком вертикальної проєкції, цілком відповідала сучасним схемам. Керування апаратом у горизонтальній площини забезпечувало хвостове оперення, а пілот знаходився нижче центра мас для стабілізації польоту. Ця модель зробила перший політ у 1804 р. У наступні п'ятдесят років Кейлі продовжував працювати над удосконаленням конструкції планерів, за цей час він заклав основи аеродинаміки і ввів такі терміни як підйомна сила і лобовий опір. Для своїх апаратів Кейлі використовував двигуни внутрішнього і зовнішнього згоряння, а як паливо для них – порох, але остаточно зупинився на гумовому моторі Альфонса Пено, що дозволяло робити моделі простішими. Пізніше Кейлі використовував результати своїх досліджень для створення повномасштабного апарата, що здійснив безпілотний політ у 1849 р., а в 1853 р. був зроблений вже пілотований короткий політ.

У 1848 р. Джон Стрінгфеллоу в Англії здійснив успішний політ безпіотної моделі з паровим двигуном [3].

У 1866 р. польський селянин, скульптор і теся Ян Внєк побудував керований планер (рисунок 6.5) і полетів на ньому. Внєк був неграмотним самоучкою і міг розраховувати тільки на свої пізнання про природу,



Рисунок 6.5 – Модель планера Яна Внеска

висотою 45 м. При цьому церква знаходилася на пагорбі висотою 50 м, тобто повна початкова висота становила 95 м. З 1866 по 1869 рр. Внеск зробив декілька публічних польотів на значні відстані, як правило, під час релігійних свят, карнавалів і святкування Нового року [7].



Рисунок 6.6 – Марі Ле Брі і його літаюча машина Альбатрос II, 1868 р.

У 1868 р. француз Марі Ле Брі здійснив політ на своєму планері Альбатрос II (рисунок 6.6), під час якого за допомогою кінної тяги піднявся вище точки старту. За повідомленням винахідника він досяг висоти 100 м, подолавши відстань у 200 м.

У 1874 р. Фелікс дю Темпл у Бресті (Франція) побудував алюмінієвий літак-моноплан (рисунок 6.7), з розмахом крила 13 м і масою 80 кг. Було зроблено кілька благополучних випробувань при старті планера з трампліна, але кожен з польотів продовжувався досить короткий час [8, 9].

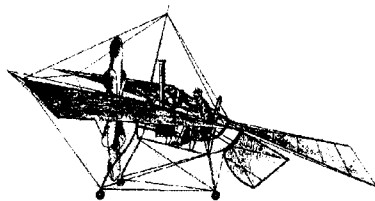


Рисунок 6.7 – Моноплан Фелікса дю Темпла

Олександр Можайський почав розробляти свій літак в 1860 р. з вивчення польоту птахів, повітряних зміїв і гвинтів. У 1876 р. він продемонстрував польоти моделей літака і приступив до побудови його зразка в натуральну величину. У зв'язку з тим, що ДВЗ ще не був досить відпрацьованим, Можайський використав для привода гвинтів парові машини загальною потужністю 30 к. с. На превелику силу йому вдалося в 1883 р. побудувати літак (рисунок 6.8) з розмахом крил 23,6 м і загальною довжиною 25 м. Діаметр гвинтів становив 4,75 м, частота обертання – 160 об/хв; ККД гвинтів – 0,56. Маса двигунів – 167,1 кг; загальна польотна маса машини – 1266 кг. Енергоозброєність – 0,0177 кВт/кг, що за проведеними пізніше розрахунками було недостатньо для зльоту. Каркас з куткової сталі мав масу 410 кг і обтягувався шовком та полотниною. Під час випробування у 1885 р. у Красному Селі машина після пробіжки завалилася на крило і зруйнувалась. Документи, що підтверджували б політ літака, не знайдені. Пізніше Можайський почав за власні кошти відновлю-

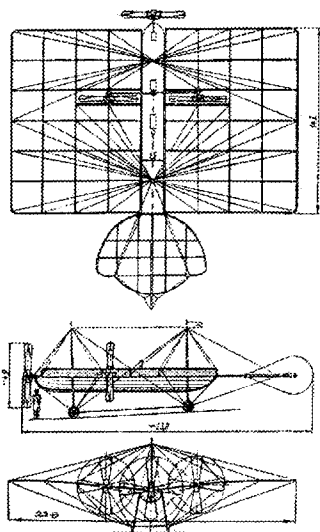


Рисунок 6.8 – Схеми літака О. Можайського

впав з висоти близько 17 м, одержавши перелом хребта. Він помер наступного дня, його останніми словами були: «жертви мають бути принесені». Перед самою смертю Лілієнталь працював над невеликими двигунами, які можна було б установити на його апарати [2, 3].

Англієць Хайрам Максим вивчив ряд проектів літаків, після чого сконструював свій величезний апарат (рисунок 6.9) масою 3175 кг і з розмахом крила 32 м, оснащений двома полегшеними паровими двигунами потужністю 180 к. с. кожен. Розуміючи, що політ апарата буде небезпечним, винахідник випробовував його на спеціально побудованому рейковому шляху довжиною 550 м. Після великого числа іспитових пробігів, що пройшли без особливих проблем, 31.07.1894 р. почались випробовування з поступовим збільшенням потужності двигунів, в результаті чого апарат полетів над рейками. При запуску котлів на повну потужність, після досягнення швидкості 68 км/год машина злетіла настільки різко, що зіштовхнулася з верхньою рейкою, установленою спеціально для обмеження висоти польоту (за іронією долі вона повинна була забезпечувати безпеку випробовувань), і відразу після цього розбилася [2, 13].

Американець Семюел Ленглі розпочав запуски своїх апаратів у 1896 р. Перші з них (рисунок 6.10) були некерованими і запускались за допомогою

вати літак і замовив для нього нові машини потужністю 50 к. с. і питомою масою 4,9 кг/1 к. с., з якими за висновком ЦАГІ, зробленим у 1982 р., літак вже міг би піднятися у повітря [13].

Німець Отто Лілієнталь сконструював ряд кращих для свого часу планерів, і з 1891 р. здійснював польоти на 25 і більше метрів. Він строго документував свою роботу, додаючи фотографії, і тому справедливо вважається одним з піонерів авіації. Лілієнталь просував концепцію «підстрибнути перш, ніж полетіти», згідно із якою винахідники повинні спочатку створити реальний зразок планера, здатного піднятися у повітря, замість того, щоб розробляти машину з двигуном на папері і сподіватися, що вона полетить. Лілієнталь зробив близько 2500 польотів на різних апаратах. Під час польоту 1896 р. порив вітру зламав крило його останнього планера, в результаті чого Лілієнталь



Рисунок 6.9 – Літальна машина Х. Максима

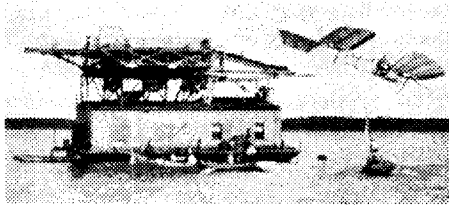


Рисунок 6.10 – Експеримент Семюела Ленглі на ріці Потомак, 1903 р.

охолодженням, що розвивав потужність 52 к. с. при 950 об/хв. На жаль, конструкція даної машини виявилась недостатньо міцною і жорсткою. Два її запуски наприкінці 1903 р. закінчилися падінням у воду відразу після старту. Спроби винахідника одержати подальше фінансування були невдалими, і незабаром після того, як він припинив роботу, брати Райт зробили успішний політ на своєму апараті «Флайер». У 1914 р. Смітсонівський інститут, в якому колись працював Ленглі, провів всебічні випробовування його останнього літака і довів, що він був першим апаратом, «здатним до польоту» [8, 10].

Ще один американець Густав Уайтхед у 1899 – 1902 рр. за твердженнями багатьох свідків (правда, не підтверджених фотографіями, є тільки один ескіз – рисунок 6.11) здійснив кілька польотів на апаратах власної конструкції на відстані від 800 м до 10 км [9].

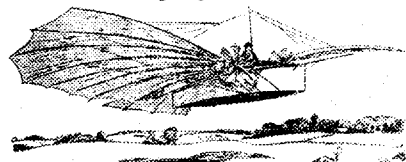


Рисунок 6.11 – Політ Густава Уайтхеда 14.08.1901 р.

Брати Уайтхед і Орвілл Райт із США, які вважаються першими людьми в історії, що зробили тривалий керований політ на апараті, важкому за повітря, з двигунами, починали свою кар'єру авіаторів з будівництва і випробовування паперових зміїв і планерів. Планери літали, однак не так, як Райт очікували, виходячи з результатів експериментів їх попередників. Після цього Райт побудували власну аеродинамічну трубу, створили пристрої для вимірювання піднімальної сили і випробували близько 200 проектів крила. В результаті брати виправили свої ранні помилки в обчисленнях аеродинамічних показників крила. Райт установили строгу систему проектування, випробувань в аеродинамічній трубі і льотних випробувань дослідних повнорозмірних зразків. Вони були першою командою авіабудівників, що одночасно розв'язувала проблеми керування і двигунів. Обидві проблеми виявилися важкими, але Райт ніколи не втрачали інтересу до них. У підсумку вони розробили і побудували двигун, що мав необхідну питому потужність і вирішили проблему керування за допомогою системи, відомої як «перекіс крила». Хоча дана система використовувалась тільки протягом дуже коро-

пружинної катапульті, установленій на вершині плавучого будинку на ріці Потомак у Вірджинії, оскільки апарати не мали механізмів приземлення. Вже перший політ був зроблений на відстань 1005 м зі швидкістю 41 км/год. Останній літак Ленглі оснащувався п'ятициліндровим зіркоподібним ДВЗ з водяним



того періоду історії авіації, вона була ефективною при низьких швидкостях польоту і стала основним прототипом сучасних елеронів. У той час як багато піонерів авіації у питаннях безпеки польоту покладалися значною мірою на удачу, Райт намагались не ризикували життям, і перші польоти починали на мінімальній можливій швидкості, використовуючи не всю потужність двигуна і при зустрічному вітрі [2, 9, 13].

Перший політ на апараті «Флайер-І» зробив Орвілл Райт 17.12.1903 р., подолавши 37 м за 12 с, що було зареєстровано на відомій фотографії (рисунки 6.12), крім цього підтверджено чотирма свідками. У четвертому

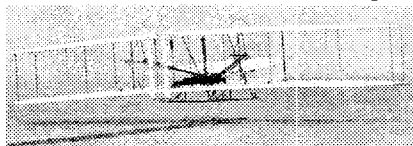


Рисунок 6.12 – Перший політ «Флайєра-І» братів Райт у 1903 р.

польоті в той же самий день Уїлбер Райт пролетів 260 м за 59 с. «Флайєр-І» мав такі основні характеристики: екіпаж – 1 чол.; довжина – 6,43 м; розмах крил – 12,29 м; висота – 2,74 м; максимальна злітна маса – 338 кг; силова установка – однорядний чотирициліндровий ДВЗ водяно-

го охолодження потужністю 12 к. с. [3, 10].

При відновленні апарата «Флайєр-III» після аварії Райт зробили радикальні зміни в його конструкції: подвоїли розмір елеватора і керма, і перенесли їх вдвічі далі від крил, додали дві жорсткі вертикальні лопаті («блінкери») між елеваторами, і дали крилам невеликий позитивний кут; від'єдали механізм керування перекосом крила від керма і для повороту останнього стали використовувати окрему рукоятку. Вже під час перших випробовувань відновленого «Флайєра-III», результат був отриманий майже негайно. Різкі злети, спуски і повороти, що заважали пілотуванню перших двох літаків, припинилися. Незначні аварії, що переслідували братів Райт, також завершилися. Перші польоти на перепроєктованому «Флайєрі-III» мали тривалість більшу 20 хвилин. Він став першим надійним літаком, що міг літати тривалий час і повернути пілота до відправної точки благополучно і без власних ушкоджень. 6.10.1905 р. Уїлбер пролетів на ньому 38,9 км за 39 хвилини 23 с [2, 3, 13].

## 6.2 Перший етап розвитку авіації (1903 - 1918 рр.)

Початком першого етапу розвитку авіації вважають рік першого документально підтвердженого польоту людини на апараті, важчому за повітря, з мотором. Таким був політ братів У. та О. Райт у 1903 р. (див. попередній підрозділ). Тривав перший етап розвитку авіації до кінця першої світової війни (1918 р.).

У Європі перший публічний політ зробив 13.09.1906 р. француз Альберто Сантос-Дюмон, який пролетів 221 м. Уперше літак не мав потребу в зустрічному вітрі і катапульті, тому часто цей політ розглядають як перший справжній політ апарата з двигуном. 26.07.1909 р. Луї Блеріо на мо-

ноплані Bleriot XI за 37 хвилин перетнув Ла-Манш, одержавши приз газети Daily Mail [2, 8].

На початку XX ст. почала формуватися аеродинаміка. В Росії в 1902 р. під керівництвом М. Є. Жуковського при Московському університеті була створена аеродинамічна лабораторія, а пізніше – Кучинський аеродинамічний інститут. У 1909 р. були організовані аеродинамічні лабораторії в Німеччині і Франції, які очолили відповідно Л. Прандтль і Г. Ейфель. У друці з'явився ряд фундаментальних робіт з аеродинаміки Д. І. Менделєєва, М. С. Жуковського, К. Е. Цюлковського, С. А. Чаплигіна і інших. На їх основі удосконалювались конструкції крил і гвинтів літаків, формувалась теорія розрахунків конструкцій машин. Якщо перші літаки будувалися з мінімумом розрахунків, а потім «доводилися» при випробовуваннях, то у подальшому, зі створенням теорії літакобудування конструкція машини практично остаточно відпрацьовувалась вже на етапі проектування [13, 60].

Одночасно будувалися гвинтокрилі літальні апарати з ДВЗ – вертольоти [61]. У 1877 р. Енріко Форланіні створив безпілотний вертоліт, оснащений паровим двигуном. Він вертикально злетів у парку в Мілані на висоту



Рисунок 6.13 – Вертоліт Поля Корню

13 м, де залишався протягом 20 с. Перший пілотований вертоліт, що піднявся над землею, був сконструйований Подем Корню (рисунок 6.13). Цей політ відбувся в 1907 р., однак першим практично придатним вертольотом став Fw-61 (Німеччина, 1936 р. – рисунок 6.14).

У 1908 – 1914 рр. студент Московського вищого технічного училища Б. Н. Юр'єв розробив теорію вертольота, а у 1911 р. опублікував класичну схему одногвинтової машини з кермовим гвинтом і автоматом перекоосу несучого гвинта. У 1912 р. він побудував дослідний зразок вертольота власної конструкції, який так і не вдалось доопрацювати та підняти у повітря через початок

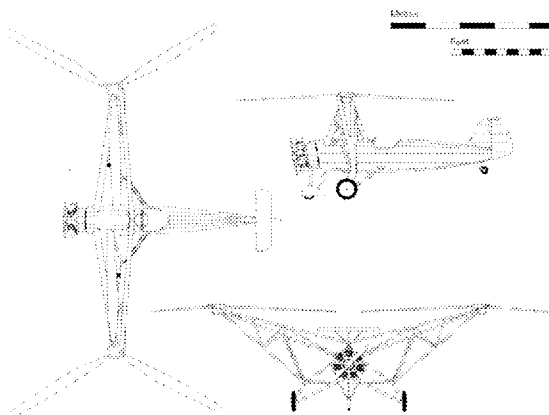


Рисунок 6.14 – Вертоліт Focke Wulf Fw61: потужність двигуна 162 к. с.; злітна маса – 950 кг; максимальна швидкість – 112 км/год; стеля – 2620 м; дальність польоту – 230 км

Першої світової війни. Успіхи великої авіації на деякий час відвернули увагу від вертольотів і затримали їх розвиток.

Найбільшим у період до Першої світової війни літаком був російський «Ілля Муромець» (рисунок 6.15), що мав довжину 19 м, розмах крила –

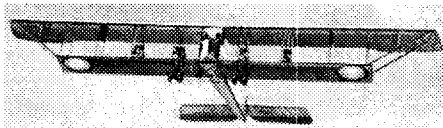


Рисунок 6.15 – Російський літак «Ілля Муромець»

30,95 м і масу – 4,65 т. В конструкціях вітчизняних літаків не використовувалися шарикопідшипники і алюміній, виробництва яких в Росії не було [13, 62].

Машини початкового періоду світового літакобудування створювалися за моноплановою або біплановою схемами з використанням розчалок дерев'яних або змішаних конструкцій. Крила і фюзеляж обтягалися лляними, шовковими або бавовняними тканинами і покривалися лаками.

Були рідкісними винятки, коли використовували несуче фанерне обшивання крил і фюзеляжів. Фанеру кріпили на клей, шурупами або цвяхами. Інколи основою були фермові конструкції зі сталевих труб, з'єднаних паянням або зварюванням. Лонжерони фюзеляжів робили із сосни, гнуті ділянки – з ясеня. Місця стиків склеювалися й обмотувалися стрічкою на клею. Розчалювання робилися зі струнного дроту або тросів і мали натяжні гвинтові муфточки. Стояки крил і хвоста робили з дерева, обтічного перерізу. Шасі літака виконувалося зі шнуровою амортизацією [3, 13].

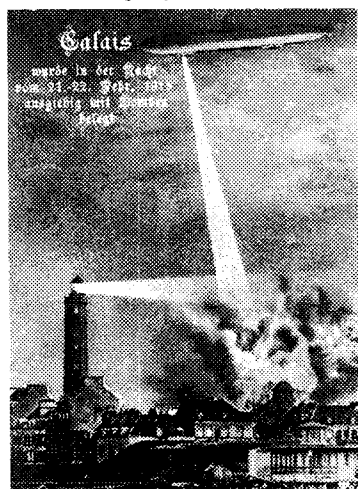
Згодом літаки стали засобом ведення війни. У 1911 р. на одну з машин був вперше установлений кулемет для стрільби назад. У 1913 р. поручик В. Р. Поплавко змонтував на «Фармані-15» з штовхним гвинтом шкворневу установку важкого кулемета, який стріляв вперед. Спочатку таке озброєння не отримало поширення й авіатори ворогуючих країн обмінювалися пістолетними пострілами. Пізніше з'явилися нерухомі кулемети, що стріляють через гвинт, для чого на останній установлювались броньові пластини – відбивачі. До кінця війни були винайдені синхронізатори стрільби, що затримували кулю у каналі ствола в момент, коли повз дула проходила одна з лопатей гвинта, а також установлення кулемета для стрільби через вісь колінчастого вала двигуна і редуктора (француз Ролан Гарро, 1914 р.). Так літак став винищувачем [4, 6, 13].

Ряд пілотів завдяки своїм військовим перемогам стали знамениті. Найбільш відомий з них – Манфред фон Рихтгофен, що одержав прізвисько Червоний Барон – збив 80 літаків супротивника. В країнах Антанти найвідомішим асом був Рене Поль Фок, якому приписується 75 перемог [10].

Для важких літаків в 1915 р. були розроблені засоби і прилади прицільного бомбокидання конструкції А. Н. Журавченка і Г. В. Алехновича, а у 1916 р. – електричний скидач бомб. Нарощувалось оборонне озброєння. Наприклад, на «Іллі Муромці» було встановлено 8 кулеметів, що забезпечували сферичний обстріл. Таким чином виникла бомбардувальна авіація. Бомбардувальник «Ілля Муромець» мав у 1918 р. такі технічні і бойові ха-

рактеристики: максимальна швидкість – 137 км/год, стеля – 4000 м, дальність польоту – 540 км, сумарна потужність чотирьох двигунів «Рено» – 880 к.с., польотна маса – 6,1 т, бомбове навантаження – 800 кг, екіпаж – 7 чоловік. Важкі бомбардувальники будувалися і в Німеччині – «Гота» та R-43-48. Останній мав 5 двигунів загальною потужністю 1445 к.с. і літав зі швидкістю до 105 км/год. Вантажопідйомність його сягала 4,2 т бомб.

30.08.1914 р. німецька авіація вперше здійснила бомбардування наземних цілей – німці бомбили Париж. Крім літаків для бомбардувань військових і цивільних об'єктів Німеччина з 1915 р. використовувала жорсткі дирижаблі систем Цепеліна і Шотте - Ланца та м'які дирижаблі Парсеваля. 123 дирижаблі зробили 800 бойових вильотів на Лондон, Париж, Кале й інші цілі (рисунок 6.16). Авіація Великобританії і Франції активно й успішно боролася з німецькими дирижаблями.



До кінця 1916 р. їх армада була знищена.

«Ілля Муромець» використовувався для нальотів на німецькі позиції і тиліві об'єкти в Східній Пруссії і Галиччині.

Необхідно відзначити, що і до початку війни політ на літаку, через відсутність складних парашутів, був пов'язаний зі смертельним ризиком. Лише у 1912 р. пройшли перші успішні випробовування ранцевого парашута Г. Е. Котельникова.

Авіаційна промисловість Росії до 1917 р. нараховувала 12 заводів, що випустили у 1914 – 1918 рр. 5565 літаків. У середньому на 500...600 робітників заводів припадав один інженер. Заводи випускали від 200 – 230 літаків за місяць. Для виготовлення однієї машини було потрібно 30...40 робітників. За рівнем авіаційного виробництва Росія відставала від провідних держав Європи й США, що пояснюється орієнтацією уряду на закупки зарубіжних літаків.

Рисунок 6.16 – Наліт німецького дирижабля на французький порт Кале

Для порівняння у таблиці 6.1 наведено показники авіаційної промисловості воюючих країн Заходу [62]:

Таблиця 6.1

Країна	Випуск літаків у 1914 – 1918 рр.	Число підприємств
Великобританія	54853	76
Німеччина	47931	36
Італія	15021	22
США	16797	31
Франція	51143	35

На німецьких і американських авіазаводах один інженер припадав на 100 робітників, а для випуску одного літака було потрібно 10 робітників. Усе це говорить про низьку технічну оснащеність російських авіазаводів. У Росії практично цілком було відсутнє моторобудування. На літаки установлювали двигуни закордонних фірм «Аргус», «Бенц», «Рено», «Іспано-Сюїза» тощо потужністю від 50 до 220 к. с. Частота обертання валів двигунів складала від 1000 до 3000 об/хв. Виробництво деяких з них було налагоджено в Росії до кінця 1916 р. Російські авіаконструктори-аматори Гризодубов, Уфимцев і інші для своїх літаків змогли побудувати двигуни потужністю 20...40 к. с. [2, 4, 13].

Із закінченням Першої світової війни звершився і перший етап розвитку авіації.

