

Б.М. Центюк

**ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.
ПРАКТИКУМ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНИХ
СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

Б.М. Пентюк

**ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.
ПРАКТИКУМ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНИХ
СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як практикум для студентів машинобудівних спеціальностей. Протокол № 9 від 25 квітня 2002 року.

Рецензенти:

В.М. Михалевич, доктор технічних наук, професор

П.С. Берник, доктор технічних наук, професор

І.О. Сивак, доктор технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Пентюк Б.М.

П 25 **Основи наукових досліджень. Практикум для машинобудівних спеціальностей.** Практикум. -- Вінниця: ВДТУ, 2002. – 71с.

У практикумі коротко подані відомості про основні методи наукового пізнання. Особлива увага приділена методам математичного моделювання і ролі експерименту в наукових дослідженнях. Наведені конкретні приклади наукових досліджень механічних систем.

Розглянуто специфіку оформлення заявок на патент, що є актуальним при оформленні і захисті нових розробок.

Наведено досвід гуманізації процесу навчання в курсі основи науково-дослідної роботи.

Розрахований на студентів машинобудівних спеціальностей, які вивчають основи науково-дослідної роботи у вузах III-IV рівня акредитації в курсі “Теорія та практика наукових досліджень”.

З М І С Т

Вступ.....	4
1. Методи наукового пізнання.....	5
1.1 Загальна теорія пізнання.....	5
1.2 Індуктивний метод.....	6
1.3 Дедуктивний метод.....	8
1.4 Метод формальної логіки.....	9
2. Складові елементи наукових досліджень.....	10
2.1 Обмеження і припущення в наукових дослідженнях.....	10
2.2 Моделювання досліджуваних явищ.....	10
2.3 Математична апроксимація досліджуваних явищ.....	14
2.4 Прийоми аналізу і синтезу явищ.....	15
2.5 Задачі досліджень за одним і декількома критеріями.....	17
2.6 Оцінка вірогідності досліджень і границі їхнього можливого застосування.....	19
2.7 Роль експерименту в наукових дослідженнях обробки результатів дослідів.....	20
3. Наукові дослідження робочих процесів механічних систем.....	23
3.1 Дослідження несталних режимів роботи приводних пристроїв.....	23
3.2 Дослідження процесів навантаження приводних пристроїв після розгону.....	27
3.3 Дослідження ударного навантаження машин і споруд.....	30
3.4 Дослідження коливальних процесів механічних систем.....	32
4. Обробка результатів експериментальних досліджень.....	37
4.1 Основи теорії випадкових похибок і методів оцінювання випадкових похибок вимірювання.....	37
4.2 Статистичні методи обробки експериментальних даних.....	42
4.3 Згладжування експериментальних залежностей за методом найменших квадратів.....	44
4.4 Методи графічної обробки результатів вимірювань.....	45
4.5 Методи добору емпіричних формул.....	49
5. Патент, ліцензія, оформлення заявки на патент.....	51
6. Досвід гуманізації навчання в курсі ОНДР.....	58
7. Завдання для самостійної роботи.....	61
8. Література.....	70

ВСТУП

Наука - це одна з форм людської свідомості і являє собою систему знань про закони розвитку природи та суспільства. Наука ділиться на гуманітарні (суспільні) і природничі науки. До перших відносяться: історія, філософія, політична економія, право, мовознавство і т.п. До других - математика, фізика, хімія, біологія, геологія, астрономія, техніка та ін.

Свої положення будь-яка наука обґрунтовує достовірними доказами і практикою, що є об'єктивним критерієм істинності наукових досліджень. Доказовість істинності наукових знань - головна особливість науки.

Кваліфікація випускників вищих навчальних закладів нашої країни, зокрема, інженерів достатньо висока, якщо під цим розуміти суму знань, одержуваних, студентами у вузах. Опанувати програмним матеріалом вузу - важливо, цілком необхідно. Але одного цього недостатньо. Потрібно навчитися постійно удосконалювати свої знання, виробити навички дослідника, широкий творчий кругозір. Без цього важко орієнтуватися у обсязі знань, що постійно збільшується, у зростаючому потоці наукової інформації

Корисно пригадати висловлювання давніх: "Той хто вчиться - це не посуд, що потрібно заповнити, а смолокип, що потрібно запалити".

Шляхи розвитку машинобудування підпорядковані вимогам безупинного і швидкого удосконалення засобів виробництва. Машинобудування повинно сприяти швидкому росту продуктивності праці, машини повинні бути технологічні, економічні, зручні і надійні в експлуатації, мати найменшу відносну вагу. Від машинобудівної науки вимагається удосконалення методів розрахунків, розробка і впровадження нових, більш прогресивних технологічних процесів, а також засобів їхньої автоматизації і механізації.

Сучасний машинний агрегат складається з чотирьох обов'язкових елементів: двигуна, передавальних пристроїв (трансмісії), технологічного (виконавчого) механізму і системи керування. У деяких випадках машинні агрегати містять у собі більш складні пристрої: контрольно-керівні системи, логічні електронно-обчислювальні машини і т.п. Зазначені чотири елементи машинного агрегату динамічно взаємозалежні.

З огляду на те, що двигуни мають механічні характеристики, які змінюються, ланки передач пружні і можуть мати зазори, а технологічні навантаження залежати від цілого ряду змінних параметрів, задача створення машинного агрегату, що відповідає сучасним вимогам, є дуже складною і потребує докладних попередніх наукових вишукувань.

Процес становлення молодого вченого в основному складається з розвитку самостійного мислення і напрашування навичок до розумової діяльності. При дослідженні якогось наукового питання не завжди варто

починати з вивчення існуючих досліджень (сюди не входять об'єктивний опис якогось явища і достовірні дослідні дані), оскільки це зв'яже власну творчу думку. Іноді корисно спочатку самостійно намітити шлях дослідження довести його до суттєвого результату, а потім порівняти його з наявними. Не виключено, що при цьому власне рішення виявиться краще (точніше, повніше) існуючих. Можливо й інше: у власному рішенні виявляться помилки. Боятися цього не потрібно, помилки можна виправити, але саме самостійний пошук у науці розвиває творчу думку.

Крім зазначеного, молодий вчений повинен виробити в собі терпіння і витримку. Ці якості необхідні тому, що майже вся наукова праця пов'язана з численними обчисленнями, експериментами, побудовою графіків, діаграм і тому подібною нерідко чисто механічною (нудною) роботою.

1. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

1.1. Загальна теорія пізнання

Загальний метод пізнання ґрунтується на трьох етапах пізнання об'єктивної істини, які є послідовними стадіями розкриття закономірностей матеріального світу:

- безпосереднє спостереження зовнішніх ознак явищ, що відбуваються в природі і людському суспільстві, за допомогою органів чуття. Саме з відчуття і сприйняття починається процес пізнання як сукупності, що відбиває об'єктивні явища матеріального світу. При безпосередніх спостереженнях не виключаються логічні зіставлення, пробні експерименти, використання технічних засобів спостережень і т.п.

- абстрагування (відкидання несуттєвого), а потім розкриття залежностей показників явищ від основних чинників за допомогою аналізу і синтезу явищ. На цій стадії пізнання рухається від явища до сутності, від чуттєво-конкретних чинників до законів природи і суспільства, від конкретного - до абстрактного. При цьому оперування абстрактними поняттями не є самоціль пізнання, а лише засіб сходження до такого знання, що відбивало б конкретне різноманіття світу у всій його повноті.

На цій стадії пізнання широко використовується математичний апарат (математичний аналіз, математична статистика, теорія ймовірності, теорія відносності і т.п.), можливі і чисто логічні висновки, наприклад, у часи старогрецького філософа Аристотеля (IV сторіччя до нашої ери) велися суперечки про те, які тіла важкі чи легкі, падають швидше. Шляхом чисто розумових міркувань, мислено уявляючи будь-яке важке тіло як суму великого числа легких тіл, Аристотель довів, що всі тіла, якщо не враховувати опору навколишнього середовища, падають з однаковим прискоренням. Пізніше це твердження було перевірено і підтверджено точними експериментами.

Перевірка теоретичних висновків практикою. Процес пізнання на будь-якій стадії тісно пов'язаний із практикою, що виступає в якості основи пізнання, сфери застосування знань і критерію істини. Основним змістом практики є виробнича діяльність людського суспільства, але в неї включаються також науковий експеримент і інші види матеріальної діяльності людей.

На останній стадії пізнання практика виступає як критерій теоретичних висновків і мірило обмеження можливості застосування відкритих закономірностей.

Для розв'язання конкретних наукових задач застосовуються спеціальні методи дослідження.

1.2. Індуктивний метод

Індуктивний метод полягає в узагальненні окремих рішень [6,9]. Інакше кажучи, пізнання рухається тут від часткового до загального.

Наприклад, є ступінчастий поліспасти із n рухливими блоками (рис.1.1). Потрібно вивести формулу для визначення натягу каната, який намотується на барабан. Нехай втрати на тертя і перегин каната в кожному блоці визначаються коефіцієнтом k ($k > 1$). Тоді для 1-го блоку

$$Q = S_1 + S_2 = S_1 + kS_1 = S_1(1+k) :$$

$$S_1 = \frac{Q}{1+k} ; S_2 = \frac{Qk}{1+k}$$

Для 2-го блоку:

$$S_2 = \frac{Qk}{1+k} = S_3(1+k) ; S_3 = \frac{Qk}{(1+k)^2} ; S_4 = \frac{Qk^2}{(1+k)^2}$$

Для 3-го блоку:

$$S_4 = \frac{Qk^2}{(1+k)^2} = S_5(1+k) ; S_5 = \frac{Qk^2}{(1+k)^3} ; S_6 = \frac{Qk^3}{(1+k)^3}$$

Для 4-го блоку:

$$S_6 = \frac{Qk^4}{(1+k)^4} \text{ і т.д.}$$

Очевидно, що при переході до чергового блоку показник ступеня величин k і $(1+k)$ зростає на одиницю і стає рівним числу рухомих блоків. Отже для n блоків загальна формула для натягу каната буде мати вигляд

$$S_n = \frac{Qk^n}{(1+k)^n}$$

Індуктивний метод може бути використаний для виведення емпіричних формул. Наприклад, експериментально отримана залежність опору пересування W 10-тонного кранового візка від швидкості V у такому вигляді:

$$V = 1 \text{ м/сек} \quad W = 41 \text{ Н} = 40 + 1(1)^2 ;$$

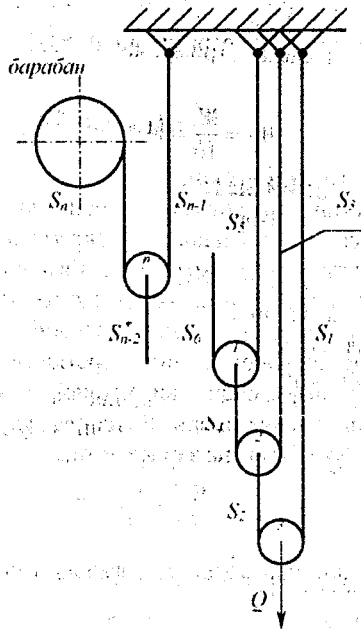


Рис. 1.1. Схема ступінчастого поліспада

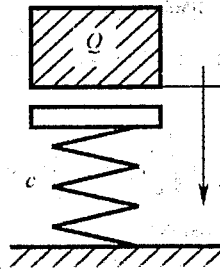


Рис. 1.2. Схема навантаження пружної системи

$$V = 2 \text{ м/сек} \quad W = 45 \text{ Н} = 40 + 5(\approx 2^2) ;$$

$$V = 3 \text{ м/сек} \quad W = 49 \text{ Н} = 40 + 9(3^2) ;$$

$$V = 4 \text{ м/сек} \quad W = 55 \text{ Н} = 40 + 15(\approx 4^2) ;$$

$$V = 5 \text{ м/сек} \quad W = 65 \text{ Н} = 40 + 25(5^2) .$$

Узагальнюючи праві числа, отримуємо $W \approx (40 + V^2) \text{ Н}$, або питомий опір пересуванню

$$W_v = \frac{W}{10} = (4 + 0,1V^2) \text{ Н/тн} .$$

1.3. Дедуктивний метод

Метод дедукції є зворотним стосовно до індуктивного методу. Тут пізнання рухається від загального до окремого [3]. Цим методом часто користуються для отримання окремих розв'язків із загального.

Нехай вантаж вагою Q вільно падає на пружну опору (рис. 1.2). У момент зіткнення опори і вантажу швидкість останнього дорівнює V . Жорсткість опори дорівнює c (під жорсткістю розуміється відношення навантаження до деформації, викликаной нею). Потрібно визначити максимальне навантаження опори. Рівняння руху вантажу після зіткнення (у диференціальній формі) можна записати так:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{c}{m}x - g ,$$

де $m = \frac{Q}{g}$, g – земне прискорення. Загальний розв'язок вище написаного рівняння має вигляд:

$$x = A \sin \sqrt{\frac{c}{m}}t + B \cos \sqrt{\frac{c}{m}}t + \frac{Q}{c} , \quad (1)$$

де A і B – постійні інтегрування, t – час. Початкові умови: при $t=0$; $x=0$;
 $\frac{dx}{dt} = V$.

Підставляючи в (1), отримаємо:

$$A_0 = V \cdot \frac{m}{c} , \quad B_0 = -\frac{Q}{c} .$$

Тоді

$$x = V \sqrt{\frac{m}{c}} \sin \sqrt{\frac{m}{c}}t_m + \frac{Q}{c} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{m}{c}}t_m \right) . \quad (2)$$

Досліджуємо x на максимум:

$$\frac{dx}{dt} = V \cos \sqrt{\frac{c}{m}}t_m + \frac{Q}{c} \sqrt{\frac{c}{m}} \sin \sqrt{\frac{c}{m}}t_m = 0 ,$$

чи

$$\operatorname{tg} \sqrt{\frac{c}{m}} t_m = -\frac{Vc}{Q} \sqrt{\frac{m}{c}}$$

Виражаючи в (2) $\sin \sqrt{\frac{c}{m}} t$ і $\cos \sqrt{\frac{c}{m}} t$ через $\operatorname{tg} \sqrt{\frac{c}{m}} t_m$ і перетворюючи, отримаємо

$$x_{\max} = \frac{1}{c} \sqrt{V^2 mc + Q^2} + \frac{Q}{c}$$

Максимальне навантаження F_{\max} опори

$$F_{\max} = cx_{\max} = \sqrt{V^2 mc + Q^2} + Q \quad (3)$$

Формула (3) є загальною і справедлива для випадку, коли U, C і $Q > 0$.

Досліджуємо окремі випадки.

При $V = 0$ з формули (3) одержимо $F_{\max} = 2Q$.

При $Q = 0$ природно, $F_{\max} = 0$.

При $c \rightarrow \infty$ $F_{\max} \Rightarrow \infty$.

При $c \rightarrow 0$ $F_{\max} \Rightarrow 2Q$.

Одночасно зауважуємо, що при $c = 0$ задача не має змісту.

1.4. Метод формальної логіки

Сутність формальної логіки полягає у використанні визначених положень стверджувального характеру (сілогізмів) для розумового висновку нового твердження. Наприклад, якщо $A=B$, а частина $B=C$, то можна стверджувати, що частина $A=C$. Формальна логіка включає в себе так звану, математичну (символічну) логіку, яка є основою для складання математичних алгоритмів.

Нехай є дві позитивні величини a і b , причому $a > b$. Потрібно знайти найбільший загальний дільник цих величин.

Складемо алгоритм даної задачі

$$a = nb + b_1$$

$$b = n_1 b_1 + b_2$$

$$b_1 = n_2 b_2 + b_3$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\dots \dots \dots$$

$$b_{k-1} = n_k b_k$$

Значення b_k є найбільшим загальним дільником величин a і b .

Методи математичної логіки послужили основою для створення операторного числення, теорії матриць, теорії імовірності і т.п. На принципах математичної логіки працюють сучасні інформаційні (логічні) машини, електронно-обчислювальні машини та ін.

2.СКЛАДОВІ ЕЛЕМЕНТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У спрощеному вигляді послідовність виконання наукового дослідження показана на рис. 2.1.

Вихідні дані повинні містити в собі: стан досліджуваного питання, показ неповноти чи суперечливості існуючих досліджень, доказ доцільності подальших досліджень і формулювання поставленої задачі [7].

2.1.Обмеження і припущення в наукових дослідженнях

Важливою частиною першого етапу досліджень є вибір і обґрунтування обмежень області дослідження, що можуть бути дійсними (безумовними), викликаними незнанням і помилками.

Прикладами дійсного обмеження можуть служити такі: вода - це рідина при нормальному атмосферному тиску тільки в межах від 0° до 100°; пружні коливання механічної системи можна розглядати тільки при напругах, менших межі пружності; канати і ланшоги передають тільки розтягувальні навантаження і т.п.

Дослідження динаміки машин і інженерних конструкцій, які представляються у вигляді схем тільки з дискретними масами, є результатом незнання теорії хвильових процесів, використовуючи яку, можна отримати результати вказаних досліджень більш точними. Помилкові обмеження - результат упередженості. Відома задача про 9-ть крапок, які потрібно з'єднати 4-ма прямими, не розв'язується, якщо апріорно покласти, що ці прямі не повинні виходити за периметр системи крапок. При знятті цього обмеження задача легко розв'язується (рис. 2.2).

Теоретичним дослідженням звичайно передують вибір припущень (виключення несуттєвого), які потрібно робити обдумано. Розумний вибір допущень залежить від досвіду і наукової інтуїції дослідника. Іноді для того, щоб переконатися в можливості допущення виконують розрахунки і пробні експерименти.

