

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого

Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МПТ

А.І.Соколенко

“ 5 ” 11 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Підлісевич Іван Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження динамічних та енергетичних параметрів пакувального обладнання з метою зменшення енергетичних витрат

керівник роботи Васильківський Костянтин Вікторович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 5 ” 11 2020 року № 925-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 2.02.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Вид дослідження – аналітичні. 2. Досліджувані параметри системи – кінематичні, динамічні та енергетичні. 3. Припущення – загальноприйняті для динаміки машин.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Реферат 2. Вступ 3. Огляд літературних джерел та постановка задач досліджень 4. Розділи аналітичних досліджень. 5. Охорона праці при наукових дослідженнях 6. Висновки. 7. Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація доповіді

ЗМІСТ

Реферат	4
Вступ.....	7
1. Розділ. Енергетичний підхід до проектування технологічних систем типу «людина - машина - предмет праці - джерело енергії».....	10
1.1. Проблеми проектування технологічних систем.....	10
1.2. Концептуальні моделі для опису енергетики технологічних процесів.....	16
Висновки.....	22
2. Розділ. Загальні поняття про механічну роботу і енергію.....	24
2.1. Енергія, робота, потужність.....	24
2.2. Види механічної енергії.....	27
2.3. Закон збереження енергії в механіці.....	31
3. Розділ. Моделювання механічних процесів пакувального обладнання з врахуванням енергетичних витрат	36
3.1. Встановлення співвідношень між енергетичними і кінематичними параметрами переміщення вантажів.....	36
3.2. Енергетичні співвідношення при переміщенні вантажів по похилих площинах.....	46
3.3. Енергетичні трансформації в пружних системах.....	52
3.4. Енергія дисипації у процесах пакування.....	58
Охорона праці у наукових дослідженнях.....	65
Висновки.....	74
Література.....	75

РЕФЕРАТ

Згідно з темою магістерської роботи завданням є визначення енергетичних витрат у пакувальному обладнанні.

Магістерська робота складається з стор. 78, рис. 26, табл. 6.

Під час виконання синтезу машин саме їх кінематичні параметри відіграють велике значення. Це особливо актуально для машин циклічної дії, що є найбільшим класом у пакувальному обладнанні, оскільки поряд з перехідними процесами, пов'язаними з їх пуском і зупинкою, додаються перехідні процеси, пов'язані із зворотно-поступальним або складними рухами ланок. А тому аналіз співвідношень кінематичних параметрів та енергетичних витрат з метою мінімізації останніх є задачею актуальною.

Метою магістерської роботи є дослідження можливості застосування енергетичного підходу для вирішення задач проектування пакувального обладнання.

Актуальність роботи полягає в тому, що знайдені співвідношення між кінематичними, динамічними і енергетичними параметрами можуть бути покладені в основу проектування вузлів пакувального обладнання з мінімальними енерговитратами.

Основні ключові слова і словосполучення, що характеризують зміст проекту: енерговитрати, енергетичний підхід, структурно-енергетична модель, коефіцієнт корисної дії (ККД), робота, потужність, рушійна сила, сила опору, кінетична і потенційна енергія, дисипація.

РЕФЕРАТ

Согласно теме магистерской работы поставленной задачей является определение энергетических затрат упаковочного оборудования.

Магистерская работа состоит из стр. 78, Рис. 26, табл. 6.

При выполнении синтеза машин именно кинематические параметры играют решающее значение. Это актуально для машин циклического действия, которые являются крупным классом в упаковочном оборудовании, поскольку наряду с переходными процессами, связанными с пуском и остановкой, добавляются процессы, связанные с возвратно-поступательным или сложными движениями звеньев. Поэтому анализ соотношений кинематических и энергетических параметров с целью минимизации последних является актуальной задачей.

Целью магистерской работы является исследование возможности применения энергетического подхода для решения задач проектирования упаковочного оборудования.

Актуальность работы заключается в том, что установленные соотношения между кинематическими, динамическими, а также энергетическими параметрами могут быть положены в основу проектирования узлов упаковочного оборудования с минимальными энергозатратами.

Основные ключевые слова и словосочетания, характеризующие содержание проекта: энергозатраты, энергетический подход, коэффициент полезного действия (КПД), энергия, работа, мощность, движущая сила, сила сопротивления, кинетическая и потенциальная энергия, диссипация.

ABSTRACT

According to the subject of the master's work is to evaluate energy costs in packaging equipment.

Master's work consists of the page. 78, Fig. 26, tab. 6.

While the synthesis of machines is their kinematic parameters play crucial. This is especially true for machines cyclic actions which are the largest class in packaging equipment, as near transients associated with start and stop, added transients associated with Reciprocating movements or complex parts. Therefore analysis kinematic parameters and ratios of energy expenditure in order to minimize the latter is actual task.

The purpose of the master work is to investigate the possibility of applying an energetic approach in solving problems designing packaging equipment.

Urgency of work is found that ratio between kinematic, dynamic and energetic parameters can be the basis for designing units packaging machines with minimal power consumption.

The main key words and phrases describing the content of the project: energy, the energy approach, structure-energy model efficiency (efficiency), work, power, driving force, resistance force, kinetic and potential energy, dissipation.

ВСТУП

Історичні аспекти розвитку людського суспільства тісно взаємопов'язані, існує ціла низка вказівок на такі в'язі, які є загально визнаними та очевидними і до яких можна прийти на основі феноменологічних міркувань. Взаємодія окремої людини та суспільства у цілому із навколишнім середовищем спрямована на певну корекцію природних умов на напрямку інтенсифікації синтезу сировинних потоків життєзабезпечення рослинного та тваринного походження. Результатом такого напрямку може бути швидко зростаюче використання матеріальних і енергетичних ресурсів, створення умов проживання людини на грані допустимих або навіть поза межею допустимих. Загально визнано, що подолання таких бар'єрів у розвитку суспільства слід шукати на шляху використання поновлюваних ресурсів та відповідних технологій, енергоощадних технологій тощо.

Машино-апаратне оформлення сучасних транспортно та технологічних систем організується на базі синхронізованої взаємодії технологічного та транспортного обладнання. Останньому надається роль жорстких або гнучких зв'язків. Жорсткі зв'язки відповідають жорсткій синхронізації і частіше використовуються в машинах-автоматах, тоді як в міжмашинних сполученнях перевага надається тільки гнучким зв'язкам, що використовуються у вигляді конвеєрів, накопичувальних пристроїв, бункерів, проміжних складів. Роль та значущість транспортних зв'язків суттєво зростають із підвищенням загальної продуктивності транспортно-технологічних систем, а їх робота потребує до 50 % та більше енерговитрат. У таких умовах енергетичний аудит, як комплексів ТТС, так і окремих процесів є значною вимогою і складовою створення сучасних технологій.

До числа характерних для переробної та харчової промисловості відносяться потоки електромеханічної, теплової, кінетичної, потенціальної, мікробіологічної, хімічної видів енергій.

Носіями та передавачами кінетичної енергії виступають двигуни, валопроводи, редуктори, муфти, маніпулятори, що забезпечують передавання

енергії до робочих органів машин. Взаємодія елементів передач між собою із опорними елементами конструкцій супроводжується тертям, а тому і відповідними енергетичними втратами. Особливо низькі значення коефіцієнтів корисної дії характерні машинам циклічної дії. Наприклад, в машинах ударної дії втрачається до 50 % енергії.

У вирішенні проблеми модернізації української економіки важлива роль належить машинобудуванню, головним завданням якого є створення ефективної техніки, зокрема робочих машин і устаткування. Їх застосування в галузях економіки дозволить багато разів підвищити продуктивність суспільної праці, понизити трудомісткість, енергоємність і матеріаломісткість продукції, що випускається, і тим самим підвищити рівень її конкурентоспроможності на вітчизняному і світовому ринках.