### 6.3 Другий етап розвитку авіації (1918 – 1946 рр.)

Роки між Першою і Другою світовими війнами відзначені істотним прогресом у технології літакобудування і носять назву «Золотого віку авіації». У розглядуваний період помітно змінились основні льотні характеристики машин, подані у таблиці 6.2 [62, 63].

Таблиця 6.2

Характеристики літаків	Рік		
	1918	1939	1945
Швидкість, км/год	220	550-750	700-750
Стеля, км	7	10-12	13,5
Дальність, км	600	3000	5000

Необхідність збільшення швидкості і висоти польоту обумовила зміну вигляду літака: від конструкцій з розчалками перейшли до вільнонесучих біпланів, а потім і до монопланової схеми (1930-і рр.). Це дозволило одержати більш досконалі аеродинамічні форми і підвищити швидкість. Також від машин, побудованих, головним чином, з деревини і тканини, конструктори прийшли до майже цілком алюмінієвих апаратів з нижнім розташуванням крила, у яке вбиралися при польоті шасі. Причому спочатку для обшивання використовувався гофрований метал, оскільки гладкі профілі ще не мали достатньої міцності та жорсткості. Пізніше, з появою нових алюмінієвих сплавів з поліпшеними характеристиками, перейшли до повністю гладких поверхонь.

Удосконалювалася форма крила. Воно перетворилося з опуклоувігнутого в двоопукле (рисунок 6.17) й одержало механізовані елементи керування: попереду передкрилки, на задній кромці – шитки-закрилки (рисунок 6.18). Несуча здатність крила збільшилась з 30 кг/м<sup>2</sup> у 1919 р. до 380 кг/м<sup>2</sup> у 1944 р. Кабіни пілотів стали закритими, а в ряді випадків – герметичними. Фюзеляж одержав більш обтічні форми [13].

Двигуни літаків спочатку будувалися за автомобільною схемою з використанням водяного охолодження. Пізніше з'явилися ротативні зіркопо-

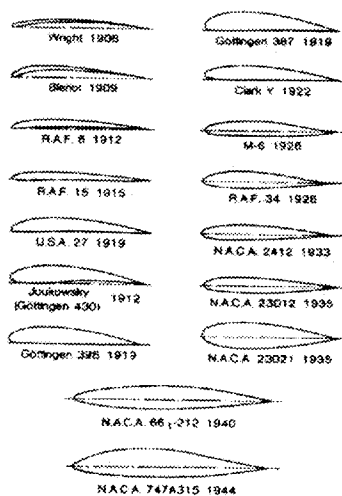


Рисунок 6.17 – Еволюція профілю крила у 1908 – 1944 рр.

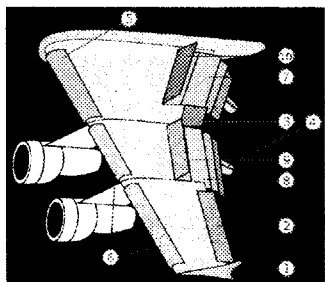


Рисунок 6.18 – Елементи механізації крила: 1 – закінцівка; 2, 3 – елерони; 4 – обтічники закритків; 5, 6 – передкрилки; 7, 8 – закритки; 9, 10 – інтерцептори (повітряне гальмо)

Нью-Йорка до Парижа (рисунок 6.19). Наприкінці 1930-х рр. у СРСР також був здійснений ряд далеких перельотів. У 1937 р. екіпаж в складі М. М. Громова, А. Б. Юмашева і С. А. Даниліна на літаку АНТ-25 пролетів без посадки від Москви до США 11000 км за 62 год [3, 4, 13, 63].

Авіаційна наука СРСР у 30 – 40-і рр. була на високому рівні. У країні працювали талановиті авіаційні конструктори А. М. Туполев, Н. Н. Полікарпов, А. А. Архангельський, В. М. Мясішев, В. М. Петляков, П. Й. Су-

дінні двигуни з повітряним охолодженням, в яких радіальні циліндри оберталися навколо нерухомого колінчастого вала. Двигуни вмонтовували у фюзеляж або в крила. Питома маса поршневих авіадвигунів знизилася з 1 кг/к. с. у 1914 р. до 0,4 кг/к. с. у 1949 р. [13, 63]

Змінилися й авіаційні гвинти. У 1930-х рр. зі збільшенням потужностей двигунів їх почали виготовляти з трьома або чотирма поворотними металевими лопатями, зі змінюваним у польоті кроком. Це дозволяло більш повно використовувати потужність двигуна на усіх швидкостях, створювати зворотну тягу під час посадки літака і тим самим скорочувати пробіг [63].

У 1929 р. Джиммі Дулітл розробив пілотажно-навігаційні прилади.

Провідними авіабудівними країнами були Великобританія, США, Німеччина, СРСР, Італія.

Зі зростанням швидкості, висоти і дальності польоту літаків почалися спроби рекордних перельотів. Вже в 1919 р. американці здійснили трансатлантичний переліт на літаючому човні. Маса літака з вантажем і шістьма членами екіпажу складала 14 т, дальність перельоту з дозаправленням на Азорських островах – 1500 миль. До 1929 р. була зроблена 31 спроба перетнути Атлантику у повітрі, але успішними з них виявилися лише 10. Одну з вдалих спроб здійснив американець Ч. Ліндберг в 1927 р., який на одномісному літаку-моноплані з колісним шасі масою 2380 кг (у тому числі 1704 л палива), з двигуном потужністю 223 к. с. за 20,5 години подолав без посадки 5800 км і долетів з

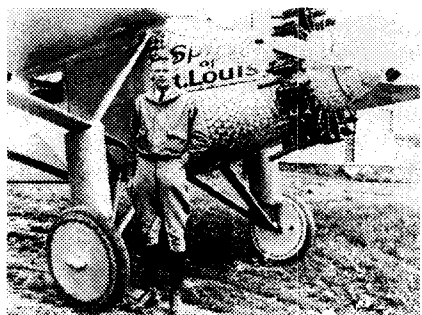


Рисунок 6.19 – Ч. Ліндберг біля свого літака «Дух Сент-Луїса»

хий, Д. П. Григорович, А. С. Яковлев, С. В. Ілюшин, С. О. Лавочкін, А. І. Мікоян, М. І. Гуревич, О. К. Антонов, Р. Л. Бартіні, А. С. Москальов, Г. М. Берієв і інші. Машини, які вони створювали, були на рівні світового літакобудування, однак інколи мали місце труднощі у виробництві, затримки з впровадженням, коливання і помилки в опіюванні тих чи інших моделей [64].

Спочатку в СРСР будували лише ліцензійні авіадвигуни, а з 1930-х рр.

випускались вже в основному двигуни вітчизняної розробки потужністю від 1350 до 1850 к. с., створені в КБ А. А. Микуліна, А. Д. Шведова і В. Л. Климова. Країна стала передовою авіаційною державою. Літаки 1930-х – початку 1940-х років, стали основою авіації Великої Вітчизняної війни (рисунок 6.20 – 6.23).

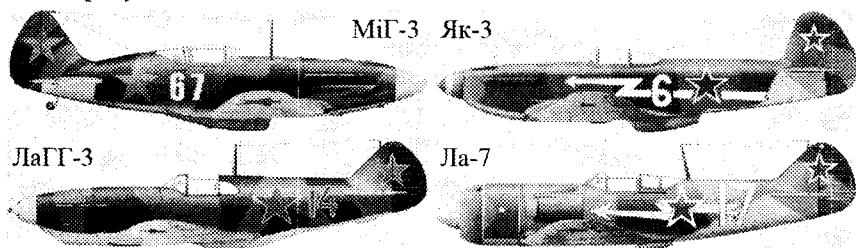


Рисунок 6.20 – Радянські винищувачі періоду Великої Вітчизняної війни

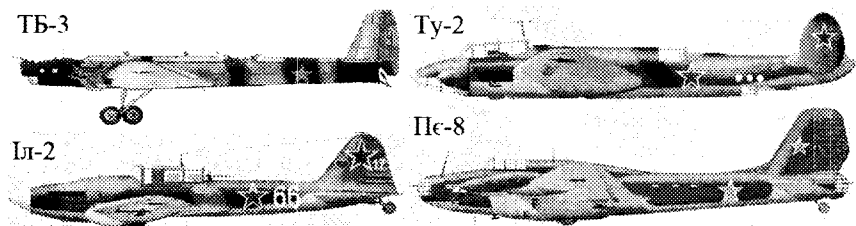


Рисунок 6.21 – Радянські бомбардувальники та штурмовик періоду Великої Вітчизняної війни

З 1930-х рр. у основних авіаційних державах і, в першу чергу, у Німеччині, СРСР та Великобританії інтенсивно розроблялись, виготовлялись та удосконалювались реактивні авіаційні двигуни та літаки з цими двигунами. Першим практично застосованим реактивним літаком став німецький Heinkel He 178, що зробив перший політ у 1939 р. Перша крилата ракета

(Фау-1) (рисунок 6.24), перша балістична ракета (Фау-2) і перша керована ракета Vachem Va 349 були також розроблені в Німеччині у 1930 – 40-х рр.

Fw.190A-3

Bf.109

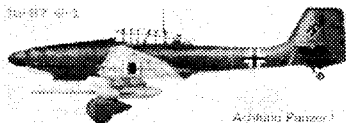
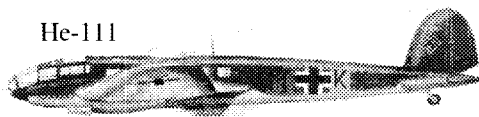


Me.262



Рисунок 6.22 – Німецькі винищувачі періоду Великої Вітчизняної війни

He-111



Ju-88A

He-177A5



Рисунок 6.23 – Німецькі бомбардувальники періоду Великої Вітчизняної війни

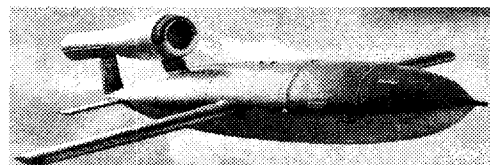


Рисунок 6.24 – Німецька крилата ракета Фау-1: довжина – 7,90 м; розмах крил – 5,37 м; висота – 1,42 м; маса – 2,15 т; двигун – пульсуючий прямоточний з тягою 2,9 кН; швидкість – 656 км/год; дальність польоту – 240 км; стеля – 3050 м; маса бойової частини – 830 кг

Проте, застосування реактивних винищувачів було обмежено через їх невелику кількість, нестачу пілотів і палива наприкінці війни. Фау-1 була недостатньо ефективною у зв'язку із порівняно низькою швидкістю, а Фау-2 – недостатньо точною для ураження малорозмірних військових цілей [13, 65].

Основною причиною впровадження в авіації реактивних двигунів стало те, що до середини 1930-х рр. поршневі авіаційні двигуни і повітряні гвинти досягли межі своєї досконалості (максимальних питомої потужності та тяги) й не забезпечували подальшого підвищення швидкості літака у горизонтальному польоті понад 700 – 750 км/год. У зв'язку із цим поршневі двигуни були замінені реактивними, що при рівній масі розвивають більшу потужність. Використання двигунів нового типу привело до якісних змін в авіації.



Реактивні двигуни, що створюють тягу за рахунок сили реакції струменів газу, які виходять із сопла, поділяються на три основні види [65]:

- рідинно-реактивні (РРД) або ракетні, у яких паливо змішується у камері згоряння з рідким окислювачем, завдяки якому підтримується горіння; дані двигуни створюють максимальну питому тягу і можуть працювати у безповітряному просторі;

- безкомпресорні прямоточні повітряно-реактивні двигуни (ПРД), у яких для підтримання горіння використовується атмосферне повітря, що за рахунок власного динамічного напору при русі літака заходить у камери згоряння, стискається і змішується в них із паливом, після чого паливо-повітряна суміш згоряє, а гази, що відходять, створюють реактивну тягу (рисунок 6.25);

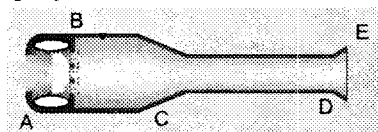


Рисунок 6.25 – Схема ПРД

- турбореактивні компресорні двигуни (ТРД) з газовою турбіною, у яких стиснення повітря здійснюється турбокомпресором; стиснене повітря надходить у камери, де згоряє паливо, а гази, що відходять, обертають турбіну привода компресора і створюють реактивну тягу (рисунок 6.26).

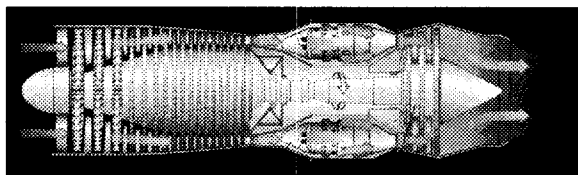


Рисунок 6.26 – Розріз ТРД

Ідея ПРД висувалася деякими винахідниками ще у XIX ст. У 1908 – 1913-х рр. французький учений

Р. Лорен провів дослідження ПРД і запропонував ряд принципових схем. У 1939 р. вперше у світі проводилися льотні випробування радянських ПРД, використаних як додаткові на літаку Н. Н. Полікарпова. У 1942 р. аналогічна робота була виконана в Німеччині, де випробовувались ПРД Е. Зенгера. Вони призначалися для наддалекого стратосферного бомбардувальника. Літак не був побудований, але ПРД у подальшому випускались і встановлювались на літаках-снарядах Фау-1, якими німці в 1944 – 1945 рр. обстрілювали Англію (див. рисунок 6.24). У СРСР після війни роботи з розробки та удосконалення ПРД були продовжені під керівництвом М. М. Бондарюка. Результати даних робіт знайшли застосування в 1950 – 60-х рр. при створенні крилатих ракет з пульсуючими двигунами. Таким чином, в авіації ПРД так і не отримали розповсюдження [3, 13, 64].

Ідея ТРД народилася задовго до її реального втілення. Інженер Н. Герасимов розробив проект першого ТРД в 1909 р. В 1914 р. лейтенант флоту М. Н. Нікольський сконструював і побудував модель авіаційного турбовинтового двигуна (ТВД). Як паливо було обрано скипидар, окислювачем служила азотна кислота. У 1924 р. В. І. Базаров розробив ТВД, що повинен був працювати на суміші бензину і повітря. Двигун містив компресор, ка-

мери згоряння і багатоступінчасту турбіну, що обертала компресор і повітряний гвинт. Дані роботи випередили свій час. Останнє обумовлено тим, що поршневе моторобудування до 1930-х рр. ще мало резерви для нарощування шитої потужності, тоді як для реалізації нових двигунів не було необхідних матеріалів. У 1930-х рр. конструкції ТРД були запатентовані у Великобританії Ф. Уїтлом і в Німеччині – П. фон Охайном. У 1938 р. вони були реалізовані в металі [65].

У 1939 р. з різницею в декілька місяців було випробувано літак He-176 з РРД конструкції Х. Вальтера (маса двигуна 900 кг, тривалість роботи двигуна – 50 с), який досяг швидкості 750 км/год, а також He-178 – перший у світі літак з ТРД фон Охайна (маса 998 кг) з максимальною швидкістю 700 км/год (див. рисунок 2.27) [8, 13].

Слід зазначити, що вже з 1941 р. на всіх реактивних літаках Німеччини, в тому числі He-178 і He-280 (винищувач з двома двигунами зі швидкістю до 820 км/год, замінений пізніше Me-262), були установлені катапультовані крісла льотчиків. Катапульти працювали на стисненому повітрі. В реактивній авіації інших країн катапультовані крісла з піронабоями стали використовуватися тільки наприкінці 1940-х рр. [13, 65].

У 1941 р. були здійснені польоти на експериментальних літаках з ТРД в Італії й Великобританії. Одночасно в США був створений винищувач «Ейркомет» з двома двигунами Ф. Уїтла виробництва фірми «Дженерал електрик». Під час його випробовувань була досягнута швидкість 800 км/год. На базі даної машини на фірмі «Глостер» був побудований винищувач «Метеор» (рисунок 6.27) з двома ТРД, що мав швидкість до 965 км/год. Він відіграв значну роль у боротьбі із німецькими літаками-снарядами Фау-1 [65].

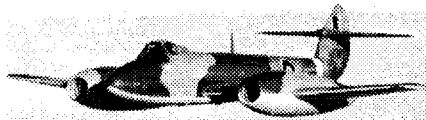


Рисунок 6.27 – Перший англійський реактивний винищувач «Метеор»

В 1939 р. у Німеччині В. Мессершмітт почав проектування винищувача з двома ТРД, яким став першим бойовим і найбільш досконалим турбореактивним літаком Другої світової війни. У 1942 – 1943 рр. Me-262 (див. рисунок 6.22) був запущений у серію. Він мав швидкість 869 км/год, стелю 12,2 км і брав участь у 1944 – 1945 рр. у бойових діях. Було випущено 1433 машини. У ході боїв на Me-262 було збито близько 150 літаків супротивника при власних втратах близько 100 машин. Остання обставина обумовлена низьким рівнем підготовки основної маси пілотів, недостатньою надійністю двигунів Jumo 004, що установлювались на Me-262 і їх низкою бойовою живучістю, а також перебоями з постачанням льотних частин на фоні загального хаосу в період розгрому Німеччини [9, 13].

США під час війни не змогли створити літак, здатний протистояти Me-262. Тільки в кінці 1945 р. почав випускатись винищувач фірми Локхід P-80 «Шутінг Стар», що мав швидкість 900 км/год [13, 65].

Розробки ТРД у СРСР велися з 1939 р. КБ А. А. Микуліна, В. Л. Климова, А. М. Люлька й інших. Слід зазначити, що на початку роботи над реактивними двигунами в СРСР розроблялися і установлювалися на літаки, в основному, РРД [66].

У 1940 р. льотчик І. Федоров випробував ракетоплан РП-318-І С. П. Корольова із РРД Л. С. Душкіна і В. П. Глушко. У цей же час у КБ В. Ф. Болховітінова інженери А. Я. Березняк і А. М. Ісаєв розробили БІ-1 (рисунок 6.28) – перший винищувач-перехоплювач з РРД Л. С. Душкіна і В. А. Штоколова з тягою 1100 кг. БІ-1 був озброєний двома гарматами ШВАК-20 і міг нести 38 кг бомб. Розробка літака і виготовлення першого зразка були виконані за 40 днів. Злітна маса складала 1650 кг, швидкість – до 900 км/год. Паливом служив гас, окислювачем – азотна кислота. Випро-

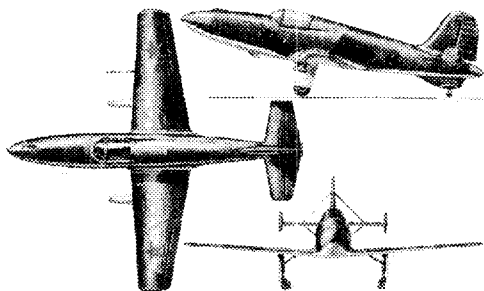


Рисунок 6.28 – Радянський ракетний винищувач БІ-1

бовували літак Г. Я. Бахчиванджі і Б. Н. Кудрін. 12.03.43 р. Г. Я. Бахчиванджі загинув при пікіруванні літака. Пізніше з'ясувалося, що причиною руйнування машини було нестрілоподібне крило. Як повноцінний винищувач БІ-1 не міг використовуватись через малу тривалість польоту, але послужив для накопичення досвіду [60, 66].

У 1944 р. у КБ Н. Н. Полікарпова на базі БІ-1 був створений експериментальний аеродромний винищувач-перехоплювач «Малютка» з часом польоту до 14 хвилин, з двома гарматами калібру 23 мм [66].

Одночасно у Німеччині був розроблений аеродромний винищувач Мессершмітт Me-163 (рисунок 6.29). Перший його політ відбувся у 1941 р. Літак мав дві гармати 30 мм, стрілоподібне крило, швидкість до 960 км/год, стелю 12,1 км, радіус польоту 40 км. Був побудований 91 літак,

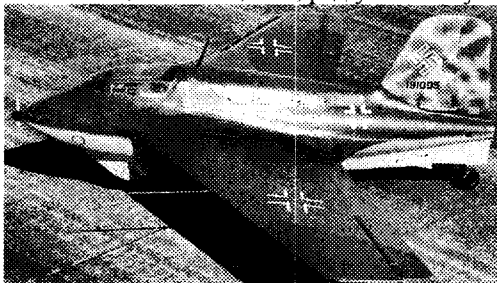


Рисунок 6.29 – Німецький ракетний винищувач-перехоплювач Me-163

що з травня 1944 р. брали участь у бойових діях. Вони зробили лише кілька вильотів, при цьому було збито 11 машин, у той час як вони змогли знищити лише 9 американських стратегічних бомбардувальників В-29 (рисунок 6.30). Me-163 мав рідинний ракетний двигун, у який подавався 80% перекис водню і рідкий каталізатор (роз-

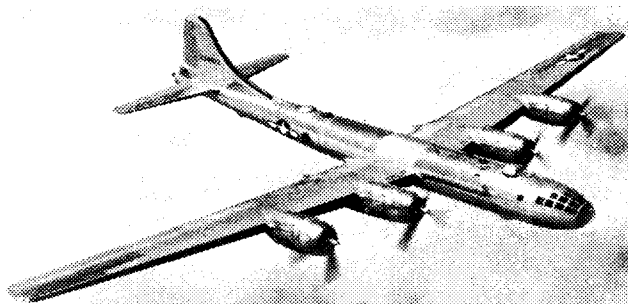


Рисунок 6.30 – Американський стратегічний бомбардувальник B-29 «Superfortress»: екіпаж – 11 чол.; максимальна швидкість – 574 км/год; дальність польоту – 9000 км; стеля – 12 км; двигуни – 4 × 2200 к. с.; озброєння: 12 кулеметів 12,7 мм, 1 гармата 20 мм, бомбове навантаження – 9 т

чин перманганату калію або суміш метанолу, гідрозин-гідрату і води). У камері згоряння перекис водню розкладався з утворенням великого об'єму перегрітої парогазової суміші, створюючи потужну реактивну тягу. Після злету літак скидав шасі, а приземлявся на висувну лижну [13, 60].

#### 6.4 Третій і четвертий етапи розвитку авіації (1946 – 2010-і рр.). Розвиток пасажирської, транспортної та малої авіації

Третій етап розвитку авіації (1946 – 1950 рр.) пов'язаний зі штурмом звукового бар'єра – перевищенням у горизонтальному польоті швидкості звуку, що на рівні землі дорівнює 1200 км/год.