2.2.Моделювання досліджуваних явищ

Предмет дослідження і досліджуваних явищ подаються у вигляді моделі чи схеми. Моделювання явищ може бути графічне, математичне, натурне, аналогове і т.п. Наприклад, вітрове навантаження зручно виразити у вигляді функції $P=f(t)$, де P - сила вітру і t - час (рис. 2.3). Математичне моделювання представляється у вигляді формул. Наприклад, прогин консольної балки в місці прикладання сили P (рис. 2.4)

визначається формулою: $\Delta = \frac{PX^3}{3EI}$, де E і I відповідно модуль пружності і момент інерції перерізу балки [13]. Наведена формула моделює залежність Δ від x .

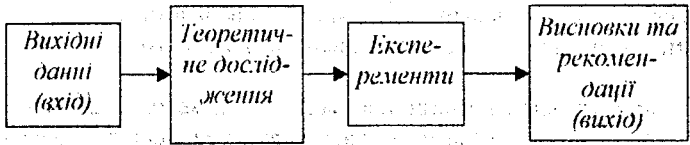


Рис. 2.1. Структурна схема наукових досліджень

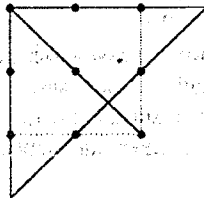


Рис. 2.2. Приклад зняття хвибного обмеження

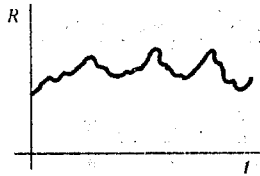


Рис 2.3. Приклад графічного моделювання

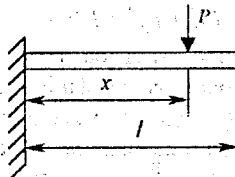


Рис. 2.4. Схема прикладу математичного моделювання

У наукових дослідженнях успішно застосовуються так звані аналогові системи, сутність яких складається у вивченні процесу, аналогічного досліджуваному, але іншого за фізичною природою. Наприклад, вимірюючи опір дротяного електричного давача, визначають механічну напругу в досліджуваному предметі, додавання і вирахування будь-яких величин здійснюються за допомогою потенціометра шляхом додавання і віднімання відповідних напруг струму і т.д.

Мета складання схеми предмета дослідження і діючих на нього факторів - наочно подати основні параметри досліджуваного об'єкта. Наприклад, для дослідження процесів руху деякого приводного пристрою (рис 2.5,а), що складається з двигуна, муфт, валів, ряду передач і виконавчого елемента, доцільно представити у вигляді двомасової схеми з одним пружним зв'язком (рис 2.5,б).

У цьому випадку використовується метод приведення, що полягає в нижче наведеному [2]. Нехай є ряд мас, що рухаються з різними швидкостями, що мають моментами інерції I_1, I_2, I_3 і т.д. Відповідні кутові швидкості руху $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ і т.д. Кінетична енергія всієї системи дорівнює

$$T = \frac{I_1 \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \omega_2^2}{2} + \frac{I_3 \omega_3^2}{2} + \dots$$

Позначимо момент інерції приведеної маси J_n , а кутову швидкість вала, до якого приводяться маси ω_0 . Тоді за законом збереження енергії

$$I_n \frac{\omega_0^2}{2} = \frac{I_1 \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \omega_2^2}{2} + \frac{I_3 \omega_3^2}{2} + \dots$$

Звідки

$$I_n = I_1 \frac{\omega_1^2}{\omega_0^2} + I_2 \frac{\omega_2^2}{\omega_0^2} + I_3 \frac{\omega_3^2}{\omega_0^2} + \dots$$

Позначаючи передатні відношення

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = i_1, \quad \frac{\omega_2}{\omega_0} = i_2, \quad \frac{\omega_3}{\omega_0} = i_3 \quad \text{і т.д.},$$

отримасмо

$$I_n = I_1 i_1^2 + I_2 i_2^2 + I_3 i_3^2 + \dots$$

При наявності істотних втрат на тертя в передачах їх можна врахувати введенням відповідних коефіцієнтів корисної дії. Пружний зв'язок, що з'єднує маси в приведеній схемі, характеризується жорсткістю, тобто відношенням навантаження до викликаної нею деформації. Жорсткість може бути лінійна (H/M) і кутова ($H_{\text{кр}}/r_{\text{рад}}$). У приведеній схемі (рис. 2.5,б) жорсткість також повинна бути приведеною. Нехай пружна система (кінематичний ланцюг) містить n пружних елементів, що мають жорсткості c_1, c_2, c_3 і т.д.; передатні відношення між цими елементами і

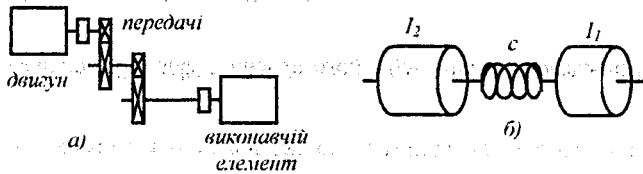


Рис. 2.5. Дійсна (а) та приведена (б) схеми приводного пристрою

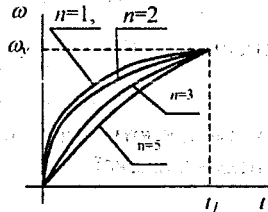


Рис. 2.6. Криві $\omega = f(t)$ при різних значеннях n .

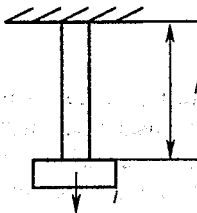


Рис. 2.7. Схема навантаження стержня силою

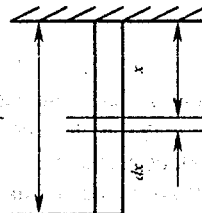


Рис. 2.8. Схема навантаження стержня силою власної ваги

ланкою приведення нехай будуть i_1, i_2, i_3, \dots т.д. Деформація першої пружної ланки під дією навантаження M дорівнює $\varphi_1 = \frac{M}{C_1}$. На другу ланку буде

діяти навантаження рівне Mi_1 і його власна деформація складася $\varphi_2 = \frac{Mi_1}{C_2}$.

Якщо що деформацію привести до першої ланки, отримаємо $\varphi_{21} = \frac{Mi_1^2}{C_2}$.

Аналогічно для третьої пружної ланки $\varphi_3 = \frac{Mi_2}{C_3}$ й $\varphi_{31} = \frac{Mi_2^2}{C_3}$ і т.д.

Повна приведена до першої ланки деформація системи дорівнює

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_{21} + \varphi_{31} + \dots + \varphi_{n-1},$$

чи

$$\varphi = \frac{M}{c_1} + \frac{Mi_1^2}{c_2} + \frac{Mi_2^2}{c_3} + \frac{Mi_3^2}{c_4} + \dots + \frac{Mi_{n-1}^2}{c_n}.$$

Приведена жорсткість:

$$c = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{i_1^2}{c_2} + \frac{i_2^2}{c_3} + \frac{i_3^2}{c_4} + \dots + \frac{i_{n-1}^2}{c_n}}.$$

Втрати на тертя збільшують жорсткість і можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами корисної дії.

2.3. Математична апроксимація досліджуваних явищ

Деякі технічні процеси не описуються точно у вигляді якої-небудь математичної функції. Тому для зручності наступного математичного аналізу їх (процеси) з тим чи іншим ступенем наближення виражають у вигляді полінома, синусоїди, нескінченного ряду і т.д.

Так, досліджуючи процес розгону редукторної установки з електродвигуном, використовують сімейство парабол виду

$$y = \frac{an}{n-1} \left(x - \frac{x^n}{nb^{n-1}} \right) + c.$$

Особливість цього сімейства парабол полягає в тому, що при незмінних a й b , але різних n , усі криві перетинаються в двох точках, що відповідають $x = 0$ і $x = b$. Якщо позначити ω - кутову швидкість вала двигуна, t_1 - час розгону пристрою, t - поточний час, то виконавши відповідні підстановки у вищенаведений вираз, отримаємо

$$\omega = \frac{an}{n-1} \left(t - \frac{t^n}{nb^{n-1}} \right) + c.$$

Початкові умови при розгоні будуть: при $t=0$, $\omega=0$; при $t=t_1$, $\omega=\omega_1$,

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.$$

де ω - швидкість сталого руху.

Після підстановки початкових умов отримаємо

$$\omega = \frac{\omega_0 n}{(n-1)t_1} \left(t - \frac{t^n}{n t_1^{n-1}} \right).$$

Змінюючи величину n , можна отримати ряд кривих, що наближаються до дійсного (рис. 2.6.)

2.4. Прийоми аналізу і синтезу явищ

Пристаючи до аналізу і синтезу досліджуваних явищ, необхідно усвідомити і добре уявляти собі ідею майбутніх висновків, а також вибрати відповідний математичний апарат. Наприклад, при визначенні подовження стрижня без врахування його ваги під дією сили ваги вантажу (рис. 3.7.) міркують.

Напруга в стрижні σ дорівнює відносному подовженню $\frac{\Delta}{l}$ помноженому на модуль пружності E , тобто $\sigma = \frac{\Delta}{l} E$. Але $\sigma = \frac{P}{F}$ де F - площа поперечного перерізу стрижня. Тоді подовження стрижня Δ буде дорівнювати $\Delta = \frac{Pl}{EF}$ [3]. Як бачимо, для висновку залежності подовження стрижня від сили досить простих алгебраїчних операцій.

У випадку, якщо потрібно знайти подовження стрижня тільки від власної ваги, потрібно інший математичний апарат. Нехай вертикально розташований стрижень має довжину l і погонну вагу q (рис. 2.8.). Очевидно, подовження ділянок стрижня, розташованих ближче до кріплення, буде більше, ніж розташованих на кінці. Математично подовження dy елементарної ділянки dx (відповідно до висновку, зробленого вище) може бути записане у вигляді $dy = \frac{q(l-x)dx}{EF}$, де всі позначення зазначені вище і на рис. 2.8. Повне подовження у знайдемо з рівняння $y = \int_0^l \frac{q(l-x)dx}{EF} = \frac{ql^2}{2EF}$.

Отже, в останньому випадку потрібно використати більш складний математичний прийом.

При теоретичних висновках надзвичайно важливо визначити реальні і достатні для даного випадку початкові і граничні умови. Нехай, наприклад, до деякої пружної невагомої балки, що має жорсткість s , прикладається без початкової швидкості вантаж масою m (рис. 2.9). При безпосередньому спостереженні можна помітити, що при цьому виникають коливання вантажу. Потрібно знайти частоту, період і максимальну

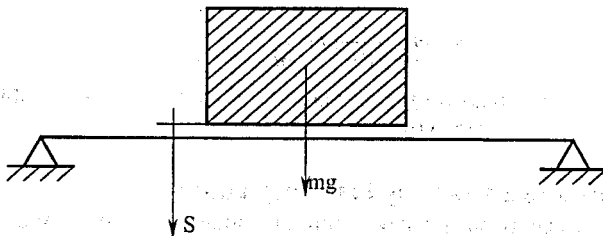


Рис. 2.9. Схема динамічного навантаження балки

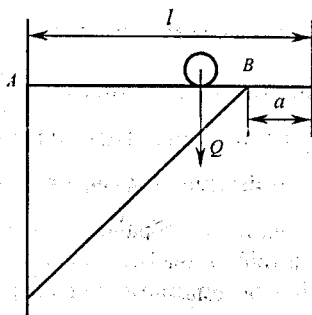


Рис. 2.10. Схема навантаження поперечки крана вагою вантажу

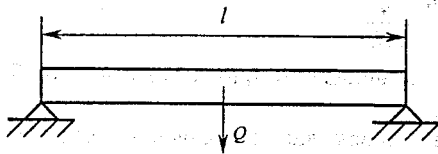


Рис. 2.11. Спрощена розрахункова схема вала зубчастої передачі

амплітуду коливань. Диференціальне рівняння руху вантажу запишемо у вигляді

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + \frac{c}{m} S = g$$

Загальний розв'язок рівняння:

$$S = A \sin \sqrt{\frac{c}{m}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{m}} t + \frac{mg}{c}$$

Приймемо початкові умови: при $t=0$, $S=0$, $\frac{ds}{dt}=0$. Тоді $A=0$, $B=-\frac{mg}{c}$.

Остаточний розв'язок $S = \frac{mg}{c} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m}} t \right)$. Звідси частота коливань

$k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$, період коливань $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{c}}$, максимальна амплітуда $S_{\max} = \frac{2mg}{c}$.

Припустимо тепер, що при $t=0$, $S = \frac{mg}{c}$ і $\frac{ds}{dt}=0$. Тоді $A=0$, $B=0$, $S_{\max} = \frac{mg}{c}$, а коливань не буде. Таким чином, обрані початкові умови не виявляють характер коливального процесу системи.

2.5. Задачі досліджень за одним і декількома критеріями

Найбільш часто наукові дослідження мають на меті з'ясувати закономірності того чи іншого явища, знайти взаємозв'язок окремих величин і в остаточному підсумку виявити вплив різних факторів на досліджуваний показник явища. Якщо цей показник один, то відповідні дії називають дослідженням за одним показником чи критерієм. У машинобудуванні такими показниками є міцність, твердість, зносостійкість і т.д. Іноді критерій дослідження може виражатися не у вигляді якого-небудь показника працездатності, а у вигляді іншого поняття, наприклад, критерію оптимуму. Наприклад, досліджується вплив технологічного навантаження Q консольного крана на міцність поперечки ферми (рис. 2.10.). При цьому потрібно відшукати оптимальне, з погляду міцності поперечки, відношення величин a і l [1].

Візок крана може знаходитися в будь-якому місці по довжині вильоту. Найбільші моменти, що згинають поперечку будуть, коли візок знаходиться в середині прольоту (між A і B) чи на крайньому правому кінці. Ці моменти будуть рівні

$$M_1 = \frac{Q(l-a)}{4} \quad ; \quad M_2 = Qa$$

Очевидно оптимальним співвідношенням буде

$$M_1 = M_2, \quad \frac{Q(l-a)}{4} = Qa$$

чи $l=5a$.

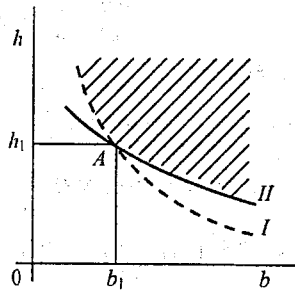


Рис. 2.12. Межа допустимих значень b і h

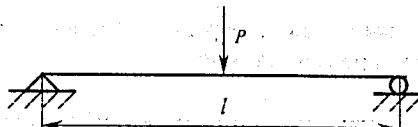


Рис. 2.13. Спрощена розрахункова схема вала зубчатої передачі

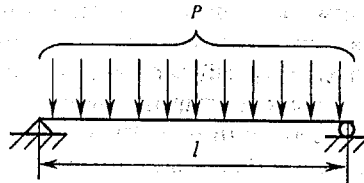


Рис. 2.14. Можлива розрахункова схема вала

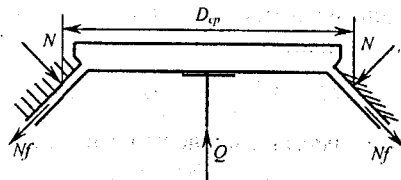


Рис. 2.15. Схема фрикційної муфти

Прикладом дослідження за двома критеріями може бути задача. Нехай є вільно оберта балка прямокутного перерізу $b \times h$ навантажена в середині силою P , відстань між опорами дорівнює l (рис. 3.11.). Потрібно знайти оптимальні значення b і h за умовами заданих значень міцності і жорсткості [1]. Напряга згину дорівнює $\sigma = \frac{Pl}{4w}$, де $W = \frac{bh^2}{2bh^2}$ момент опору площі перерізу балки. Умова міцності забезпечується нерівністю $\sigma = \frac{Pl}{4w} = \frac{3Pl}{2bh^2} < [\sigma]$, де $[\sigma]$ – гранична напруга, що допускається.

Перетворивши, отримаємо $b > \frac{3Pl}{2h^2[\sigma]}$.

Умова жорсткості визначається допустимим прогином балки, який дорівнює $\Delta = \frac{Pl^3}{48EI}$, де E - модуль пружності при згині; $I = \frac{bh^3}{12}$ - момент інерції перерізу балки.

Тепер отримаємо нову нерівність $b > \frac{Pl^3}{4E\Delta h^3}$.

У системі координат $b0h$, (рис. 2.12.) проведемо криві $b=f(h)$ по зазначених нерівностях. Очевидно, заштрихована площа містить безліч значень b і h , що задовільняють вказану нерівність.

Однак усі точки цієї площі, крім точки A будуть відповідати або зайвій міцності або зайвій жорсткості або тій та іншій.

У точці A обидві нерівності будуть рівностями. Відповідні значення b_1 і h_1 будуть оптимальними.

У технічних дослідженнях розрізняють задачі недовизначені, визначені і перевизначені. У першому випадку необхідно вносити додаткові умови, що обмежують мету дослідження, але дають визначеність. В останньому випадку виникає задача дослідження з декількома критеріями, як це показано вище на найпростішому прикладі.

2.6. Оцінка вірогідності досліджень і границі їхнього можливого застосування

Істина завжди об'єктивна, але вона відносна. Шляхом відкриття відносних істин ми наближаємося до абсолютної істини, яку вважаємо пізнаваною. Наприклад, при розрахунку валів зубчастих передач часто приймають розрахункову схему у вигляді (рис. 2.13.).

Відомо, що для такої схеми максимальна напруга вала $\sigma = \frac{Pl}{4W}$, де W - момент опору перерізу вала. Якщо розрахункову схему прийняти більш близькою до реальних умов (рис. 2.14.), то в цьому випадку напруга

$\sigma = \frac{Pl}{8W}$, тобто в два рази менша поперечної. Далі, якщо думати, що опори

можна уподібнити зацімленням, то $\sigma = \frac{Pl}{12W}$.

Однак, якщо врахувати деяку неточність обробки отвору під вал, зазори в підшипниках, пружність опор і т.п., то, очевидно, результат буде більш точним.