Створення таких машин може ґрунтуватися завдяки сучасній науковій базі, що включає використання нових відкриттів, винаходів та технологій у різних галузях науки та техніки; а також застосування сучасних методів і прийомів технічної творчості, нових підходів та методів дослідження і дотримання послідовності виконання всіх стадій створення і освоєння нових машин.

Як відомо, процес проектування будь-якої машини починається з розробки технічного завдання, в якому встановлюються техніко-економічні вимоги, що визначають споживчі властивості і ефективність застосування створюваної машини. Проте практика показує, що не завжди ці вимоги відповідають нормативним значенням у сфері експлуатації машини, що призводить до зниження її продуктивності, енергетичної ефективності і погіршення всіх інших її техніко-економічних показників. Таке положення пояснюється тим, що при створенні машини в належній мірі не враховувалися параметри зв'язаних з нею чинників виробництва, предмету праці і джерела енергії, тобто не реалізовується в належній мірі системний підхід до проектування машин.

Для вирішення цих проблем необхідно повною мірою використовувати системний підхід до проектування машин, тобто здійснити перехід від проектування машин до проектування цілісних технологічних систем типу «людина-машина-предмет праці - джерело енергії» (ТС).

Метою магістерської роботи є дослідження можливості запровадження енергетичного підходу для вирішення задач проектування пакувального обладнання.

Розділ 1

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ТИПУ «ЛЮДИНА - МАШИНА - ПРЕДМЕТ ПРАЦІ - ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ»

1.1. Проблеми проектування технологічних систем

Формування параметрів цілісних ТС вимагає залучення знань не тільки технічних і економічних наук, але і наук, що вивчають трудову діяльність людини, а також суміжних прикладних наук (ергономіки, біоніки, інженерної психології, кібернетики, наукової організації праці, виробництва та інших наук).

Застосування знань вказаних вище наук при формуванні параметрів створюваних ТС представляє складне завдання, оскільки кожна наука має свій понятійний апарат, свої цілі і методологію аналізу. Важливо використовувати знання цих наук і виробити на їх основі єдиний підхід до формування і розрахунку параметрів створюваних ТС.

Одним з можливих шляхів об'єднання знань наук, що вивчають трудові процеси, може служити використання загальних властивостей матерії, якими є рух, простір і час.

В даний час економічна наука застосовує лише одну загальну властивість матерії - час, який використовується як мірило живої і суспільної праці. На жаль, при вимірюванні праці часом не враховуються такі його важливі властивості як, напруженість, інтенсивність і інші властивості живої праці, які є складеними характеристиками більш загальної його властивості, - рухи. Останнє може стати більш універсальною мірою праці, чим час.

Роль руху на даний час неухильно зростає, бо активний розвиток виробництва означає, підвищення інтенсивності руху (потужності) всіх основних продуктивних сил праці - робочої сили, знарядь і предметів праці, джерел руху (енергії).

З позиції філософії енергія - це кількісна міра руху, що виражає внутрішню активність матерії, здібність матеріальних систем до здійснення певної роботи, або перетворень в зовнішньому середовищі, на основі внутрішніх структурних змін. В цьому випадку енергія із зв'язаного стану (відповідного масі спокою) переходить в активні форми, наприклад в енергію випромінювання.

Важливість енергії полягає в тому, що лише завдяки енергетичним перетворенням стають можливими і матеріальні перетворення, що представляють суть будь-якого технологічного процесу, що здійснюється в рамках технологічної системи.

Якщо при проектуванні машини її енергетичні властивостей не будуть повною мірою узгоджені з енергетичними властивостями людини, предмету праці і джерела енергії, то енергетичні процеси в технологічній системі і її підсистемах не відповідатимуть оптимальним значенням. Це приведе до зниження об'ємів матеріальних перетворень в одиницю часу, тобто до зниження продуктивності системи, що погіршить всі інші її техніко-економічні параметри.

Звідси витікає, що загальним підходом до формування техніко-економічних параметрів технологічних систем може служити енергетичний підхід.

Енергетичний підхід є могутнім інструментом учених і інженерів, вживаним чинником пояснення багатьох складних явищ у різних галузях науки і техніки. Таке значення енергетичного підходу обумовлене універсальністю і природною здатністю, заснованою на використанні фізичного вчення про енергію.

Враховуючи універсальний принцип енергетичного походу, у вітчизняній та зарубіжній літературі висувуються численні ідеї і пропозиції по його застосуванню в економічній науці і практиці. Ці ідеї і пропозиції можна умовно розділити на тих, що відносяться до макроекономіки, мікроекономіки і прикладної економіки (техніко-економічному аналізу машин і устаткування).

Не дивлячись на назви, що отримали, в літературі, фізична економіка (Л.Х. Ларуш, П. Г.Кузнецов), енергоінформаційна економіка (В.Н.Власов) і інші назви, їх застосування на практиці стримується складністю перебудови всієї теоретичної і методологічної бази економічної теорії і, відповідно, її конкретних економічних наук (галузевих, функціональних і суміжних).

До механічних процесів завжди відносять оброблювальні, переробні, формоутворювальні і складальні процеси. Більшості цим процесам властива мала тривалість, яскраво виражена переривчаста та повторюваність процесу, тобто властивості, характерні для циклічних процесів.

До теперішнього часу окремі елементи енергетичного підходу стосовно підсистем (компонентів) ТС описані в літературі по техніко-економічному аналізу робочих машин і устаткування, ергономіці, фізіології праці, інженерній психології, організації праці та виробництва і у спеціальній технічній літературі.

Враховуючи настійну необхідність створення енергоефективної та енергозберігаючої техніки, в роботах радянських учених-економістів Л.Б. Барташева, К.М. Великанова, А.С. Некрасова, Г.Б. Каца, Е.К. Смірніцкого, Л.Я. Шухгальтера і ін., використуваних для проведення техніко-економічного аналізу машин і устаткування, запропоновані такі важливі параметри, як потужність, витрата енергії, енергоємність, коефіцієнт корисної дії, енергетичний рівень механізації (автоматизації) праці і ін.

Разом з енергетичними параметрами пропонуються і похідні від них параметри - продуктивність, вантажопідйомність, робоча поверхня, робочий об'єм, тиск, температура і ін.

Всі перераховані вище параметри входять до складу експлуатаційних параметрів і характеристик, які в значній мірі визначають споживчі властивості створюваних машин.

Проте, як би не була досконала машина, її ефективне використання залежить від експлуатаційних властивостей (параметрів) компонентів, що взаємодіють з нею, раніше всієї людини, предмету праці і джерела енергії.

Проблема взаємодії людини і сучасної техніки - проблема «людина - машина» або «СЛМ» - перетворилася на одну з основних проблем сучасної науки. На її рішення направлені такі фундаментальні і прикладні науки, як фізіологія, психологія, кібернетика, ергономіка, інженерна психологія, біоніка і ін. науки.

Фундаментальним поняттям в науках про працю є поняття - «трудова діяльність», яку умовно розділяють на три типи: енергетичну, керуючу і евристичну. У реальних умовах в чистому вигляді не існує жоден з цих типів, в певній мірі всі вони перекликаються в будь-якій виробничій діяльності. Тому при класифікації трудової діяльності людини виходять з того, переважає діяльність якого типу.

Діяльність людини здійснюється завдяки двом тісно зв'язаним здібностям організму - дієздатності і працездатності. Дієздатність - це здатність формувати доцільну працю, вона створює якісну сторону трудової діяльності людини. Працездатність - це здібність організму до психофізіологічної дії. Дія ця може полягати у перетворенні одного виду енергії у інший вид, в перетворенні об'єкту з одного вигляду в інший і тому подібне.