Для дослідження явищ, пов'язаних із надзвуковими швидкостями польоту, у США в 1943 р. були початі розробки експериментальних літаків із РРД. В 1946 р. під керівництвом Р. Вудса на фірмі «Белл» був створений одномісний експериментальний літак X-1 (рисунок 6.31) із РРД, що працював на суміші рідкого кисню (запас 2270 л) і спирту (2500 л). Тривалість роботи двигуна на повній тязі (26,7 кН) – до 4,5 хв. X-1 підвішувався під фюзеляжем носія – бомбардувальника B-29 (рисунок 6.30) і на висоті біля

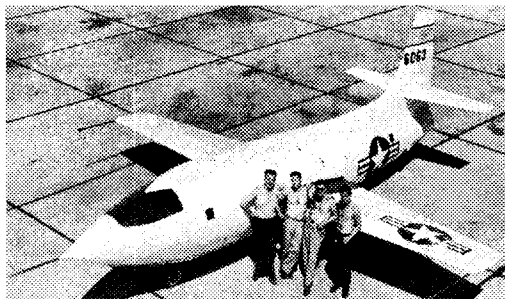


Рисунок 6.31 – Американський експериментальний ракетний літак X-1

10000 м відділявся від нього. Далі на X-1 вмикався двигун і машина виходила на задані висоту і швидкість польоту. Сідав X-1 планеруванням.

14.10.1947 р. пілот Чарльз Егер на X-1 уперше перевищив швидкість звуку, здолав звуковий бар'єр. У СРСР швидкість звуку була вперше перевищена 26.12.1948 р. О. Соколовським на реактивному винищувачі Ла-176.

Під час випробовувань Х-1 був поставлений ряд рекордів висоти і швидкості польоту (максимальна висота – 21 383 м, максимальна швидкість – 1556 км/год), а головне – отримано цінні дані з аеродинаміки літаків, аеродинамічного нагрівання елементів конструкції, поведінки машин в області швидкостей, близьких до швидкості звуку, застосування дозвукових і спеціальних профілів, а також «стрілоподібності крила» [13, 65].

Швидкість реактивних літаків прийнято характеризувати числом Маха ( $M$ ) за ім'ям австрійського вченого Е. Маха. Число  $M$  дорівнює відношенню швидкості польоту літака до швидкості звуку в даній точці. При  $M < 1$  – політ дозвуковий;  $M > 1$  – надзвуковий;  $M > 5$  – гіперзвуковий [66].

Створення серійного військового або цивільного літака з РРД виявилось неможливим через малий час роботи двигуна (близько 5 хвилини). Подальший розвиток реактивної авіації пішов на основі удосконалення та використання ТРД.

Першими радянськими турбореактивними винищувачами стали Як-15 і МіГ-9 (рисунок 6.32), створені в 1946 р. Максимальна швидкість винищувачів становила відповідно

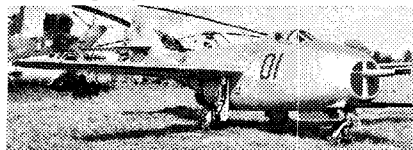


Рисунок 6.32 – Перший радянський турбореактивний винищувач МіГ-9

786 і 910 км/год. Машини були оснащені трофейними німецькими ТРД Junko-004 (вітчизняне позначення РД-10) і BMW-003 (РД-20) [65].

Для створення серійних машин були придбані ліцензії англійських двигунів «Дервент» і «Нін» (виготовлялися під марками РД-500 і РД-45). Ними оснащувалися дозвукові літаки першого післявоєнного покоління МіГ-15, Ла-15, Як-23, Ту-14, Іл-28 [62].

Радянський винищувач МіГ-15 (рисунок 6.33), створений у 1947 р., був найбільш масовим реактивним бойовим літаком в історії авіації (усього випущено понад 15 000 одиниць) і знаходився на озброєнні багатьох країн світу. Основну бойову перевірку МіГ-15 пройшов під час Корейської війни

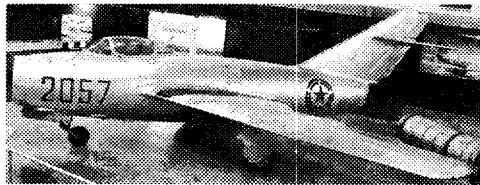


Рисунок 6.33 – Радянський винищувач МіГ-15: максимальна швидкість – 1076 км/год; дальність польоту – 2520 км; стеля – 15,5 км; швидкопідйомність: 3000 м/хв; довжина – 10,1 м, розмах крила – 10,08 м; злітна маса – 6,1 т; тяга двигуна – 2700 кгс; озброєння: 1 гармата 37 мм, 2 гармати 23 мм

1950 – 1953 рр., де його основним супротивником був найновіший американський реактивний винищувач F-86 «Сейбр». МіГ-15 перевершував останнього за швидкопідйомністю, вертикальною маневреністю й озброєнням, поступаючись «Сейбру» за авіонікою і горизонтальною маневреністю. МіГ-15 чудово показали себе під час перехоплювань бомбардувальників В-29 (див. рисунок 6.30), для протидії яким

вони, в основному, й створювалися. В результаті ВВС США були змушені цілком припинити використання В-29 у денних умовах і до кінця війни вони діяли тільки уночі. Загалом літаки СРСР, Китаю та Північної Кореї збили у цій війні 1377 літаків ООН, при втраті 566 своїх. Основна заслуга у такому результаті належить саме МіГ-15.

На початку 1950-х рр. на радянських літаках почали встановлювати потужні вітчизняні двигуни. У 1954 р. пройшов випробовування перший у СРСР серійний надзвуковий винищувач МіГ-19, що показав швидкість 1450 км/год. Літак мав два двигуни АМ-9 і відносився до другого післявоєнного покоління авіації [13, 66].

Перехід до надзвукових або близьких до них швидкостей потребував зміни форми крила і фюзеляжу. Крило стало стрілоподібним або дельтаподібним (трикутним) (рисунок 6.34), одержали також поширення крила змінної геометрії.

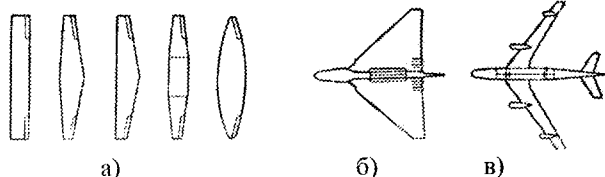


Рисунок 6.34 – Типи крила літака: а – варіанти прямого крила; б – дельтаподібне крило; в – стрілоподібне крило

Першим радянським винищувачем третього покоління і одночасно найпоширенішим надзвуковим бойовим літаком у світі (випущено понад 10 000 одиниць, без врахування зразків, що будувались у Китаї) став легендарний МіГ-21 (рисунок 6.35). Тяга двигуна перших МіГ-21 була навіть меншою сумарної тяги двох ТРД на МіГ-19, але за рахунок застосування багаторежимного повітрозабірника змінного входного перерізу з центральним тілом, вдалося підняти максимальну швидкість літака більше, ніж на 700 км/год. Як основне озброєння на МіГ-21 використовувались дві ракети класу «повітря-повітря» Р-3С з тепловою головкою самонаведення, що були копіями американських АІ-9В «Сайдуіндер». Крім цього, на пізніших модифікаціях стали знов встановлювати 30-мм або 23-мм гармати, оскільки досвід В'єтнамської війни, де супротивниками радянського літака були важкі ударні винищувачі США F-105 «Тандерчіф» та багатоцільові винищувачі

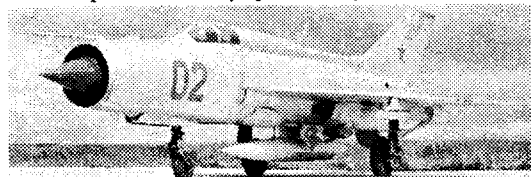


Рисунок 6.35 – Радянський винищувач МіГ-21: макс. швидкість – 2125 км/год; дальність польоту – 1900 км; стеля – 19 км; швидкопідйомність – 13500 м/хв; злітна маса – 8625 кг; тяга двигуна – 3880 кгс; тяга форсажна – 5740 кгс; озброєння: 2 гармати калібру 30 мм; маса ракет (бомб) – 1300 кг

Р-3С з тепловою головкою самонаведення, що були копіями американських АІ-9В «Сайдуіндер». Крім цього, на пізніших модифікаціях стали знов встановлювати 30-мм або 23-мм гармати, оскільки досвід В'єтнамської війни, де супротивниками радянського літака були важкі ударні винищувачі США F-105 «Тандерчіф» та багатоцільові винищувачі

F-4 «Фантом» II, довів незамінність артилерійського озброєння, навіть в умовах швидкоплинного бою надзвукових машин. Американських візаві у тій війні МіГ-21 перевершував легкістю, швидкопідйомністю та маневреністю, але поступався дальністю польоту і авіонікою. Оскільки ракети «Сайдуіндер» були ще недосконалими, радянські винищувачі завдяки активному маневруванню відносно легко від них ухилялись [67].

Безупинно збільшувалися швидкості польоту. Вже в 1956 р. англійський літак «Дельта-22 показав швидкість 1822 км/год, у 1958 р. в США винищувач F-104 – швидкість 2259,9 км/год, у 1959 р. у СРСР на Є-66 М. К. Мосолов досяг швидкості 2388 км/год, а в 1961 р. він же встановив рекорд висоти – 34714 м і швидкості – 3000 км/год [66, 67].

З переходом на швидкості польоту  $M = 1...2$  виникла проблема аеродинамічного нагрівання. При  $M = 1$  нагрів поверхні літака перевищує  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , при  $M = 3$  –  $450\text{ }^\circ\text{C}$ , при  $M = 5$  навіть на висоті 11 км температура досягає  $600\text{ }^\circ\text{C}$ . Це призвело до необхідності використання в конструкції літаків титана, його сплавів і інших жаростійких матеріалів, реалізації конструктивних заходів з теплоізоляції, охолодження кабіни і відповідальних вузлів літака [13, 67].

Сучасні винищувачі мають максимальну швидкість  $M = 2...2,6$ .

На рисунках 6.36, 6.37 наведено фотографії основних винищувачів четвертого покоління та стратегічних бомбардувальників СРСР і США. Деякі з даних літаків знаходяться на озброєнні ВПС України.

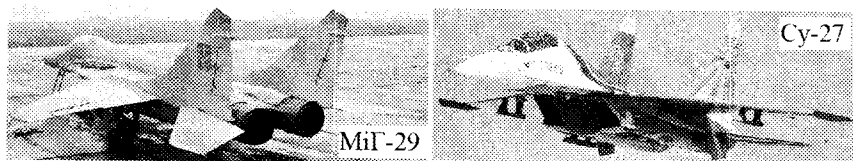
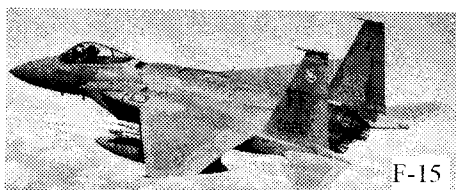
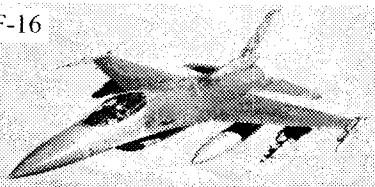


Рисунок 6.36 – Радянські винищувачі та стратегічний бомбардувальник 1980-х рр.



F-16



B-1B

Рисунок 6.37 – Американські винищувачі та стратегічний бомбардувальник 1980-х рр.

Прагнення зробити бойові літаки маневреними привело до створення конструкцій, стійкість яких при великих швидкостях, будь-яких висотах і будь-якій погоді автоматично підтримується системою керування. Бойові машини будуються як традиційних (з фюзеляжем, крилами різного виду, хвостовим горизонтальним і вертикальним оперенням), так і нетрадиційних схем [67, 69]. Прикладом останніх можуть служити винищувач-перехоплювач F-117A «Найтхок» (США) (з 2008 р. знятий з озброєння) і бомбардувальник фірми «Нортроп» B-2 (рисунок 6.38), виконані за схемою «літаюче крило» без вертикального оперення з використанням стелс-технології.

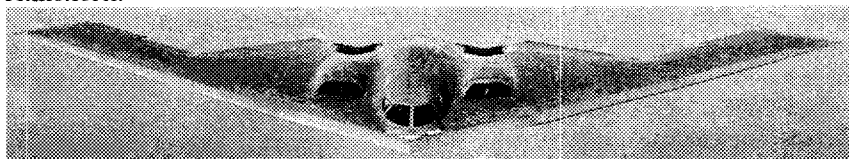


Рисунок 6.38 – Стратегічний бомбардувальник США B-2 «Спірит»: виготовлено 21 літак; вартість одного літака – \$2,1 млрд; довжина – 20,9 м; висота – 5,1 м; розмах крила – 52,12 м; екіпаж – 2 чол.; злітна маса – 171 т; навантаження до 27 т; двигуни – 4 × 1925 кгс; максимальна швидкість – 972 км/год; дальність польоту 11100 км; стеія – 15 км

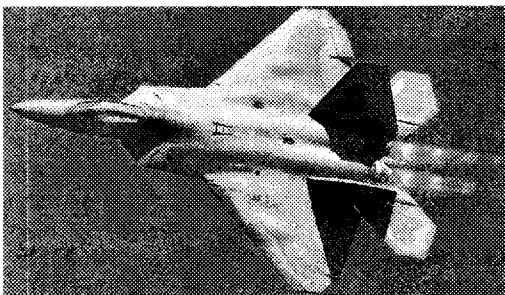


Рисунок 6.39 – Винищувач США 5-го покоління F-22 «Рептор»: розмах крила – 13,56 м; довжина – 18,9 м; висота – 5,09 м; макс. маса – 38 т; навантаження – 10,37 т; тяга 2-х двигунів – 15876 кгс; макс. швидкість – 2400 км/год; макс. безфорсажна швидкість – 1800 км/год; дальність польоту – 5700 км; стеія – 19,2 км; дальність виявлення аеродинамічної цілі – до 300 км

На рисунку 6.39 показано американський винищувач останнього п'ятого післявоєнного покоління F-22 «Рептор», розроблений компаніями Lockheed Martin, Boeing і General Dynamics. Основними ознаками машин 5-го покоління є: можливість одночасного ураження декількох повітряних або наземних цілей, багатофункціональність, мала помітність, надзвукова крейсерська швидкість і надвисока маневреність [68].

F-22 оснащений двома турбореактивними двигунами (ТРДДФ) Pratt & Whitney F119-PW-100 тягою близько

16 тис. кгс з форсажними камерами і соплами, що відхиляються у вертикальній площині і забезпечують, таким чином, зміну вектора тяги. Дані двигуни дозволяють F-22 здійснювати політ на надзвуковій швидкості без ви-



користання форсажних камер, що є важливою тактичною перевагою. В основу проектування літака покладено принцип «First look – first kill» (першим знайшов – першим знищив). З цією метою широко використані стелетехнології. Важливим конструктивним рішенням, що також дозволяє знизити помітність літака, є розміщення штатного озброєння у внутрішніх відсіках. F-22 має і зовнішні підвіски, але їх застосування погіршує малопомітність. Процентний склад матеріалів у конструкції планера F-22: алюмінієві сплави – 16 %; титанові сплави – 39 %; композити – 24 % [68].

F-22 є єдиним на сьогоднішній день літаком п'ятого покоління, що стоїть на озброєнні, і найдорожчим винищувачем у світі. Вартість програми його розробки – \$65 млрд, а повна вартість одного літака сягає \$350 млн. Іноді про «Рептор» говорять, що він «на вагу золота», що точно відповідає дійсності: ринкова ціна 19,7 т чистого золота (маса порожнього F-22) на лютий 2006 р. дорівнювала тим самим \$350 млн. Експлуатація також обходиться недешево: вартість однієї години польоту машини становить \$19000, а трудомісткість міжпольотного обслуговування сягає 13 год на 1 год польоту. У період 1990 – 2009 рр. виготовлено 145 одиниць F-22. У 2006 р. були проведені навчання «Норден Ейдж», у яких проводилися навчальні повітряні бої F-22 з F-15 (див. рисунок 6.37), F/A-18C і F/A-18E. За тиждень навчань F-22 умовно збили 144 літаки супротивника без втрат зі своєї сторони [68].

**Розвиток пасажирських і транспортних літаків.** При переході до реактивних двигунів розділення авіації на цивільну і військову стало більш помітним. Це пов'язано зі значними розбіжностями у вимогах до їх технічних характеристик. У військовій авіації домінуючою стала тенденція створення надзвукових машин з максимально можливими стелею і маневреністю, у цивільній – створення дозвукових літаків, стійких у повітрі, зі стелею 10...12 км.

Цивільна авіація виникла після завершення першої світової війни. Першим літаком, побудованим спеціально для пасажирських перевезень був

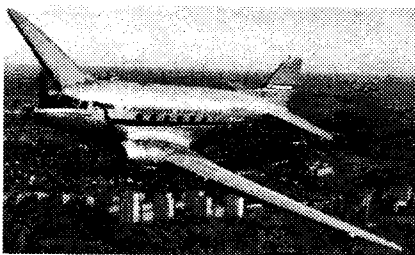


Рисунок 6.40 – Американський пасажирський літак «Дуглас» DC-3: пасажиромісткість – 21 – 32 чол; дальність польоту – 2160 км

біплан Фарман F-60 «Голіаф» (1919 р.), що перевозив 12 пасажирів зі швидкістю до 120 км/год на відстань до 400 км.

У 1920-х рр. у багатьох країнах, в тому числі і в СРСР, почалися повітряні пасажирські перевезення. У середині 1930-х рр. на повітряні лінії Радянського Союзу вийшли ряд вітчизняних машин – двомоторні АНТ-35 і ЗіГ-1, що будувалися малими серіями, а також 24-місний Лі-2, що був прототипом американ-

ського літака «Дуглас» DC-3 (рисунок 6.40). Лі-2 мав 2 двигуни по 850 к. с. кожний і літав зі швидкістю до 368 км/год [60, 62].

У 1938 р. з'явився перший пасажирський літак з герметичною кабіною – чотиримоторний Боїнг-307, що літав з швидкістю 350 км/год на висоті до 7000 м. В 1939 р. була відкрита перша регулярна трансатлантична повітряна лінія компанії «Панамерикан Ейрвейз» Вашингтон – Марсель [13].

Наприкінці 1940-х рр. почався інтенсивний розвиток цивільного авіабудування, пов'язаний з прогресом бомбардувальної авіації під час другої світової війни – післявоєнні пасажирські літаки були модифікаціями військових машин.

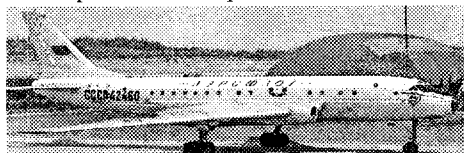


Рисунок 6.41 – Перший радянський пасажирський літак Ту-104

Перші цивільні реактивні літаки з'явилися в 50-х роках: у Великобританії – «Комета» (1952 р.), у США – Боїнг-707 (1954 р.), у СРСР – Ту-104 (1955 р. – рисунок 6.41), у Франції – «Каравела» (1955 р.). Деякі характеристики пасажирських реактивних літаків першого покоління наведено в таблиці 6.3 [13, 62].

Таблиця 6.3 – Характеристики реактивних пасажирських літаків першого покоління

Тип літака	Число місць, чол.	Швидкість, км/год	Стеля, км	Дальність польоту, км
Ту-104	70	950	11,5	2650
Іл-18	120	685	10	7100
Ан-10	132	675	10	4000
Ту-114	220	900	12	7000
«Комета-IV»	80	860	11	5700
«Каравела»	80	765	11	3300
Боїнг-707	179	1000	11	6820

Наступне покоління цивільних літаків з'явилося в 1960 – 70-х рр. Вони були оснащені більш економічними і потужними турбовентиляторними реактивними двигунами. Створювалися машини великої дальності і місткості. На рисунку 6.42 зображено американський літак другого покоління – Boeing-747, який довгий час був найбільшим пасажирським авіалайнером.

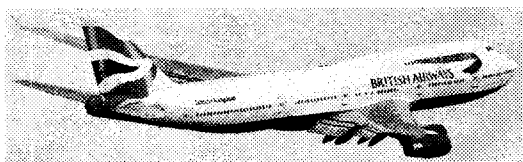


Рисунок 6.42 – Boeing-747 (США): пасажиромісткість – 452 чол.; довжина – 70,6 м; розмах крила – 59,6 м; висота – 19,3; швидкість – 955 км/год; дальність – 9800 км

Радянський літак Ту-144 (рисунок 6.43) поряд з англо-французьким

«Конкордом» став першим із двох надзвукових авіалайнерів що коли-небудь використовувалися авіакомпаніями для комерційних перевезень [67].



Рисунок 6.43 – Ту-144 (СРСР): пасажиромісткість – до 140 чол.; довжина – 65,7 м; розмах крила – 28,8 м; висота – 12,5 м; злітна маса – 203 т; маса палива – 95 т; тяга двигунів на форсажі – 245 кН; макс. швидкість – 2500 км/год; дальність: 5300 км; стеія – 20 км

Слід зазначити, що створення даних літаків було надзвичайно складною задачею, яку змогли розв'язати тільки одна з наддержав – СРСР і дві провідні європейські країни – Великобританія та

Франція, і то тільки після об'єднання зусиль. Справа в тому, що на відміну від військового надзвукового літака, на борту якого знаходиться тільки один спеціально підготовлений тренований та навчений пілот, здатний витримувати підвищені навантаження, пов'язані з подоланням звукового бар'єра, надзвуковий пасажирський літак має перевозити в умовах достатнього комфорту та безпеки сотні пасажирів з різним станом здоров'я і на значні відстані. Крім цього, пасажирський літак стає місцем повсякденної роботи екіпажу, що також потребує створення відповідних умов, оскільки від цього значною мірою залежить безпека польоту. Нарешті, даний літак повинен бути достатньо надійним і ефективним в експлуатації, з ресурсом, не меншим 40000 год польоту (для порівняння, ресурс сучасних надзвукових винищувачів становить приблизно 4000 – 6000 год) [67].

При створенні літаків була проведена колосальна робота, пов'язана, зокрема, з моделюванням різних форм крила під час їх натурних випробувань на спеціально створених зменшених літаках-аналогах. Перший політ Ту-144 відбувся 31.12.1969 р. – на 3 місяці раніше першого польоту «Конкорда». В осіні 1970 р. на Ту-144 був установлений не побитий й досі рекорд швидкості для пасажирських лайнерів – 2430 км/год на висоті 19 км.

З листопада 1977 р. почались регулярні пасажирські рейси Ту-144 за маршрутом Москва – Алма-Ата, але вже в травні 1978 р. після вимушеної посадки одного літака, під час якої загинули 2 члени екіпажу, перевезення пасажирів припинили. У подальшому Ту-144 здійснювали тільки вантажні перевезення та випробувальні польоти. Усього було побудовано 16 зразків Ту-144, що зробили в цілому 2556 польотів (в тому числі 55 пасажирських) і налітали 4 110 год.