Як приклад встановлення межі можливого застосування отриманих формул покажемо визначення моменту тертя в конічній фрикційній муфті [5]. Зусилля Q врівноважується реакціями N і силами тертя Nf (рис. 2.15.), де x – коефіцієнт тертя, тобто $Q = 2N \sin \varphi + 2Nf \cos \varphi$.

Звідки

$$N = \frac{Q}{2(\sin \varphi + f \cos \varphi)}$$

Момент тертя в муфті

$$M = NfD_{cp} = \frac{QfD_{cp}}{2(\sin \varphi + f \cos \varphi)}$$

При $\varphi = 0$, $M = \frac{QfD_{cp}}{2}$, що не узгоджується з практикою. При $\varphi = \frac{\pi}{2}$,

$M = \frac{QfD_{cp}}{2}$, що з деяким наближенням підтверджується практикою. Отже,

для практичного застосування отриманої формули кут $\frac{\pi}{2} > \varphi > 0$.

2.7 Роль експерименту в наукових дослідженнях обробки результатів дослідів

Сучасна техніка експерименту досягла дуже високого рівня [10]. У машинобудуванні експериментально визначають різні величини: швидкості руху, моменти сил, механічні напруги і т.д. Як правило, експеримент служить для перевірки справедливості теоретичних висновків, окремих припущень, прийнятих априорно при цих висновках.

Вимірювальні і реєстраційні (самозаписуючі) пристрої поділяються на механічні, оптичні й електричні. До перших відносяться механічні динамометри, тензометри, торсіометри (торсіографи), тахометри, акселерометри (акселерографи) і т.д., до других - кінознімальні і фототіньові апарати, оптичні аналізатори й ін., до третіх - осцилографи, вібраторні й електронні ваттметри, електричні аналізатори і т.п. За способами одержання інформації вимірювальні і реєстраційні пристрої поділяються на такі, що показують і реєструють безпосередньо, чи за допомогою перетворювачів. Прикладом одного з пристроїв першого типу є віброметр, показаний на рис. 2.16.

Прилад кріпиться на досліджуваному об'єкті і при експерименті рухається з ним синхронно. При цьому вантаж робить коливальні рухи. По

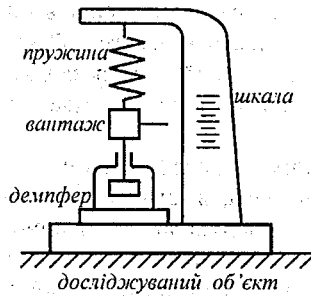


Рис. 2.16. Схема віброметра



Рис. 2.17. Схема тензومتра

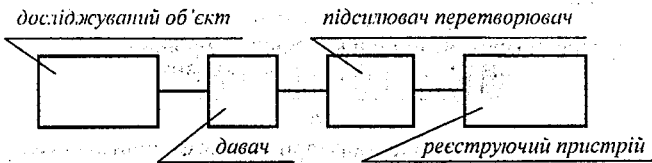


Рис. 2.18. Структурна схема осцилографа

шкалі можна судити, про амплітуду і частоту коливання вантажу, а, отже, і досліджуваного об'єкта. На рис. 2.17 показана схема тензометра, що складається з двох важелів, скріплених шарнірно в точці O . Кінці важелів у точках a і b фіксуються на досліджуваному об'єкті. Після прикладення сили P останній деформується, точки a і b розходяться і по шкалі можна визначити величину цієї розбіжності a , отже, і повної деформації досліджуваного об'єкта.

Для вимірів, зв'язаних з дослідженнями механічних систем на міцність, деформації і коливання, велике поширення в даний час мають прилади, що виглядають інформацію за допомогою перетворювачів, наприклад, осцилографи з тензочутливими перетворювачами (тензодавачі). Принцип дії осциллографа оснований на тому, що: на об'єкт, що підлягає дослідженню, наклеюються давачі, складені з провідків чи фольги; при деформації об'єкта давачі також змінюють свої розміри (переріз, довжину), що викликає зміну їхніх електричних властивостей (наприклад, електричного опору). Електричні параметри, одержувані від давачів, підсилюються і перетворюються відповідним чином у необхідні для реєстраційного пристрою, у результаті на плівці чи фотопалері виходить запис явищ (наприклад, коливань), що відбуваються в досліджуваному об'єкті в часі. За допомогою осциллографа можна записувати зміни в часі відразу декількох величин. Структурна схема осциллографа показана на рис. 2.18.

Інформація, одержувана за допомогою вимірювального чи реєстраційного пристрою, підлягає обробці.

Нехай отримано n результатів вимірювань і кожний з них відрізняється один від одного на якусь величину. Середня арифметична величина вимірювань дорівнює

$$a_{cp} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

де a_1, a_2, a_3 і т.д. - значення одиничних вимірювань. Очевидно, чим більше n , тим величина a_{cp} буде ближча до дійсного значення вимірюваного параметра.

Випадкові відхилення ρ_1, ρ_2, ρ_3 і т.д. можна записати так:

$$\rho_1 = a_1 - a_{cp}, \rho_2 = a_2 - a_{cp}, \rho_3 = a_3 - a_{cp} \text{ і т.д.}$$

Середня арифметична величина відхилень дорівнює

$$\rho_{cp} = \frac{|\rho_1| + |\rho_2| + |\rho_3| + \dots + |\rho_n|}{n}$$

Похибку вимірювання у відсотках при заданому n визначимо у такий спосіб:

$$\frac{\rho_{cp}}{a_{cp}} 100\%$$

Якщо отримана величина похибки не задовольняє умову дослідження, необхідно збільшити число n , тобто число разових вимірювань.

Варто мати на увазі, як ретельно не був виконаний експеримент, він не може бути розповсюджений на області, що виходять за межі умов, при яких він проводився.

3. НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Під механічними системами далі будемо розуміти приводні пристрої (машини, механізми) і інженерні споруди (мости, перекриття, пальові споруди і т.п.). Усі перераховані системи в процесі експлуатації сприймають і передають різні навантаження, змінні (у загальному випадку) у часі. Предметом більшості наукових досліджень роботи механічних систем є питання, зв'язані з міцністю, довговічністю, спрацьованістю, стійкістю руху, коливальними процесами і т.д. Нижче розглянуті приклади деяких досліджень механічних систем [1, 2, 3, 11].

3.1. Дослідження несталих режимів роботи приводних пристроїв

Нехай є деякий приводний пристрій, що складається з двигуна, передачі і виконавчого елемента. Потрібно знайти характер зміни навантажень валів і передач цього пристрою при несталих режимах його роботи, тобто при розгоні і гальмуванні. Шляхом приведення (див. вище) подамо досліджуваній пристрій у вигляді двох мас, з'єднаних пружною ланкою (рис. 3.1.). Позначимо координати ведучої і ведомої мас φ_1 і φ_2 , приведені моменти інерції I_1 і I_2 , жорсткість пружної ланки c , рушійний момент M_g і момент статичного опору M_c .

Робимо обмеження:

- $I_1 = \text{const}$ і $I_2 = \text{const}$;
- напруження в пружній ланці не перевищує межі пружності;
- у момент початку руху система навантажена статичним моментом.

Допущення:

- $M_g = \text{const}$ і $M_c = \text{const}$;
- ланка, що з'єднує маси, абсолютно пружна і невагома;
- внутрішнє тертя відсутнє.

Для складання рівнянь руху системи використовуємо рівняння Лагранжа 2-го роду

$$\frac{d}{dt} \frac{dT}{d\dot{\varphi}_i} - \frac{dT}{d\varphi_i} + \frac{d\Pi}{d\varphi_i} = \sum M_i$$

де T - кінетична енергія системи; Π - потенціальна енергія системи, φ_1 і φ_2 - узагальнені координата і швидкість, M_i - зовнішні навантаження, t - час.

Кінетична $T = \frac{I_1}{2} \left(\frac{d\varphi_1}{dt} \right)^2 + \frac{I_2}{2} \left(\frac{d\varphi_2}{dt} \right)^2$. Потенціальна енергія $\Pi = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 c}{2}$.

Підставляючи відповідним чином у рівняння Лагранжа значення T і U і з огляду на те, що $\frac{d\varphi}{dt} = 0$, а на маси I_1 і I_2 діють відповідно зовнішні

навантаження M_1 і M_2 , одержимо

$$I_1 \frac{d^2\varphi}{dt^2} + (\varphi_1 - \varphi_2) k = +M_1$$

$$I_2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} + (\varphi_1 - \varphi_2) k = -M_2$$

Оскільки необхідно знайти не окремі величини φ_1 й φ_2 , а деформації пружної ланки, тобто $\varphi_1 - \varphi_2$, зведемо систему з двох рівнянь до одного. Для цього помножимо перше рівняння на I_2 , а друге на I_1 і віднімемо від першого друге. Тоді вводячи позначення $\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi$ і перетворивши, одержимо

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2} \varphi = \frac{M_1 I_2 + M_2 I_1}{I_1 I_2}$$

Розв'язок вище написаного рівняння одержимо у вигляді

$$\varphi = A \sin \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t + B \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t + \frac{M_1 I_2 + M_2 I_1}{c(I_1 + I_2)}$$

Початковими умовами відповідно до зазначеного вище припущення будуть $t=0, \varphi = \frac{M_1}{c}, \frac{d\varphi}{dt} = 0$

Тепер

$$\varphi = \frac{(M_1 + M_2) I_1}{c(I_1 + I_2)} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t \right) + \frac{M_1}{c}$$

Навантаження пружної ланки, мабуть, буде змінюватися за таким законом.

$$M = c\kappa = \frac{(M_1 + M_2) I_1}{I_1 + I_2} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t \right) + M_1$$

Максимальне значення навантаження

$$M_{\max} = \frac{2(M_1 + M_2) I_1}{I_1 + I_2} + M_1$$

Якщо змінити одне з обмежень, а саме, нехай у момент початку рух ведучої маси пружна ланка не звантажена і рух усієї системи починасмо тільки після того, як пружна ланка буде мати деформацію рівну $\frac{M_1}{c}$, тоді дослідження руху системи можна зробити в два етапи. На першому етапі рухастся тільки ведуча маса. Рівняння її руху має вигляд

$$I_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + c \varphi_1 = M_x$$

Загальний розв'язок $\varphi_1 = A \sin \sqrt{\frac{c}{I_1}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{I_1}} t + \frac{M_x}{c}$.

При $t=0 \dots \varphi_1 = 0$ і $\frac{d\varphi_1}{dt} = 0$

$$\text{Тоді } \varphi_1 = \frac{M_x}{c} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{I_1}} t \right)$$

Швидкість деформації пружної ланки $\frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{M_x}{c} \sqrt{\frac{c}{I_1}} \sin \sqrt{\frac{c}{I_1}} t$.

Закінчення 1-го етапу $\varphi_1 = \frac{M_c}{c} = \frac{M_x}{c} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{I_1}} \tau \right)$,

де τ - час 1-го етапу.

З попереднього знаходимо, що $\tau = \sqrt{\frac{I_1}{c}} \arccos \frac{M_x - M_c}{M_x}$.

Підставляючи значення τ в рівняння, що виражає $\frac{d\varphi_1}{dt}$, одержимо

$$\left(\frac{d\varphi_1}{dt} \right)_\tau = \frac{M_x}{c} \sqrt{\frac{c}{I_1}} \sin \left[\arccos \frac{M_x - M_c}{M_x} \right]$$

$$\text{або } \left(\frac{d\varphi_1}{dt} \right)_\tau = \sqrt{\frac{M_c (2M_x - M_c)}{c I_1}}$$

Другий етап описується тією же системою рівнянь, що і раніше.

Загальний розв'язок цієї системи відносно $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ відомий і дорівнює

$$\varphi = A \sin \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t + B \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t + \frac{M_x I_2 + M_c I_1}{c(I_1 + I_2)}$$

На відміну від попереднього, початкові умови тепер будуть такими:

при $t=0$ (відлік часу з початку 2-го етапу) $\varphi = \frac{M_c}{c}$, $\frac{d\varphi}{dt} = \left(\frac{d\varphi_1}{dt} \right)_\tau$.

Підставляючи початкові умови в загальний розв'язок, одержимо

$$\varphi = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{M_c (2M_x - M_c) I_2}{I_1 + I_2}} \sin \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t - \frac{(M_x - M_c) I_2}{c(I_1 + I_2)} \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t + \frac{M_x I_2 + M_c I_1}{c(I_1 + I_2)}$$

Закон зміни навантаження пружної ланки подамо у вигляді $M = \varphi c$.

Звичайним шляхом знаходимо максимальне значення навантаження

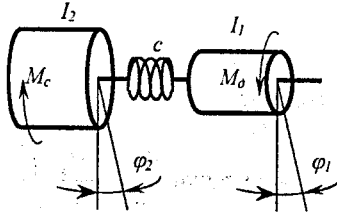


Рис. 3.1. Розрахункова схема привідного пристрою

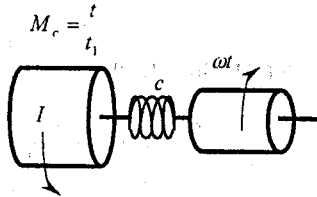


Рис. 3.2. Розрахункова схема навантаження привідного пристрою після резонану

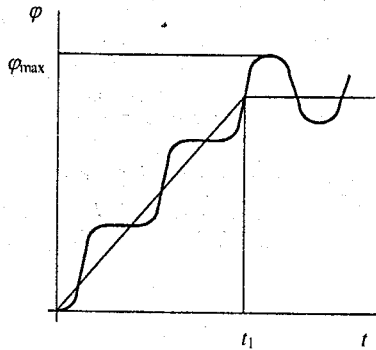


Рис. 3.3. Загальний вигляд кривої $\varphi = f(t)$

$$M_{\max} = \frac{(M_g - M_c)I_2}{I_1 + I_2} + \sqrt{\frac{I_2}{I_1 + I_2} \left[M_c(2M_g - M_c) + \frac{(M_g - M_c)^2 I_2}{I_1 + I_2} \right]} + M_c$$

При гальмуванні характер зміни навантаження пружної ланки зв'язаний з місцем установки гальма. Якщо гальмо встановлене на ведучій масі, то вираження навантаження пружної ланки має вигляд:

$$M = \frac{(M_r - M_c)I_2}{I_1 + I_2} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t \right) - M_c$$

Якщо ж гальмо встановлене на веденій масі, то

$$M = \frac{M_r I_1 - M_c I_2}{I_1 + I_2} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}} t \right) + M_c$$

де M_r - момент, створюваний гальмом. Вищенаведені формули отримані аналогічно попереднім. Відповідно максимальні значення навантажень рівні

$$M_{\max} = \frac{2(M_r - M_c)I_2}{I_1 + I_2} - M_c;$$

$$\text{і } M_{\max} = \frac{2(M_r I_1 - M_c I_2)}{I_1 + I_2} + M_c.$$

3.2. Дослідження процесів навантаження приводних пристроїв після розгону

Після розгону машини приводні механізми навантажуються по-різному. Наприклад, машини виробничо-технологічного призначення (металорізальні верстати, преси і т.д.) після розгону двигуна включаються за допомогою фрикційної муфти і потім навантажуються корисним опором (підведення різального інструмента, подача заготовки під штамп чи пуансон і ін.). Деякі транспортні машини (наприклад, автомобілі) після розгону двигуна приводяться в рух через фрикційну муфту і при цьому навантажуються частиною зовнішнього опору (сили тертя), а з зростанням швидкості довантажуються силами повітряного опору. У загальному випадку зовнішнє навантаження робочого (виконавчого) органа змінне і може змінюватися при цьому у функції координати часу чи швидкості (наприклад, кута повороту). Оскільки координата і швидкість також змінюються в часі, останнє може служити загальним аргументом при дослідженні процесів навантаження.

Розглянемо найпростіший випадок. Нехай приведена система складається з ведучої I_1 і веденої I_2 мас, з'єднаних пружною ланкою з приведеною жорсткістю c (рис. 3.2.).

Процес навантаження веденої маси відбувається у функції часу за лінійним законом, тобто $M_c = \frac{t}{t_1}$, де M_c - максимальне навантаження сталого процесу, t_1 - час навантаження, t - поточний час.

Введемо обмеження і припущення. Припустимо $M_c = \text{const}$, $I_1 = \text{const}$, $I_2 = \text{const}$ а також, що швидкість руху ведучої маси ω постійна на весь період навантаження. Рівняння руху ведучої і веденої мас мають вигляд

$$I_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = 0 ; I_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} - (\varphi_1 - \varphi_2)c = -M_c \frac{t}{t_1}.$$

З першого рівняння одержимо $\varphi_1 = \omega t$. Підставляючи значення φ_1 у друге рівняння і перетворивши, отримаємо

$$\frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + \frac{c}{I_2} \varphi_2 = \left(\omega c - \frac{M_c}{t_1} \right) \frac{t}{I_2}$$

Загальний розв'язок отриманого рівняння:

$$\varphi_2 = A \sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t + \left(\omega - \frac{M_c}{ct_1} \right) t$$

Прийmemo такі початкові умови:

при $t=0$, $\varphi_2=0$ і $\frac{d\varphi_2}{dt} = \omega$, $A = \frac{M_c}{ct_1} \sqrt{\frac{I_2}{c}}$, $B=0$.

Виразження координати веденої маси

$$\varphi_2 = \frac{M_c}{ct_1} \sqrt{\frac{I_2}{c}} \sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t + \left(\omega - \frac{M_c}{ct_1} \right) t$$

Деформація пружної ланки

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{M_c}{ct_1} \left(t - \sqrt{\frac{I_2}{c}} \sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t \right)$$

Отриманий вираз для φ показує, що навантаження пружної ланки має коливальний характер (рис. 4.3.). Досліджуємо ці коливання. Вираз для швидкості деформації пружної ланки отримаємо у вигляді

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{M_c}{ct_1} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t \right)$$

У процесі наростання t $\cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t$ буде змінюватися від -1 до $+1$.