Разом із загальними поняттями, що характеризують трудову діяльність людини, в прикладних науках про працю, зокрема інженерній психології, з'явилися критерії оцінки діяльності людини, яка є оператором: швидкодія, надійність, точність, напруженість. Специфічною характеристикою оператора, що не має свого аналога для машинних ланок, є напруженість діяльності. Функціональна напруга оператора при виконанні виробничого завдання може бути віднесене до двох сторін - енергетичною і інформаційною. Обидві мають місце при усіх видах діяльності, але залежно від того, яка із сторін діяльності переважає, працю відносять до розумової або фізичної праці.

Функціональну напругу організму при фізичній роботі називають тяжкістю праці, а при розумовій роботі - напруженістю праці.

Енергетична природа фізичної діяльності людини описана в роботах відомих фізіологів праці - Р. Лемана, С.А. Косилова, Е.Ф. Полежаєва, І.І.

Ліхніцкой і ін. Наприклад, в роботі [4] указується, що всяка фізична діяльність організму пов'язана з витратою енергетичних потенціалів організму, тому фізична напруга – це енергетичне поняття.

У роботі [7] показано, що працездатність людини при різних його рівнях - нейрофізіологічному і внутріклітинному - має енергетичну основу.

Критеріями оцінки людина, як джерела енергії є функціональна витрата (функціональний обмін) і енергетичний коефіцієнт корисної дії, який аналогічний за своїм змістом механічному коефіцієнту корисної дії. Проте це критерій для працюючої людини ні якою мірою не має того визначального і універсального значення, як в оцінці працюючої машини.

С.А. Косилов в своїй роботі [3] відзначає, що коефіцієнт корисної дії працівника досить низький і складає при підйомі вантажу 8,4%, роботі напилком - 10,2%, обертанні рукоятки 20% . Максимальний ККД може досягати 30%.

Отже, значна частина енергії не може бути використана на працю, оскільки йде на внутрішню роботу організму та не знаходить зовнішнього виразу.

У процесі трудової діяльності людини здійснюється перетворення енергії у роботу. Інтенсивність роботи у часі характеризує "потужність" людини. Відповідно до корисної та витраченої роботи розрізняють корисну та споживану "потужність" людини.

Досягнення сучасної психофізіології роботи дозволили визначити рівень годинної напруженості споживання робочої сили для фізичної праці. Так, відповідно до державного стандарту, що діє, по ергономічних вимогах до виробничого устаткування, «конструкція виробничого устаткування повинна забезпечувати такі фізичні навантаження на того, що працює, при яких енерговитрати організму, що працює протягом зміни не перевищували б 1046,7 кдж/г (250 ккал/г)» [1]. Проте механізм реалізації цієї вимоги при проектуванні виробничого устаткування в літературі не описаний.

Аналіз приведених вище критеріїв і параметрів оцінки діяльності людини і машини в трудовому процесі показує, що людину і машину характеризують такі загальні енергетичні параметри як потужність, коефіцієнт корисної дії і витрата енергії. Окрім людини і машини, аналогічними енергетичними параметрами характеризуються і джерела енергії, що забезпечують енергією машину.

Що стосується енергетичних параметрів предмету праці, то слід зазначити, що будь-який предмет праці є речовиною, що володіє внутрішньою енергією і масою. Величина внутрішньої енергії речовини (предмету праці) визначається відповідно до закону взаємозв'язку маси і енергії. Наявність у речовини внутрішньої енергії підтверджується властивими йому фізичними властивостями.

У спеціальній технічній літературі приводяться численні параметри, що побічно характеризують енергетичні властивості твердих речовин. Такими параметрами є твердість, міцність, зносостійкість, жорсткість тощо.

Короткий аналіз застосування енергетичного підходу показує, що окремі його елементи застосовуються в техніко-економічному аналізі робочих машин та устаткування. Можливе його застосування та для опису енергетичних характеристик предмету праці і джерела енергії. Крім того, дані фундаментальних і прикладних наук про працю, використовувані в нормативних документах, підтверджують застосування елементів енергетичного підходу в системі наукової організації праці та виробництва.

Проте роздільне застосування енергетичного підходу для опису енергетичних параметрів машини, людини, предмету праці і джерела енергії не дозволяє достовірно обґрунтувати параметри ТС при її створенні і підтверджувати їх нормативні значення при здійсненні в ній технологічних процесів.

В зв'язку з цим виникає необхідність у розробці фізичних уявлень щодо енергетики технологічних процесів і концептуальних моделей для їх опису, на

яких будується система формування основних параметрів створюваних ТС і їх компонентів.

Поняття «Технологічна система» і «технологічний процес» (ТП) є взаємозв'язаними поняттями. Їх взаємозв'язок виражається в тому, що ТС - це ТП у статиці, ТП - це ТС у динаміці. У сучасному розумінні, технологічний процес - це частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії із зміни і (або) визначення стану предмету праці. До предметів праці відносяться заготовки і вироби.

1.2. Концептуальні моделі для опису енергетики технологічних процесів

Пропонуються три моделі щодо опису енергетики технологічних процесів, які здійснюються у технічній системі, перша із яких, є структурно-енергетичною моделлю, друга – рівняння енергетичного балансу, і в решті третя – рівняння яке відображає перетворення енергії на роботу. Ці моделі пропонуються для опису енергетики трьох видів технологічних процесів механічної обробки: ручного, машинно-ручного та машинного, щоб показати процес послідовного заміщення людини машиною за енергетичними функціями і втратами енергії при передачі її від джерела енергії до предмета праці.

У якості ілюстрації розглянемо енергетичну сутність ручного технологічного процесу який складається із предмету праці, ручного засобу праці (інструменту) і працівника.

На рисунку 1.1. представлена структурно-енергетична модель ручного процесу, у якому компоненти технологічного процесу зображені у виді прямокутників розділених зонами взаємодії. Пряма лінія над прямокутниками зображає енергетичний ланцюг, який пов'язує предмет праці із джерелом енергії. А відгалуження цієї лінії – потоки енергії, що поступають у зони взаємодії компонентів технологічного процесу.

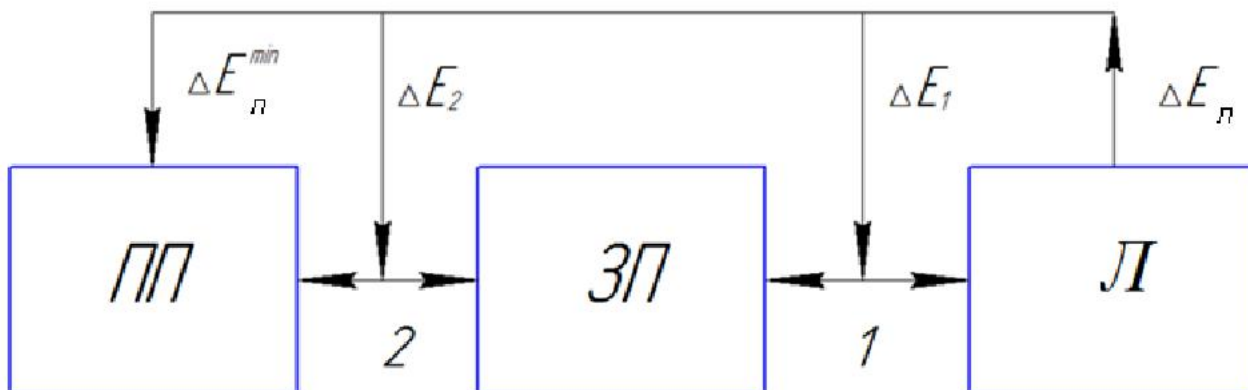


Рис. 1.1. Структурно-енергетична модель ручного процесу

Л - людина; ЗП - засіб праці; ПП - предмет праці; 1 – зона у взаємодії людини та засобу праці; 2 – зона у взаємодії засобу праці та предмету праці.

У даному процесі працівник за допомогою засобу праці впливає на предмет праці із метою доцільної зміни. На здійснення цих взаємодій витрачається енергія, потік якої виходить від нього та поступає у зони 1 і 2, здійснюючи взаємодію компонентів технологічного процесу, та до предмету праці на обробку.