Будівництво ще чотирьох літаків так і не було завершено [67].

Більш щасливою була доля «Конкордів» (рисунок 6.44). Літак був створений французькою компанією Sud Aviation, що взяла на себе більшу частину робіт з розробки планера та англійською ВАС, яка, в основному,



Рисунок 6.44 – «Конкорд» (Великобританія, Франція): пасажиромісткість – до 100 чол.; довжина – 56,24 м; розмах крила – 25,57 м; висота – 12,19 м; злітна маса – 187,7 т; маса палива – 95,68 т; тяга двигунів на форсажі – 170 кН; макс. витрати палива – 25 т/год; макс. швидкість – 2330 км/год; дальність: 6470 км; стеія – 18,3 км

відповідала за двигуни «Конкорда». Крім цього, дані компанії координували роботу ще десятків англійських та французьких фірм. У період 1962 – 1976 рр. Франція і Великобританія витратили на реалізацію програми 1200 млн фунтів стерлінгів, що було значно

більше, ніж передбачалось спочатку. Ціна літака, яка на початку 1970-х рр. становила \$25 млн доларів, зросла у 1977 р. до \$46 млн [13].

Всього було виготовлено 16 серійних «Конкордів», що пояснюється істотним збільшенням вартості палива після кризи середини 1970-х рр. та вищою ефективністю широкофюзеляжних дозвукових лайнерів типу Боїнга-747, здатних перевозити значно більше, ніж «Конкорди», число пасажирів при менших витратах коштів та несуттєво вищих витратах часу. Таким чином, вдалось продати тільки 9 «Конкордів» – 5 авіакомпанії British Airways і 4 – Air France, та й то в основному через те, що вони контролювались урядами країн-розробників літака. П'ять літаків, що залишилися, були запропоновані тим же авіакомпаніям за символічну ціну 1 фунт стерлінгів за кожен англійський, і 1 франк за кожен французький «Конкорд». При цьому авіакомпанії зобов'язувалися ввести придбані літаки в комерційну експлуатацію. Всі експлуатаційні витрати брали на себе уряди обох країн, що бажали підтримати власних авіавиробників і турбувались про національний престиж.

Основними маршрутами «Конкордів» стали: рейси British Airways з Лондона до Нью-Йорка, Бахрейну, Сінгапуру і Торонто, а також рейси Air France з Парижа до Нью-Йорка, Каракаса, Мехіко і Ріо-де-Жанейро.

Крім рейсових польотів «Конкорди» виконували велику кількість різноманітних чартерних рейсів, що давали авіакомпаніям хоч якийсь прибуток.

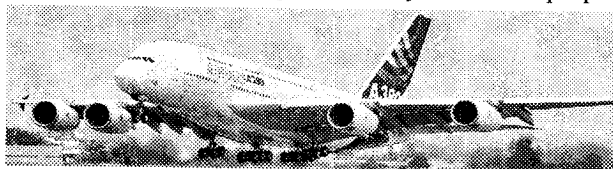
Оскільки «Конкорди» були флагманами флотів обох компаній, а квитки на них коштували дорожче, ніж на інші типи авіалайнерів, авіакомпанії намагалися забезпечити пасажирам максимальний рівень комфорту, і в цьому сенсі суперників у «Конкордів» було мало. Незважаючи на високу вартість квитків, репутація «Конкордів» серед пасажирів була дуже високою, особливо полюбили польоти на них бізнесмени і різного роду знаменитості

За 27 років рейсових і чартерних польотів було перевезено понад 3 мільйони пасажирів, загальний наліт «Конкордів» становив 243845 год. 26.07.2000 р. один літак був втрачений у катастрофі при вильоті з Паризь-

кого аеропорту Шарль де Голль: загинуло 113 чоловік. Ця катастрофа, а також скорочення ринку авіаперевезень після подій 11.09.2001 р. стали основними причинами припинення експлуатації «Конкордів».

Найбільш ефективними зараз пасажирськими літаками є широкофюзеляжні аеробуси американської корпорації «Боїнг» і західноєвропейського концерну «Ейрбас», які є найбільшими виробниками цивільних лайнерів у світі і глобальними конкурентами.

На рисунку 6.45 зображено одну з останніх розробок «Ейрбас» – широкофюзеляжний дво-



палубний пасажирський літак А380. Серед великих лайнерів він є найекономічнішим – споживає 3 л пального на одного пасажиря на 100 км шляху – і найбільш пасажиромістким, перевер-

Рисунок 6.45 – Airbus A380: висота – 24 м; довжина – 73 м; розмах крила – 79,8 м; дальність – 15 200 км; макс. швидкість – 950 км/год; стеля – 13115 м; місткість – до 853 пасажирів; злітна маса – 560 т; маса палива – 340 т; тяга двигунів – 4×340 кН

шуючи за останнім показником Боїнг-747. На розробку А380 пішло близько 10 років і біля 12 млрд євро. Вартість одного літака \$327,4 млн. За словами розробників, найскладнішою під час створення машини була проблема зниження його маси. Проблема вдалося розв'язати за рахунок широкого застосування композиційних матеріалів, як у силових елементах конструкції, так і в допоміжних агрегатах, інтер'єрах і т. д. Для зниження маси також використовувалися прогресивні технології і поліпшені алюмінієві сплави. Так, 11-тонний центроплан на 40% від своєї маси складається з вуглепластиків. Верхні і бокові панелі фюзеляжу виготовляються з гібридного матеріалу Glare. На нижніх панелях фюзеляжу застосовано лазерне зварювання стрингерів і обшивки, що дозволило істотно зменшити кількість кріпильних деталей.

Найбільшим у світі транспортним серійним літаком є український Ан-124 «Руслан» (рисунок 6.46), створений у Київському

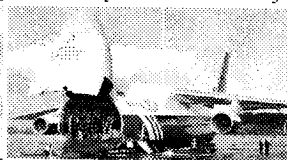
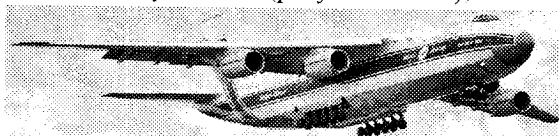
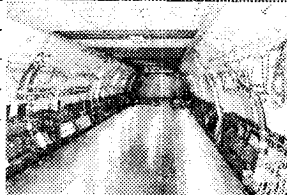


Рисунок 6.46 – Ан-124 «Руслан»: довжина – 69 м; розмах крила – 73,3 м; висота – 21,1 м; злітна маса – 402 т; паливо – 212 т; тяга двигунів – 4 × 4860 кгс; макс. швидкість – 865 км/год; дальність – 15 700 км; стеля – 12 км; розміри вантажної кабіни: довжина – 41,5 м; ширина – 6,4 м; висота – 4,4 м; корисне навантаження – до 150 т



ДКБ О. К. Антонова у 1982 р. Літак має дві палуби: нижню – вантажну і верхню, на якій розташовуються кабіни екіпажа, змінного екіпажа та осіб, що супроводжують вантаж (остання – місткістю 88 чол.). Загальний об'єм вантажної кабіни становить 1050 м<sup>2</sup>. Самохідна техніка заїжджає у літак своїм ходом через передній люк-рампу, а виїжджає через задній люк. Для завантаження несамохідних вантажів використовують бортові мостові крани потужністю до 20 т, дві лебідки з тягою по 3 т, а також рольганги. Для полегшення заїзду і виїзду машин літак оснащений системою регулювання висоти підлоги вантажної кабіни. При використанні цієї системи він ніби «сідає». Для завантаження і розвантаження на аеродромах без електроживлення на борту Ан-124 передбачено допоміжні силові установки з генераторами і турбонасосами. У вантажному відсіку «Руслана» можна перевозити до 16 десятитонних авіаційних контейнерів, 50 легкових автомобілів або моновантажі масою до 150 т (турбіни, генератори, самоскиди «Белаз», «Комацу», «Юклід» тощо). Багатостоякове 24-колісне шасі дозволяє використовувати літак й на ґрунтових злітно-посадочних смугах. Гідросистеми літака продубльовані на випадок відмови. У конструкції літака широко застосовані композиційні матеріали, нові високоміцні сталі, алюмінієві сплави з підвищеним коефіцієнтом в'язкості, деталі, виготовлені методами порошкової металургії, великогабаритні пресовані і фрезеровані елементи: з'єднання ряду вузлів здійснювалось на клею. Все це дозволило більше, ніж на дві тонни знизити масу літака. «Руслан» є автором 22 світових рекордів. Всього випущено 56 одиниць Ан-124; вартість нового літака на сьогоднішній день становить \$160 млн. Основними експлуатантами машини є Росія (Міністерство оборони, компанії «Волга-Днепр» і «Полёт»), Україна, Лівія та Об'єднані Арабські Емірати [69].

Ще більшим є український транспортний літак Ан-225 «Мрія», спроектований і виготовлений на Київському Механічному Заводі у 1984 – 1988 рр. вантажопідйомністю до 250 т (рисунок 6.47). На даний момент побудовано тільки один екземпляр літака, що належить компанії «Авіалінії Антонова». Ан-225 призначається, в основному, для транспортування багаторазового космічного корабля «Буран» та компонентів його ракети-носія від місця виробництва до космодрому. Літак створений на основі Ан-124, але відрізняється від нього центропланом, більшою довжиною фюзеляжу, двокільовим хвостовим оперенням, відсутністю хвостово-



Рисунок 6.47 – Ан-225 «Мрія»: довжина – 84 м; розмах крила – 88,4 м; висота – 18,1 м; злітна маса – 640 т; тяга двигунів – 6 × 4860 кгс; крейсерська швидкість – 800 км/год; дальність – 15 400 км; стеля – 11 км; корисне навантаження – до 250 т

тований і виготовлений на Київському Механічному Заводі у 1984 – 1988 рр. вантажопідйомністю до 250 т (рисунок 6.47). На даний момент побудовано тільки один екземпляр літака, що належить компанії «Авіалінії Антонова». Ан-225 призначається, в основному, для транспортування багаторазового космічного корабля «Буран» та компонентів його ракети-носія від місця виробництва до космодрому. Літак створений на основі Ан-124, але відрізняється від нього центропланом, більшою довжиною фюзеляжу, двокільовим хвостовим оперенням, відсутністю хвостово-

го вантажного люка, збільшенням кількості стояків основного шасі, системою кріплення зовнішніх вантажів та наявністю двох додаткових двигунів. В іншому, Ан-225 практично повністю відповідає Ан-124, що істотно полегшило й здешевило його створення і експлуатацію. На даний момент Ан-225 є найважчим літаком, що колись піднімався у повітря і володарем близько 250 світових рекордів [69].

**Розвиток вертольотів.** З появою потужних і легких авіаційних двигунів почали більш інтенсивно розвиватись і вертольоти. Дослідні машини будувалися ще в 1930-х рр. в СРСР (Черемухін, Брагухін) [61] і в США (Сікорський – рисунок 6.48). У 1943 р. в США було налагоджено масове



Рисунок 6.48 – Вертоліт І. Сікорського VS-300, 1930 р.

виробництво армійських вертольотів. Широке розповсюдження вертольоти одержали починаючи з 1950-х рр. Радянські конструктори почали розробки серійних машин тільки наприкінці 1940-х рр. У 1951 р. з'явився перший вертоліт М. Л. Міля – Мі-1. Пізніше під його керівництвом були створені ще ряд машин, у тому числі Мі-6 і Мі-10 (рисунок 6.49), що мають по два ТРД, які обертають п'ятилопатевий гвинт [13, 61].



Рисунок 6.49 – Радянський вертоліт Мі-10: екіпаж – 5 чол.; діаметр несучого гвинта – 35 м; довжина – 41,89 м; маса порожнього – 27,3 т; навантаження – до 12 т; макс. швидкість – 180 км/ч; стеля – 2,5 км; дальність – 310 км

На рисунку 6.50 показано, розроблений у КБ А. І. Камова Ка-50 «Чорна акула» – бойовий одномісний ударний вертоліт, призначений для ураження бронетанкової і механізованої техніки, повітряних цілей і живої сили супротивника на полі бою.

Однією з основних конструктивних особливостей Ка-50 є співвісне розташування двох несучих гвинтів, що забезпечує компактність силової передачі, зменшення втрат потужності, а також високі живучість та маневреність машини (Ка-50 може літати боком і задом при вітрі будь-якої сили і на-

прямку). Лопаті гвинтів виготовлені зі спеціального склопластика. Під час випробувань на бойову живучість в одній з лопатей вертольота зробили 30 пробойн з автоматичної стрілецької зброї. Проте це дозволило машині літати без аварій ще 80 год.

Друга особливість «Чорної акули» в тому, що її екіпаж складається з одного чоловіка, який виконує функції пілота і оператора озброєнь, і якому допомагають різноманітні системи автоматизації. Це дозволило зменшити розміри машини і краще захистити пілота-оператора (шляхом застосування

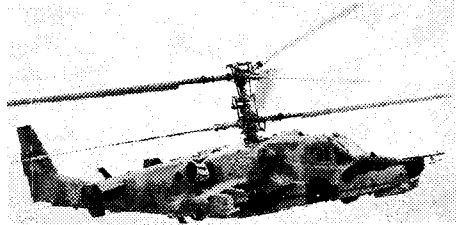


Рисунок 6.50 – Ка-50 «Чорна акула»: діаметр гвинтів – 14,5 м; довжина фюзеляжу – 14,21 м; злітна маса – 10,8 т; бойове навантаження – 2,8 т; двигуни – 2 × 2203 к. с.; екіпаж: 1 чол. макс. швидкість – 390 км/год; дальність польоту – 1180 км; стега – 5,5 км

більш потужного бронювання), котрий до того ж знаходиться у катапультному кріслі.

Як озброєння застосовуються: скорострільні гармати, бомби і ракети різного призначення, в тому числі надзвукові керовані протитанкові ракети «Вихрь», здатні уражати сильно укріплені і броньовані цілі на дистанції 8 – 10 км.

**Перспективи розвитку авіації.** Як раніше, так і у подальшому розробка конструкцій літаків буде здійснюватись, виходячи

з їх призначення, а також основних висунутих технічних вимог [68, 69].

На думку фахівців у військовій авіації першої половини ХХІ ст. будуть існувати такі класи літаків:

- винищувачі для завоювання панування в повітрі;
- винищувачі повітряного бою;
- штурмовики;
- стратегічні бомбардувальники;
- літаки протиповітряної оборони;
- літаючі командні пункти;
- військово-транспортні літаки.

З метою здешевлення будівництва будуть продовжуватись розробки багатоцільових машин (наприклад, винищувач-бомбардувальник і варіанти – штурмовик і перехоплювач). Винищувачі повітряного бою матимуть максимальну швидкість до  $M = 2,6...3$ , а також високу швидкість набору висоти, значні кутові швидкості віражу й інші характеристики, необхідні для повітряного бою на швидкостях до  $M = 1,7$ . Озброєння залишиться комбінованим – ракетно-гарматним. Окрім названих до основних вимог відносяться скорочений пробіг під час зльоту і посадки літака за рахунок керування вектором тяги, а також всепогодність польотів. Розвиток можуть одержати безпілотні бомбардувальники і винищувачі, а також малі літальні апарати одноразової дії для знищення засобів ППО. Маневреність літаків вже зараз забезпечується змінюваною в польоті стрілоподібністю крила, а дальність польоту – дозаправленням паливом у польоті. Дані системи будуть удосконалюватись і надалі. Розглядаються питання створення літаків



великої (необмеженої) дальності з ядерною енергоустановкою, а також гіперзвукових машин на водні, що літають у стратосфері (рисунк 6.51). Розроблювані гіперзвукові системи передбачається оснастити ПРД з надзвуковим горінням. Швидкість таких літаків досягне  $M = 7...15$ , висота польоту – 35 км і більше. Для їх створення необхідно вирішити ряд принципових задач, в тому числі задачі енергооснащеності й охолодження літака [69].



Рисунок 6.51 – Н. Армстронг – перша людина, що побувала на Місяці – біля експериментального гіперзвукового літака Х-15: довжина – 15,45 м; розмах крила – 6,8 м; висота – 4,12 м; злітна маса – 15,42 т; двигун – РРД з тягою 313 кН; макс. швидкість – 7274 км/год; дальність – 450 км; стеля – 108 км

Основними напрямками розробок у військовій авіації найближчого майбутнього будуть:

- створення плазмового обтікання та забезпечення охолодження планера;

- використання теплоти аеродинамічного нагрівання для підвищення енергоресурсів літака;

- удосконалення аеродинамічної форми фюзеляжу;

- автоматизація керування підйомною і боковою силами, а також стійкістю літака;

- автоматизація керування польотом та посадкою літака;

- застосування більш досконалої механізації крила;

- створення нових жаростійких і високоміцних матеріалів [13, 69].

Вказані задачі розв'язуються в Росії (НДІ гіперзвукових систем холодної «Ленінець») і США (НАСА і ВПС). Російська концепція гіперзвукового літака передбачає зменшення аеродинамічного нагрівання шляхом створення навколо планера шару холодної плазми, що дозволить збільшити швидкість на 30%. Для одержання плазми до складу силової установки може бути включений МГД-генератор потужністю до 100 МВт. Розробляється також ідея використання теплоти аеродинамічного нагрівання літака для збільшення його енергоресурсів [69].

## 6.5 Контрольні запитання

1. Якими є основні фактори, що впливають на прогрес у літакобудуванні, наскільки вагомими вони є?
2. Що собою являли перші літальні апарати, створені людиною?
3. Як удосконалювались повітряні кулі та дирижаблі, чому вони були витіснені апаратами важчими за повітря?

4. Що собою являв літак О. Можайського, чому він не зміг піднятися у повітря?
5. Розкажіть про спроби створення літальних апаратів, важчих за повітря, наприкінці XIX – на початку XX ст.?
6. Який внесок зробили брати У. і О. Райт у теорію та практику літакобудування, що собою являв їх перший аероплан, здатний до польоту?
7. Розкажіть про творців аеродинаміки і про їх внесок у створення даної дисципліни.
8. Розкажіть про створення перших вертольотів, а також теоретичних основ їх проектування?
9. Що собою являли літаки першого етапу розвитку авіації?
10. Як змінилась конструкція літаків у «золотий вік авіації»?
11. Якими були передумови впровадження в авіації реактивних двигунів, чому дані передумови склалися тільки до середини 1930-х рр.?
12. Розкажіть про типи реактивних авіаційних двигунів.
13. В яких країнах була вперше створена реактивна авіація, що собою являли перші реактивні літаки?
14. Що собою являють надзвукові та гіперзвукові літаки, які вони мають конструктивні відмінності від дозвукових машин?
15. Що собою являє проблема аеродинамічного нагрівання поверхонь надзвукових літаків, як вона розв'язується?
16. Як в останні роки підвищується маневреність та малопомітність військових літаків?
17. Що собою являють винищувачі 5-го покоління, які переваги вони мають перед літаками попередніх поколінь?
18. Що собою являє стелс-технологія, що дає її використання при створенні літаків?
19. Як розвивалась цивільна авіація?
20. Які проблеми були розв'язані при створенні надзвукових пасажирських літаків?
21. Де і коли були створені надзвукові пасажирські літаки, чому припинили їх експлуатацію?
22. Розкажіть про найбільші у світі транспортні літаки.
23. Що собою являє сучасний бойовий вертоліт?
24. Якими є основні напрямки розробок у військовій авіації найближчого майбутнього?
25. Які основні класи військових літаків будуть існувати у XXI ст., як вони будуть удосконалюватись?

## 7 РОЗВИТОК ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

### 7.1 Виникнення та початковий період розвитку військової техніки

Первісна людина услід за винаходом найпростіших знарядь праці стала створювати й удосконалювати знаряддя полювання і війни. У результаті цього в мезоліті (12 – 7 тис. років до н. е.) з'явилися лук зі стрілами і списи з кам'яними наконечниками.

Рабовласницькі держави Давнього Сходу, Греції і Рима вели практично безупинні війни, що потребувало удосконалення озброєння.

Спочатку було освоєно виготовлення знарядь праці і зброї куванням із самородної міді або мідної руди, пізніше – литтям із бронзи (сплаву міді й олова), яка була більш міцною. Епоха бронзового віку продовжувалася з III по I тисячоріччя до н. е. З бронзи виготовляли сокири, ножі, мотики, кинджали, мечі (II тисячоріччя до н. е.), наконечники стріл. Індивідуально для кожного воїна робили шолом, панцир і поножі. Щити круглої або овальної форми мали дерев'яну раму, обтягнуту шкірою, що окувувалась листовою бронзою. Списи мали довжину близько 2 м, мечі були короткими гострими з двох боків [13, 70].

Приблизно в III тисячоріччі до н. е. у Шумері з'явилися бойові візки на колесах зі спицями. Їх називали колісницями (див. рисунок В.1). Колісниця запрягалась двома конями і спереду мала високий щит, що захищав екіпаж з двох чоловік – воїна і візника [13].

Бронзова зброя була досить дорогою, тому вона остаточно так і не витіснила зброю з дерева і каменю.

Величезним досягненням людства було відкриття способів одержання та обробки заліза, що викликало зростання виробничих сил, сприяло створенню залізної зброї й остаточно витісненню кам'яних знарядь. Залізний меч став основним видом озброєння.

У Єгипті залізо з'явилось приблизно у 2800 р. до н. е. В китайських рукописах про нього вперше згадують в 2357 р. до н. е. Однак широке застосування заліза – «Залізний вік» почалося в Європі приблизно за 1000 років до н. е. Добували його із залізвмісної руди шляхом реалізації сиродутного процесу і подальшого гарячого проковування. Залізні мечі і наконечники списів були знайдені у грецьких похованнях XI – X ст. до н. е. [70]

У першій половині I тисячоріччя до н. е. в античному світі з'явилася сталь, з якої окрім інших знарядь стали виготовляти і зброю. У цей же час почали будувати бойові колісниці зі сталевими осями, колісними спицями та шипами. Згадування про них містяться в Старому Завіті.

Для облоги й оборони міст вже на початку I тисячоріччя до н. е. використовувалися різні спеціальні механізми і машини (рисунок 7.1). Перші рухомі стінопробивні машини на колесах були створені асирійцями в X – VIII ст. до н. е. Постійна військова небезпека змушувала укріплювати міста стінами, ровами, насипами [4].