Розглянемо три випадки. Нехай при закінченні навантаження ($t = t_1$)

$\cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t_1 = 0$, тоді $\sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t_1 = \pm 1$,

$$\varphi = \frac{M_c}{ct_1} \left(t_1 \pm \sqrt{\frac{I_2}{c}} \right), \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M_c}{ct_1}$$

Якщо $\cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t_1 = -1$, то $\sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t_1 = 0$.

$$\text{Тоді } \varphi = \frac{M_c}{c}, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2M_c}{ct_1}$$

Нарешті, якщо $\cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t_1 = 1$, то $\sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t_1 = 0$, $\varphi = \frac{M_c}{c}$ і $\frac{d\varphi}{dt} = 0$.

Після припинення наростання навантаження рівняння руху веденої маси можна записати так:

$$I_2 \frac{d_2 \varphi_2}{dt_2} - (\varphi_1 - \varphi_2)c = -M_c$$

Замінивши $\varphi_1 = \omega t$ і перетворивши, одержимо

$$\frac{d_2 \varphi_2}{dt_2} + \frac{c}{I_2} \varphi_2 = -\frac{M_c}{I_2} + \frac{\omega ct}{I_2}$$

Загальний розв'язок: $\varphi_2 = A \sin \sqrt{\frac{c}{I_2}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{I_2}} t - \frac{M_c}{c} + \omega t$.

Деформація: $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = -A \sin \sqrt{\frac{c}{I_1}} t - B \cos \sqrt{\frac{c}{I_1}} t + \frac{M_c}{c}$.

Використаємо отримані різні значення φ й $\frac{d\varphi}{dt}$ у момент закінчення

процесу навантаження веденої маси і по черзі застосуємо їх з метою виявлення характеру зміни навантаження і максимального його значення для пружної ланки. Прийемо новий відлік часу;

$$1) \text{ Нехай при } t=0, \varphi = \frac{M_c}{ct_1} \left(t_1 \pm \sqrt{\frac{I_2}{c}} \right) \text{ і } \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M_c}{ct_1}$$

Підставляючи ці умови в останній розв'язок, знайдемо

$$\varphi = \frac{M_c}{ct_1} \sqrt{\frac{I_1}{c}} \left(\sin \sqrt{\frac{c}{I_1}} t \pm \cos \sqrt{\frac{c}{I_1}} t \right) + \frac{M_c}{c}$$

Звичайним шляхом знаходимо $\varphi_{\max} = \frac{M_c}{ct_1} \sqrt{\frac{2I_1}{c}} + \frac{M_c}{c}$.

$$2) \text{ Нехай тепер при } t=0, \varphi = \frac{M_c}{c} \text{ і } \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2M_c}{ct_1}$$

$$\text{Тоді } \varphi = \frac{2M_c}{ct_1} \sqrt{\frac{I_1}{c}} \sin \sqrt{\frac{c}{I_1}} t + \frac{M_c}{c}$$

$$\text{Очевидно } \varphi_{\max} = \frac{2M_c}{ct_1} \sqrt{\frac{l_1}{c}} + \frac{M_c}{c}$$

$$3) \text{ Нарешті, нехай при } t=0, \varphi = \frac{M_c}{c} \text{ і } \frac{d\varphi}{dt} = 0.$$

$$\text{Тоді } \varphi = \varphi_{\max} = \frac{M_c}{c}$$

Останній результат дуже цікавий, тому що показує, що після припинення наростання навантаження пружна ланка деформується на величину, що відповідає статичному навантаженню, а коливальний процес припиняється.

Прийнята початкова умова (при $t=0, \frac{d\varphi}{dt} = 0$) припускає, що

$$\cos \sqrt{\frac{c}{l_2}} t_1 = 1, \text{ що відповідає } t_1 = 2\pi n \sqrt{\frac{l_2}{c}}, \text{ де } n=1, 2, 3 \text{ і т.д.}$$

Отже, якщо забезпечити час наростання навантаження t_1 , рівний одному зі значень, зазначених вище, то навантаження пружної ланки буде мінімальним. Графік зміни навантаження в пружній ланці при цьому має східчасту форму (рис. 4.4.). Другий з двох попередніх виразів φ_{\max} відповідає максимальному значенню навантаження пружної ланки з усіх можливих.

3.3. Дослідження ударного навантаження машин і споруд

У процесі експлуатації машини і споруди іноді піддаються ударному навантаженню тобто такому механічному впливу одного тіла на інше, при якому в момент їхнього зіткнення швидкості руху кожного не рівні між собою. Машини і споруди в ряді випадків можна шляхом приведення представити у вигляді однієї маси.

Досліджуємо найпростіший випадок зіткнення деякої нерухомої маси m з іншою масою, що рухається з постійною швидкістю V (рис. 4.5.). Нехай на масу m у момент зіткнення діє сила Q , пружна ланка має жорсткість c , координати ведучої і веденої мас позначимо s_1 і s_2 . Диференціальне рівняння руху веденої маси при попередніх обмеженнях і допущеннях запишемо у вигляді

$$m \frac{d^2 s_2}{dt^2} - (s_1 - s_2)c = -Q.$$

Відповідно до зазначених умов $s_1 = Vt$. Підставляючи значення s_1 і

$$\text{перетворюючи, одержимо } \frac{d^2 s_2}{dt^2} + \frac{c}{m} s_2 = \frac{Vc}{m} t - \frac{Q}{m}.$$

Загальний розв'язок відносно s_2 , знайдемо в рівнянні

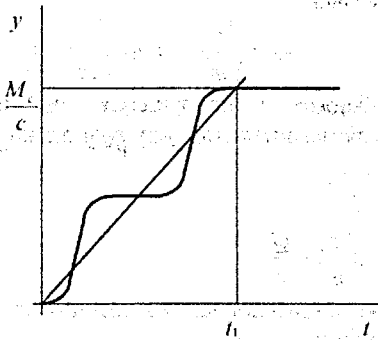


Рис. 3.4. Оптимальний вигляд кривої $\varphi = f(t)$

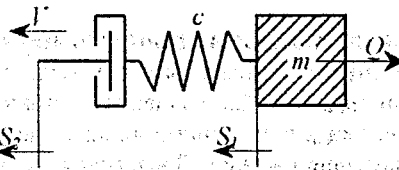


Рис. 3.5. Схема ударного навантаження пружної системи

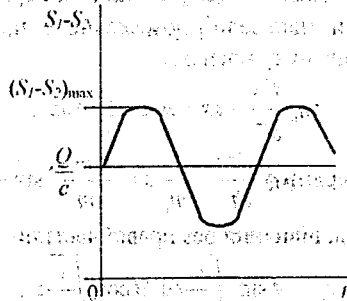


Рис. 3.6. Характер зміни деформації пружної ланки при ударі

$$s_2 = A \sin \sqrt{\frac{c}{m}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{m}} t + Vt - \frac{Q}{c}$$

Деформація пружної ланки

$$s_1 - s_2 = -A \sin \sqrt{\frac{c}{m}} t - B \cos \sqrt{\frac{c}{m}} t + \frac{Q}{c}$$

Початкові умови виберемо з припущення, що рух веденої маси починається тільки після навантаження пружної ланки силою Q . Тоді при

$$t=0, s_1 - s_2 = \frac{Q}{c} \text{ і } \frac{ds_1}{dt} - \frac{ds_2}{dt} = V$$

$$\text{Тепер } s_1 - s_2 = V \sqrt{\frac{m}{c}} \sin \sqrt{\frac{c}{m}} t + \frac{Q}{c}$$

Характер зміни деформації пружної ланки в часі показаний на рис. 4.6. Очевидно максимальна деформація дорівнює

$$(s_1 - s_2)_{\max} = V \sqrt{\frac{m}{c}} + \frac{Q}{c},$$

а максимальне навантаження

$$F_{\max} = (s_1 - s_2)_{\max} c = V \sqrt{mc} + Q.$$

3.4. Дослідження коливальних процесів механічних систем

При періодичному впливі силових факторів (сил, моментів сил) на механічну систему виникають стійкі коливання останньої. Коли власні частоти коливань збігаються з вимушеними виникає явище резонансу, що може привести до руйнування системи. Досліджуємо коливальний процес одномасової пружної системи. Нехай на пружній балці, що має жорсткість c , розташована маса m , що включає в себе приведену масу балки (рис. 3.7.). Частина цієї маси m неврівноважена й обертається з деякою кутовою швидкістю ω . Таким чином, на масу m , періодично діє сила, рівна $m\omega^2 R \sin \omega t$. Зберігаючи попередні обмеження і припущення, запишемо диференціальне рівняння руху маси m_0 :

$$m_0 \frac{d^2 s}{dt^2} + cs = m\omega^2 R \sin \omega t.$$

$$\text{Перетворивши, одержимо } \frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{c}{m_0} s = \frac{m\omega^2 R}{m_0} \sin \omega t.$$

Загальний розв'язок рівняння без правої частини має вигляд

$$s_0 = A \sin \sqrt{\frac{c}{m_0}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{m_0}} t.$$

Окремий розв'язок шукаємо у вигляді $(s)_2 = D \sin \omega t$. Підставляючи в рівняння руху, одержимо

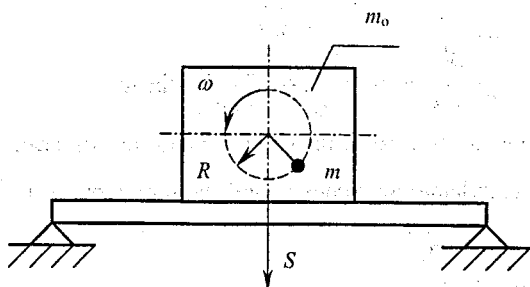


Рис. 3.7. Схема коливань системи

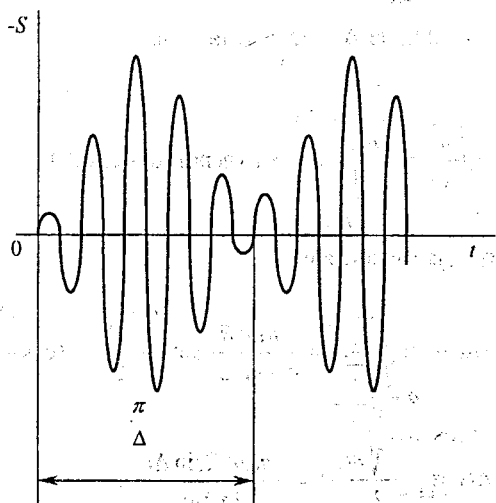


Рис. 3.8. Крива $\varphi = f(t)$ при битті

$$-D\omega^2 \sin \omega t + \frac{c}{m_0} D \sin \omega t = \frac{m\omega^2 R}{m_0} \sin \omega t,$$

звідки

$$D = \frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2}.$$

$$\text{Отже, } s = A \sin \sqrt{\frac{c}{m_0}} t + B \cos \sqrt{\frac{c}{m_0}} t + \frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2} \sin \omega t.$$

Оскільки досліджують можливість і умови появи резонансу, а не абсолютні значення деформації балки s , прийнемо при $t=0$, $s=0$ і $\frac{ds}{dt} = 0$.

$$\text{Тоді } B=0, A = \frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2} \sqrt{\frac{m_0}{c}}$$

$$\text{Тепер } s = \frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2} \left(\sin \omega t - \omega \sqrt{\frac{m_0}{c}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_0}} t \right).$$

Величини $\sqrt{\frac{c}{m_0}}$ і ω являють собою частоту власних і вимушених

коливань. При їхньому збіганні знаменник виразу для s стає рівним нулю, але чисельник також дорівнює нулю. Розкриємо невизначеність у такий спосіб.

$$\text{Нехай } \sqrt{\frac{c}{m_0}} - \omega = 2\Delta, \text{ де } \Delta - \text{ мала величина,}$$

$$\text{Приймаючи } \omega \sqrt{\frac{m_0}{c}} = \frac{\sqrt{\frac{c}{m_0}} - 2\Delta}{\sqrt{\frac{c}{m_0}}} \approx 1 \text{ (через малість } \Delta),$$

напишемо розв'язок для s у вигляді

$$\begin{aligned} s &= \frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2} \left(\sin \omega t - \sin \sqrt{\frac{c}{m_0}} t \right) = \frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2} \sin \frac{\omega - \sqrt{\frac{c}{m_0}}}{2} t \cos \frac{\omega + \sqrt{\frac{c}{m_0}}}{2} t = \\ &= -\frac{m\omega^2 R}{c - m_0\omega^2} \sin \Delta t \cos \frac{\omega + \sqrt{\frac{c}{m_0}}}{2} t \approx -\frac{m\omega^2 R \sin \Delta t}{2\omega \Delta m_0} \cos \omega t \end{aligned}$$

Оскільки Δ - мала величина, функція $\sin \Delta t$ змінюється повільно, а період коливань $\frac{2\pi}{\Delta}$ великий, отриманий розв'язок може розглядатися як

коливання з періодом $\frac{2\pi}{\Delta}$ і змінною амплітудою. Такі коливання називаються биттям (рис. 3.8). Якщо $\omega = \sqrt{\frac{c}{m_0}}$, то підставляючи в отриманий розв'язок $\sin \Delta t \approx \Delta t$, одержимо $s = -\frac{m\omega R t}{2m_0} \cos \omega t$.

Отримана формула показує, що амплітуда коливань маси буде нескінченно рости (рис. 3.9).

Досліджуємо коливання системи з розподіленими масами. Нехай є деякий стрижень довжиною l і з вантажем на кінці. Лінійна жорсткість стрижня дорівнює c , а його погонна вага q . Для розгляду коливальних процесів даної системи використовуємо хвильове рівняння

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = a^2 \frac{d^2 u}{dx^2}$$

де u – поздовжні переміщення перерізу з координатою x (рис. 3.10), a – швидкість поширення пружної хвилі (швидкість поширення звуку вздовж стрижня).

Для призматичного стрижня $a = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}}$, де E - модуль пружності при розтяганні-стисканні, g - прискорення вільного падіння, γ - питома вага матеріалу стрижня. Вираз для жорсткості стрижня має вигляд $c = \frac{EF}{l}$, де F - площа поперечного перерізу стрижня. Тоді $a = \sqrt{\frac{c l g}{q}}$. Прийmemo граничні

умови: $x=0, u=0, x=l, FE \frac{du}{dx} = -\frac{Q}{g} \frac{d^2 u}{dt^2}$.

Розв'язок хвильового рівняння шукаємо у вигляді $u = X(A \sin pt + B \cos pt)$, де X - нормальна функція, що залежить тільки від x , p - частота основного тону коливань

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = -X p^2 (A \sin pt + B \cos pt),$$

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{d^2 X}{dx^2} (A \sin pt + B \cos pt).$$

Підставляючи значення $\frac{d^2 u}{dt^2}$ й $\frac{d^2 u}{dx^2}$ у хвильове рівняння, отримаємо

$$a^2 \frac{d^2 X}{dx^2} + p^2 X = 0$$

Розв'язуючи отримане рівняння, знайдемо

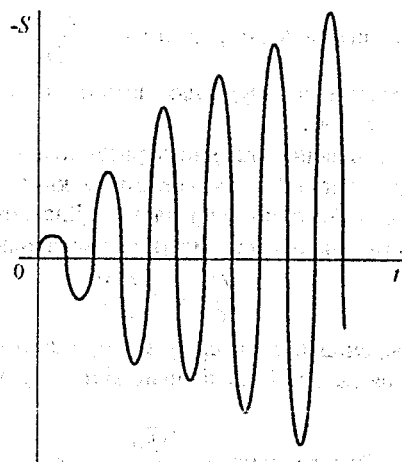


Рис. 3.9. Крива $\varphi = f(t)$ при резонансі

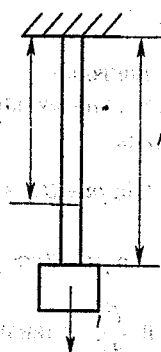


Рис. 3.10.
Розрахункова схема
коливань стрижня з
вантажем на кінці

$$X = C \sin \frac{px}{a} + D \cos \frac{px}{a}$$

Підставимо граничні умови $x=0$, $X=0$, $D=0$, $x=l$, $X = C \sin \frac{pl}{a}$,

$$\frac{dX}{dx} = C \frac{p}{a} \cos \frac{pl}{a};$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{dX}{dx} (A \sin pt + B \cos pt) = C \frac{p}{a} \cos \frac{pl}{a} (A \sin pt + B \cos pt);$$

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = -X p^2 (A \sin pt + B \cos pt) = -C p^2 \sin \frac{pl}{a} (A \sin pt + B \cos pt)$$

Отже, $EFC \frac{p}{a} \cos \frac{pl}{a} = \frac{Q}{g} C p^2 \sin \frac{pl}{a}$,

або $\frac{ql}{Q} = \frac{pl}{a} \operatorname{tg} \frac{pl}{a}$.

Отриманий вираз являє собою частотне рівняння досліджуваної системи, з якого графічно чи іншим шляхом можна знайти частоту основного тону коливань.

4. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Основи теорії випадкових похибок і методів оцінювання випадкових похибок вимірювання

Аналіз випадкових похибок ґрунтується на теорії випадкових похибок, яка дає змогу з певною гарантією обчислити справжнє значення вимірюваної величини та оцінити можливі похибки.

Основу теорії випадкових похибок становлять такі припущення: у разі великого числа вимірювань випадкові похибки, рівні за величиною, але різні за знаком, зустрічаються однаково часто; імовірність появи похибки зменшується зі збільшенням її величини; у разі нескінченно великого числа вимірювань істинне значення вимірюваної величини дорівнює середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювання як випадкової події і описується нормальним законом розподілу.

Розрізняють генеральну та вибірку сукупність вимірювань. Під генеральною сукупністю розуміють всю нескінченну множину можливих значень вимірювань x , чи можливих значень похибок Δx . Для вибіркової сукупності число вимірювань обмежене і в кожному конкретному випадку строго визначене. Вважають, що коли $n > 30$, то середнє значення даної сукупності вимірювань величини x достатньо наближається до її істинного значення.