У такому процесі предмет праці та засіб праці не є джерелами енергії, а їх матеріальне зруйнування відбувається за рахунок енергії людини, частина якої непродуктивно витрачається у двох зонах взаємодії, а друга частина поступає на доцільну зміну предмету праці.

Рівняння енергетичного балансу ручного технологічного процесу матиме наступний вид

$$\Delta E_{\text{Л}} = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_4^{\text{min}} \quad (1.1)$$

де $\Delta E_{\text{Л}}$ - зміна енергетичного потенціалу людини або витрата енергії людини для виконання технологічного процесу;

ΔE_1 і ΔE_2 - енергія людини, витрачена для руйнування компонентів відповідно першої і другої зон взаємодії при виконанні технологічного процесу;

ΔE_4^{min} - мінімальна енергія людини, що використовується безпосередньо для обробки предмету праці при виконанні технологічного процесу.

Мінімальна енергія ΔE_4^{min} може служити у якості константи оброблюваного предмету праці, що залежить від способу його обробки, фізико-

хімічних та інших властивостей, є корисною енергією, що витрачається людиною.

Потоки енергії, які поступають від людини у зони взаємодії компонентів, розподіляються всередині кожної із зон пропорційно опірності компонентів руйнуванню. Так, у першій зоні одна частина енергії із потоку, що поступила у зону 1, витрачається на руйнування засобу праці із боку дії людини, а друга частина - на руйнування рухового апарату людини (наприклад, рук людини) із боку засобу праці. Аналогічним чином відбувається розподіл потоку енергії, що поступив у зону - 2. Одна частина енергії витрачається на руйнування предмету праці із боку дії засобу праці, а інша частина енергія витрачається на руйнування засобу праці з боку дії предмету праці. У зонах один і два відбувається втрата енергії, тобто некорисне її використання. Енергія людини, використана безпосередньо на зміну форми та розмірів предмету праці, є корисною енергією.

Але руйнування компонентів технологічного процесу є наслідком роботи сил, прикладених у зонах взаємодії, що викликані до дії зміною енергетичного потенціалу, тобто зумовлює перетворення енергії на роботу. Тоді рівняння, яке відображує перетворення енергії у роботу, матиме вид

$$\Delta E_{\text{л}} = A_1 + A_2 + A_4^{\text{min}} = A_{\text{л}} \quad (1.2)$$

де A_1 і A_2 - робота, витрачена для руйнування компонентів відповідно 1 і 2 зон взаємодії;

A_4^{min} - мінімальна робота, потрібна для зміни предмету праці (корисна робота);

$A_{\text{л}}$ - повна робота, витрачена людиною для виконання ручного технологічного процесу.

У кожній зоні діють сили, рівні за величиною, але які викликають деформацію взаємодіючих компонентів залежно від опірності руйнуванню. При різних деформаціях взаємодіючих компонентів робота руйнування у зонах взаємодії буде різною.

Як відомо, будь-яка робота здійснюється у часі. Якщо обидві частини рівняння (2) розділити на час, витрачений на виконання роботи людиною, то отримаємо баланс потужностей ручного тех процесу.

Аналогічні моделі можна отримати при розгляді автоматизованої ТС, коли людина здійснює тільки контроль за ходом виконання технологічного процесу та витрати фізичної енергії для виконання контрольних операцій умовно не враховуються.

Якщо на рисунку 1.1. замість ручного засобу праці відобразити машину-автомат, а замість людини - джерело енергії неживої природи, то після таких перетворень можна отримати структурно-енергетичну модель автоматизованого технологічного процесу (рис.1.2.).

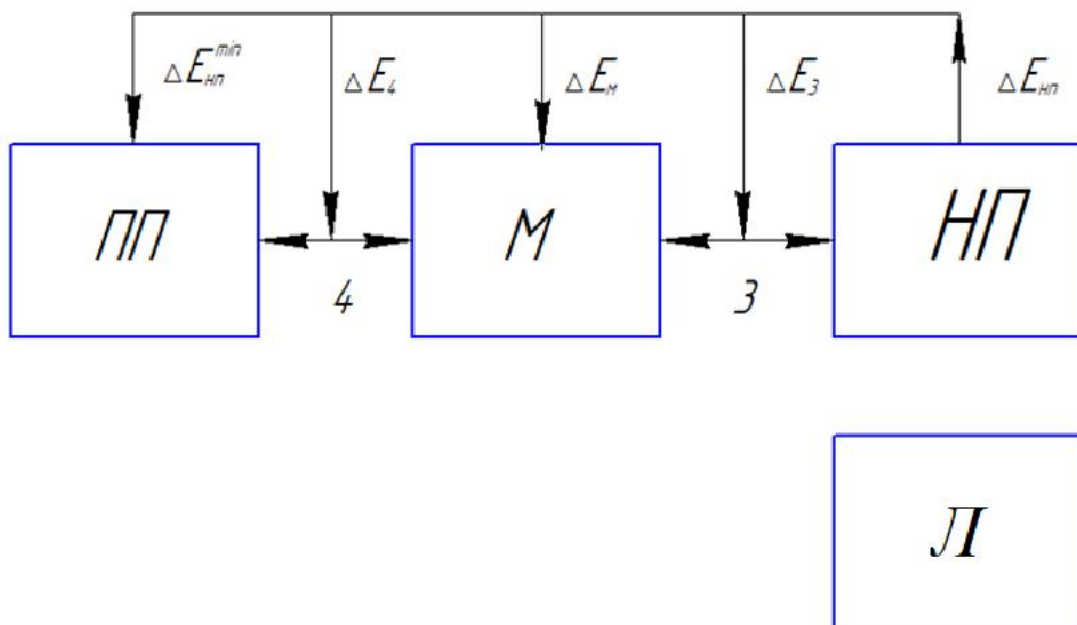


Рис.1.2. Структурно-енергетична модель автоматизованого машинного технологічного процесу

НП - енергія неживої природи; М - машина; 3 - зона взаємодії джерела енергії неживої природи та машини; 4 - зона взаємодії машини та предмету праці.

Рівняння енергетичного балансу машинного технологічного процесу матиме вид:

$$\Delta E_{\text{нп}} = \Delta E_3 + \Delta E_M + \Delta E_4 + \Delta E_{\text{нп}}^{\text{мін}} \quad (1.3)$$

де $\Delta E_{\text{нп}}$ - зміна енергетичного потенціалу джерела енергії неживої природи чи витрата енергії неживої природи для виконання технологічного процесу;

ΔE_3 і ΔE_4 - енергія неживої природи, витрачена для руйнування компонентів відповідно 3 і 4 зон взаємодії при виконанні технологічного процесу;

ΔE_M - енергія неживої природи, витрачена у машині для виконання технологічного процесу;

$\Delta E_{\text{нп}}^{\text{мін}}$ - мінімальна енергія неживої природи, що викорисана на доцільну зміну предмету праці при виконанні технологічного процесу (корисна енергія, яка витрачається неживою природою).

Рівняння, що відображає перетворення енергії у роботу, матиме вид:

$$\Delta E_{\text{нп}} - A_3 + A_M + A_4 + A_{\text{нп}}^{\text{мін}} - A_{\text{нп}} \quad (1.4)$$

A_3 і A_4 - робота, витрачена для руйнування компонентів відповідно 3 і 4 зон взаємодії при виконанні технологічного процесу;

A_M - робота, витрачена для руйнування машини при виконанні технологічного процесу;

$A_{\text{нп}}^{\text{мін}}$ - мінімальна потрібна робота для доцільної зміни предмету праці при виконанні технологічного процесу, тобто корисна робота, витрачена неживою природою;

$A_{\text{нп}}$ - повна робота, витрачена неживою природою для виконання технологічного процесу

Якщо розділити дві частини останнього рівняння на час, витрачене для виконання технологічного процесу, то отримаємо баланс потужностей машинного технологічного процесу.