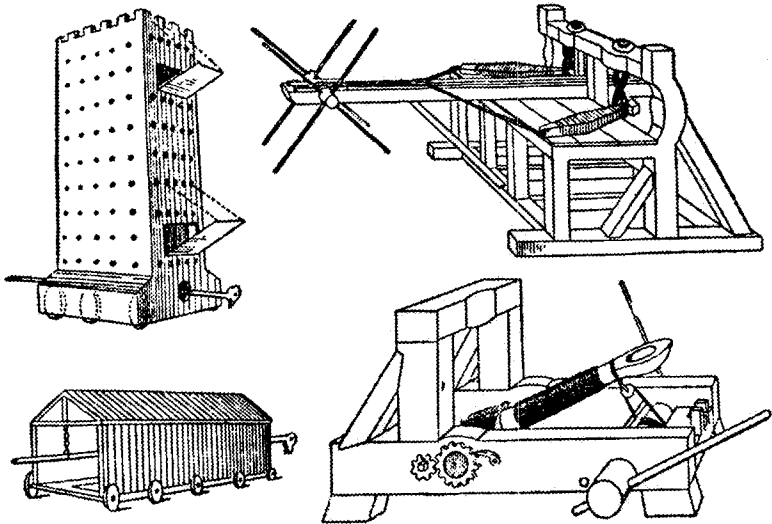
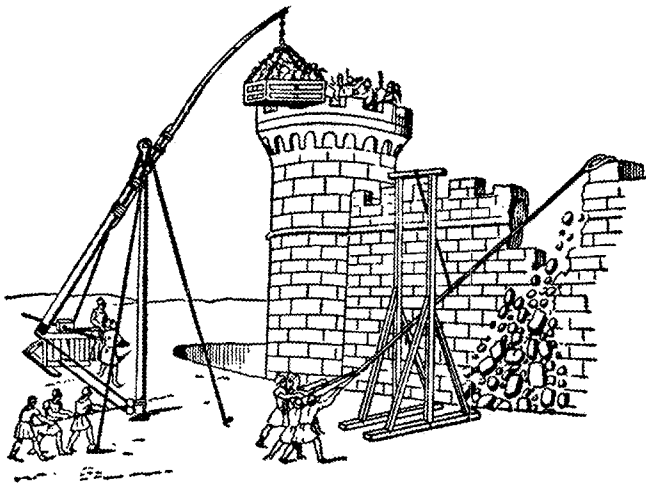


Рисунок 7.1 – Воєнні машини стародавніх часів

Грецький механік Деметрій Поліоркет створив укриття для воїнів – «черепahi» – для проведення земляних робіт, а також тарани, пересувні галереї для безпечного підходу до стін, гелеополю – дев'ятиповерхову пересувну вежу на восьми колесах, обшиту листами заліза (див. рисунок 7.1). Висота гелеополю досягала 53 м. Її підводили впритул до фортечної стіни і по перекидних містках воїни йшли на приступ [4, 13].

У V – IV ст. до н. е. Діонісій Сіракузьський винайшов потужні машини для кидання каменів – балісти, а також списів і стріл – катапульти (див. рисунок 7.1). Деякі їх зразки важили до 6 т і здатні були кидати стріли і камені масою 150 – 200 кг на відстані 500 – 1000 м (див. рисунок 1.21) [3].

При Олександрі Македонському (IV ст. до н. е.) Діадом були створені розбірні облогові вежі, свердел для свердління фортечних стін, переносні драбини і тарани. У польовому бою досить ефективними виявились довгі (до 6 м) списи – саріси і тактика їх застосування македонською фалангою (див. рисунок 0.2) [8, 10].

Для ведення маневрового бою на пересіченій місцевості давніми римлянами було відпрацьоване вишукування війнів маніпулами (див. рисунок В.3), яке в більшості випадків було найбільш дієвим [2].

Під час облоги римлянами Сіракуз у 213 – 212 рр. до н. е. Архімед побудував машини для кидання великих брил каменю і колод, пристрої для перекидання бойових кораблів супротивника і дзеркала для їх запалювання. Завдяки цим машинам штурм міста було зірвано, римляни були змушені перейти до тривалої облоги Сіракуз і тільки внутрішні роздори у місті дозволи їм його захопити [13].

У V – IV ст. до н. е. був вперше виготовлений гастерофет – лук з механічним пристосуванням для натягування тятиви, а також полібола – кидальна автоматична машина. Полібола дозволяла вести автоматичну горизонтальну стрільбу стрілами. Натягування тятиви, подача стріл і стрільба здійснювалися за допомогою замкненого ланцюга, що приводився в рух коловоротом. Метальні пристрої оснащувалися прицільними пристосуваннями. Прицільна дальність стрільби складала 200 кроків [7, 9].

У 671 р. сирійський майстер Калліник винайшов метальний снаряд з «грецьким вогнем» – запальною сумішшю із селітри, сірки, нафти, смоли й інших речовин. «Грецький вогонь» використовувався проти фортець і проти суден супротивника. Відомо, що князь Ігор був відбитий у 941 р. від стін Константинополя за допомогою «грецького вогню» [8, 13].

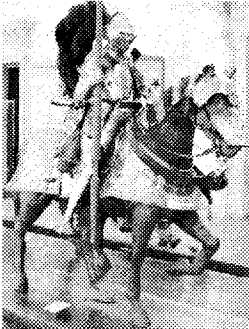


Рисунок 7.2 – Лати середньовічного лицаря та його коня

У середні віки основною залишалася холодна зброя. З'явилася лицарська кіннота, закована в лати, що проіснувала з VIII до XIV ст. Лицарі були озброєні піками і прямими гострими з двох боків довгими мечами. Для захисту використовувались шолом, лати і щит. Бронєю захищали і коня (рисунок 7.2) [70].

На Сході в цей час зброєю служили криві шаблі з лезом на зовнішній стороні, на Русі – прямі мечі і шаблі. Легка кавалерія озброювалася мечами, списами, сокирами, палицями і булавами. Залишалися на озброєнні лук і стріли (рисунок 7.3). З часу хрестових походів широке розповсюдження одержала кольчуга, яка на Русі й у країнах Сходу була відома

з VI ст. Піші воїни – піхота – були озброєні списами, шаблями, алебардами, гаками для стягування кінних супротивників із сідел [70].



Рисунок 7.3 – Давньоруський богатир

У IX ст. з'явився арбалет – пристрій на основі лука з механізмом натягування тятиви для стрільби залізними стрілами і свинцевими кулями (рисунок 7.4). Пробивної сили було достатньо для ураження лицарів [9, 13].

У Середні віки продовжували використовуватись грецькі і римські облогові машини. Чингіз-хан у своїх західних походах осаджував фортеці за допомогою китайських стінопробивних і металних машин. У Західній Європі застосовувались арбалети, що стріляли колодами, гаки – руйнівники стін, пересувні шти і т. д. На Русі стінопробивні і металні знаряддя з'явилися в період татаро-монгольської навали (XIII ст.) [4].

Наступний етап розвитку озброєнь пов'язаний з винаходом пороху.

Димний порох – вибухова суміш калієвої селітри, сірки і деревного вугілля – з'явився в Китаї на початку нашої ери (за іншими відомостями – у VIII – IX ст.). Перше згадування про використання пороху як заряду «китайських вогненних списів» – ракет з бамбуковою тичиною в ролі стабілізатора – міститься в китайських рукописах 1232 р. З Китаю порох потрапив у Візантію, а в XIII – XIV ст. поширився в Європі. Один з перших європейських рецептів пороху був складений Роджером Беконом у XIII ст., а в XIV ст. чернець Бертольд Шварц остаточно відкрив секрет пороху [10, 13].

З винаходом пороху у військовій техніці відбувся справжній переворот. З'явилися нові види зброї – артилерія і вогнепальна стрілецька. Змінилась тактика ведення боїв, знизилось значення лицарської кінноти.

Спочатку порох виготовлявся у вигляді порошку, а з 20-х рр. XV ст. було освоєно виробництво зернистого пороху, що мав кращі бойові якості. У 1340 р. в Аугсбурзі (Баварія) був побудований перший у Європі пороховий завод [70].

## 7.2 Артилерія

У XIII – XIV ст. артилерія швидко поширилася в Західній Європі, з'явилася на Русі, у країнах Близького та Середнього Сходу. Спочатку артилерійські стволи робили із залізних смуг, скріплених обручами. Пізніше почали лити з бронзи та з чавуну. Всередині стволи були гладкостінними, за-

ряджалися з дула. Спочатку в ствол засипався порох, потім заковувалось сферичне суцільне ядро з каменю, свинцю або заліза. Порох підпалювався через отвір в казенній частині гармати [1, 2].

Кам'яні ядра були занадто важкими, ламкими і їх доводилось досить довго обтесувати. Тому з XV ст. ядра виготовляли вже, в основному, з чавуну, що дозволило зменшити їх масу (до 5 – 10 кг), а отже й масу гармати і, таким чином, підвищити рухомість артилерії [13, 70].

Перші гармати мали вигляд ступок (французькою «мортира»). Маса і розміри їх були порівняно невеликими. З XV ст. стволи почали виготовляти з боковими виступами – цапфами і установлювати на колісні лафети. Гармати із широким дулом на Заході називали бомбардами (рисунок 7.5).

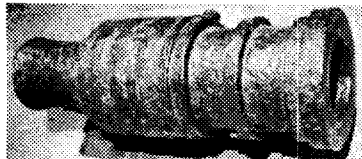


Рисунок 7.5 – 200-кілограмова бомбарда з кованого заліза

На Русі вони отримали назви «гармати» і «матраци», в інших країнах – серпентини («змійки»), кулеврини («вужі») і т. д. З кінця XIV ст. гармати стали установлювати на кораблях – першими англійці в 1373 р.

Залежно від відношення довжини ствола до його калібру і за формою траєкторії польоту снаряда артилерію розділили на гармати – системи з настільним вогнем, мортири – з нависним і гаубиці, що займали проміжне положення. Мортири і гаубиці використовували для руйнування фортець та земляних укріплень. Мортири проіснували до початку Першої світової війни [8, 10].

У XVI ст. почали застосовувати розривні ядра, що скручувалися з двох половин. Усередині такого ядра розташовувався порох зі шматками металу. Ядро оснащувалося гнотом, що повільно горів [4].

У 1586 р. майстер А. Чохов у Москві відлив «Цар-пушку» (рисунок 7.6), що знаходиться зараз у Московському Кремлі. Маса ствола цієї гармати 4 т; довжина ствола 5,5 м; калібр 900 мм [4].

Значну реформу своєї артилерії провів на початку XVII ст. шведський король Густав Адольф. Окрім польових гармат, що об'єднувались в окремі спеціалізовані артилерійські полки, він ввів і полкові 3 – 4-дюймові гармати, що передавались піхотним полкам і, разом із лафетами на високих колесах, додатково комплектувались двоколісними передками (див. рисунок 1.44). Лафет і передок утворювали чотириколісну систему, стійку і здатну повертати під прямим кутом. В зарядних ящиках передків возили до 100 картузів (полотня-

Рисунок 7.6 – Цар-пушка: калібр – 890 мм; довжина – 5,34 м; маса – 39,31 т; маса ядра 2 т; маса заряду 480 кг

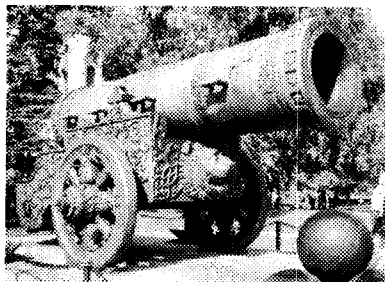


Рисунок 7.6 – Цар-пушка: калібр – 890 мм; довжина – 5,34 м; маса – 39,31 т; маса ядра 2 т; маса заряду 480 кг

них мішечків з ядрами та порохом), що являли собою готові заряди і дозволяли гарматам відкривати вогонь практично з ходу. З новими гарматами шведи підкорили більшу частину Європи і були зупинені тільки армією Петра I [2].

У XVII ст. з'явилася гранатна картеч, а з XVIII ст. снаряди почали ділитися на фугасні й осколкові. Дальність стрільби досягла 1000 м. Вже тоді робились спроби виготовити нарізні стволи, а також стволи із затвором, що заряджалась з казенної частини. Однак масове виробництво таких гармат у той час з технологічних причин було неможливим. Воно було розгорнуто набагато пізніше – у XIX ст. [13].

У XVIII ст. А. К. Нартов сконструював верстати для свердління каналу ствола та обточування його цапф. Крім цього, Нартовим була створена скорострільна батарея із 44 трифунтових мортир, запропоновані оптичні приціли та нові оригінальні запали [4, 13].

Удосконалювалися артилерійські системи, створювалася теорія артилерійської справи. У 1728 р. академік Російської Академії наук І. Лейтман розробив початки теорії нарізних гармат і показав, що для поліпшення балістики слід переходити до довгастих снарядів. У 1730 р. Лейтман запропонував виготовляти стволи з каналами еліптичного поперечного перерізу. Л. Ейлер уклав таблиці для стрільби з гармат [6, 8].

У 1744 р. полковник М. А. Толстой запропонував гвинтовий механізм підйому ствола для прицільної стрільби. У XVIII ст. А. К. Нартов, М. Г. Мартинов і М. В. Данилов створили подовжену гаубицю, що за фігуркою міфічного звіра, відлитого на стволі, одержала назву «Єдиноріг» (рисунок 7.7). Єдинороги використовувалися всіма основними арміями, в

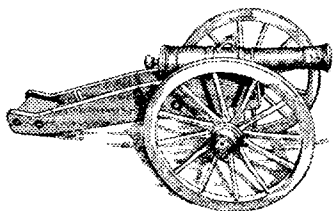


Рисунок 7.7 – Російська гаубиця «Єдиноріг»

Росії вони знаходились на озброєнні до 30-х рр. XIX ст. Ця гаубиця мала довжину ствола до 10 калібрів і конічну комору, пристосовану для стрільби усіма видами боєприпасів – ядрами, бомбами, запальними снарядами – дальність до 2,5 км, картечю – до 350 м [71].

У 1803 р. англійський офіцер Х. Шрапнел запропонував для ураження піхоти розривну гранату, що заряджалась кулями і оснащувалась дистанційною трубкою. У 1808 р. англійці вперше застосували шрапнель проти наполеонівських військ. У 1820 р. француз Пексан винайшов фугасну бомбу-гранату, що підвищило здатність артилерії до руйнування міцних споруд, фортець та кораблів [10, 13].

Розвиток хімії і хімічної промисловості дозволив удосконалити бойові вибухові речовини. У 1846 р. Штейнбейн винайшов піроксилін, а в 1847 р. Собреро вперше отримав нітрогліцерин. В напрямку створення нових вибухових речовин працювали Н. Н. Зінін, В. Ф. Петрушевський, А. Нобель та інші. Використання нових речовин дозволило підвищити бойову міць



артилерії. У 1830-х рр. на запалювальні отвори гармат замість палаючого гнота почали установлювати пістонні пристрої з курками для запалювання пороху [6, 8].

Найбільш важливим удосконаленням гармат був перехід до нарізних стволів. У 1845 р. італієць Каваллі запропонував одну з перших гармат, ствол якої мав всередині два нарізи. В нарізи входили виступи снаряда, що був циліндричної форми з конічною головкою. Заряджалась гармата з боку казенної частини, що закривалась спеціальним затвором. Випробовування вразили всіх. На дистанції 5 км снаряд відхилився всього на 5 м. Але затвор Каваллі не здатний був надійно закривати ствол. У 1850 р. француз Тамізьє створив гарматний ствол з трьома нарізами, але він заряджався з дула. Німецький фабрикант Ф. Крупп винайшов клиновий затвор, що надійно закривав казенник. У 1864 р. Крупп розпочав масовий випуск сталевих казнозарядних гармат (рисунком 7.8). Снаряди для них не мали виступів, але покри-

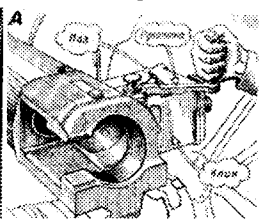
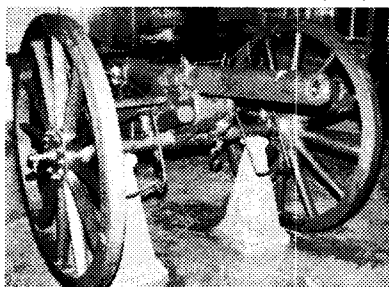


Рисунок 7.8 – Гармата і затвор А. Круппа

пів, але покривались свинцевою оболонкою. Діаметр снаряда був більшим за діаметр каналу ствола, тому під час пострілу снаряд тісно втискався в на-

різи. Вже не було прориву газів і снаряд летів далі і точніше [4, 7].

Через три роки Росія також взяла на озброєння казнозарядні нарізні польові гармати з клиновим затвором, але з бронзовими стволами. Крупп вже з 1850 р. відливав сталь, а в Росії цього робити тоді не вміли. Гірничий інженер П. Обухов освоїв тигельне виплавляння сталі й у 1860 р. у Златоусті відкрив фабрику з її виробництва. У 1865 р. у Петербурзі побудувати завод для виготовлення сталевих гарматних стволів, що дозволило з 1877 р. замінити бронзові гармати на сталеві [71].

У 1884 р. француз П. В'єль винайшов бездимний порох або Poudre В, що виготовлявся на основі желатинізованого піроксиліну, змішаного з ефіром і спиртом. У процесі виробництва склад пропускали через валики, після чого тонкі листи пороху розрізали на пластівці потрібного розміру. Великою перевагою нової вибухівки було те, що вона не детонувала за відсутності достатньо високого тиску, і це робило її досить безпечною [13].

Порох В'єля зробив справжню революцію у артилерії і вогнепальній стрілецькій зброї. По-перше, при стрільбі Poudre В практично не було диму, тоді як раніше після декількох пострілів з використанням чорного пороху поле зору солдат сильно звужувалося через клуби диму [6, 9].

Poudre В забезпечував вищу початкову швидкість та прямішу траєкторію польоту снаряду чи кулі, що підвищувало точність і дальність стріль-

би. Оскільки Poudre В був у 3 рази потужнішим за чорний порох, його було потрібно набагато менше. Боеприпаси полегшали, що дозволяло військам мати їх у більшій кількості [4].

Снаряди і набої з новим порохом спрацьовували навіть мокрими, тоді як ті, що були заряджені чорним порохом, мали зберігатись у сухому місці і перевозитись в упаковці, яка захищала від вологи.

Крім цього, чорний порох залишав на стволах зброя тонкий і грузлий наліт, що був гігроскопічним і призводив до корозії. Бездимний порох позбавлений даних негативних якостей і це дозволяло при його використанні реалізувати автоматичне перезарядження зброї, що складалась з великого числа рухомих частин.

Але з початком впровадження бездимного пороху в артилерії виникли й нові проблеми. Зокрема, відбій від нової потужної вибухівки призводив до швидкого руйнування лафетів гармат. Для його подолання російський інженер П. Енгельгард сконструював лафет з рухомою рамою, що при пострілі зміщувалась назад і впиралась у каучуковий буфер. Француз Баке у 1891 р. запропонував ствол гармати накладати на маленький лафет, що при відбої відкочувався назад, тоді як основний лафет залишався нерухомим. Відкочування і повернення ствола забезпечував гідропневматичний пристрій, що працював на суміші води і гліцерину [10].

Друга половина XIX ст. ознаменувалася швидким розвитком артилерійської науки. Були розв'язані найважливіші задачі балістики та проектування артилерійських систем, виходячи із заданої міцності ствола. Зокрема, Н. Л. Чебишов у 1856 р. провів дослідження стійкості снарядів у польоті. А. В. Гадолін розробив теорію проектування стволів гармат заданої міцності, створив теоретичні і практичні основи виробництва великокаліберних гармат. Особливо важливими для підвищення точності стрільби і надійності артсистем були роботи, виконані Н. В. Масевським, що визначив тиск порохових газів у стволі гармати, опір повітря під час польоту сферичного снаряда, розв'язав проблему забезпечення оптимального обертального руху снарядів. Крім цього, Масевський займався проектуванням нарізних гармат 8 – 10-дюймового калібру, а також гарматних замків. У 1867 р. на Обуховському заводі була виготовлена перша 9-дюймова гармата системи Масевського (рисунок 7.9). Йшло удосконалювання балістики стволів, противідкатних пристроїв, прицілів. Розроблялись нові види боеприпасів [71].

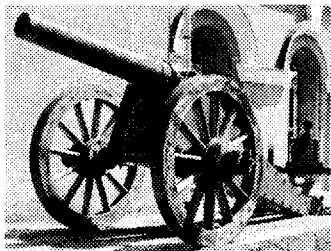


Рисунок 7.9 – Гармата Обуховського заводу

Прагнення підвищення скорострільності артилерії призвело до створення багатоствольних систем – мітральєз (картечних), які мали невеликий калібр, але через значні розміри та масу установлювались на колісній лафеті і прирівнювались до польової артилерії. Однією з перших мітральєз була гар-

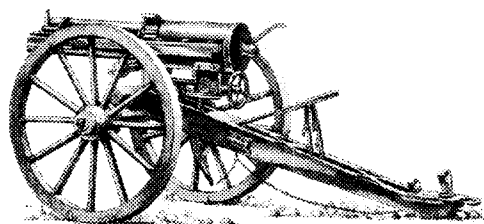


Рисунок 7.10 – Гармата Гатлінга

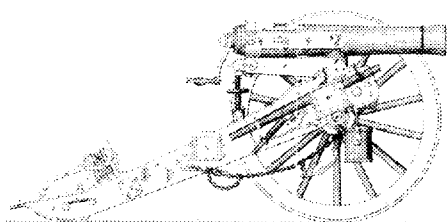


Рисунок 7.11 – Картечниця Реффі

мата Гатлінга, яка мала обертовий блок з 6 стволів (рисунок 7.10). До казенної частини стволів подавалися набойі. З такої гармати можна було робити до 200 – 300 пострілів за хвилину і уражати супротивника на дистанції до 1 км. Мітральєза Ж. де Реффі (рисунок 7.11) мала 25 нерухомих стволів калібру 13 мм. Стрільба велася залпами зі швидкістю 125 – 150 пострілів за хвилину, подача набойів здійснювалася з обоїми, яка після залпу замінювалася. До загальних недоліків мітральєз відносяться громіздкість, складність, низька надійність та недостатня точність бою [70].

У 1883 р. пройшов випробування станковий кулемет Х. Максима, (див. рисунок 1.73), який був прийнятий на озброєння практично повсюдно. Внаслідок цього, питання про удосконалення мітральєз було зняте [13].

Для пересування артилерійських гармат у другій половині XIX ст., як і на початку XVIII ст., в основному застосовувалася кінна тяга. На залізничні платформи гармати були вперше установлені під час громадянської війни в США (1860-і рр.). Були також спроби використання парових артилерійських тягачів, але остаточно проблема транспортування гармат була вирішена вже в XX ст. з появою двигунів внутрішнього згоряння [13, 70].