Теорія випадкових похибок дає змогу оцінити точність і надійність вимірювань за даною кількістю вимірювань чи визначити мінімальну їх кількість, яка гарантує задану точність і надійність результатів. Поряд з цим постає потреба виключити грубі похибки, визначити вірогідність здобутих даних тощо.

Якщо виключити систематичні похибки та грубі прорахунки, то навіть в разі використання засобів вимірювання підвищеної точності на результати вимірювань впливатимуть різні випадкові фактори, які не піддаються обліку та контролю (стан здоров'я експериментатора; випадкові вібрації окремих частин вимірювальних пристроїв; невраховані зміни зовнішніх факторів тощо). При цьому результати окремих вимірювань виявляють характерну картину випадкового розсіювання, описуваного нормальним законом розподілу, і щільність імовірності вимірюваних значень величини

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_n^2}\right], \quad (4.1)$$

де m – математичне сподівання, яке є найімовірнішим значенням вимірюваної величини x і являє собою середньоарифметичне значення:

$$m = \left(\sum_{i=1}^n x_i\right) / n ; \quad (4.2)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - m)^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

де σ_n – середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини.

На рис. 4.1 зображено нормальну криву розподілу випадкової величини, де по осі абсцис відкладені результати вимірювань, а по осі ординат – щільність імовірності їх появи. Площа під кривою, що відповідає будь-якому інтервалу на осі абсцис, являє собою ймовірність p влучення випадкового результату вимірювання в цей інтервал. Проінтегрувавши (4.1), дістанемо

$$p = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_n^2}} dx. \quad (4.4)$$

Візьмемо інтервал по осі абсцис в частках від середнього квадратичного відхилення, тобто введемо нову змінну $(x-m)/\sigma_n = t$. Тоді вираз (4.4) набуде вигляду

$$p = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt. \quad (4.5)$$

Таким чином, на інтервал $(m-\sigma_n, m+\sigma_n)$ припадає 0.6228 усіх виконаних вимірювань. У ширших межах, наприклад, на інтервалі $(m-2\sigma_n, m+2\sigma_n)$ міститься вже 0.9546 усіх вимірювань, а за “трисигмові” межі виходять лише 0.0028 вимірювань.

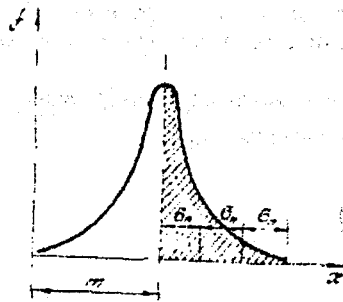


Рис. 4.1. Нормальний розподіл похибок

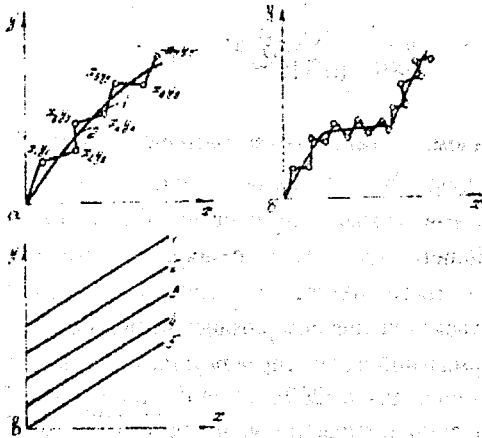


Рис. 4.2. Графічне зображення функції $y = f(x)$: а) - плавна залежність (1 - крива за результатами безпосередніх вимірювань; 2 - плавна крива); б) - за наявності стрибка; в) - у разі трьох змінних (1 - $z_3 = \text{const}$; 2 - $z_4 = \text{const}$; 3 - $z_3 = \text{const}$; 4 - $z_2 = \text{const}$; 5 - $z_1 = \text{const}$)

Параметр σ_n характеризує форму нормальної кривої розподілу. Якщо змінити метод вимірювання (точність) величини X , розсіювання відбуватиметься навколо центра з попередньою абсцисою m , але форма кривої зміниться, оскільки середньоквадратичне відхилення залежить від точності вимірювань.

Кінцева мета аналізу виконаних вимірювань - визначити похибки середньоарифметичного значення

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n. \quad (4.6)$$

Згідно з теорією похибок оцінкою точності вимірювання середньоарифметичного значення, яке беруть за істинне значення вимірюваної величини, є середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_m = \sigma_n / \sqrt{n} = \frac{1}{\sqrt{n(n-1)}} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (4.7)$$

Таким чином, середньоквадратичне відхилення оцінки середньоарифметичного в n разів менше за середньоквадратичне відхилення результатів окремих вимірювань. Проте, щоб дістати повне уявлення про надійність оцінювання похибок при вимірюванні, потрібно зазначити інтервал (його називають надійним), в якому із заданою ймовірністю міститься значення вимірюваної величини.

Оскільки нормальний закон справджується для нескінченного числа вимірювань (практично для $n > 200$), то щоб оцінити надійний інтервал, користуються розподілом Стюдента, який враховує вплив кінцевого числа вимірювань на величину надійного інтервалу (при $n \rightarrow \infty$ розподіл Стюдента переходить у нормальний).

Межі надійного інтервалу для заданого значення надійної ймовірності β та обмеженого числа спостережень

$$\bar{x} - t_{\beta}^* \sigma_m \leq x \leq \bar{x} + t_{\beta}^* \sigma_m, \quad (4.8)$$

де t_{β}^* - коефіцієнт Стюдента, значення якого наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Значення коефіцієнта Стюдента t_{β} залежно від числа вимірювань $n-1$ та надійної ймовірності

$n-1$	t_{α}			
	0,683	0,9	0,95	0,997
1	1,833	6,314	12,710	234,8
2	1,283	2,920	4,303	18,72
3	1,197	2,353	3,182	9,005
4	1,142	2,132	2,776	6,485
5	1,110	2,015	2,571	5,404
6	1,089	1,943	2,447	4,819
7	1,075	1,845	2,365	4,455
8	1,066	1,859	2,306	4,209
9	1,058	1,833	2,262	4,032
10	1,052	1,812	2,228	3,898
12	1,042	1,782	2,179	3,711
14	1,036	1,761	2,145	3,586
16	1,031	1,746	2,120	3,496
18	1,027	1,734	2,101	3,430
20	1,024	1,725	2,086	3,378
30	1,016	1,697	2,042	3,230

Як уже зазначалося, грубі похибки мають бути відкинута як такі, що не заслуговують на увагу. На практиці відкидають результати вимірювань, похибки яких перевищують значення $\Delta \geq (4 \dots 3)\sigma_m$.

Випадкову складову похибок непрямих вимірювань можна строго визначити лише за умови, що залежність $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ лінеаризована з достатньою точністю. У такому разі середньоквадратичне відхилення величини y , здобуте в результаті прямих незалежних вимірювань величини x_i , від систематичних похибок вимірювань,

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2}, \quad (4.9)$$

де σ_{x_i} - середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань величини x_i .

Межі надійного інтервалу, коли задано надійну ймовірність, визначають за (4.8). Позначивши для даної надійної ймовірності β похибки вимірювань величини x через ϵ , дістанемо

$$\varepsilon_{x_i} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \varepsilon_j \right)^2 \quad (4.10)$$

Похибки в (4.10) виражають в тих самих одиницях, що й величину ε_j , якщо безпосередньо вимірювані величини x_j є різнорідними, то використовують відносні похибки.

4.2 Статистичні методи обробки експериментальних даних

Значення шуканого параметра, обчислене на основі обмеженого числа дослідів, завжди матиме елемент випадковості, тобто буде наближеним. Таке наближене значення називають оцінкою параметра. Наприклад, оцінкою для математичного сподівання є середнє арифметичне \bar{x} значень випадкової величини x_i за n незалежних дослідів [8,14]

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (4.11)$$

Оцінкою для середньоквадратичного відхилення є статистичне середньоквадратичне відхилення (стандартне відхилення)

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.12)$$

яке являє собою міру ширини гістограми – кривої розподілу, побудованої за експериментальними даними.

У разі дуже великого числа дослідів значення \bar{x} та S будуть з великою ймовірністю дуже близькі до m і σ . Оцінки, що мають такі властивості, називають спроможними.

Важливими для експериментатора є й так звані незміщені оцінки, які полягають у тому, щоб, користуючись величинами \bar{x} та S замість відповідно m та σ , він не робив систематичних похибок в бік завищення чи заниження. Вибрані незміщені оцінки повинні мати мінімальні порівняно з іншими оцінками середньоквадратичні відхилення. Оцінки, що мають такі властивості, називають ефективними. У зв'язку з цим Гаус запропонував метод найменших квадратів (точніше мінімуму суми квадратичних похибок). За Гаусом

$$[y] = \sum_{i=1}^n y_i; [yy] = \sum_{i=1}^n y_i^2$$

Щоб оцінка для m була ефективною, значення $[yy] = [xx] - 2m[x] + nm^2$ має бути мінімальним. Мінімум цього виразу відносно m дістанемо,

прирівнявши до нуля першу похідну:

$$-2[x] + 2nm = 0,$$

звідки

$$m = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n = \bar{x}.$$

Отже, зміст середньоарифметичного полягає в тому, що воно дає змогу звести до мінімуму стандартне відхилення.

Закон поширення похибок Гаусса. Під час розв'язування задач, пов'язаних з обробкою експериментальних даних, нас часто цікавлять випадкові величини, які є функціями інших випадкових величин. Як обчислити стандартні відхилення функції, коли відомі стандартні відхилення її аргументів?

Спочатку розглянемо випадок функції однієї змінної $y = f(x)$. Для величини x вимірювані значення x_1, x_2, \dots, x_n дають середньоарифметичне $\bar{x} = [x]$ *n*. Для кожного x_i обчислимо відповідне значення функції $y = f(x_i)$.

Оскільки $x_i = \bar{x} + \vartheta_i$, то, вважаючи ϑ_i достатньо малим, лістаємо

$$y_i = f(\bar{x} + \vartheta_i) \approx f(\bar{x}) + \vartheta_i (df/dx) = \bar{y} + \vartheta_i (df/dx).$$

Далі маємо

$$\Delta y_i = y_i - \bar{y} = \vartheta_i (df/dx);$$

$$[\Delta y \Delta y] = (df/dx)^2 [\vartheta \vartheta].$$

Отже,

$$S_y = (df/dx) S_x.$$

У випадку більшого числа змінних обчислення виконуємо аналогічно. Нехай $z = f(x, y, \dots)$ і спостережувані величини є x, y, \dots . Тоді

$$z_i = f(x_i, y_i, \dots) = f(\bar{x} + \vartheta_x, \bar{y} + \vartheta_y, \dots) \approx f(\bar{x}, \bar{y}, \dots) + \vartheta_x (df/dx) + \vartheta_y (df/dy) + \dots,$$

звідки

$$\Delta z_i = z_i - \bar{z} = \vartheta_x (df/dx) + \vartheta_y (df/dy) + \dots$$

Знехтувавши подвоєними добутками й членами вищого порядку, запишемо

$$[\Delta z \Delta z] = (df/dx)^2 [\vartheta_x \vartheta_x] + (df/dy)^2 [\vartheta_y \vartheta_y] + \dots$$

Звідси випливає закон поширення похибок

$$S_z = f_x^2 S_x^2 + f_y^2 S_y^2 + \dots, \quad (4.13)$$

який пов'язує стандартне відхилення функції зі стандартними відхиленнями аргументів.

4.3. Згладжування експериментальних залежностей за методом найменших квадратів

Нехай проведено дослід для аналізу залежності деякої фізичної величини y від фізичної величини x , здобуто ряд експериментальних точок і побудовано графік залежності y від x . Звичайно експериментальні точки на такому графіку дають деяке розсіяння, тобто спостерігаються випадкові відхилення від загальної залежності. Ці відхилення пов'язані з неминучими в усякому досліді похибками вимірювань. Постає запитання: як за цими експериментальними даними найкраще відтворити залежність y від x . Потрібно обробити експериментальні дані таким чином, щоб якомога точніше відбити загальну тенденцію залежності y від x і вирівняти незакономірні, випадкові відхилення.

Для розв'язування таких задач звичайно застосовують метод найменших квадратів. Він дає змогу, коли задано тип залежності $y = f(x)$, так вибрати її числові параметри, щоб крива $y = f(x)$ у відомому розумінні найкращим чином відбивала експериментальні дані.

Зауважимо, що тип кривої $y = f(x)$ часто визначають безпосередньо за зовнішнім виглядом експериментальної залежності. Часто буває так, що вигляд залежності (лінійна, квадратична, степенева тощо) відомий з фізичного змісту задачі, а з дослідів потрібно встановити лише деякі параметри цієї залежності.

Обчислення похибок іноді називають обчисленням вирівнювання: за допомогою нескладних перетворень можна надати лінійної математичної форми цілому ряду залежностей.

Нехай маємо лінійну залежність

$$y = Ax + B. \quad (4.14)$$

Уявімо, що незалежна змінна x встановлюється без похибки. Згідно з методом найменших квадратів величини A , B визначають з припущення про мінімум суми квадратів відхилень y від експериментально визначених y_i :

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - Ax - B)^2 = \min. \quad (4.15)$$

Частинне диференціювання за A та B дає

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - Ax - B)x = -2[xy] + 2A[xx] + 2B[x]$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - Ax - B) = -2[y] + 2A[x] + 2nB.$$

Прирівнявши до нуля обидві похідні, дістанемо таку систему рівнянь:

$$[xx]A + nB\bar{x} = [xy];$$

$$\bar{x}A + B = \bar{y},$$

де $\bar{y} = [y]/n$ і $\bar{x} = [x]/n$, звідки

$$A = \frac{[xy] - n\bar{x}\bar{y}}{[xx] - n\bar{x}^2};$$

$$B = \frac{[xx]\bar{y} - [xy]\bar{x}}{[xx] - n\bar{x}^2}.$$

Далі значення S обчислюють за (4.15) для обчислених A та B і позначають S_{\min} . Тоді

$$\left. \begin{aligned} S_A^2 &= \frac{S_{\min}^2}{(n-2)([xx] - n\bar{x}^2)}; \\ S_B^2 &= \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{[xx] - n\bar{x}^2} \right) \frac{S_{\min}^2}{n-2} \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

є стандартними відхиленнями величин A та B .

4.4 Методи графічної обробки результатів вимірювань

Результати вимірювань, наведені в табличній формі, не дають змоги достатньо наочно характеризувати закономірності перебігу досліджуваних процесів. Тому під час обробки результатів експериментів і спостережень широко застосовують метод графічного зображення цих процесів. Метод графічного зображення дає наочне уявлення про результати експерименту, дає змогу краще зрозуміти фізичну суть розглядуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності змінних величин, встановити наявність максимуму та мінімуму.

З метою графічного зображення результатів вимірювань (спостережень), як правило, застосовують систему прямокутних координат. Аналізуючи графічним методом функцію $y=f(x)$, наносять у прямокутній декартовій системі координат значення $x_1y_1, x_2y_2, \dots, x_ny_n$ (рис. 4.2, а). Щоб побудувати графік, необхідно знати хід досліджуваного явища. Звичайно якісні закономірності та норма графіка орієнтовно відомі експериментатору з теоретичних досліджень.

Точки на графіку необхідно сполучати плавною лінією таким чином,

щоб вона проходила якомога ближче до всіх експериментальних точок. Сполучивши точки відрізками прямої, дістанемо ламану лінію. Вона характеризує зміну функції за даними експерименту. Звичайно функції мають плавний характер. Тому, щоб графічно зобразити результати вимірювань, потрібно проводити між точками плавні криві. Різні викривлення графіка пояснюються похибкою вимірювань. Повторивши експеримент з використанням засобів вимірювання вищої точності, дістанемо менші похибки, а ламана лінія більше наблизатиметься до плавної кривої.

Проте можливі й винятки, коли досліджують явища (фазові перетворення вологи, радіоактивний розпад атомів тощо), для яких у певних інтервалах спостерігається швидка стрибкоподібна зміна однієї з координат (рис. 4.2,б). У таких випадках слід особливо ретельно сполучати точки кривої. Загальне “усереднення” всіх точок плавною кривою може призвести до того, що стрибок функції буде підмінено похибками вимірювання.

Іноді під час побудови графіка одна-дві точки різко відхиляються від кривої. У такому разі потрібно проаналізувати фізичну суть явища і, якщо немає підстав передбачати наявність стрибка функції, тлумачити таке відхилення як похибку. Далі дослід треба повторити і виконати нові вимірювання в діапазоні “стрибка”. Якщо попереднє вимірювання виявилось помилковим то на графік наносять нову точку. Якщо повторні вимірювання дають попередні значення, необхідно до цього інтервалу кривої поставитися особливо уважно, проаналізувавши фізичну суть явища.

У разі, коли графічно потрібно відбити перебіг експерименту з трьома змінними $b=f(x,y,z)$, застосовують метод відокремлення змінних. Одній з величин z в межах інтервалу вимірювань z_1-z_n задають кілька послідовних значень. Для решти двох змінних будують графіки $y=f_1(x)$, якщо $z_i=\text{const}$. У результаті на одному й тому самому графіку дістають сімейство кривих $y=f_1(x)$ для різних значень z (рис. 4.2, в). Аналогічно будують функції з чотирма та більше змінними. Таким чином, можна простежити характер змінювання будь-якої величини як функції від іншої, коли сталі значення решти величин. Цей метод графічного аналізу потребує від виконавця ретельності й уваги, але здебільшого він найбільш простий і наочний.

Для графічного зображення результатів експериментів значну роль відіграє вибір системи координат або координатної сітки. Координатні сітки бувають рівномірними (ординати й абсциси мають рівномірну шкалу) інакше нерівномірними. Наприклад, рівномірною є система прямокутних координат, в якій довжина одиничних відрізків, що їх відкладають на обох осях однакова.