При з'єднанні структурно-енергетичної моделі ручного технологічного процесу з структурно-енергетичною моделлю автоматизованого технологічного процесу, то можна отримати структурно-енергетичну модель машинно-ручного технологічного процесу (Рис.1.3).

Формування параметрів машинно-ручних технічних систем при їх проектуванні представляє найбільш складне завдання машинобудівників. Це пояснюється тим, що виробничі результати функціонування ТС багато у чому залежать від енергетичних можливостей (потенціалу) людини і ступеня їх використання у технологічному процесі.

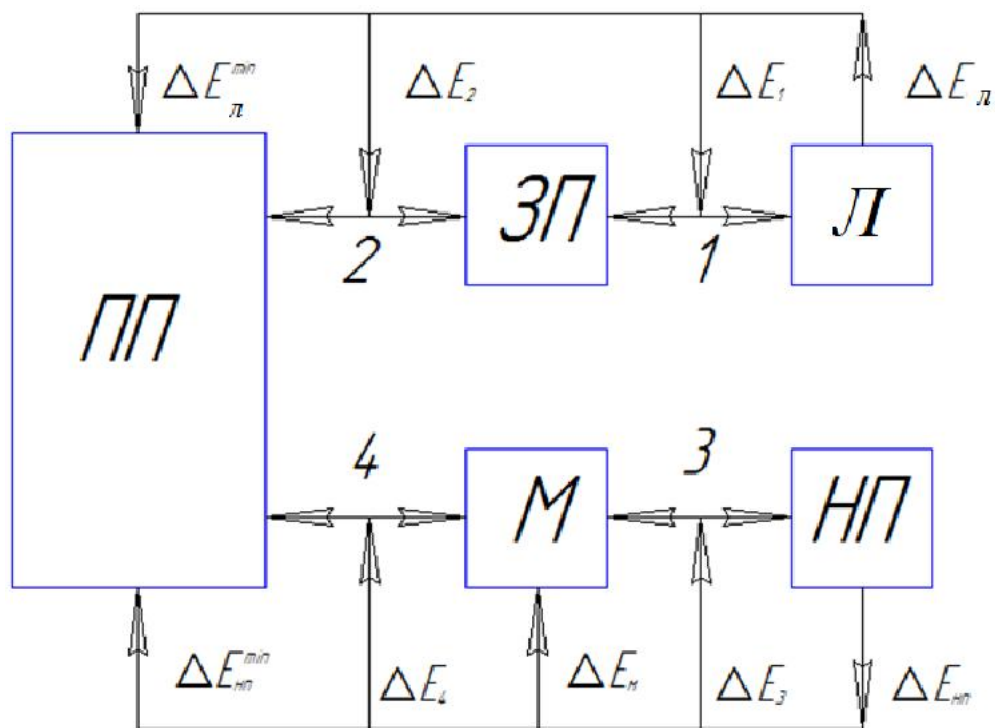


Рис. 1.3. Структурно-енергетична модель машинно-ручного технологічного процесу

Рівняння енергетичного балансу машинно-ручного технологічного процесу матиме вид

$$\Delta E_{\text{л}} + \Delta E_{\text{НП}} = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 + \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_4 + \Delta E_4^{\text{min}} + \Delta E_{\text{НП}}^{\text{min}} \quad (1.5)$$

Баланс робіт та потужностей машинно-ручного технологічного процесу будуються на основі рівнянь (1.2) та (1.4).

Якщо в приведених структурно-енергетичних моделях зміну предмету праці у просторі і часі представити у вигляді ланцюжка технологічних операцій, то можна отримати структурно-енергетичні моделі технологічних операцій (ручною, машинно-ручною і машинною / автоматизованою). Будь-які технологічні процеси розділяються на ряд технологічних операцій, закінчених на місці їх виконання. Це витікає з стандартизованого поняття «Технологічна операція», згідно якому – це закінчена частина технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці. Тому усі технологічні системи, в яких здійснюються технологічні операції, іменуються технологічними системами типу «робоче місце».

На основі вироблених уявлень про енергетичну сутність технологічних процесів та представлених моделей для опису енергетики стає можливою розробка методів формування і розрахунку основних параметрів проектованої ТС і її підсистем типу «робоче місце».

Висновки

При проектуванні технічних систем і їх компонентів слід врахувати основні техніко-економічні параметри:

- 1) штучна продуктивність (вагова, об'ємна):
- 2) енергетична продуктивність;
- 3) нормативний рівень тяжкості праці працівника;
- 4) рівень механізації (автоматизації праці) :
- 5) енергетичний коефіцієнт корисної дії;
- 6) енергетичний коефіцієнт корисної дії машини;
- 7) середній ресурс до капітального ремонту машини;
- 8) економічна продуктивність машини;
- 9) трудомісткість робіт, яка заміщаються машиною за ресурс до її капітального ремонту;
- 10) гранична вартість машини.

Усі параметри повинні входити до складу технічного завдання для створення і освоєння ТС.

Зміст енергетичного підходу для проектування технологічних систем типу "людина - машина - предмет праці - джерело енергії" може бути використане у якості методологічної бази на ранній стадії (стадії науково-дослідних робіт) і стадії дослідно-конструкторських робіт створення та освоєння технологічних систем.

Розділ 2

ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО МЕХАНІЧНУ РОБОТУ І ЕНЕРГІЮ

2.1. Енергія, робота, потужність

Міра різних форм руху матерії називається енергією. Енергія системи матеріальних тіл характеризує систему з точки зору можливих у ній кількісних та якісних перетворень руху. Дані перетворення обумовлені як взаємодією тіл системи між собою, так із зовнішніми тілами.

Рух є невід'ємною властивістю матерії. Тому любе тіло має енергію, міру його руху. Для кількісної характеристики різних форм руху, що вивчаються у фізиці, вводяться відповідні види або форми енергії - механічна, внутрішня, електромагнітна тощо.

Причиною зміни стану механічного руху тіла, а, отже, і його енергії, є взаємодія тіла з іншими тілами. Для характеристики дії цих тіл на тіло в механіці введено поняття сили. Можна говорити, що зміна руху та енергії викликається силами. Процес зміни енергії тіла під дією сил називається процесом звершення роботи. Приріст енергії тіла у цьому процесі називається роботою, виконаною силою.

Сила, прикладена до тіла, здійснює роботу тільки тоді, коли тіло при цьому переміщається.

З курсу фізики відомо, що при поступальному прямолінійному русі (рис. 2.1) тіла робота, що здійснюється постійною силою, тим більше, чим більше становить сила,

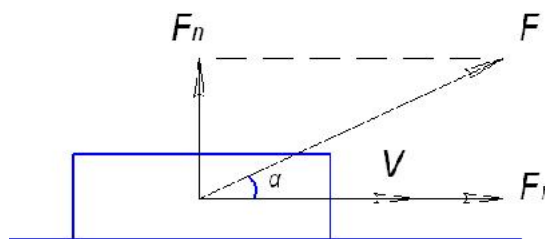


Рис. 2.1. Розрахункова схема

а дотична до траєкторії і чим більше шлях s , пройдений тілом за час дії цієї сили:

$$A = F_{\tau} s = F s \cdot \cos \alpha \quad (2.1)$$

В загальному випадку сила може змінюватися і за величиною, і за напрямом, тому формула (2.1) являється лише одним із окремих випадків. Проте, якщо розглядати досить мале переміщення, то рух матеріальної точки можна вважати прямолінійним, а силу постійною. Тому елементарна робота, що здійснюється силою на переміщенні дорівнює:

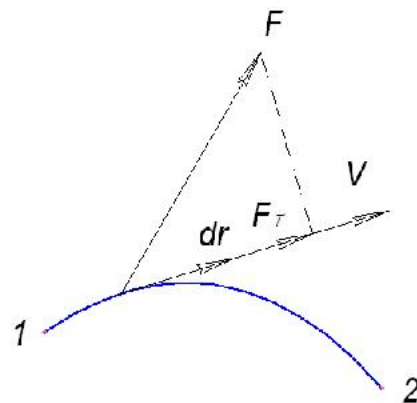


Рис.2.2. Схема руху тіла

$$dA = \overline{F} d\overline{r} = F \cos \alpha \cdot ds = F_{\tau} ds. \quad (2.2)$$

Робота, яка здійснюється силою \overline{F} на кінцевому шляху s (шлях 1-2 на Рис. 2.2), дорівнює сумі елементарних робіт на окремих нескінченно малих ділянках:

$$A = \int_0^s F \cos \alpha \cdot ds = \int_0^s F_{\tau} ds \quad (2.3)$$

Для обчислення цього інтеграла потрібно знати залежність $F_{\tau} = f(s)$. Очевидно, що робота, яка здійснюється силою \overline{F} на проміжку $0-s$, чисельно вимірюється площею, що заштрихована на рис. 2.3. Якщо сила \overline{F} не залежить від s ($F_{\tau} = \text{const}$), то $A = F_{\tau} s$.

З виразу (2.2) виходить, що сила, діюча на тіло, не здійснює роботи, якщо:

- а) тіло покоїться ($ds=0$);
- б) сила перпендикулярна до напрямку переміщення тіла ($\alpha = 90^{\circ}, F_{\tau} = 0$).

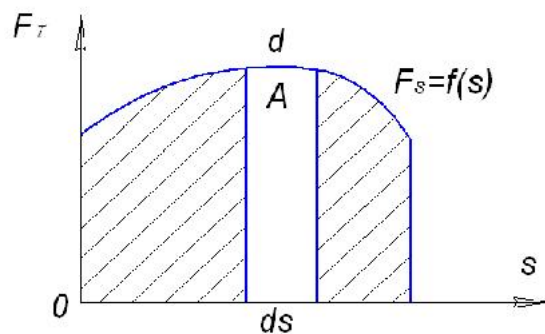


Рис.2.3. Залежність роботи від переміщення та сили

Якщо кут $\alpha < 90^\circ$, то робота сили \vec{F} позитивна (складова \vec{F}_τ співпадає за напрямом з вектором швидкості \vec{v}), тому у даному випадку силу \vec{F} називають рушійною силою.

Якщо кут $\alpha > 90^\circ$, то робота сили \vec{F} негативна (\vec{F}_τ і \vec{v} протилежні за напрямом) і силу \vec{F} називають силою опору (наприклад, сила тертя).

Одиниця роботи - Джоуль (Дж) : 1 Дж - це робота, яка здійснюється силою в 1 Н на переміщенні в 1 м:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Якщо на тіло, що рухається поступально, одночасно діє декілька сил (рис. 2.4.), то робота рівнодійної сили дорівнює сумі робіт складових сил :

$$F_\tau \cos \alpha = F_{1\tau} \cos \alpha_1 + F_{2\tau} \cos \alpha_2;$$

$$dA = F_\tau \cos \alpha \cdot ds = F_{1\tau} \cos \alpha_1 ds + F_{2\tau} \cos \alpha_2 ds = dA_1 + dA_2.$$

З рівняння (2.3) виходить, що зміна напрямку руху вздовж траєкторії на протилежне значення викликає зміну знаку роботи. Тому при переміщенні матеріальної точки вздовж замкнутої траєкторії L, наприклад, робота консервативної сили тотожно дорівнює нулю:

$$\oint_L (\vec{F}, d\vec{r}) = A_{1-a-2} + A_{2-b-1} \equiv 0 \quad (2.4)$$

Прикладами консервативних сил є сили тяжіння, пружності, електростатичної взаємодії.

Усі сили, що не задовольняють умові, називаються неконсервативними або дисипативними. Прикладом таких сил є сили тертя, які завжди спрямовані в бік, протилежний до напрямку руху. Тому робота сил тертя при переміщенні матеріальної точки уздовж замкнутої траєкторії завжди негативна та ніколи не дорівнює нулю.

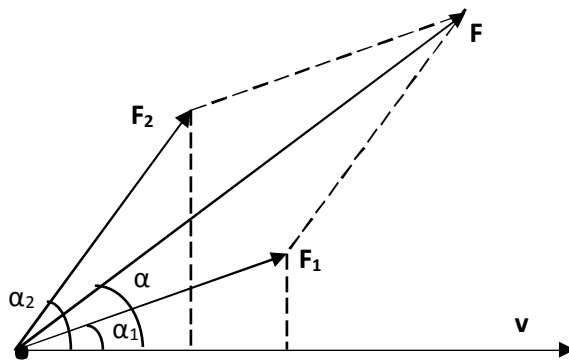


Рис. 2.4. Рух під дією двох сил

Для характеристики швидкості здійснення роботи силою, вводиться поняття потужності, що чисельно дорівнює роботі, здійснюваною силою за одиницю часу :

$$P = \frac{dA}{dt} \quad (2.5)$$

Підставляючи у (2.5) вираз (2.3) для елементарної роботи, маємо:

$$P = F \cos \alpha \cdot \frac{ds}{dt} = F \cos \alpha \cdot v = F_{\tau} v = \vec{F} \cdot \vec{v}. \quad (2.6)$$

Отже, потужність дорівнює добутку дотичної складової сили та швидкості руху, тобто скалярному добутку векторів сили і швидкості. Якщо $P \neq \text{const}$, то використовують поняття середньої потужності за деякий проміжок часу, протягом якого сила зробила роботу A :

$$P_{cp} = \frac{A}{t} \quad (2.7)$$

Одиниця потужності - Ватт (Вт) : 1 Вт - потужність, при якій за секунду здійснюється робота у 1 Дж, :

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с.}$$

2.2. Види механічної енергії

У механіці розрізняють два види енергії: кінетичну та потенційну. Кінетичною енергією називають механічну енергію рухомого тіла і вимірюють її тією роботою, яку могло б зробити тіло при його гальмуванні до повної зупинки.

Нехай тіло, що рухається зі швидкістю, починає взаємодіяти з іншим тілом і при цьому гальмується. Отже, тіло 1 діє на тіло 2 деякою силою і на елементарній ділянці переміщення ds здійснює роботу

$$dA = F_{\tau} ds.$$

За третім законом Ньютона на тіло 1 одночасно діє сила, дотична складова якої викликає зміну чисельного значення швидкості тіла. Згідно із другим законом Ньютона:

$$-F_{\tau} = m \frac{dv}{dt}$$

Отже

$$dA = -m \frac{dv}{dt} \cdot ds = -m \frac{ds}{dt} dv = -mvdv$$

Робота, що здійснюється тілом до повної зупинки дорівнює:

$$A = \int_v^0 -mvdv = \frac{mv^2}{2}$$

Кінетична енергія тіла, що поступально рухається, дорівнює половині маси цього тіла на квадрат його швидкості :

$$E_k = A = \frac{mv^2}{2} \quad (2.8)$$

З формули (2.8) видно, що кінетична енергія тіла не може бути від'ємною.

Якщо система складається із кількох n поступально рухомих тіл, то для їх зупинки необхідно загальмувати кожне з цих тіл. Тому повна кінетична енергія механічної системи дорівнює сумі кінетичних енергій усіх тіл, що входять до неї:

$$E_k = \sum_{i=1}^n E_{ki} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2} \quad (2.9)$$

З останньої формули видно, що E_k залежить тільки від величин мас і швидкостей руху. При цьому не важливо, яким чином тіло масою m_i придбало швидкість. Тобто, кінетична енергія системи є функція стану її руху.