Наприкінці XIX ст. артилерія являла собою один з найпотужніших родів військ. Вона втілювала вогнюву міць армій, а її вогонь став основним засобом у бою. Починаючи від франко-пруської війни 1870 – 71 рр. підвищуються далькострільність, точність та скорострільність гармат і гаубиць, зростає розмаїття артилерійських систем та рухомість артилерії в цілому [70].

На початку XX ст. на озброєння всіх основних армій були прийняті численні зразки нових сталевих нарізних гармат. У 1900 р. у Росії з'являється 3-дюймова (76-мм) польова швидкострільна гармата, а за 2 роки й її покращений варіант з броньованим щитом та панорамним прицілом

Рисунок 7.12 – Російська 76-мм польова гармата зразка 1902 р. (тридюймовка)

(рисунок 7.12). Відбій ствола гальмувався гідравлічним компресором та сталеву пружиною. Скорострільність сягала 15 пострілів за хвилину, а дальність стрільби – 8,5 км. Це було найкраще польове знаряддя світу [71].

У 1905 р. капітан російської армії Л. Н. Гобято запропонував новий вид артилерійського озброєння – міномет. Міномети (рисунок 7.13) широко використовувалися під час Першої світової війни арміями країн Антанти і німецькою армією, але в Росії були прийняті на озброєння лише в 1916 р. [71].



Рисунок 7.13 – Американський 60-мм міномет

Протягом Першої світової війни у воюючих країнах була створена безліч зразків легких польових гармат і гаубиць, важких знарядь, зенітна, протитанкова та траншейна артилерія. Дальність стрільби гаубиць зросла у 1914-18 рр. на 25%, гармат – на 30%. Німеччина побудувала шість надпотужних гармат типу «Колоссаль» (рисунок 7.14) зі стволом довжиною 28 м, калібром 210 мм, загальною масою близько 256 т і дальністю стрільби до 130 км. З них німці обстрілювали Париж. Унікальна далекобійність знаряддя обумовлювалась, в першу чергу, тим, що випущений з нього снаряд рухався в стратосфері (на висоті до 40 км) з високою швидкістю і при мінімальному опорі повітря [10, 13].

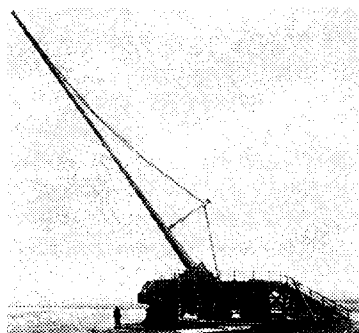


Рисунок 7.14 – Німецька 210-мм наддалекобійна гармата «Колоссаль»

Для транспортування артилерії в даний період, в основному, використовуються залізничні платформи, а також трактори і тягачі з паровими двигунами й ДВЗ.

Для транспортування артилерії в даний період, в основному, використовуються залізничні платформи, а також трактори і тягачі з паровими двигунами й ДВЗ.

До кінця Першої світової війни близько чверті всіх артилерійських боєприпасів воюючих армій становили хімічні снаряди з хлором, хлорпікрином, фосгеном, іпритом [70].

У 1920 – 30-х рр. артилерійські системи повсюдно модернізували, розроблялись нові зразки гармат різного призначення. Основними тенденціями розвитку були збільшення далекобійності, скорострільності, рухомості і вогневої потужності. Створювалася спеціалізована самохідна, зенітна і важка артилерія. Важкі і далекобійні гармати й гаубиці ставилися на гусеничний хід і залізничні транспортери. Збільшувалася частка гаубичних і мінометних систем.

У СРСР артилерія була поділена на батальйонну (комплектувалася мінометами, а також 37 і 50-мм гарматами), полкову (зі 107 і 120-мм мінометами, 76-мм гарматами), дивізіонну (з 76-мм гарматами, 122 і 155-мм важ-

кими гаубицями), корпусну (з важкими гарматами і 155-мм гаубицями) і артилерію резерву головного командування (з 220-мм гарматами, 203 і 305-мм гаубицями) [71].

У кожній із країн в невеликій кількості на озброєнні знаходились гармати надвеликого калібру: у США – 355- і 406-мм, у Німеччині – 355-, 380-406-, 420-, 600-, 807-мм (рисунок 7.15), у СРСР – 305- і 406-мм. Морські далекобійні гармати установлювалися на залізничні транспортери і використовувалися для берегової оборони, руйнування укріплень і контрбатарейної стрільби.

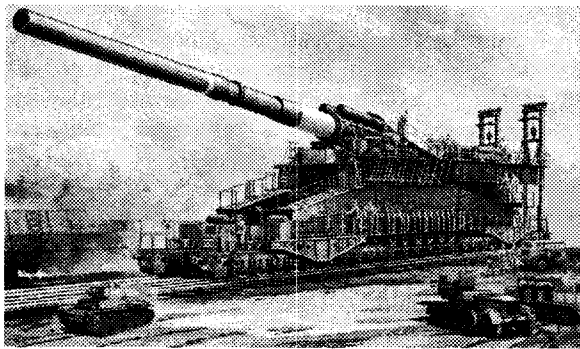


Рисунок 7.15 – Унікальна надважка залізнична німецька гармата: калібр 807 мм; довжина ствола 32 м; маса снаряда 7,1 т; дальність стрільби 40 км; загальна маса 1448 т; скорострільність 3 постр./год; пробивна здатність: броня – до 1 м; бетон – до 8 м

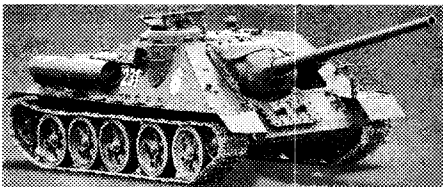


Рисунок 7.16 – Радянська артилерійська 100-мм установка СУ-100

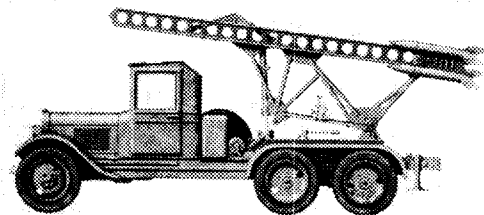


Рисунок 7.17 – Радянська бойова машина реактивної артилерії БМ-13

Протягом Другої світової війни значний розвиток одержали зенітна, протитанкова, реактивна і самохідна артилерія. У СРСР були створені самохідні артилерійські установки СУ-57, 76, 85, 100, 122, 152, ІСУ-122, 152 (рисунок 7.16) [71].

Німеччиною використовувалися самохідки «Фердинанд», «Ягдпантера», «Ягдтигр».

Ще до початку війни радянськими ученими та інженерами

була створена високоефективна реактивна артилерія залпового вогню – установки БМ-13 («Катюші») (рисунок 7.17) та інші. Калібр снарядів даних установок становив від 82 до 300 мм; дальність стрільби – від 4 до 12 км [13, 71].

Основна відмінність між ствольною і реактивною артилерією полягає в розміщенні кидального пристрою. У першому випадку він знаходиться на пусковій установці (гармата), а у випадку реактивної артилерії – на самому снаряді (ракеті). Артилерійсь-

кі снаряди значно простіші і дешевші за ракети, але розгін снаряду тривав доки він знаходиться в каналі ствола, що змушує створювати в останньому значні тиски порохових газів, які передаються і на самий кидальний пристрій. Це, у свою чергу, призводить до збільшення масогабаритних характеристик системи наведення, затворної частини і зняття в цілому. Крім цього, високі ствольні швидкості негативно позначаються й на дальності пострілу – снаряду доводиться переборювати зайвий опір повітря на початковому етапі польоту [70].

Сучасні реактивні системи залпового вогню (рисунк 7.18) призначені



Рисунок 7.18 – Радянська реактивна установка залпового вогню 9А52-2 «Смерч»: калібр – 300 мм; дальність стрільби – до 90 км; кількість напрямних – 12; площа ураження – 672000 м<sup>2</sup>

для нанесення ударів по площах. На пусковій установці розміщена велика кількість готових до пострілу снарядів, що запускаються через короткі проміжки часу. Окрім високої ефективності, пов'язаної з гарантованим ураженням цілі, навіть у випадку її маневру або промаху системи, забезпечується ще і значний психологічний вплив на супротивника – зона в області цілі за розповідями тих, хто вижив, на короткий час «перетворюється на пекло» [71].

У післявоєнний період артилерія була оснащена досконалими засобами оптичної і радіолокаційної розвідки, приладами керування вогнем, радіозв'язку і т. д. Прийняті на озброєння нові артилерійські системи і боеприпаси, включаючи ядерні для 155- і 203-мм гаубиць, системи залпового вогню і т. д. У 1960 – 80 рр. були створені 100-, 115- і 125-мм гладкоствольні танкові і протитанкові гармати, 122-, 140-, 220-мм 40-трубні установки залпового вогню, системи самохідної артилерії, 122-, 152, 203- і 240-мм гармати для ВМФ, 30-, 57-, 76-, 130- і 160-мм скорострільні установки [10, 13].

### 7.3 Вогнепальна стрілецька зброя

Ручна вогнепальна зброя відокремилася від артилерії у XV ст. Ранні зразки її називали ручними гарматами, бомбардами і петронеллами, а на Русі – рушницями. По суті це були ті ж самі гармати, але зменшені для можливості стрільби з рук (рисунк 7.19). Стволом служила порівняно коротка бронзова або залізна трубка. Один кінець трубки був закритий і переходив у суцільний стержень, закріплений на дерев'яному ложі. Через низьку міцність сталі того часу стінки трубки доводилось робити товщиною в сантиметр [13, 70].



Рисунок 7.19 – Бомбарда і петронелла

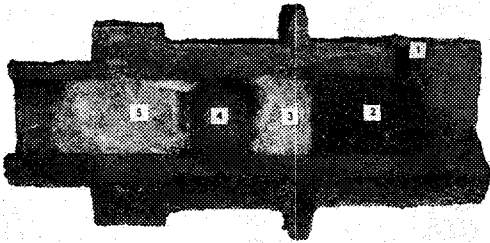


Рисунок 7.20 – Заряд стародавньої пищалі: 1 – запальний отвір; 2 – пороховий заряд; 3 – ущільнювальний пиж (клоччя); 4 – куля; 5 – фіксуєчий пиж

зброя була готова до бою. Рушниця упиралася в плече стрільця або в міцну підставу. Помічник стрільця тліючим гнотом запалював заряд [13].

З часом зброю удосконалили: подовжили до 80 – 100 см ствол, зробили вигнутим приклад, обладнали прицільне пристосування, запальний отвір з поличкою виконали збоку. Називали такі зразки кулевринами (рисунок 7.21) [4, 8].

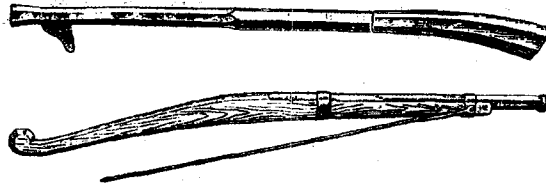


Рисунок 7.21 – Кулеврини

При натисканні на гачок гніт притискався до полиці з порохом. За час бою встигали вистрілити не більше десяти разів. Така зброя називалася серпентинном, аркебузою або пищаллю. Потім з'явився пружинний гнотовий замок з курком. Рушниці з такими замками з довжиною ствола 100 – 120 см і калібром 20 – 23 мм у XVI ст. одержали назву мушкетів (рисунок 7.22). Важили мушкети близько 6 кг. За точністю стрільби мушкет поступався арбалету, інтервал між пострілами займав кілька хвилин. Однак випущена з мушкета куля пробивала лицарські обладунки, тому його називали зброєю бюргерів [4, 13].

Для здійснення пострілу порох після відмірювання заряду засипався в ствол (рисунок 7.20), зверху заряд ущільнювався за допомогою шомпола пижем зі шкіри, повсті або

клоччя, далі заковувалась свинцева чи залізна куля сферичної форми, що фіксувалась ще одним пижем для запобігання викочуванню зі ствола у випадку нахилення його вниз при прицілюванні. Після цього залишалось насипати запал пороху з порохівниці на полицю, усередині якої знаходився запальний отвір, що сполучався з порожниною ствола, у якій знаходився пороховий заряд, і тільки тоді

Наприкінці XV ст. до ствола прилаштували S-подібний підпружинений важіль на шарнірі з прикріпленням на одному кінці тліючим гнотом. При натисканні на гачок гніт притискався до полиці з порохом.

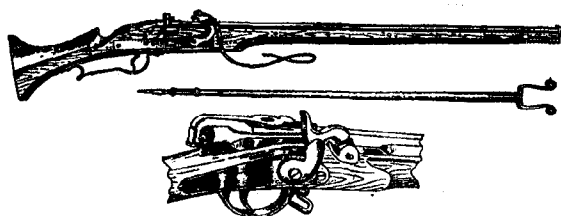


Рисунок 7.22 – Мушкет, підставка для мушкета та його казенна частина

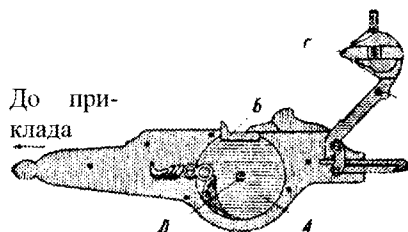


Рисунок 7.23 – Кременний колесцевий замок

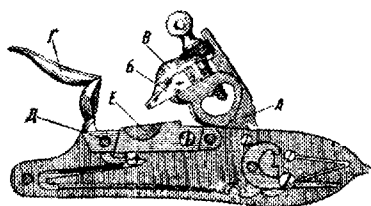
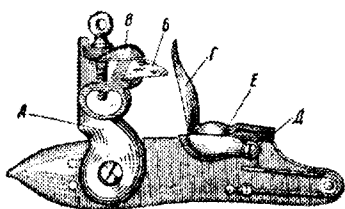


Рисунок 7.24 – Ударний кременний замок

На початку XVI ст. був винайдений іскровий кременний замок, а потім і кременний колесцевий замок (рисунок 7.23). Винахідниками останнього вважають Даннера з Нюрнберга (1504 р.) і Етгора з Фландрії. Нюрнберзький замок мав колесо з

насічкою (колесце) і пружиною, що зводилася ключем. Кремень курка при спуску вдарявся в колесце, що оберталося, і висікав іскри, які запалювали заряд. Пізніше з'явився ударний кременний замок (рисунок 7.24). Вогонь у ньому висікався при ударі кременя по сталевому кресалу. З таким замком виготовлялися і кавалерійські пістолети [13].

Будова зброї залишалася простою. Конструкція гладкоствольної рушниці з кременним ударним замком і заряджаням з дула в основному збереглася до першої половини XIX ст. Дійсний вогонь з рушниць вівся на 60 м. У XVII ст. рушниця одержала багнет – «байонет» – за назвою міста французького Байонн, де його винайшли. Спочатку багнет вставлявся у ствол, а з XVIII ст. став одягатися на нього. Довжина рушниць в цей період становила з багнетом до 180 см, вага дорівнювала 5 – 5,5 кг, калібр – 19 – 20 мм. Круті свинцеві кулі летіли на відстань 300 кроків, але частіше стріляли не далі 100 кроків.

Нарізні рушниці (штуцери і карабіни) були відомі ще у XVI ст. Але, незважаючи на очевидні переваги за дальністю і точністю стрільби, використовувалась дана зброя обмежено, в першу чергу, через значну тривалість перезаряджання (до 5 хвилин), що здійснювалось, як і для гладкоствольних рушниць, через дуло.

У 1799 р. англійський хімік Е. Говард вивчав властивості сполучення гримучої ртуті з селітрою. Випадково з'ясувалось, що дана суміш здатна



вибухати від сильного удару. З 1807 р. її починають використовувати у флакончиках, що входили до складу запалювальних механізмів рушниць. У 1810-х рр. одразу декілька англійських винахідників патентують пістони (стрічки вошеного паперу, між якими вклеювався згаданий вище ударний склад), а також капсулі (мідні ковпачки із запалювальним складом всередині). При ударі під час спуску курка об пістон чи капсуль висікався вогонь. Капсулі застосовувались спочатку окремо від порохового заряду та кулі (були створені капсульні рушничні замки), але пізніше увійшли до складу унітарного набюю (рисунок 7.25), в корпусі (гільзі) якого знаходились капсуль, заряд пороху та конічна куля. Капсулі не давали осічок і надійно працювали в дощ, туман і холод. Постріл відбувався відразу після нагнісання на спуск; велика швидкість запалювання заряду сприяла підвищенню точності стрільби [72].

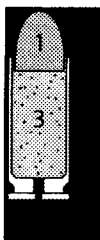


Рисунок 7.25. Унітарний набій: 1 – куля; 2 – гільза; 3 – заряд пороху; 4 – днище; 5 – капсуль

Для забезпечення обертального руху кулі французи професор Тамізьє та капітан Міньє запропонували ствол зі збільшеною до дула кривизною. Конічна куля мала заглиблення в задній частині. Вона опускалась у ствол вільно, а під час пострілу під тиском порохових газів дещо збільшувалась у діаметрі і втискалась у нарізи. Інший спосіб закручування кулі винайшов офіцер брауншвейгської армії В. Бернерс. Його куля була сферичною, але з ободком, що входив у нарізи каналу ствола, по яких куля рухалась як по рейках [70, 72].

У 1832 р. француз Лефосе виготовив першу казнозарядну рушницю (рисунок 7.26), пізніше німець Дрейзе сконструював «голчасту» нарізну рушницю з ковзним затвором, яка заряджалась унітарними набоями зі сторони ствольної коробки (рисунок 7.27). Скоро-

стріальність сягала 10 пострілів за хвилину; дальність пострілу – 600 м. У 60-х рр. XIX ст. рушниця Дрейзе була прийнята на озброєння пруської армії. Нова зброя буквально косила ряди піхотинців супротивника. У 1866 р. під час бою прусаків з австрійцями під Трауте втрати останніх від вогню рушниць Дрейзе були втричі більшими [13, 72].

У 1861 р. француз К. Потте винайшов унітарний набій центрального запалення з паперовою гільзою, яку пізніше англієць Е. Боксер запропонував замінити на суцільнометалеву [13].

Із середини XIX ст. для всіх нарізних рушниць затвердився термін «гвинтівка» [72].

Поява унітарного набюю з металевою гільзою дала поштовх для створення нових зразків гвинтівок найрізноманітніших конструкцій. В ос-

Рисунок 7.26 – Казнозарядна рушниця Лефосе

Рисунок 7.26 – Казнозарядна рушниця Лефосе

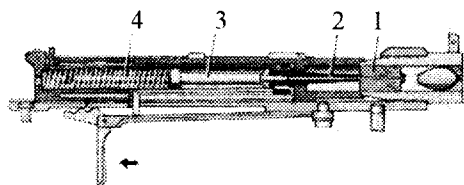
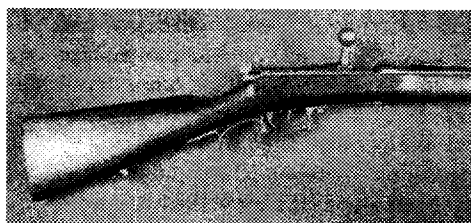


Рисунок 7.27 – Казенна частина з прикладом (зверху) та схема затвора рушниць Дрейзе: 1 – пороховий заряд; 2 – голка; 3 – затвор; 4 – пружина

новному розвитку йшов у напрямку удосконалення затворів. З'явилися відкидні (перший зразок затвора даного виду винайдений С. Крнка), поворотні (Ф. Верндля), хитні (Г. Пібоді, США) і ковзні затвори. Кращими виявилися поздовжньо-ковзні затвори, запропоновані американцем Х. Берданом і братами П. і В. Маузер (1871 р., Німеччина).

Найбільш розповсюдженими наприкінці XIX ст. були гвинтівки систем Верндля, Бердана, Маузера, Манліхера, Нагана, Ремінгтона, Снайдера й інших [13, 72].

Поява набоїв з латунною гільзою, а також прагнення підвищення скорострільності стимулювали створення багатозарядних гвинтівок з магазинами. Першим магазинну гвинтівку створив у 1860 р. американець Х. Спенсер. Він запропонував магазин для набоїв, що розміщувався у прикладі. Магазин – порожня трубка для семи набоїв, що подавались пружиною. Трубка вставлялась у приклад, де був прорізаний довгий паз до ствольної коробки. Набої надходили у ствол при русі затвора [72].

Винахідники із США Б. Генрі і О. Вінчестер у тому ж 1860 р. створили магазин, що розташовувався у трубці під стволом гвинтівки. Конструкція була дешевшою у виробництві, ніж система зі магазином Спенсера. 13 набоїв по чергово виштовхувались у трубку; використовувався горизонтально-ковзний затвор, що приводився в рух важелем-скобою (рисунок 7.28).

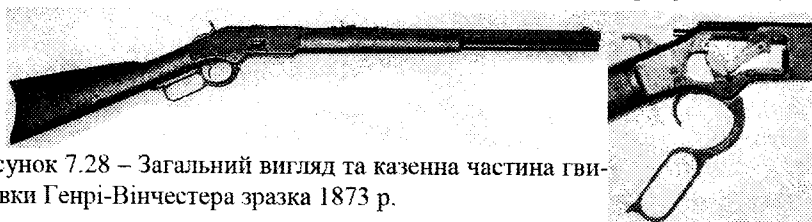


Рисунок 7.28 – Загальний вигляд та казенна частина гвинтівки Генрі-Вінчестера зразка 1873 р.

Остання розташовувалась під шийкою ложі і на неї зручно лягали чотири пальці руки стрільця. Дана конструкція виробляється в Америці й досі. Основна зручність: можна вести вогонь і перезаряджати, не відриваючи гвинтівку від плеча. У 1866 р. «вінчестер» обладнали вікном з правої сторони затворної коробки, що дозволяло набивати магазин набоями навіть на

дотик. Гвинтівка виявилась найбільш скорострільною у світі: магазин розстрілювався за декілька секунд. «Вінчестер» став улюбленою зброєю мисливців, ковбоїв, переселенців та золотошукачів Америки, але в армії дана система не прижилась через складність затвора [72].

Досить вдалою виявилась конструкція швейцарської гвинтівки системи Ф. Веттерлі з підствольним магазином на 11 набоїв. Затвор був горизонтально-ковзним. Німеччина спочатку відставала, тільки у 1884 р. брати Маузер прилаштували до однозарядної гвинтівки підствольний магазин на 8 набоїв [70, 72].