З нерівномірних координатних сіток найпоширенішими є напівлогарифмічні, логарифмічні, імовірнісні. Напівлогарифмічна сітка має рівномірну вісь ординат і логарифмічну абсцис (рис. 4.3, а).

Логарифмічна координатна сітка має обидві осі логарифмічні (рис. 4.3, б), імовірнісна – вісь ординат звичайно рівномірну та імовірнісну шкалу як вісь абсцис (рис. 4.3, в).

Призначення нерівномірних сіток різне. Здебільшого їх застосовують для наочнішого зображення функцій. Функція $y=f(x)$ має різну форму для різних сіток. Так, багато криволінійних функцій можна спрямити на логарифмічних сітках.

Велике значення в практиці графічного зображення експериментальних даних має імовірнісна сітка, застосовувана під час обробки вимірювань для оцінювання точності, визначення розрахункових характеристик (модуля пружності, міжремонтних термінів служби тощо).

Досвід показує, що міліметровий папір, застосовуваний для креслення графіків, у межах розмірів 15...20 см дає похибку, яка не перевищує $+0.1...0.2$ мм. Таким чином, абсолютна похибка величин, що їх знімають з графіків, може досягати $\varepsilon = \pm 0.2M$, де M - масштаб графіка. Очевидно, що точність вимірювань може бути вищою за точність величин, знятих з графіка.

Масштаб за координатними осями звичайно беруть різний. Від його вибору залежить форма графіків (рис. 4.4). Вузькі графіки дають більшу похибку по осі y , широкі – по осі x . Правильно підібраний масштаб (графік нормальної форми на рис. 4.4) дає змогу істотно підвищити точність відліків. Розрахункові графіки, які мають складний вигляд, особливо ретельно потрібно будувати на ділянках згину, де кількість точок для викреслення графіка має бути значно більшою, ніж на пологих відрізках.

У деяких випадках будують номограми, які для систематичних розрахунків істотно полегшують застосування складних теоретичних чи емпіричних формул у певних межах вимірювання величин. Зокрема, якщо номограми відбивають алгебраїчні вирази, то складні математичні рівняння можна розв'язувати порівняно просто графічними методами. Побудова номограм-операція трудомістка, тому для її виконання використовують ЕОМ. У системі прямокутних координат графіки функцій здебільшого мають криволінійну форму. Через це трудомісткість побудови номограм досить висока (потрібна велика кількість точок для нанесення однієї кривої).

У напівлогарифмічних або логарифмічних координатах графіки функцій часто мають прямолінійну форму, завдяки чому побудова номограм спрощується.

Методика побудови номограм функції однієї $y=f(x)$ чи кількох $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ змінних полягає в побудові кривих чи їх сімей за допомогою прийому, коли окремі змінні вважають сталими. Складні алгебраїчні вирази доцільно зводити до простого добутку двох чи трьох значень, наприклад $d=abc$, де a, b, c - функції двох або трьох змінних. У такому разі

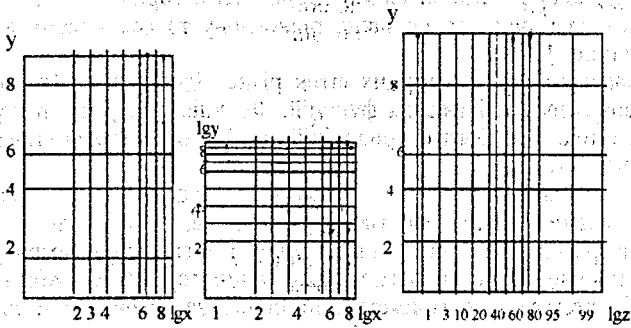


Рис. 4.3. Координатні сітки: а)-напівлогарифмічна; б)-логарифмічна; в)-імовірна

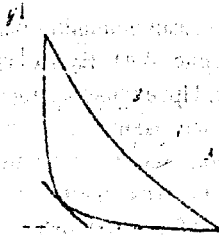


Рис. 4.4. Форма графіка залежно від масштабу: 1-пласка; 2-розширена; 3-нормальна

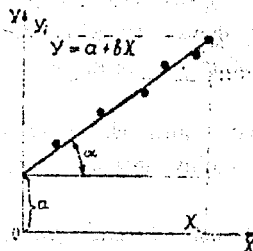


Рис. 4.5. Графічне визначення параметрів X і Y

потрібно спочатку, задавшись змінними, обчислити a , b , c . Далі, надаючи їм сталих значень, знайти d . Значення a , b , c необхідно варіювати в межах, наприклад від 0 до 100 з кроком 5 чи 10. Найефективнішим є такий спосіб побудови номограм, за яким a , b , c розглядають як безрозмірні критерії.

4.5. Методи добору емпіричних формул

У процесі експериментальних досліджень отримують статистичний ряд вимірювань двох величин, коли кожному значенню функції y_1, y_2, \dots, y_n відповідає цілком певне значення аргументу x_1, x_2, \dots, x_n .

На основі експериментальних даних можна підібрати алгебраїчний вираз функції $Y=f(x)$: (4.17)

Такі формули називають емпіричними і добирають лише в межах вимірних значень аргументу x_1, x_2, \dots, x_n .

Потреба складати наближені емпіричні формули виникає в багатьох випадках (аналітичний вираз вигляду (4.17) складний, потребує громіздких обчислень, створення програми для ЕОМ або взагалі не існує аналітичного виразу функції).

Заміну точних аналітичних виразів наближеними, простішими називають апроксимацією, а функції - апроксимувальними.

Процес добору емпіричних формул складається з двох етапів.

Етап 1-й. Дані вимірювань наносять на сітку прямокутних координат, сполучають експериментальні точки плавною кривою і добирають орієнтовно вид формули.

Етап 2-й. Обчислюють параметри формул, які найкращим чином відповідають підбраній формулі. Добір емпіричних формул слід починати з найпростіших виразів. Наприклад, результати вимірювання багатьох явищ і процесів апроксимують найпростішими емпіричними рівняннями типу

$$Y=a+bx, \quad (4.18)$$

де a , b - сталі коефіцієнти.

Тому при аналізі графічного матеріалу необхідно по змозі використовувати лінійні функції. З цієї метою застосовують метод вирівнювання, який полягає в тому, що криву, побудовану за експериментальними точками, зображують лінійною функцією.

Щоб перетворити деяку криву виду (4.18) у пряму лінію, вводять нові змінні $X=f_1(x,y)$; $Y=f_2(x,y)$. (4.19)

У шуканому рівнянні вони мають бути пов'язані лінійною залежністю $Y=a+bX$. (4.20)

Значення X і Y можна обчислити, розв'язавши систему рівнянь (4.19), а далі побудувати пряму (рис. 4.5), за якою легко графічно обчислити параметри a (ординату точки перерізу прямої з віссю Y) та b (тангенс кута нахилу прямої з віссю X):

$$b = \operatorname{tg} \alpha = (Y_i - a) / X_i. \quad (4.21)$$

У разі графічного визначення параметрів a , b обов'язково потрібно, щоб пряма (4.18) була побудована на координатній сітці, в якій початком є точка $X=0$, $Y=0$. Для обчислень необхідно точки X_i та Y_i брати на крайніх ділянках прямої. Відомі й інші графічні методи для розв'язування цієї задачі.

Лінеаризувати криві можна легко на логарифмічних або напівлогарифмічних координатних сітках, порівняно широко застосовуваних при графічному методі добору емпіричних формул.

Графічний метод вирівнювання застосовний у тих випадках, коли експериментальна крива на сітці прямокутних координат має вигляд плавної кривої.

Для визначення коефіцієнтів, які входять до формул, кращі результати дає метод найменших квадратів. Але цей метод громіздкий, тому часто його можна замінити простішим способом середніх, який дає менш точні, але здебільшого задовільні результати.

Спосіб середніх полягає ось у чому. Скориставшись методом вирівнювання і діставши лінійну залежність

$$Y = A + BX, \quad (4.22)$$

складають умовні рівняння $Y_i = A + BX_i$, число n яких дорівнює числу відповідних значень X_i та Y_i . Умовні рівняння розбивають на дві приблизно рівні групи, і рівняння, що входять до кожної з цих груп, почленно додають. З двох утворених рівнянь

$$\sum_1^k Y_i = kA + B \sum_1^k X_i; \quad \sum_{k+1}^n Y_i = (n-k)A + B \sum_{k+1}^n X_i,$$


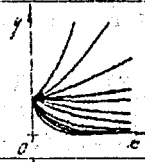

визначають невідомі коефіцієнти A , B .

Згрупувати умовні рівняння перед їх додаванням можна різними способами, причому всі вони дають дещо різні значення коефіцієнтів. Найкращим способом групування є той, що веде до розв'язку, який дає найменшу суму квадратів відхилень значень функцій від дослідних. Цей спосіб можна вибрати лише порівнянням результатів обчислень за всіма можливими способами групування. Як правило, групують рівняння в послідовності дослідних даних, поділяючи їх на рівні чи приблизно рівні групи. Вважають, що цей прийом дає найбільш задовільні результати, але теоретично цього обґрунтувати не можна. Спосіб середніх надійний тим

більше, чим більше є дослідних точок, числу яких відповідає число умовних рівнянь.

У таблиці 4.1 наведено дані, що полегшують вибір виду емпіричної формули. Перший стовпець таблиці містить графіки функцій, розміщених у другому стовпці. Для кожної функції побудовано кілька кривих, які відповідають різним значенням сталих коефіцієнтів. Під час вибору формули слід враховувати, що емпірична крива може бути подібна лише частині типової кривої для деяких меж аргументу. Цього достатньо для застосування Формули в даних межах. У третьому стовпці таблиці зазначено способи заміни змінних, що ведуть до вирівнювання. У четвертому стовпці зображено вигляд лінійної залежності, здобутої в результаті вирівнювання. В останньому стовпці наведено примітки щодо методів визначення сталих коефіцієнтів, способів перетворення формул і повторного вирівнювання.

Таблиця 4.2 - Графіки функцій заданих формулами та способи їх вирівнювання

Типові криві	Формула	Способи вирівнювання	Лінійні рівняння, отримані при вирівнюванні	Примітка
	I $y = ax^b$ (графік наведено для $a = \text{const}$)	$X = \lg x$ $Y = \lg y$	$Y = \lg a + bX$	
	II $y = ae^{bx}$ (графік наведено для $a = \text{const}$)	$Y = \lg y$	$Y = \lg a + 0,4343bX$	
	III $y = \frac{1}{a + bx}$	$Y = 1/y$	$Y = a + bX$	

5. ПАТЕНТ, ЛІЦЕНЗІЯ, ОФОРМЛЕННЯ ЗАЯВКИ НА ПАТЕНТ

Науково-дослідні роботи, виконані в галузі прикладних і особливо технічних наук часто дають результати, що являють собою нову конструкцію, чи спосіб, чи речовину, чи культуру клітин рослин або

тварин тощо. Саме тому всі результати наукових досліджень потрібно аналізувати на предмет можливого винаходу і, якщо такий предмет буде виявлено, оформляти заявку на патент [8].

В Україні діють Правила складання і подання заявки на винахід та заявки на корисну модель, затверджені наказом Міністерства освіти і науки України №22 від 22.01.2001р. [12].

Згідно з цим Положенням винаходу гарантовано правову охорону, якщо він новий, має винахідницький рівень і промислово придатний. Винахід визнається новим, якщо він не є частиною сучасного йому рівня техніки. Винахід має винахідницький рівень, якщо він з точки зору спеціаліста явно не випливає зі згаданого рівня техніки.

Рівень техніки визначається за всіма джерелами інформації, загальнодоступними в Україні та в зарубіжних країнах до дати пріоритету винаходу. Винахід визнається промислово придатним, якщо він може бути використаний у промисловості, сільському господарстві, охороні здоров'я та інших галузях суспільного виробництва.

Об'єктами винаходу можуть бути пристрій, спосіб, речовина, штам мікроорганізму, культури клітин рослин і тварин, а також застосування відомого раніше пристрою, способу, речовини, штаму за новим призначенням. Не визначаються винаходами наукові теорії, методи організації та керування господарством, умовні позначення, розклади, методи виконання розумових операцій; алгоритми і програми для обчислювальних машин; проекти і схеми планування споруд, будинків, територій; пропозиції, що стосуються лише зовнішнього вигляду виробів і спрямовані на задоволення естетичних потреб.

Автором винаходу визнається фізична особа, творчою працею якої він створений. Якщо винахід створений спільною творчою працею кількох фізичних осіб, усі вони визнаються співавторами.

Право на винахід засвідчується патентом. Патент на винахід засвідчує авторство на винахід, пріоритет винаходу та виключне право на використання винаходу в Україні. Патент на винахід діє від дати реєстрації винаходу в Державному реєстрі винаходів України, але не більш як 20 років від дати надходження заявки до Держпатенту України.

Власником патенту на винахід може бути автор (співавтор) винаходу; спадкоємець автора (співавторів); фонд винаходів України, якщо автор передає виключне право на використання винаходу державі; роботодавець, якщо між автором винаходу та роботодавцем укладено договір про те, що автор поступається правом на патент.

Заявка на видачу патенту України на винахід подається до Держпатенту України. Вона має містити заяву про видачу патенту із зазначенням автора (співавторів) винаходу й заявника, місця їх проживання або перебування, підстави для подання заявки заявником, якщо автор (співавтор) та заявник різні особи; опис винаходу, де останній

розкривається з повнотою, достатньою для втілення; формулу винаходу, що виражає його суть і повністю ґрунтується на описі; креслення та інші ілюстративні матеріали, якщо вони необхідні для розуміння суті винаходу; реферат.

Заявка про видачу патенту, опис винаходу, формула винаходу, креслення й інші матеріали, потрібні для розуміння суті винаходу, а також реферат подаються в трьох примірниках. Якщо автор передає виключне право на користування винаходом державі (Фонд винаходів України), він має додатково подати ще один примірник зазначених документів (заявка, опис, формула, креслення, реферат). Решта документів подається в одному примірнику.

Опис починається з назви винаходу та зазначення індексу рубрики діючої редакції МКВ, до якої належить винахід, і містить такі розділи: галузь техніки, до якої належить винахід; рівень техніки, суть винаходу; перелік фігур креслень (якщо вони додаються); відомості, що підтверджують можливість втілити винахід.

Назва винаходу подається в однині і характеризує його призначення (розкриває суть винаходу). У розділі опису "Рівень техніки" наводяться відомості про аналоги та прототип.

Аналог винаходу - відомий до дати пріоритету засіб того самого призначення, сукупність ознак якого подібна до сукупності істотних ознак винаходу. Прототип - це аналог винаходу, найближчий до нього за сукупністю ознак. Якщо аналогів кілька, то останнім записують прототип.

Відомості, які належать до характеристики аналогів (прототипу) такі: посилання на відповідні літературні джерела; ознаки аналогів і прототипу з переліком тих із них, які збігаються з істотними ознаками заявленого винаходу, а також причин, які перешкоджають здобуттю потрібного технічного результату.

Суть винаходу виражається в сукупності істотних ознак, достатніх для досягнення технічного результату, який забезпечує винахід. Ознаки є істотними, якщо вони впливають на технічний результат, якого мають досягти. У розділі "Суть винаходу" детально розкривається завдання, вирішити яке мав на меті винахід, зазначається технічний результат, що його можна досягти, втіливши винахід у життя. В цьому самому розділі слід показати причинно-наслідкові зв'язки між сукупністю істотних ознак заявленого винаходу і технічним результатом, якого мають досягти.

Бажано, щоб заявник, розкриваючи сутність винаходу, навів також інші відомі йому види технічних результатів, які можна здобути завдяки даному винаходу, в тому числі в конкретних формах його виконання або за особливих умов використання.

Технічний результат може полягати, зокрема, у зменшенні крутного моменту, зниженні коефіцієнта тертя, у запобіганні зношуванню, послабленні вібрацій тощо.

У розділі “Перелік фігур креслення”, крім переліку фігур, подається стисле пояснення, кожного із зображень.

Можливість втілити винахід у життя розкривається в розділі “Суть винаходу”. Тут наводяться описи пристрою в статичному стані, які розкривають його конструкцію. Конструктивні елементи пристрою описують, посилаючись на фігури креслень. Цифрові позначення конструктивних елементів подають у міру того, як вони згадуються в тексті, у порядку збільшення, починаючи з одиниці.

Після опису пристрою в статичному стані подається опис його дії (роботи) або способу використання пристрою з посиланням на цифрові позначення елементів конструкції, показаних на кресленнях.

У разі, коли пристрій містить елемент, охарактеризований на функціональному рівні, і описана форма реалізації пристрою припускає використання багатофункціонального засобу, який програмується, то подаються відомості щодо можливості виконання таким засобом конкретної, призначеної для нього функції в складі даного пристрою. Коли серед таких відомостей є алгоритм, зокрема обчислювальний, то його подають переважно у вигляді схеми або, якщо це можливо, у вигляді відповідного математичного виразу.

Відомості, які підтверджують можливість реалізувати винахід, щодо способу його реалізації містять посилання на послідовність дій (заходів, операцій) над матеріальним об'єктом, а також на умови виконання цих дій і конкретні режими (температура, тиск тощо) і в разі потреби, на пристрої, речовині і штамі, використовувани при цьому. Описуючи спосіб, який характеризується використанням відомих засобів (пристроїв, речовин і штамів), посилаються на ці засоби і підтверджують те, що вони були відомі до дати пріоритету. Коли використовують невідомі засоби, наводять їх характеристики і, якщо це потрібно, додають графічне зображення.

У разі використання нових речовин розкривається спосіб їх одержання.

Для винаходу, що стосується нової індивідуальної сполуки з певною структурою, наводять структурну формулу, доведену відомими методами, та фізико-хімічні константи, і описують спосіб, яким уперше одержано нову сполуку. Доводять також можливість використати цю сполуку за певним призначенням; для біологічно активної сполуки подають кількісні характеристики активності і токсичності, а в разі потреби - вибірковість дії та інші показники.