Швидкості істотно залежать від вибору системи відліку. При виведенні формул (2.8) та (2.9) передбачалося, що рух розглядається у інерційній системі відліку, оскільки інакше не можна було б використовувати закони Ньютона. Проте, у різних інерціальних системах відліку, рухомих один відносно одного, швидкість i -го тіла системи, а, отже, і кінетична енергія усієї системи будуть неоднакові. Таким чином, кінетична енергія системи залежить від вибору системи відліку, тобто є величиною відносною.

Потенційна енергія - це механічна енергія системи тіл, визначена їх взаємним розташуванням та характером сил взаємодії між ними.

Потенційна енергія системи у цьому положенні дорівнює роботі, яку виконують діючі на систему сили при переміщенні системи із цього положення в інше, де потенційна енергія умовно приймається рівною 0 ($E_{\text{п}} = 0$). Поняття потенційна енергія має місце тільки для консервативних систем, тобто тих, у яких робота діючих сил залежить тільки від початкового і кінцевого положення системи.

Розглянемо потенційну енергію системи Земля. Тіло масою m , піднято на висоту h над поверхнею Землі. Зменшення потенційної енергії такої системи вимірюється роботою сил тяжіння, яка здійснюється при вільному падінні тіла на Землю. Якщо тіло падає по вертикальній прямій, то

$$-\Delta E_{\text{п}} = E_{\text{п}} - E_{\text{п}0} = P \cdot h = mgh,$$

де $\Delta E_{\text{п}}$ - потенційна енергія системи при $h = 0$ (знак "-" показує, що робота здійснюється за рахунок спаду потенційної енергії).

Якщо тіло падає по похилій площині завдовжки l з кутом нахилу α до вертикалі ($l \cdot \cos \alpha = h$), то робота сил тяжіння дорівнює величині:

$$A = P \cdot l \cos \alpha = mgh$$

Якщо, тіло рухається по довільній криволінійній траєкторії, то можна уявити собі криву такою, що складається з малих прямолінійних ділянок Δl_i . Робота сили тяжіння на кожній з таких ділянок рівна

$$\Delta A_i = P \cdot \Delta l_i \cos \alpha_i = P \cdot \Delta h_i.$$

На усьому криволінійному шляху робота сил тяжіння дорівнює:

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \sum_{i=1}^n P \Delta h_i = P \cdot h = mgh.$$

Отже, робота сил тяжіння залежить тільки від різниці висот початкової і кінцевої точок.

Таким чином, тіло в потенційному полі сил має потенційну енергію. При нескінченно малій зміні конфігурації системи робота консервативних сил

дорівнює приросту потенційної енергії, узятій із знаком мінус, оскільки робота здійснюється за рахунок зменшення потенційної енергії :

$$dA = -dE_n.$$

Робота dA виражається як скалярний добуток сили \vec{F} на переміщення $d\vec{r}$, тому останній вираз можна записати таким чином:

$$\vec{F}d\vec{r} = -dE_n \quad (2.10)$$

Отже, якщо відома функція $E_n(\mathbf{r})$, то з виразу (2.10) можна знайти силу \vec{F} за модулем та напрямом.

Для консервативних сил

$$F_x = -\frac{\partial \Pi}{\partial x}, \quad F_y = -\frac{\partial \Pi}{\partial y}, \quad F_z = -\frac{\partial \Pi}{\partial z},$$

чи у векторному виді

$$\vec{F} = -\text{grad } \Pi$$

$$\text{де } \text{grad } \Pi = \frac{\partial \Pi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \Pi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \Pi}{\partial z} \vec{k}. \quad (2.11)$$

Вектор, визначений виразом (2.11), називається градієнтом скалярної функції Π ; де $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - одиничні вектори координатних осей (орти).

Вид функції Π (у нашому випадку E_n) залежить від характеру силового поля (гравітаційне, електростатичне чи інше), що і було показано вище.

Повна механічна енергія системи дорівнює сумі її кінетичної та потенціальної енергій:

$$W = E_k + E_n.$$

З виразу потенційної енергії системи та розглянутих прикладів видно, що ця енергія, подібно до кінетичної енергії, є функцією стану системи. Вона залежить тільки від конфігурації системи та її положення по відношенню до зовнішніх тіл. Отже, повна механічна енергія системи теж є функцією стану системи, тобто залежить тільки від положення і швидкостей усіх тіл системи.

2.3. Закон збереження енергії в механіці

Напрямок до правильного розуміння переходів руху із однієї форми в іншу був намічений Ломоносовим М. В., який сформулював закон збереження маси речовини при хімічних перетвореннях та закони збереження матерії і руху. Кількісне формулювання закону збереження та перетворення енергії дали німецькі вчені Ю. Майер і Г. Гельмгольц: у замкнутій системі енергія може переходити із одних видів в інші і передаватися від одного тіла до другого, але її загальна кількість залишається незмінною.

Закони збереження і перетворення енергії є одними із фундаментальних законів природи, справедливим як для систем макроскопічних тіл, так і для систем елементарних часток. Він є виразом вічності руху в природі, який лише переходить із однієї форми у іншу.

У замкненій системі тіл, сили взаємодії між якими консервативні (потенційні), відсутні взаємні перетворення механічної енергії у інші види енергії. Такі системи називаються замкнутими консервативними та для них справедливий закон збереження енергії в механіці: механічна енергія замкнутої консервативної системи не змінюється у процесі руху:

$$W = E_k + E_n = \text{const.} \quad (2.12)$$

Для виведення цього закону розглянемо систему матеріальних точок масами m_1, m_2, \dots, m_n , рухомих із швидкостями $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n$. Нехай $\vec{F}'_1, \vec{F}'_2, \dots, \vec{F}'_n$ – рівнодійні внутрішніх консервативних сил, діючі на кожну із точок, а $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ – рівнодійні зовнішніх сил, які вважатимемо консервативними. Крім того, вважатимемо, що на матеріальні точки діє ще зовнішні неконсервативні сили; рівнодійні цих сил, діючих на кожну із матеріальних точок, позначимо $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \dots, \vec{f}_n$. При $v \ll c$ маси матеріальних точок постійні та рівняння руху цих точок за другим законом Ньютона мають наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \frac{d\bar{v}_1}{dt} = \bar{F}'_1 + \bar{F}_1 + \bar{f}_1; \\ m_2 \frac{d\bar{v}_2}{dt} = \bar{F}'_2 + \bar{F}_2 + \bar{f}_2; \\ \dots \\ m_n \frac{d\bar{v}_n}{dt} = \bar{F}'_n + \bar{F}_n + \bar{f}_n. \end{array} \right. \quad (2.13)$$

Рухаючись під дією сил, точки системи за інтервал часу dt здійснюють переміщення $d\bar{r}_1, d\bar{r}_2, \dots, d\bar{r}_n$. Помножимо кожне рівняння системи (2.13) на відповідне переміщення:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \frac{d\bar{v}_1}{dt} d\bar{r}_1 - (\bar{F}'_1 + \bar{F}_1) d\bar{r}_1 = \bar{f}_1 d\bar{r}_1; \\ m_2 \frac{d\bar{v}_2}{dt} d\bar{r}_2 - (\bar{F}'_2 + \bar{F}_2) d\bar{r}_2 = \bar{f}_2 d\bar{r}_2; \\ \dots \\ m_n \frac{d\bar{v}_n}{dt} d\bar{r}_n - (\bar{F}'_n + \bar{F}_n) d\bar{r}_n = \bar{f}_n d\bar{r}_n. \end{array} \right.$$

Враховуючи, що $\bar{v}_i = \frac{d\bar{r}_i}{dt}$, $d\bar{r}_i = \bar{v}_i dt$, отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 (\bar{v}_1 d\bar{v}_1) - (\bar{F}'_1 + \bar{F}_1) d\bar{r}_1 = \bar{f}_1 d\bar{r}_1; \\ m_2 (\bar{v}_2 d\bar{v}_2) - (\bar{F}'_2 + \bar{F}_2) d\bar{r}_2 = \bar{f}_2 d\bar{r}_2; \\ \dots \\ m_n (\bar{v}_n d\bar{v}_n) - (\bar{F}'_n + \bar{F}_n) d\bar{r}_n = \bar{f}_n d\bar{r}_n. \end{array} \right.$$

Складаючи ці рівняння, отримаємо:

$$\sum_{i=1}^n m_i (\bar{v}_i d\bar{v}_i) - \sum_{i=1}^n (\bar{F}'_i + \bar{F}_i) d\bar{r}_i = \sum_{i=1}^n \bar{f}_i d\bar{r}_i. \quad (2.14)$$

Перший член лівої частини – прирост кінетичної енергії системи :

$$\sum_{i=1}^n m_i (\bar{v}_i d\bar{v}_i) = \sum_{i=1}^n d\left(\frac{m_i \bar{v}_i^2}{2}\right) = dE_k.$$

Другий член $\sum_{i=1}^n (\bar{F}_i' + \bar{F}_i) d\bar{r}_i$ дорівнює елементарній роботі внутрішніх та зовнішніх консервативних сил, тобто дорівнює елементарному приросту потенційної енергії dE_k .