З появою у 1884 р. бездимного пороху з'явилась можливість зменшення калібру та маси гвинтівок. У Франції з 1886 р. починає випускатись піхотна гвинтівка системи Н. Лебеля калібром 8 мм з підствольним магазином. В Росії п'ятизарядну гвинтівку з серединним магазином створив у 1890 р. С. І. Мосін (рисунок 7.29). Вона мала калібр 7,62 мм і знаходилась

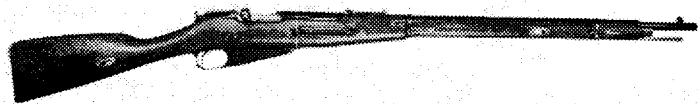


Рисунок 7.29 – Гвинтівка Мосіна (Росія, 1891 р.)

на озброєнні у Росії та СРСР до 1950-х рр.

Фабрика братів Маузер

у 1898 р. приступила до виробництва гвинтівки калібром 7,92 мм з серединним магазином на 5 набоїв, що стала найпопулярнішою у світі.

Для прискорення перезарядження австрієць Манліхер у 1886 р. запропонував пачкове зарядження гвинтівок, а Маузер у 1889 р. – зарядження обоймами. Прицільні пристосування магазинних гвинтівок дозволяли вести дійсний вогонь на дистанції до 2000 м.

Незважаючи на появу автоматичної стрілецької зброї, жодна з країн й під час Другої світової війни не припинила випуск гвинтівок.

З появою танків виникла потреба у створенні протитанкових рушниць піхоти (ПТР). У 1918 р. німці прийняли на озброєння першу однозарядну ПТР системи Маузера калібру 13,35 мм, яка по суті була збільшеною гвинтівкою. Ідея ПТР отримала розвиток у 1940-х рр.

У початковий період Великої Вітчизняної війни німецькі війська застосовували велике число легких і середніх танків з товщиною броні до 45 мм. Для боротьби з ними в 1941 р. були створені однозарядна ПТР конструкції В. А. Дегтярьова (1880 – 1949 рр.) і п'ятизарядна ПТР С. Г. Симонова. Рушниці стріляли кулями калібру 14,5 мм і на дистанції до 300 м пробивали 40-мм броню. Вони відіграли велику роль у боях під Москвою в 1941 р. [13, 73].

У німецькій армії також були ПТР. Рушниця PzB-39 мала калібр 7,92 мм і високу швидкість кулі, але поступалась нашим ПТР за бронепробивною спроможністю. ПТР S-18 і «Ерлікон» 20-мм калібру були також недостатньо потужними і разом з тим громіздкими і важкими. Наприкінці війни німці створили реактивні ПТР «Офенрор» і «Панцерфауст», однак

вони могли застосовуватися для стрільби по цілях, що знаходились на відстані не більше, ніж 80 м, і тому не зробили суттєвого впливу на хід Берлінської операції, як того очікували конструктори [13].

Основним видом автоматичної стрілецької зброї спочатку були кулемети. Вони і зараз залишаються найпотужнішою автоматичною зброєю піхоти для ураження цілей на відстані до 1000 м.

Одним з перших був станковий кулемет американського інженера Х. Максима, створений у 1883 р. Для автоматичного перезаряджання в кулеметі Максима використовувалась енергія відбою ствола. Винахіднику вдалось досягти відмінної надійності та живучості своєї зброї. Так, у 1899 р. його кулемет, перероблений під британський набій калібру 7,7 мм зробив 15 тисяч пострілів без яких-небудь серйозних утруднень. У 1893 р. в Африці, протягом півтора годин загін з 50-ти британських військових, озброєних гвинтівками і чотирма кулеметами, відбивав напади зулусів. Коли бій завершився, англійці нарахували 3 000 вбитих супротивників.

У 1901 р. кулемет Максима був прийнятий на озброєння в Росії. Він мав калібр 7,62 мм, водяне охолодження ствола і дозволяв вести тривалий безупинний вогонь. На початку ХХ ст. кулемет Максима установлювався на колісний, аналогічний гарматному, лафет зі щитом, входив до складу артилерійських підрозділів і призначався не для польового бою, а для захисту фортець (див. рисунок 1.73) [73].

Досвід російсько-японської війни показав нераціональність такого способу установлення і використання кулемета. В 1910 р. кулемет Максима у Росії був модернізований, одержав полегшений колісний станок і став іменуватися «кулемет Максима зразка 1910 р.». Згодом кулемет модернізувався у 1930 і 1944 рр. (рисунок 7.30) [13, 73].



Рисунок 7.30 – Одна з радянських модифікацій кулемета Максима

Під час Першої світової війни кількість жертв кулемета Максима була настільки великою, що його прозвали злосливим звіром і винищувачем. На озброєнні його мали 26 держав світу. Основні характеристики даного кулемета: маса зі станком 65 кг, бойова скорострільність 300 пострілів за хвилину, прицільна дальність 3000 м.

Одночасно зі станковими кулеметами з'явилися більш легкі ручні кулемети, призначені для стрільби по цілях на дистанції до 800 м. Вони мали повітряне охолодження і велику маневреність. Замість станка для установлення ручних кулеметів використовувались сошки. При роботі кулеметів використовувалась енергія порохових газів або відбою ствола.

За часи війни з 1914 по 1918 рр. чисельність кулеметів різко зроста. У піхотній дивізії Росії вона збільшилася з 32 до 144, в Австро-Угорщині – з 24 до 80, в Італії – з 8 до 275, в Німеччині – з 24 до 324 (ручних – 216), у

Великобританії – з 24 до 400 (ручних – 336), у Франції – з 24 до 684 (ручних – 576), в США – з 18 до 1000 (ручних – 775) [13].

У Росії застосовувалися англійські ручні кулемети Віккерса, модернізовані П. П. Третьяковим, і Льюїса зразка 1915 р., а також французькі кулемети Шоша і Гочкіса [71].

У 1918 р. з'явилися перші великокаліберні кулемети для стрільби по броньованих цілях і літаках.

Після закінчення першої світової війни усі види кулеметів удосконалювалися, створювалися більш легкі і скорострільні системи. Така робота йшла і в СРСР. У 1923 р. Ф. В. Токарев переробив станковий кулемет Максима з водяним охолодженням на ручний з повітряним охолодженням. У 1925 р. він був прийнятий на озброєння під назвою «ручний кулемет системи Максима – Токарева» – МТ. У 1927 р. почав серійно випускатись ручний кулемет В. А. Дегтярьова – ДП. У Вітчизняну війну використовувалися кулемети Дегтярьова зразків 1938 і 1944 рр. – ДПМ (рисунок 7.31).

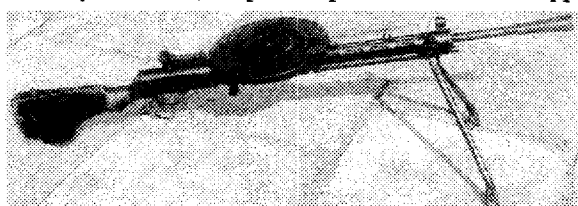


Рисунок 7.31 – Ручний кулемет Дегтярьова ДП

радянський великокаліберний кулемет 12,7 мм із магазином конструкції А. С. Кладова на 30 набоїв. На його базі в 1938 р. був створений кулемет Дегтярьова – Шпагіна – Кладова – ДШК. Зі станком ДШК мав масу 157 кг,

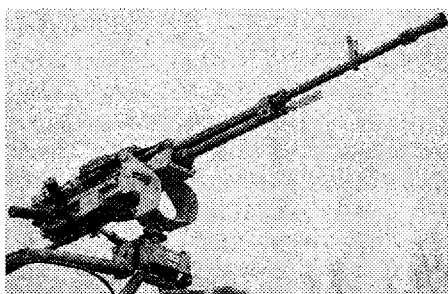


Рисунок 7.32 – Великокаліберний кулемет НСВ-12,7 «Утьос»

за хвилину, УльтраШКАС – скорострільністю 3000 пострілів за хвилину та

ДПМ мав масу 9,12 кг, смінь магазину 47 набоїв, скорострільність до 600 пострілів за хвилину і прицільну дальність 1500 м [71, 73].

У 1930 р. Дегтярьов розробив перший

розробив перший радянський великокаліберний кулемет 12,7 мм із магазином конструкції А. С. Кладова на 30 набоїв. На його базі в 1938 р. був створений кулемет Дегтярьова – Шпагіна – Кладова – ДШК. Зі станком ДШК мав масу 157 кг, скорострільність становила 600 пострілів за хвилину, прицільна дальність – 3500 м. На відстані 500 м куля з ДШК пробивала броню товщиною до 15 мм. У 1970-х рр. ДШК і ДШКМ були замінені більш потужним і в той же час легшим кулеметом Г. І. Нікітіна, Ю. М. Соколова і В. І. Волкова – НСВ калібру 12,7 мм (рисунок 7.32) [73].

Крім піхотних кулеметів, у 1930-і рр. були розроблені авіа-

кулемет В. І. Сіліна, М. Є. Березіна, П. К. Морозенка – 6000 пострілів за хвилину. Випускались також танкові кулемети Дегтярьова – ДТ [13].

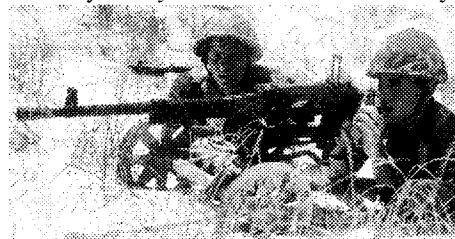


Рисунок 7.33 – Станковий кулемет Горюнова

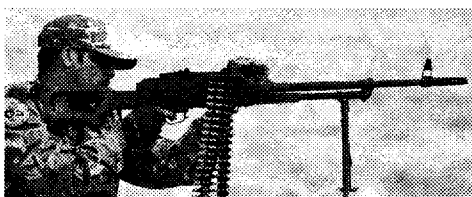


Рисунок 7.34 – Кулемет Калашникова ПКМ

Відпала необхідність у стрільбі з гвинтівок на великі відстані і потужність гвинтівкового набою виявилася надмірною. Крім того, було визнано, що в ближньому бою скорострільність гвинтівок усе ще недостатня.

Першою спробою створення скорострільної зброї ближнього бою стала розробка автоматичної гвинтівки. Перед Першою світовою війною російські зброярі В. Г. Федоров, Я. У. Рошелей, Ф. В. Токарев, В. А. Дегтярьов і інші запропонували зразки автоматичної ручної вогнепальної зброї – автомати. У 1916 р. вперше у світі одна рота російської армії була озброєна автоматами системи Федорова (рисунок 7.35) [13, 73].

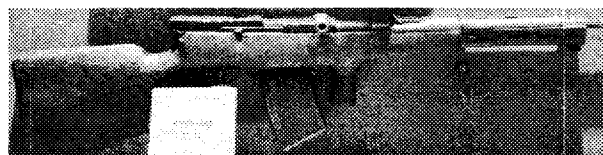


Рисунок 7.35 – Автоматична 6,5-мм гвинтівка Федорова

Однак, в цілому, до середини 30-х рр. згадані і інші подібні спроби створення автоматичної зброї були мало вдалим через застосування занадто

У 1943 р. сконструйований і випробуваний станковий кулемет П. М. Горюнова (рисунок 7.33), що остаточно витіснив кулемет Максима. Він мав повітряне охолодження, масу зі станком 40 кг, скорострільність 600 пострілів за хвилину і прицільну дальність 2000 м.

У 1961 р. М. Т. Калашникову вдалося створити єдиний кулемет, який з сошками застосовується як ручний (ПКМ, рисунок 7.34), а на триножному станку – як станковий. Маса ПКМ – 9 кг, ПКСМ – 16,88 кг, скорострільність – 650 пострілів за хвилину, прицільна дальність – 1500 м [72].

З появою кулеметів змінилась тактика бойового застосування

У 1918 р. американець Педерсен розробив приставку до гвинтівки Спрінгфілда – магазин на 40 набоїв, при цьому гвинтівка фактично перетворилася на ручний кулемет.

потужних гвинтівкових набоїв. Однією з останніх розробок в даному напрямку була самозарядна гвинтівка Токарева СВТ-40, показана на рисунку 7.36 [72, 73].

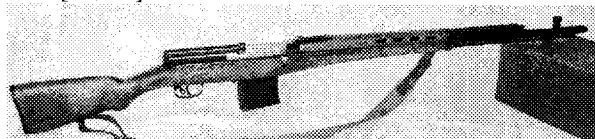


Рисунок 7.36 – Самозарядна 7,62-мм гвинтівка Токарева

Був необхідним перехід до автоматичної зброї під набій меншої потужності, зручної в ближньому бою і простої у використанні. Автоматична зброя під пістолет-

летний набій одержала назву пістолет-кулемет. Перший його зразок був розроблений італійцем Ревеллі в 1915 р. Він являв собою систему з двох невеликих кулеметів, що стріляли пістолетними набоями. У 1918 р. у Німеччині з'явився досить вдаль пістолет-кулемет Х. Шмайсера. Принципи, закладені в дану зброю, а також розміри і компонування елементів послужили зразками для подальших розробок [13].

Для роботи автоматики використовувалася енергія відбою вільного затвора-ударника або порохових газів.

Пістолети-кулемети одержали значне поширення під час Другої світової війни. Німеччина використовувала пістолети-кулемети Х. Шмайсера МП-18/МП-28, Е. Бергмана МП-35, Г. Фольмера МП-40 (рисунок 7.37), Великобританія – Ланчестер Mk I, США – Томпсон [70].

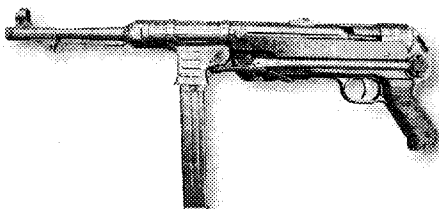


Рисунок 7.37 – Німецький пістолет-кулемет Г. Фольмера МП-40

У СРСР перший зразок пістолета-кулемета був розроблений Токаревим у 1927 р. Він був вдаль конструктивно, але створений під револьверний набій. Пістолет-кулемет під пістолетний набій сконструював у 1929 р. В. А. Дегтярьов. У 1935 р. він був прийня-

тий на озброєння під маркою ППД-34 і обмежено випускався. У 1940 р. з'явилася модифікація ППД-40. У 1941 р. розроблений і прийнятий на озброєння пістолет-кулемет Г. С. Шпагіна ППШ-41 (рисунок 7.38), а в 1942 р. у блокадному Ленінграді розпочатий випуск пістолетів-кулеметів А. І. Судаєва ППС-43 [71, 73].

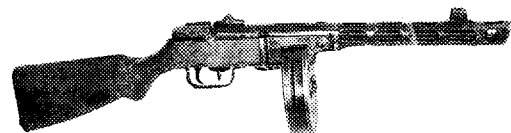


Рисунок 7.38 – Радянський пістолет-кулемет Г. Шпагіна ППШ-41

До 40-х рр. у ряді країн світу були розроблені зразки набоїв зменшеної потужності, у тому числі в СРСР проміжний 7,62-мм набій зразка 1943 р., що стало передумовою для створення нового

класу індивідуальної стрілецької зброї – автоматів [13].

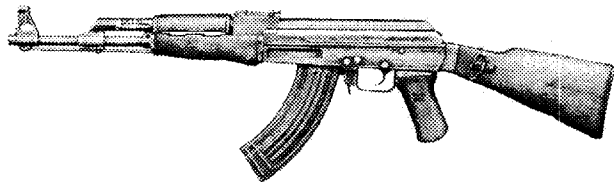


Рисунок 7.39 – Автомат Калашникова АК (1947 р.)

У 1947 р. з'явився автомат М. Т. Калашникова АК (рисунок 7.39), у якому для перезарядження використовувалася енергія порохових газів, що відводяться від ствола. АК послужив основою для створення цілого сімейства бойової і цивільної стрілецької зброї різних калібрів, включаючи автомати АКМ і АК74 (калібром 5,45 мм), кулемет РПК, карабіни, гладкоствольні рушниці тощо. АК і його модифікації є найбільш розповсюдженою стрілецькою зброєю у світі. За деякими оцінками, до цього типу належить до 1/5 всіх наявних на Землі зразків вогнепальної стрілецької зброї. На даний момент знаходиться на озброєнні регулярних армій понад 50 країн світу, а також великого числа терористичних угруповань і банд. АК був і залишається самою смертоносною зброєю на Землі: від його куль щороку гине чверть мільйона людей. На думку багатьох експертів, є еталоном надійності, а також простоти і дешевини виготовлення та обслуговування. Недоліками даної зброї є недостатні точність та кучність стрільби, значна маса, неможливість установалення досконаліших прицілів [13, 72, 73].

У 1990-х рр. в Росії створений і прийнятий на озброєння АН-94 – автомат Г.Н. Ніконова – зброя нового покоління, яка немає рівних у світовій практиці (рисунок 7.40). Основні технічні дані АН-94: калібр – 5,45 мм, ємність магазину – 30 набоїв, довжина в бойовому положенні – 943 мм, в похідному – 728 мм, маса без магазину 3,85 кг, темп стрільби 600 – 1800 пострілів за хвилину, початкова швидкість кулі – 900 м/с. Відбій при стрільбі завдяки пристрою автоматички і наявності дулового гальма практично відсутній. Ефективність зброї оцінюється приблизно в 6 разів вищою, ніж ефективність АК. Поки що АН-94 випускається малими серіями. Ним озброюються, в основному, професійні підрозділи. АН складніший за конструкцією та в обслуговуванні, ніж АК, потребує довшого освоєння і високої збройної культури стрільця, але є достатньо надійним [13].

На початку 2000-х рр. в Україні Науковим центром точного машинобудування на замовлення силових структур був розроблений автомат

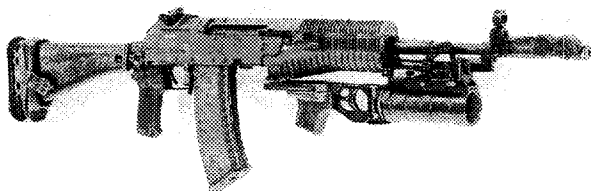


Рисунок 7.40 – Автомат Ніконова АН-94 «Абакан»

ємність магазину – 30 набоїв, довжина в бойовому положенні – 943 мм, в похідному – 728 мм, маса без магазину 3,85 кг, темп стрільби 600 – 1800 пострілів за хвилину, початкова

швидкість кулі – 900 м/с. Відбій при стрільбі завдяки пристрою автоматички і наявності дулового гальма практично відсутній. Ефективність зброї оцінюється приблизно в 6 разів вищою, ніж ефективність АК. Поки що АН-94 випускається малими серіями. Ним озброюються, в основному, професійні підрозділи. АН складніший за конструкцією та в обслуговуванні, ніж АК, потребує довшого освоєння і високої збройної культури стрільця, але є достатньо надійним [13].

На початку 2000-х рр. в Україні Науковим центром точного машинобудування на замовлення силових структур був розроблений автомат



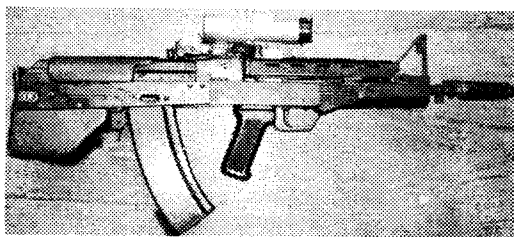


Рисунок 7.41 – Український автомат «Вепр»

«Вепр» (рисунок 7.41). Це одна з численних bullpup-модифікацій АК-74. «Вепр» вперше був представлений у 2003 році та позиціонувався як заміна АК, перш за все для прикордонних та миротворчих військ. Його розробка тривала майже два роки і обійшлася майже в 100 тис. доларів в той час, як сам автомат оцінюється у 100 доларів (2003 р.). Ще один рік знадобився для його випробування. На випробуваннях автомат показав високу надійність роботи автоматики, хороший баланс зброї та купчастість бою, мінімальний час перенесення вогню по фронті і в глибину. Міністерство оборони України до 2010 р. планувало закупити декілька десятків тисяч автоматів. Проте за підрахунками експертів, щоб запустити дану модель у серійне виробництво необхідно близько 500 тис. доларів (2003 р.), тому вказані плани поки що не здійснено.

Крім «довгої» зброї для поля бою – рушниць, гвинтівок, автоматів, тощо, вже чотири віки розробляється і випускається зброя для стрільби однією рукою на невелику відстань – пістолети і револьвери.

Перші пістолети були виготовлені італійським майстром Каміллом Ветеллі з міста Пістоїя в XV ст. Появі пістолетів сприяв винахід іскрових та колесцевих замків (див. рисунок 7.23). Довгі кавалерійські пістолети з цими замками у XV – XVI ст. забезпечували ураження на дистанції до 30 – 40 м, але важкі обладунки ними практично пробивались, навіть при стрільбі в упор, а швидкість кулі рідко перевищувала 150 – 160 м/с (рисунок 7.42). У XVII – XVIII ст. використовувались пістолети з ударно-кремінними замками (рисунок 7.43), що були менш надійними у плані осічок, але простіше заряджались та «не боялись» бруду. У першій половині XIX ст. ударно-кремінні замки витісняються капсульними та пістонними замками [4, 13, 70].

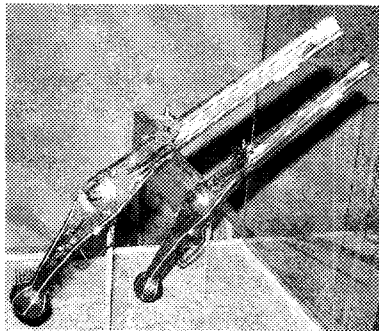


Рисунок 7.42 – Кавалерійський і звичайний колесцеві пістолети

Оскільки кремінний пістолет був однозарядним, починаються спроби збільшення його скорострільності шляхом створення двоствольних і багатствольних зразків. Вже в XVI ст. був винайдений револьвер (тобто пістолет з барабаном), однак він спочатку не одержав поширення, оскільки був досить дорогим, складним у виготовленні і громіздким. Порохові гази в перших револьверах часто виривались назовні, крім цьо-

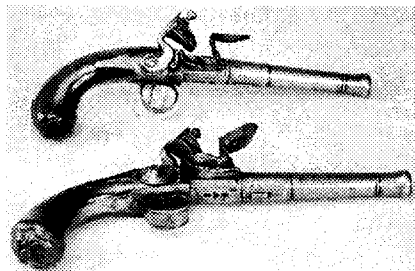


Рисунок 7.43 – Пістолети з ударно-кремінними замками

У 1836 р. американський підприємець С. Кольт, використовуючи найсучасніше для того часу машинне обладнання, розпочав випуск капсульних револьверів більш надійної конструкції, розроблених Д. Пірсоном (рисунок 7.44). Безвідмовність у роботі, багатострільність (6 пострілів піряд, а багато хто носив і по два револьвери), точний бій зробили капсульні ре-

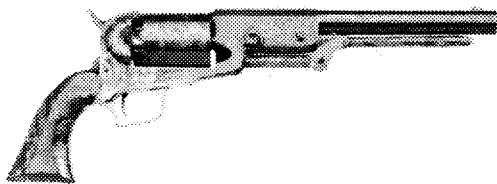


Рисунок 7.44 – Кольт Уокер 1847 р. 44-го калібру (0,44 дюйма  $\approx$  11,2 мм)



Рисунок 7.45 – Револьвер системи Наган

рив. У бойових умовах відрізняється невибагливістю та безвідмовністю, оскільки осічка ніяк не впливає на можливість здійснення наступного пострілу і не викликає затримки. Також слід відзначити високу ремонтпридатність даного револьвера [73].