Для винаходу, який полягає в застосуванні пристрою, способу, речовини, штаму за новим призначенням, наводять відомості, які підтверджують можливість реалізувати це призначення.

Опис підписує заявник або уповноважена ним на це особа.

У формулі винаходу подається його характеристика, яка виражає суть винаходу і дає змогу визначити обсяг правової охорони, наданої патентом.

Формула може бути одно- і багатоланковою і складатися відповідно з одного або кількох пунктів. Пункт формули, куди включають сукупність істотних ознак винаходу, достатніх для здобуття технічного результату, що виявляється в усіх випадках, на які поширюється обсяг правової охорони, називають незалежним.

Слід додержуватись таких правил складання незалежного пункту формули винаходу: насамперед подають назву винаходу, зазначену в заяві та описі; далі зазначають усі істотні ознаки об'єкта винаходу, керуючись тим, що саме сукупність таких ознак має бути необхідною і достатньою для здобуття технічного результату.

Формула винаходу, як правило, складається з узагальненої частини, куди відносять ознаки спільні для об'єкта заявленого винаходу і прототипу (відомі ознаки), та частини, що відрізняється. Остання включає ознаки, що відрізняють заявлений об'єкт від прототипу (тобто нові ознаки). Узагальнену частину формули відокремлюють від тієї, що відрізняється виразом: "який (яка (відрізняється тим, що...))" далі йдуть відповідні ознаки).

Формулу складають без поділу на узагальнену частину та таку, що відрізняється, якщо вона характеризує індивідуальну сполуку: штам мікроорганізму; культури клітин, рослин і тварин; застосування раніше відомого пристрою, способу, речовини, штаму за новим призначенням; винахід, який не має аналогів.

До залежних пунктів формули включають істотні ознаки, які характеризують винахід в окремих випадках його використання. Формулу подають у вигляді логічного визначення винаходу сукупністю всіх його істотних ознак. Формулу (або кожний пункт багатоланкової формули) записують у вигляді одного речення. Ознаки у формулі викладають так, щоб забезпечити можливість ідентифікації. Пристрій у формулі характеризують у статичному стані. Допустимо, наприклад, зробити у формулі вказівку щодо виконання елемента рухомим, таким, що може виконувати певну функцію (наприклад, поворот, обертання тощо).

Характеризуючи певні дії (заходи, операції), беруть дієслова дійсного способу, третьої особи множини ("нагрівають", "зволожують", "загартовують", тощо).

Формулу винаходу підписує заявник або уповноважена ним особа. Креслення та інші ілюстративні матеріали подаються в разі, якщо вони потрібні для розуміння суті викладеного в описі винаходу. Це можуть бути власне креслення, а також схеми, графіки, епори, рисунки, осцилограми, фотографії, таблиці, діаграми тощо.

Реферат являє собою скорочений виклад змісту винаходу (назва винаходу, характеристика галузі техніки, до якої він належить). При цьому формула винаходу подається із збереженням усіх істотних ознак. У разі потреби до реферату включають креслення, чи хімічну формулу, а також

посилання на наявність та кількість залежних пунктів, формул, графічних зображень, таблиць. Середній обсяг тексту реферату - до 1000 друкованих знаків.

В описі та пояснювальних матеріалах використовують стандартизовані, а в разі їх відсутності - загальновживані в науковій та технічній літературі терміни і скорочення. В описі винаходу та його формулі додержуються єдності термінології (одні й ті самі ознаки в тексті опису винаходу і в його формулі називаються однаково).

У тексті опису неприпустимі неетичні вирази, зокрема зневажливі згадки про винаходи інших осіб.

Держпатент України, одержавши заявку на винахід, проводить за нею формальну експертизу, під час якої перевіряє, чи є всі потрібні документи і чи відповідають вони встановленим вимогам, а також з'ясовує, чи можлива правова охорона винаходу згідно з правилами Положення. У разі позитивного результату формальної експертизи заявку на винахід приймають до розгляду і встановлюють пріоритет винаходу, повідомляючи про це заявнику.

Якщо матеріали заявки оформлені з порушенням встановлених вимог, заявнику надсилається запит з пропозицією протягом двох місяців від дня його одержання подати до Держпатенту виправлені документи. Якщо заявник не вкладеться в зазначений строк, заявка вважатиметься не поданою.

Заявки, прийняті до розгляду Держпатентом України, заявникам не повертаються.

Відомості про прийняту до розгляду заявку на винахід (включаючи формулу винаходу) публікуються в офіційному бюлетені Держпатенту України через 18 місяців від установленної дати пріоритету. На прохання заявника відомості про заявку можуть бути опубліковані раніше цього строку.

Відомості про заявку не публікуються, якщо протягом 18 місяців від дати пріоритету заявка відкликано або не прийнято рішення видати патент чи відмовити у його видачі.

Відомості про заявки на винаходи не публікуються також тоді, коли публікація може завдати шкоди державним інтересам.

Заявленому винаходу від дати публікації заявки до дати реєстрації його в Державному реєстрі винаходів України надається тимчасова правова охорона в обсязі опублікованої формулі. Тимчасова правова охорона вважається такою, що не настала, коли прийнято рішення про відмову видати патент.

Заявник чи будь-яка третя особа може подати клопотання до Держпатенту України, згідно з яким буде проведено експертизу заявки на винахід по суті. Заявник може подати зазначене клопотання протягом 5 років від дати подання заявки, а третя особа - у період від дати публікації

відомостей про заявку, але не пізніше 5 років від дати подання заявки. У разі, коли клопотання про проведення експертизи по суті в зазначені строки не надійшло, заявка вважається відкликаною.

Автори винаходів, патенти на які видані роботодавцю чи його правонаступникові, а також Фонду винаходів України, мають право на винагороду за використання винаходу протягом строку чинності патенту. Її сплачують авторіві роботодавець (його правонаступник), а також Фонд винаходів України, які є власниками патентів.

Розмір винагороди визначається договором між автором і власником патенту і не може бути меншим як 10% доходу, одержуваного щорічно власником патенту від його використання; 20% від сум, одержаних власником патенту від продажу ліцензії на даний винахід; 2% від частки собівартості продукції (робіт і послуг), що припадає на винахід, корисний ефект від якого не впливає на одержання доходу.

Кожна фізична або юридична особа, яка бажає використовувати запатентований винахід, зобов'язана у власника відповідного патенту придбати ліцензію. Ліцензія - це здобуте на умовах ліцензійного договору право на використання винаходу. За ліцензійним договором власник патенту або свідоцтва (ліцензіар) передає право на використання об'єкта промислової власності іншій особі (ліцензіату), а останній бере на себе зобов'язання вносити ліцензіарові платежі та виконувати інші дії, передбачені договором.

Предметом ліцензійного договору є право на виготовлення, застосування, ввіз або пропозиція щодо продажу, продаж та інше впровадження в обіг продукту (зокрема, спеціального обладнання, комплектуючих вузлів, деталей та сировини), а також технічна та інша документація, допомога, зразки, матеріали й обладнання, необхідні і достатні для використання винаходу. Ліцензійний договір має містити умову про те, що якість товарів ліцензіата буде не нижчою за якість товарів ліцензіара і ліцензіар контролюватиме виконання цієї умови. Ліцензійний договір укладається на певний строк, підлягає реєстрації в Держпатенті України і набирає чинності від дати його реєстрації. Без реєстрації в Держпатенті України ліцензійний договір вважається недійсним.

Власник патенту на винахід може подати до Держпатенту України для опублікування в офіційному бюлетені заяву про надання будь-якій фізичній або юридичній особі право на використання винаходу - так звана відкрита ліцензія. У цьому разі мито за додержання чинності патенту знижується на 50%, починаючи з року, наступного за роком публікації такої заяви.

Особа, яка виявила бажання використати зазначений винахід, зобов'язана укласти з власником патенту договір про платежі.

Якщо винахід стосується оборонних інтересів України і охорони

громадського порядку, Кабінет Міністрів України має право дозволити використовувати винахід без згоди власника патенту з виплатою йому грошової компенсації, що відповідає ринковій ціні ліцензії. Спори про розміри компенсації вирішуються Апеляційною радою.

Держава стимулює використання винаходів пільговим оподаткуванням згідно з чинним законодавством.

Право на подання заявки, патент на винахід (промисловий зразок), виключне право на використання винаходу (промислового зразка), а також право на винагороду й доходи від використання винаходів (промислових зразків) успадковуються.

6. ДОСВІД ГУМАНІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ В КУРСІ ОНДР

При значному збільшенні обсягу науково-технічної інформації, швидкому оновленні знань важливо переосмислити відповідні технічні питання в історичному розвитку. Історичні дослідження будь-якої проблеми дозволяють по-справжньому зрозуміти її сьогодишній стан, а тим більше запропонувати оригінальне вирішення поставлених задач. Майбутній інженер - це не вузький технічний спеціаліст, його ідеї та діяльність значною мірою впливають на соціальне та природне середовище, на саму людину. Через осмислення історії своєї професії він може прилучитися до найвищих досягнень людської культури, зрозуміти своє місце в сучасному житті. Таким чином історичні дослідження являються важливою складовою наукових досліджень і впливають на гуманістичне та культурне виховання майбутнього спеціаліста.

Використання елементів історичних досліджень і гуманістичного виховання при вивченні курсу "Основи науково-дослідної роботи" починається із вступного заняття, яке направлене на розкриття мети і задач курсу ОНДР в ракурсі ролі майбутнього спеціаліста. Значення обраної спеціальності в розвитку суспільства. Важливе місце приділяється розгляду питання формування галузі як науки.

Наприклад, розвиток машинобудування починається з середини XVIII століття. В той час було відкрито диференціальне обчислення, яке сприяло швидкому розвитку математики та механіки, сформульовані основні закони класичної механіки тіл, гідравліки, термодинаміки електротехніки і т. п. В кінці XIX століття машинобудування досягло значних успіхів. Загальний курс "Побудова машин" розділився на самостійні дисципліни: прикладна механіка, деталі машин, підійомно-транспортні машини, парові машини, двигуни внутрішнього згорання і т. п. В цей же час був винайдений електродвигун, що дав можливість автоматизації машин. Винахід швидкорізальної сталі, згодом твердосплавних матеріалів суттєвим чином вплинув на вдосконалення технологічних процесів обробки різанням, сприяв створенню нових інструментів та верстатів.

При розгляді питань становлення спеціальності і її впливу на соціальний розвиток суспільства важливим є перехід до розгляду становлення галузі в регіоні. Розвиток нових виробництв у регіоні викликав потребу в нових інженерних та наукових кадрах. Цей попит був задоволений створенням відповідних науково-технічних центрів і регіонального технічного вузу з підготовки інженерних і наукових спеціалістів. Взаємна обумовленість розвитку промисловості і створення технічного вузу важлива в історичному плані. Якщо потреби промисловості є причиною створення загально інженерного факультету Київського інституту харчової промисловості (1960р.), що в подальшому перетворився у ВПІ та згодом у ВДТУ, то в останні роки розробки науковців і випускників вузу впливають на впровадження нових технологій, створення нового обладнання, прогнозування випуску нової продукції не тільки для регіону, але і для України та країн близького та дальнього зарубіжжя.

З розвитком масового машинного виробництва підсилюється вплив науки на всі сфери життя суспільства. Сьогодні інженерна і наукова діяльність можуть суперечити загальній гуманістичній спрямованості соціального процесу. Особливо це проявляється в біологічній інженерії, охороні навколишнього середовища, прогнозуванні соціальних наслідків наукової та інженерної діяльності і т. п. це вказує на необхідність гуманістичного підходу до розв'язання наукових і технічних проблем.

Важливим фактором у розвитку світогляду майбутнього спеціаліста є знайомство із становленням наукових напрямків вузу згідно з обраною спеціальністю. Інформація про наукові нароби викладачів сприяє розвитку зацікавленості студентів до наукової роботи та взаємовідношень між студентом і викладачем. Це, також, сприяє творчій співпраці викладача і студента, участі студентів у наукових гуртках, виконанню курсових та інших робіт згідно з науковими напрямками кафедри, участі в науково-технічних конференціях і т. п.

Проявом безпосередньої участі студентів в історичних дослідженнях розвитку спеціальності та пов'язаних з ними гуманістичними процесами є складання і оформлення звіту з науково-дослідної роботи. Часто теми звітів виконуються за науковими напрямками факультету, їх продовженням є доповіді на науково-технічних конференціях. Як показав досвід, більшість студентів і власний приклад викладачів сприяють залученню молодих людей до наукової діяльності, впливають на їх гуманістичне і культурне виховання.

Переважаюча більшість студентів виконують звіти з дослідження новітніх технологічних та конструкторських розробок згідно з обраною спеціальністю і базовим підприємством проходження робочого семестру. Цей звіт виконується під час проходження робочого семестру, коли обмежений контакт між студентом та викладачем. Тому необхідно

обмежений контакт між студентом та викладачем. Тому необхідно створити такі умови, щоб крім роботи над звітом студент брав участь у виробничих відносинах і суспільному житті підприємства, цікавився його діяльністю, визначав і поліпшував свій соціальний статус на майбутньому місці роботи.

Досягається поставлена мета за рахунок того, що в звіті представляється варіантний аналіз поставленої науково-технічної проблеми в її історичному розвитку, а один із розділів або додатків відображає історичні аспекти розвитку базового підприємства проходження робочого семестру, стан галузі в регіоні. Виконуючи елементи історичних досліджень, студент вивчає особливості становлення підприємства, знайомиться з випускниками вузу, які там працюють, виконує маркетингові дослідження по продукції підприємства. Такі дослідження представляються у вигляді буклетів, проспектів, прайсів, в окремих випадках виконуються стенди за результатами досліджень з представленням: історії становлення підприємства, продукції що випускається, нагород за якість та виробничі показники, спеціалістів-випускників ВДТУ, зразків продукції. Знайомство з подібними дослідженнями збагачує інформацію студентів, спеціалістів і викладачів.

При виконанні запропонованих елементів досліджень часто виникає необхідність знайомитися з методами робіт передовиків виробництва, людьми, організаторами виробництва, які суттєвим чином впливають на виробничий, соціальний і культурний розвиток регіону. В процесі роботи над звітом студент вимушений ставити перед собою конкретні питання про своє місце на виробництві і в суспільстві, як майбутнього спеціаліста і як громадянина.

Розвиток промисловості нерозривно пов'язаний із створенням культурних цінностей і історичних надбань в регіоні. Тому в якості додаткових досліджень пропонується розглянути історичні і культурні події, пам'ятки на місці проходження робочого семестру. Як результат виконання таких досліджень і їх узагальнення стало складання альбомів історичних досліджень за напрямками: "Розвиток промисловості краю", "Історичні пам'ятки і особливості", "Наші випускники в науці та виробництві", "Дослідження на вільну тему". Альбом досліджень формується з додатків до звіту. При цьому вказується тема історичного дослідження, виконавець, рік написання. Історичні написання можуть бути новими або доповненням до вже виконаних. Об'єм досліджень не регламентується, але стимулом до якісної роботи є те, що дослідження продовжуються у часі, поліпшуються кількісно і якісно, а їх результатами можуть скористатися студенти, викладачі, всі бажаючі.

Створення альбомів і стендів сприяє кращій інформованості студентів про історію розвитку промисловості рідного краю, дозволяє ознайомитися з маркетинговими дослідженнями промислових підприємств. Створена

можливість вивчити історичні і культурні надбання краю, кращі наукові школи і їх сподвижників.

Запропонований підхід до вивчення ОНДР зобов'язує студента до ознайомлення з історією краю, спілкування з науковцями, виробниками, краєзнавцями, брати участь у суспільному житті, збагачуватися кращими його традиціями, відповідно визначати і підвищувати свій світогляд.

7. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Завдання 7.1.

Апроксимувати криву зміни швидкості ω розгону приводної механічної системи до функції часу t . Представити $\omega = f(t)$ параболою

виду $\omega = \frac{an}{n-1} \left(t - \frac{t^n}{nb^{n-1}} \right) + c$ за такими даними: при $t = 0$, $\omega = 0$, при $t = t_1$,

$\omega = \omega_1$ та $\frac{d\omega}{dt} = 0$, при $t = \frac{t_1}{2}$, $\omega = \alpha\omega_1$.

Визначити аналітично a , b і c . Графічно знайти величину n .

Дані до завдання

№	1	2	3	4
α	0,65	0,7	0,75	0,85

Примітка. Точність розрахунків до третього знака.

Завдання 7.2.

Дослідити взаємозв'язок між міцністю та жорсткістю вільноопертої балки прямокутного перерізу, навантаженої по середині. Графічно знайти межі, що задовільняють умови міцності та жорсткості в координатах: абсциса – v , ордината – h . Визначити оптимальне співвідношення v і h . Допустимий прогин Δ .

Дані до завдання

№	P , кН	L , м	$[\sigma]$, МПа	Δ , мм
1	1,0	3	100	20
2	2,0	4	100	30
3	3,0	4	100	40
4	4,0	5	100	50
5	5,0	5	100	60

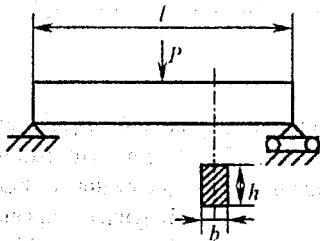


Рис. 7.1

Завдання 7.3.

Дослідити зміни похибки Δ (в %) в функції числа разових замірів n . Побудувати графік залежності $\Delta = f(n)$. Значення разових замірів a_1, a_2, a_3 і т.д.