Американець Д. Мікулек установив такі рекорди швидкісної стрільби із самозвідного револьвера фірми «Сміт і Вессон»: 60 пострілів (по 6 з десяти револьверів) за 17,99 с; 12 пострілів з 6-зарядного револьвера з пере-

го, через особливості кремінного замка, що потребував після кожного пострілу підсипати порох на полицю, не забезпечувалась можливість безперервної стрільби. Найчастіше однозарядні револьвери і пістолети виготовлялись і носились парами, що дозволяло зробити принаймні два постріли один за одним.

Пізніше для підвищення точності стрільби в стволах пістолетів почали виконувати нарізи.

Револьвери Кольта національним символом Америки [7].

У 1869 р. головний конкурент Кольта в США фірма «Сміт і Вессон» першою почала випускати револьвери під набої центрального бою. В Європі лідером на даному напрямку розвитку у 1880-90-х рр. стали англійська фірма Д. Веблея та бельгійська Л. Нагана. Модель останнього калібром 7,62 мм була прийнята на озброєння російської армії у 1895 р. (рисунок 7.45) і продовжує використовуватись до даного моменту. Перевагами «Нагана» є порівняна простота конструкції, технологічність і мала собівартість, що дозволило налагодити масовий випуск цієї зброї з залученням малокваліфікованих кад-

зарядженням за 2,99 с; 8 прицільних пострілів з 8-зарядного револьвера по одній мішені за 1,00 с; 8 прицільних пострілів з 8-зарядного револьвера (по два постріли) у кожну з чотирьох мішеней за 1,06 с; 5 прицільних пострілів по одній мішені за 0,57 с [10].

Незважаючи на величезну розмаїтість моделей і модифікацій револьверів всіх їх об'єднує ще одна загальна ознака – робота всіх механізмів зброї забезпечується силою руки стрільця.

Після створення унітарних набоїв з бездимним порохом з'явилась можливість автоматизації перезарядження пістолетів шляхом використання енергії порохових газів, відбою ствола або руху кулі по його каналу. Одним з перших практично придатних і ефективних самозарядних пістолетів став знаменитий десятизарядний «Маузер К-96» калібром 9 мм, розроблений у 1896 р. братами Федерле (рисунок 7.46). «Маузер» відноситься до

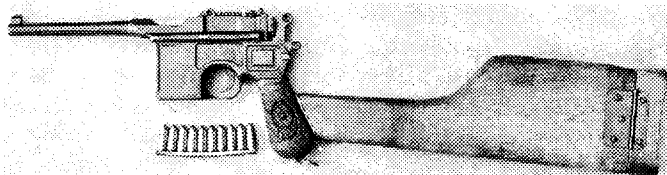


Рисунок 7.46 – Самозарядний пістолет Маузер К-96 з кобурою-прикладом та запасною обоймою

найбільш потужних зразків автоматичних пістолетів, відрізняється високими точністю і дальністю бою (до 200 м), а також

гарною «живучістю» у бойових умовах. Основними недоліками його є складність перезарядження, великі маса та габарити, а також значна вартість – близько 5 000 німецьких марок на початку ХХ ст. (для порівняння, автомобіль «Опель» тоді коштував близько 3 500 марок) [10].



Рисунок 7.47 – Самозарядний пістолет Д. Браунінга зразка 1900 р.

Американець Д. Браунінг у 1896 р. розробив автоматичний пістолет (рисунок 7.47), що був відхилений фірмою «Кольт», але зацікавив бельгійську компанію Fabrique Nationale d'Armes de Guerre, яка у 1900 р. почала його виробництво. Цей пістолет калібром 7,65 мм був досить популярним як в армії, так і серед цивільних та став зразком для подальших розробок особистої стрілецької зброї [7, 9].

У 1900 р. Г. Люгером на основі ідей Х. Борхардта був створений «Парабелум» (рисунок 7.48), що часто називають також пістолетом Люгера-Борхардта. З латинської «парабелум» перекладається як «готуйся до війни». Складний і дорогий у виробництві, «Парабелум» відрізнявся високими надійністю та міцністю і для свого часу

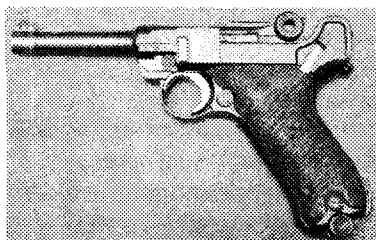


Рисунок 7.48 – Автоматичний пістолет Люгера-Борхардта «Парабелум»

потрібно 6,1 кг металу. При цьому виконувалось 778 окремих операцій, у тому числі 642 верстатних і 136 вручну. Як армійська офіцерська зброя використовувався до 1945 р. [6, 8].



Рисунок 7.49 – Самозарядний пістолет Кольт М1911А1



Рисунок 7.50 – Самозарядний пістолет Форт-12

сея основним зразком особистої зброї армії та міліції. Серійне виробництво (на верстатному устаткуванні з Чехії) почалось у 1998 р. Від ПМ Форт-12 відрізняється кращою ергономікою, підвищеними точністю та швидкістю стрільби, меншим відбоєм, але й більшими масою та розмірами.

Пістолети і револьвери існують паралельно та продовжують удосконалюватись, однак принципово нових рішень новітні зразки не містять.

був передовою збройною системою. Головною його перевагою була дуже висока точність стрільби, досягнута за рахунок зручної «анатомічної» рукояті і легкого (майже спортивного) спуска. Основні недоліки: пістолет давав осічку при найменших відхиленнях якості набоїв, крім цього, при падінні був можливий мимовільний постріл. Виробництво «Парабелумів» відрізнялось високою трудомісткістю. При масі самого пістолета 0,87 кг для його виготовлення було

Але одним з найбільш поширених пістолетів всіх часів став створений Д. Браунінгом у 1910 р. Кольт М1911А1 (рисунок 7.49), що одержав в США статус культової зброї. Завдяки надзвичайній простоті і надійності конструкції і незважаючи на такі недоліки, як значні вага і розмір, мала ємність магазину та відсутність самозвідного механізму, знаходився на озброєнні армії США з 1911 по 1990 рр. За американською системою має 45-й калібр (0,45 дюйма або 11,43 мм) [10].

Прикладом сучасної конструкції може служити український пістолет Форт-12 (рисунок 7.50), що має калібр 9 мм. Офіційно прийнятий на озброєння внутрішніх військ та міліції України. Пістолет розроблений НВО «Форт» на замовлення МВС України у зв'язку з моральним і фізичним старінням радянських пістолетів Макарова (ПМ), що на даний момент залишаються

## 7.4 Контрольні запитання

1. Які матеріали використовувались для виготовлення зброї, починаючи зі стародавніх часів, якими були перші зразки зброї?
2. Чому мідна і бронзова зброя не витіснила остаточно кам'яну зброю?
3. Що собою являла стародавня особиста зброя захисту та нападу?
4. Як у стародавні часи отримували залізо для виготовлення зброї?
5. Розкажіть про найбільш ефективні схеми вишукування воїнів під час битв у Давніх Греції та Римі.
6. Опишіть перші бойові машини, що використовувались для облоги і оборони міст.
7. Що собою являв «грецький вогонь»?
8. Що собою являє димний порох, ким він був винайдений, яку роль відіграв порох в історії розвитку військової техніки?
9. Чим бездимний порох відрізняється від димного, які переваги він забезпечує?
10. Що собою являли перші гармати, як вони удосконалювались?
11. Як класифікуються артилерійські системи залежно від форми траєкторії польоту снаряду, які є типи артилерійських боєприпасів?
12. Що собою являли картечніці (мітральези), для чого вони призначались, які мали недоліки?
13. Які переваги мали нарізні гармати порівняно із гладкоствольними, за якими напрямками здійснювалось удосконалення нарізних гармат?
14. Які безвідкатні пристрої для гармат були запропоновані наприкінці XIX ст.?
15. Як у другій половині XIX ст. розвивалась теорія артилерійської справи?
16. Яким чином підвищувалась рухомість артилерії?
17. Які нові типи артилерійського озброєння з'явились у першій половині XX ст.?
18. Що собою являє реактивна артилерія залпового вогню, які переваги вона забезпечує?
19. Що собою являли перші зразки ручної стрілецької зброї?
20. Як удосконалювались замки рушниць?
21. Чому нарізні рушниця довго не одержували поширення?
22. Що таке капсулі і пістони, для чого вони використовувались?
23. Що таке унітарний набій, які переваги він забезпечує?
24. Розкажіть про перші зразки нарізних рушниць, що одержали поширення на практиці.
25. Які види вогнепальної стрілецької зброї використовувались для боротьби з бронетанковою технікою супротивника?
26. Як забезпечується автоматичне перемикавання затвора у кулеметах і автоматах?
27. Як удосконалювались і змінювались пістолети?

У підручнику, внаслідок обмеження його обсягу, детально не розглядалась історія розвитку таких галузей і напрямків, як: металургія, будівництво, суднобудування (в тому числі військово), гірничо та хімічна промисловість, електротехніка, телеграфний, телефонний та радіозв'язок, телебачення, комп'ютерна техніка, підйомно-транспортні машини, бронетанкова та ракетно-космічна техніка, сільське господарство і ряд інших. Дані матеріали були б, безумовно, цікавими для студентів, але авторам вони видаються менш важливими для майбутньої діяльності інженерів напрямів «Інженерна механіка» та «Машинобудування», для яких у ВНТУ читається курс «Історія інженерної діяльності». До того ж розвиток деяких з вищевказаних галузей описаний у раніше написаному авторами посібнику [5, 13, 14].

Знання, отримані студентами при вивченні даного підручника та курсу «Історія інженерної діяльності», знадобляться їм пізніше під час оволодіння такими дисциплінами, як «Теорія механізмів і машин», «Теорія технічних систем», «Теоретичні основи теплотехніки», «Основи науково-дослідної роботи», «Теорія різання», «Обладнання та транспорт механообробних цехів», «Металорізальні верстати, промислові роботи та обладнання автоматизованого виробництва», «Ріжучий інструмент», «Технологічне обладнання підприємств та устаткування» та багатьох інших.

З пропонованого підручника студенти зможуть отримати основні відомості щодо історичного розвитку навичок, вмінь, заходів та знань про використання сировини та енергії природи, створення та удосконалення технічних засобів праці в сфері суспільного виробництва і забезпечення його матеріальних умов, в тісному зв'язку як з прийомами та формами праці, так і з предметами праці, оволодіння основними природничо-науковими законами, які послужили основою для розв'язання тієї чи іншої технічної проблеми, а також ознайомлення з теоретичним та практичним внеском деяких видатних вчених, винахідників та інженерів в історію створення техніки.

1. Виргинский В. С. Очерки истории науки и техники с древнейших времен до середины XV века : Кн. для учителя / В. С. Виргинский, В. Ф. Хотеевков. – М. : Просвещение, 1993. – 288 с.
2. Нефедов С. А. Лекции по истории науки и техники [Электронный ресурс] / Нефедов С. А. – Режим доступа: <http://nashaucheba.ru/v16864/>.
3. Багрінцев І. І. Конспект лекцій з дисципліни «Історія інженерної діяльності» для студентів спеціальності 7.090220 – «Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів» / І. І. Багрінцев, І. С. Бондаренко. – Северодонецьк : Северодонецький технологічний інститут, 2007. – 116 с.
4. История техники / Зворькин А. А., Осьмова Н. И., Чернышев В. И., С. В. Шухардин. – М. : Соцэкгиз, 1962. – 772 с.
5. Іскович-Лотоцький Р. Д. Історія інженерної діяльності. Ч. I : навчальний посібник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севост'янов. – Вінниця : ВДГУ, 2003. – 123 с.
6. Морозов В. В. Історія інженерної діяльності. Курс лекцій для студентів усіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / В. В. Морозов, В. І. Ніколаєнко. – Харків : НТУ «ХП», 2007. – 336 с.
7. Ошарин А. В. История науки и техники : учебно-методическое пособие / Ошарин А. В., Ткачев А. В., Чапагина Н. И. – СПб : СПб ГУ ИГМО, 2006. – 143 с.
8. Черный А. А. История техники : учеб. пособие / Черный А. А. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 189 с.
9. Надеждин Н. Я. История науки и техники / Надеждин Н. Я. – М. : Феникс, 2007. – 624 с.
10. Поликарпов В. С. История науки и техники / Поликарпов В. С. – Ростов-на-Дону : Феникс, 1998. – 352 с.
11. Бесов Л. М. Історія науки і техніки / Бесов Л. М. – Х. : НТУ «ХП», 2007. – 376 с.
12. Подлесний С. В. Історія інженерної діяльності : навчальний посібник / Подлесний С. В., Єрфорт Ю. О., Іскрицький В. М. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – 128 с.
13. Іскович-Лотоцький Р. Д. Історія інженерної діяльності. Ч. III : навчальний посібник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севост'янов. – Вінниця : ВДГУ, 2003. – 121 с.
14. Іскович-Лотоцький Р. Д. Історія інженерної діяльності. Ч. II : навчальний посібник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севост'янов. – Вінниця : ВДГУ, 2003. – 127 с.
15. Виргинский В. С. Очерки истории науки и техники XVI – XIX веков : пособие для учителя / Виргинский В. С. – М. : Просвещение, 1984. – 287 с.

16. Кудрявцев П. С. История физики и техники / П. С. Кудрявцев, И. Я. Конфедератов. – М. : Учпедгиз, 1960. – 524 с.
17. Кефели И. Ф. История науки и техники : учеб. пособие / Кефели И. Ф. – СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, 1995. – 268 с.
18. Хотеевков В. Ф. Все о технике / Хотеевков В. Ф. – М. : Дрофа, 1996. – 287 с.
19. Виргинский В. С. Очерки истории науки и техники, 1870 – 1917 гг. / В. С. Виргинский, В. Ф. Хотеевков. – М. : Просвещение, 1988. – 467 с.
20. Симоненко О. Д. Сотворение техносферы: проблемное осмысление истории техники / Симоненко О. Д. – М. : Аргус, 1994. – 224 с.
21. Конфедератов И. Я. История теплоэнергетики. Начальный период (17 – 18 вв.) / Конфедератов И. Я. – М. – Л. : ГЭИ, 1954. – 287 с.
22. Блок М. А. Апология истории или ремесло историка / Блок М. А. – М. : Наука, 1973. – 345 с.
23. Чутко И. В. Мост через время / Чутко И. В. – М. : Политиздат, 1989. – 344 с.
24. Гутнер Л. М. Философские вопросы научно-технического познания и инженерной деятельности / Гутнер Л. М. – СПб. : СЗПИ, 1993. – 243 с.
25. Шухардин С. В. Современная научно-техническая революция / Шухардин С. В. – М. : Наука, 1970. – 402 с.
26. Раков В. А. Локомотивы отечественных железных дорог 1845 – 1955 / Раков В. А. – М. : Транспорт, 1995. – 346 с.
27. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г. / пер. с англ. под ред. Ю. Н. Старшинова. – М. : Энергия, 1980. – 392 с.
28. Ландсберг Г. С. Элементарный учебник физики : учебное пособие / под ред. Г. С. Ландсберга. – Т. 1. – М. : Наука, 1985. – 608 с.
29. Канаев А. А. От водяной мельницы до атомного двигателя / Канаев А. А. – М. : Машгиз, 1957. – 424 с.
30. Витт П. Газовые турбины / Витт П. – М. : Машиностроение, 1965. – 377 с.
31. Кулагин И. И. Теория авиационных газотурбинных двигателей / Кулагин И. И. – Л. : ЛКВВИА, 1954. – 456 с.
32. Непорожный П. С. Технический прогресс энергетики СССР / под ред. П. С. Непорожного. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 423 с.
33. Карцев В. П. Тысячелетия энергетики / В. П. Карцев, П. М. Хазановский. – М. : Знание, 1984. – 374 с.
34. Реферат на тему «Розвиток енергетики та сучасне використання вітродвигунів в енергетиці» / [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://bestreferat.ru>.
35. Кондратьев К. Я. Экология и политика / под ред. К. Я. Кондратьева. – СПб. : РАН, 1993. – 293 с.
36. Иойрыш А. И. А-бомба / Иойрыш А. И., Морохов И. Д., Иванов С. К. – М. : Наука, 1980. – 432 с.



37. Содди Ф. История атомной энергии / Содди Ф. – М. : Атомиздат, 1979. – 389 с.
38. Маргулова Т. Х. Атомная энергетика сегодня и завтра / под. ред проф. Т. Х. Маргуловой. – М. : Высш. школа, 1989. – 296 с.
39. Тиходеев Н. Н. Передача электрической энергии / Тиходеев Н. Н. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 345 с.
40. Совалов С. А. Управление мощными энергообъединениями / под ред. С. А. Совалова. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 256 с.
41. Реферат по предмету «История инженерной деятельности» на тему «Машиностроение мира» / [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://bestreferat.ru>.
42. Реферат на тему «Розвиток та гіганти сучасного машинобудування» / [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://bestreferat.ru>.
43. Маталин А. А. Технология машиностроения / Маталин А. А. – Л. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
44. Оптиц Г. Современная техника производства: состояние и тенденции / Оптиц Г. : [сокр. пер. с нем.]. – М. : Машиностроение, 1975. – 382 с.
45. Шаумян Г. А. Автоматизация производственных процессов / Шаумян Г. А., Кузнецов Г. Г., Волчкевич Л. И. – М. : Высш.школа, 1967. – 316 с.
46. Загорский Ф. Н. Очерки по истории металлорежущих станков до середины XIX века / Загорский Ф. Н. – Л. : Издательство академии наук СССР, 1960. – 283 с.
47. Вальков В. М. Автоматизированные системы управления технологическими процесами / В. М. Вальков, В. Е. Вершин. – Л. : Политехника, 1991. – 278 с.
48. Ратмиров В. А. Основы программного управления станками / Ратмиров В. А. – М. : Машиностроение, 1978. – 367 с.
49. Таратынов О. В. Металлорежущие системы машиностроительных производств / Таратынов О. В., Земсков Г. Г., Баранчукова И. М. – М. : Высш. школа, 1988. – 464 с.
50. Ратмиров В. А. Управление станками гибких производственных систем / Ратмиров В. А. – М. : Машиностроение, 1987. – 325 с.
51. Капустин Н. М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ / Капустин Н. М. – М. : Машиностроение, 1976. – 298 с.
52. Белянин П. Н. Промышленные роботы / Белянин П. Н. – М. : Машиностроение, 1975. – 276 с.
53. Белянин П. Н. Гибкие производственные комплексы / П. Н. Белянин, В. А. Лешенко. – М. : Машиностроение, 1986. – 314 с.
54. Алексеев В. Н. Многоцелевые системы ЧПУ с гибкой механообработкой / Алексеев В. Н., Воржев В. Г., Гырдымов Г. П. – Л. : Машиностроение, 1984. – 323 с.

55. Алексеев П. И. Гибкие производственные системы сборки / Алексеев П. И., Герасимов А. Г., Давыденко Э. П. – Л. : Машиностроение, 1989. – 346 с.
56. Хартли Дж. ГПС в действии / Хартли Дж. – М. : Машиностроение, 1987. – 278 с.
57. Дубовской В.И. Автомобили и мотоциклы в России (1896 – 1917 гг.) / Дубовской В. И. – М. : Транспорт, 1994. – 246 с.
58. Долматовский Ю. А. Автомобиль за 100 лет / Долматовский Ю. А. – М. : Знание, 1986. – 324 с.
59. Шугуров Л. М. Автомобили страны советов / Л. М. Шугуров, В. П. Шершов. – 2-е изд. – М. : ДОСААФ, 1983. – 256 с.
60. Яковлев А. С. 50 лет советского самолетостроения / Яковлев А. С. – М. : Наука, 1968. – 286 с.
61. Изаксон А. М. Советское вертолетостроение / Изаксон А. М. – М. : Машиностроение, 1978. – 398 с.
62. Келдыш М. В. Авиация в России. Справочник / М. В. Келдыш, Г. П. Свищев, С. А. Христианович и др. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1988. – 458 с.
63. Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР до 1938 г. / Шавров В. Б. – М. : Машиностроение, 1969. – 312 с.
64. Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР 1938 – 1950 гг. / Шавров В. Б. – М. : Машиностроение, 1978. – 316 с.
65. Соболев Д. А. История самолетов. 1919 – 1945 гг. / Соболев Д. А. – М. : РОССПЭН, 1997. – 434 с.
66. Зуенко Ю. Боевые самолеты России / Ю. Зуенко, С. Коростылев. – М. : Элакос, 1994. – 314 с.
67. Цихош Э. Сверхзвуковые самолеты / Цихош Э. – М. : Мир, 1983. – 432 с.
68. Бауэрс П. Летательные аппараты нетрадиционных схем / Бауэрс П. – М. : Мир, 1991. – 235 с.
69. Пономарев А. Н. Авиация настоящего и будущего / Пономарев А. Н. – М. : Военное издательство, 1984. – 344 с.
70. Кроссер П. Диалектика военной техники и ее последствия / Кроссер П. : [пер. с англ.]. – М. : Прогресс, 1975. – 356 с.
71. Новиков В. Н. Оружие Победы / под ред. В. Н. Новикова. – М. : Машиностроение, 1987. – 478 с.
72. Жук А. Б. Винтовки и автоматы / Жук А. Б. – М. : Воениздат, 1987. – 376 с.
73. Болотин Д. Н. Советское стрелковое оружие / Болотин Д. Н. – М. : Воениздат, 1986. – 432 с.

*Навчальне видання*

**Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович  
Севостьянов Іван Вячеславович**

# **ІСТОРІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

Підручник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено І. Севостьяновим

Підписано до друку 08.09.2015 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 17,5.  
Наклад 500 (1-й запуск 1-100) пр. Зам. № 2015-088.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.