Дані до завдання

№	1	2	3	4	5
a_1/a_2	11 / 10	21 / 20	31 / 31,5	41,5 / 39,5	52 / 51
a_3/a_4	10,5 / 9,5	20,5 / 19,5	30,5 / 29,5	40,5 / 31,6	50 / 49
a_5/a_6	11,5 / 10,5	21,5 / 20,5	31 / 30	41 / 40	49,5 / 49,8
a_7/a_8	10 / 9	20 / 19	29 / 31	39 / 41	50,1 / 50
a_9/a_{10}	10,1 / 10,2	20,1 / 19,8	30,1 / 30,2	40,1 / 40,2	50,2 / 49,8
a_{11}/a_{12}	9,8 / 9,9	19,8 / 19,9	29,8 / 29,9	39,8 / 39,9	49,6 / 50,1
a_{13}/a_{14}	10 / 10,4	20 / 20,4	30 / 30,4	40,5 / 39,5	50,2 / 49,7
a_{15}/a_{16}	9,6 / 10,1	20,1 / 19,9	29,6 / 30,1	39,6 / 40	49,8 / 50
a_{17}/a_{18}	9,9 / 10,2	19,9 / 20,2	30 / 30,5	40,5 / 39,8	59,4 / 50,2
a_{19}/a_{20}	9,8 / 10	20,1 / 19,9	29,8 / 30,1	40,3 / 40	50 / 49,8

Примітка. Точність розрахунків до третього знака.

Завдання 7.4.

Представити приводний пристрій у вигляді розрахункової моделі, що складається із двох дискретних мас. Дослідити зміни веденої маси моделі I_2 в залежності від передаточного числа i , яке змінюється від i_1 до i_2 та побудувати графік $I_2 = f(i)$. Приведення до валу I. Кількість точок, по яких будувати графік, не менша 10.

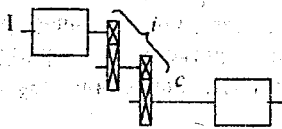


Рис. 7.2

Дані до завдання

№	$I, \text{Hm} \cdot \text{с}^2$	$I_2, \text{Hm} \cdot \text{с}^2$	i_1	i_2
1	1	16	5	15
2	2	42	6	18
3	3	60	7	21
4	4	100	8	24
5	5	180	9	27

Завдання 7.5.

Представити приводний пристрій у вигляді розрахункової моделі, що складається з двох дискретних мас (див. рис. 7.2). Дослідити зміну приведеної жорсткості пружної ланки моделі c_n в залежності від передаточного числа i , що змінюється від i_1 до i_2 . Побудувати графік $c_n = f(i)$. Приведення до валу I. Кількість точок, по яких будувати графік, не менша 10.

Дані до завдання

№	$I_1 \text{ Нмс}^2$	$I_2 \text{ Нмс}^2$	i_1	i_2
1	1	16	5	15
2	2	42	6	18
3	3	60	7	21
4	4	100	8	24
5	5	180	9	27

Завдання 7.6.

Дослідити зміну максимального пускового навантаження приводного пристрою в функції моментів інерції ведучої та веденої мас. Модель дослідження – двох масова система. Моменти інерції ведучої та веденої мас I_1 і I_2 змінюються в межах від I_{10} до I_{11} і від I_{20} до I_{21} , приведена жорсткість пружної ланки c . Приведені моменти сил двигуна і зовнішнього опору M_0 і M_c . Пуск з передпусковим ступенем. Побудувати графіки $M_{\max} = f_1(I_1)$ і $M_{\max} = f_2(I_2)$.

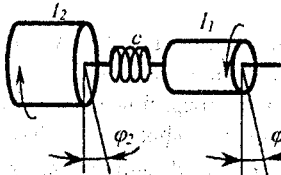


Рис. 7.3

Дані до завдання

№	M_0 Нм	M_c Нм	I_{10} Нмс ²	I_{11} Нмс ²	I_{20} Нмс ²	I_{21} Нмс ²
1	50	20	0,5	1,5	1	3
2	60	20	1	3	2	6
3	70	30	2	4	3	9
4	80	30	2	6	4	12
5	90	40	3	7	5	15

Завдання 7.7.

Дослідити зміну максимального пускового навантаження приводного пристрою в функції моментів інерції ведучої та веденої мас. Модель дослідження – двомасова система (див. рис. 7.3). Моменти інерції ведучої та веденої мас I_1 і I_2 . Другий з них змінюється в межах від I_{20} до I_{21} . Приведені моменти сил двигуна і зовнішнього опору M_0 і M_c . Пуск з передпусковим ступенем. Побудувати графік $M_{\max} = f_2(I_2)$.

Дані до завдання

№	M_0 Нм	M_c Нм	I_1 Нмс ²	I_{20} Нмс ²	I_{21} Нмс ²
1	50	20	1	1	3
2	60	20	2	2	6
3	70	30	3	3	9
4	80	30	4	4	12
5	90	40	5	5	15

Завдання 7.8.

Дослідити зміну максимального пускового навантаження приводного пристрою в функції величини моменту інерції ведучої маси I_1 (див. рис. 7.3), значення якого змінюється від I_{10} до I_{11} . Пуск забезпечується без передпускового ступеня. Побудувати графік $M_{\max} = f(I_1)$. Кількість точок, по яких будується графік, не менша 10. Моменти двигуна і статичного опору M_0 і M_c . Жорсткість пружної ланки c .

Дані до завдання

№	M_0 Нм	M_c Нм	I_2 Нмс ²	C кН/м	I_{10} Нмс ²	I_{11} Нмс ²
1	50	20	6	1000	2	8
2	70	30	8	2000	4	10
3	90	40	10	3000	5	13
4	110	50	12	4000	6	16
5	130	60	14	5000	7	19

Завдання 7.9.

Дослідити зміну максимального навантаження при гальмуванні приводного пристрою (див. рис. 7.3) в функції величини моменту інерції веденої маси I_2 , який змінюється від I_{20} до I_{21} . Момент інерції веденої маси I_1 . Гальмо встановлене на ведучій масі. Побудувати графік $M_{\max} = f(I_2)$. Кількість точок, по яких будується графік, не менша 10. Моменти гальма і статичного опору M_T і M_c .

Дані до завдання

№	M_0 Нм	M_c Нм	I_1 Нмс ²	I_{20} Нмс ²	I_{21} Нмс ²
1	100	20	2	1	5
2	120	20	4	2	10
3	160	30	6	3	10
4	180	30	8	4	12
5	200	40	10	5	20

Завдання 7.10.

Дослідити зміну максимального навантаження при гальмуванні приводного пристрою (див. рис. 7.3) в функції величини моменту інерції веденої маси I_1 , який змінюється від I_{10} до I_{11} . Момент інерції веденої маси I_2 . Гальмо встановлене на ведучій масі. Побудувати графік $M_{\max} = f(I_1)$. Моменти гальма і статичного опору M_T і M_c . Кількість точок, по яких будується графік, не менша 10.

Дані до завдання

№	M_0 Нм	M_c Нм	I_1 Нмс ²	I_{20} Нмс ²	I_{21} Нмс ²
1	100	20	2	1	10
2	120	30	3	2	11
3	160	40	4	3	12
4	180	50	5	4	13
5	200	60	6	5	14

Завдання 7.11.

Дослідити зміну максимального (з можливих) навантаження пружної ланки двомасової системи при навантаженні веденої маси після розгону в функції часу (за лінійним законом) в залежності від зміни моменту інерції веденої маси I в межах від I_1 до I_2 і жорсткості пружної ланки C в межах від C_1 до C_2 . Побудувати графік $M=f_1(I)$ і $M=f_2(C)$ при постійних значеннях відповідно $C=(C_1+C_2)/2$ і $I=(I_1+I_2)/2$. Кількість точок, по яких будувати графік, не менша 10. Статичне навантаження рівне M_c , час нарощування навантаження t_1 .

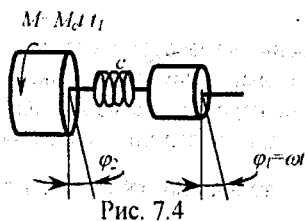


Рис. 7.4

Дані до завдання

№	I_1 Нмс ²	I_2 Нмс ²	c_1 кН/м	c_2 кН/м	M_c Нм	t_1 с
1	0,1	1,0	0,10	100	1,0	1
2	0,2	2,0	0,20	200	2,0	1,5
3	0,3	3,0	0,30	300	3,0	2,0
4	0,4	4,0	0,40	400	4,0	2,0
5	0,5	5,0	0,50	500	5,0	2,0

Завдання 7.12.

Дослідити зміну навантаження P буфера при посадці на нього вантажу вагою Q з постійною швидкістю V при змінних значеннях Q в межах від Q_1 до Q_2 і жорсткості буфера C в межах від C_1 до C_2 . Побудувати графік $P=f_1(Q)$ і $P=f_2(C)$ при постійних значеннях відповідно $C=(C_1+C_2)/2$ і $Q=(Q_1+Q_2)/2$. Кількість точок, по яких будувати графік, не менша 10. Жорсткість каната знехтувати.

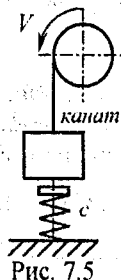


Рис. 7.5

Дані до завдання

№	Q_1 кН/м	Q_2 кН/м	c_1 кН/м	c_2 кН/м	V м/с
1	1,00	10,00	20,00	100,0	1,0
2	2,00	20,00	30,00	120,0	2,0
3	3,00	30,00	40,00	160,0	3,0
4	4,00	40,00	50,00	200,0	4,0
5	5,00	50,00	60,00	240,0	5,0

Завдання 7.13.

Дослідити зміну максимальної сили P удару маси m по пружині з жорсткістю c в залежності від величини маси, яка змінюється в межах від m_1 до m_2 і висоти падіння H , що змінюється в межах від H_1 до H_2 . Побудувати графіки $P=f_1(m)$ і $P=f_2(H)$ при постійних значеннях $H = \frac{H_1 + H_2}{2}$ і $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Кількість точок при побудові графіків не менша 10.

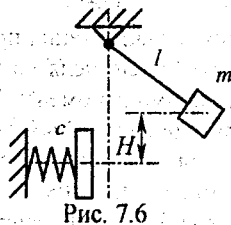


Рис. 7.6

Дані до завдання

№	m_1 кг	m_2 кг	H_1 м	H_2 м	c кН/м
1	0,1	1,0	0,1	1,0	1,00
2	0,2	2,0	0,2	1,2	2,00
3	0,3	3,0	0,3	1,3	3,00
4	0,4	4,0	0,4	1,4	4,00
5	0,5	5,0	0,5	1,5	5,00

Завдання 7.14.

Дослідити зміну частоти p власних коливань двомасової системи, що складається з мас з моментами інерції I_1 і I_2 , з'єднаних пружною ланкою з жорсткістю c при зміні I_1 в межах від I_{10} до I_{11} та жорсткості в межах від c_1 до c_2 . Побудувати графіки $p=f_1(I_1)$ і $P=f_2(c)$ при постійних значеннях відповідно $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ і $I = \frac{I_{10} + I_{11}}{2}$. Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10.

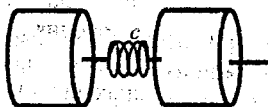


Рис. 7.7

Дані до завдання

№	I_{10} Нмс ²	I_{11} Нмс ²	c_1 Н/м	c_2 Н/м	I_2 Нмс ²
1	0,1	1,0	100	1000	1,0
2	0,2	2,0	200	2000	2,0
3	0,3	3,0	300	3000	3,0
4	0,4	4,0	400	4000	4,0
5	0,5	5,0	500	5000	5,0

Завдання 7.15.

Дослідити зміну частоти p власних крутильних коливань маси з моментом інерції I при зміні останньої в межах від I_1 до I_2 і довжині вала l (в межах від l_1 до l_2). Побудувати графіки $p=f_1(l)$ і $p=f_2(I)$ при постійних значеннях відповідно $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ і $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$. Діаметр вала d . Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10. Масою вала знехтуємо.

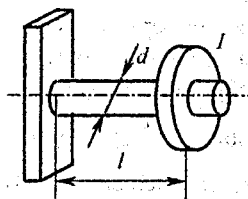


Рис 7.8

Дані до завдання

№	I_{12} Нмс ²	I_{22} Нмс ²	l_1 м	l_2 м	d м
1	0,1	1,0	1,0	2,0	0,05
2	0,2	2,0	1,5	3,0	0,06
3	0,3	3,0	2,0	4,0	0,07
4	0,4	4,0	2,5	5,0	0,08
5	0,5	5,0	3,0	6,0	0,09

Завдання 7.16.

Дослідити зміни власної частоти p коливань маси m при зміні її величини в межах від m_1 до m_2 і жорсткостей пружин c в межах від c_1 до c_2 . Побудувати графіки $p = f_1(m)$ та $p = f_2(c)$ при постійних значеннях відповідно $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ і $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10.

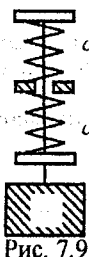


Рис. 7.9

Дані до завдання

№	m_1 кг	m_2 кг	c_1 кН/м	c_2 кН/м
1	1	10	10,00	100
2	2	20	20,00	200
3	3	30	30,00	300
4	4	40	40,00	400
5	5	50	50,00	500

Завдання 7.17.

Дослідити зміни частоти p власних коливань маси m при зміні її величини в межах від m_1 до m_2 і жорсткості пружини c в межах від c_1 до c_2 . Побудувати графіки $p = f_1(m)$ та $p = f_2(c)$. При постійних значеннях відповідно $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ і $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10.

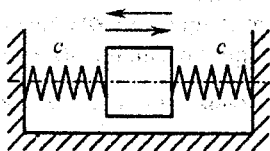


Рис. 7.10

Дані до завдання

№	m_1 кг	m_2 кг	c_1 Н/м	c_2 Н/м
1	0,1	1,0	100	1000
2	0,2	2,0	200	2000
3	0,3	3,0	300	3000
4	0,4	4,0	400	4000
5	0,5	5,0	500	5000

Завдання 7.18.

Дослідити зміну ударного навантаження p буфера при зіткненні маси m з нерухомою стіною при зміні її (маси) величини в межах від m_1 до m_2 і жорсткістю буфера c в межах від c_1 до c_2 . Побудувати графіки $p = f_1(m)$ та $p = f_2(c)$ при постійних значеннях відповідно $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ і $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$.

Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10. Швидкість зіткнення V .

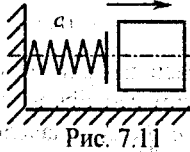


Рис. 7.11

Дані до завдання

№	m_1 кг	m_2 кг	c_1 Н/м	c_2 Н/м	V м/с
1	0,1	1,0	100	1000	1
2	0,2	2,0	200	2000	2
3	0,3	3,0	300	3000	3
4	0,4	4,0	400	4000	4
5	0,5	5,0	500	5000	5

Завдання 7.19.

Дослідити зміну частоти p власних коливань маси m при зміні її величини в межах від m_1 до m_2 і жорсткості пружини c_1 в межах від c_{10} до c_{11} . Побудувати графіки $p = f_1(m)$ та $p = f_2(c_1)$ при постійних значеннях c_2 і відповідно $c_1 = \frac{c_{10} + c_{11}}{2}$ і $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10.



Рис. 7.12

Дані до завдання

№	m_1 кг	m_2 кг	c_{10} Н/м	c_{11} Н/м	c_2 Н/м
1	0,1	1,0	10	100	100
2	0,2	2,0	20	200	200
3	0,3	3,0	30	300	300
4	0,4	4,0	40	400	400
5	0,5	5,0	50	500	500

Завдання 7.20.

Дослідити зміни частоти p власних малих коливань маси m при зміні її величини в межах від m_1 до m_2 і жорсткістю пружини c в межах від c_1 до c_2 . Побудувати графіки $p = f_1(m)$ та $p = f_2(c)$ при постійних значеннях відповідно $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ і $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Кількість точок, по яких будують графік, не менша 10.

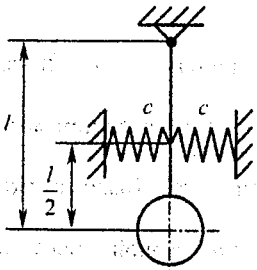


Рис. 7.13

Дані до завдання

№	m_1 кг	m_2 кг	c_1 Н/м	C_2 Н/м	l м
1	0,1	1,0	100	1000	1
2	0,2	2,0	200	2000	2
3	0,3	3,0	300	3000	3
4	0,4	4,0	400	4000	4
5	0,5	5,0	500	5000	5

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. – М.: Высшая школа, 1985. – 520с.
2. Артоболевский И.И., Ильинский Д.Я. Основы синтеза систем машин автоматического действия. – М.: Наука, 1983. – 280с.
3. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408с.
4. Горохов В.Г. Знать, чтобы работать.: История инженерной профессии и её роль в современной культуре. – М.: Знание, 1987. – 57с.
5. Иванов М.Н. Детали машин.- М.: Высшая школа, 1991. – 381с.
6. Комаров М.С. Основы научных исследований для машиностроительных специальностей.- Львов, 1977.
7. Крутов В.И. и др. Основы научных исследований. – М.: Высшая школа, 1989. – 400с.
8. Серeda Л.П., Павленко В.С., Чернилевский Д.В. Основы инженерного творчества и научных исследований. Научное пособие под редакцией Д.В. Чернилевского. – К.: ИСДО, 1994.
9. Соминский И.С. Метод математической индукции. – М.: Наука, 1984.
10. Тимошенко Г.М., Зима П.Ф. Теория инженерного эксперимента. – К.: УМК, 1991. – 124с.
11. Тимошенко и др. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472с.
12. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов.- М.: Наука, 1986. – 512с.
13. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента.- М.: Мир, 1972.

Навчальне видання

Борис Миколайович Пентюк

**ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ПРАКТИКУМ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНИХ
СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор С.А. Малішевська

Навчально-методичний відділ ВДТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12. 2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

Підписано до друку *12.02* Гарнітура Times New Roman
Формат 29,7x42 $\frac{1}{4}$ Папір офсетний
Друк різнографічний Ум. друк. арк. *2.91*
Тираж: прим.
Зам. № *2002-233*

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12. 2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