Права частина рівняння задає роботу зовнішніх неконсервативних сил, що діють на систему. Таким чином, маємо:

$$d(E_k + E_n) = dA \quad (2.15)$$

Під час переходу системи із одного стану в інший

$$\int_1^2 d(E_k + E_n) = A_{12},$$

Зміна повної механічної енергії системи при переході із одного стану у інший дорівнює роботі, яка здійснена при цьому зовнішніми неконсервативними силами. Якщо зовнішні неконсервативні сили відсутні, то з (2.15) витікає, що

$$d(E_k + E_n) = 0,$$

звідки

$$E_k + E_n = W = \text{const.}$$

Закон збереження механічної енергії пов'язаний із однорідністю часу, тобто інваріантністю фізичних законів відносно вибору початку відліку часу.

Механічні системи, на тіла яких діють тільки консервативні сили, називаються консервативними системами. Системи, в яких механічна енергія поступово зменшується за рахунок перетворення в інші види енергії, називаються дисипативними (дисипація - розсіяння енергії). Тобто, усі системи в природі є дисипативними і у них закон збереження механічної енергії порушується. Проте при зміні механічної енергії завжди виникає еквівалентна кількість енергії іншого виду. Таким чином, енергія ніколи не зникає і не з'являється знову, вона лише перетворюється з одного виду в інший. У цьому полягає фізична суть закону збереження і перетворення енергії - суть незнищенності матерії і її руху.

У багатьох прикладах розглядається одновимірний рух тіла, потенційна енергія якого є функцією лише однієї змінної (наприклад, координати x), тобто. $E_p = f(x)$. Графік залежності потенційної енергії від деякого аргументу називається потенційною кривою, аналіз якої дозволяє визначити характер руху тіла.

У загальному випадку потенційна крива може мати досить складний вигляд, наприклад з декількома максимумами і мінімумами (Рис. 2.6).

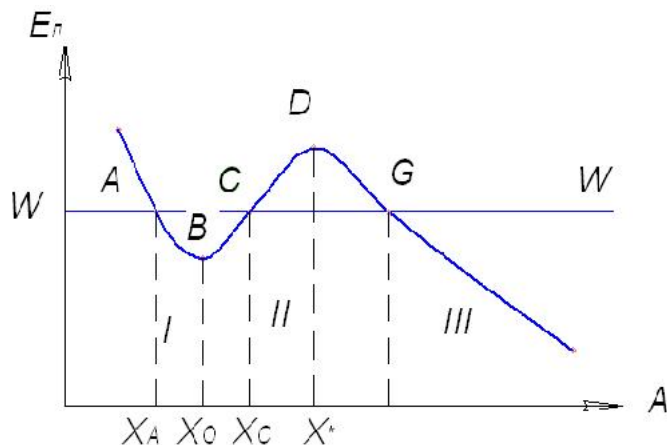


Рис. 2.6. Потенційна крива

Проаналізуємо цю потенційну криву у припущенні, що система

консервативна та в ній виконується закон збереження енергії у формі (2.12). Якщо W - задана повна енергія тіла, то тіло може знаходитися тільки там, де $E_p(x) \leq W$, тобто в областях I і III. Переходити з області I в область III і назад тіло не може, оскільки йому перешкоджає потенційний бар'єр CDG, ширина якого дорівнює інтервалу значень x , при яких $E_p > W$, а його висота визначається різницею $E_{pmax} - W$. Для того, щоб тіло змогло здолати потенційний бар'єр, йому необхідно повідомити додаткову енергію, рівну висоті бар'єру або що перевищує її. У області I тіло з повною енергією W виявляється "замкнутим" в потенційній ямі ABC і здійснює коливання між точками з координатами x_A і x_C .

У точці B з координатою x_0 потенційна енергія тіла мінімальна. Оскільки

діюча на тіло сила $F_x = -\frac{\partial E_n}{\partial x}$, а умова мінімуму потенційної енергії $\frac{\partial E_n}{\partial x} = 0$,

то в точці B $F_x = 0$. При зміщенні тіла з положення x_0 в результаті малих обурень в системі воно випробовує дію повертаючої сили, тому положення x_0 є положенням стійкої рівноваги. Вказані умови виконуються і для точки x^* (для E_{pmax}). Проте ця точка відповідає положенню нестійкої рівноваги, оскільки при малих обуреннях в системі з'являється сила, прагнуча видалити тіло від цього

положення. Таким чином, в стані стійкої рівноваги замкнутої консервативної системи її потенційна енергія має мінімальне значення, а в стані нестійкої рівноваги - максимальне значення.

Розділ 3

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ

3.1. Встановлення співвідношень між енергетичними і кінематичними параметрами переміщення вантажів

Нехай тіло масою m на горизонтальній опорній площині рушійною силою P_p розганяється до кінцевої швидкості $\dot{x}_{(к)}$ (Рис. 3.1). Протидіяти рушійній силі будуть сила тертя F_m та сила інерції $\bar{P}_i = -m\bar{x}$, де \bar{x} – прискорення руху тіла. У випадку розгону тіла від початкової швидкості $\dot{x}_{(п)} = 0$ до кінцевої $\dot{x} = \dot{x}_{(к)}$ енергетичні витрати складатимуть

$$E = P_i x_{(к)} + f m g x_{(к)}, \quad (3.1)$$

де f – коефіцієнт тертя.

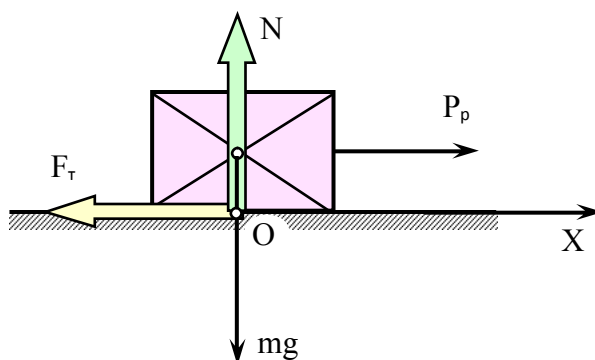


Рис. 3.1. Схема встановлення енергетичних співвідношень при переміщенні вантажу

Вважаємо, що прискорення залишається незмінним на протязі перехідного процесу. Підстановкою виразу для визначення сили інерції P_i можна отримати:

$$E = m\ddot{x}x_{(к)} + f m g x_{(к)}. \quad (3.2)$$

За зазначених умов $\dot{x}_{(п)} = 0$ і $\ddot{x} = \text{const}$ час перехідного процесу становить:

$$t_{(к)} = \dot{x}_{(к)} / \ddot{x}. \quad (3.3)$$

При цьому середня швидкість $\dot{x}_{(с)} = \dot{x}_{(к)} / 2$, а величина переміщення складає:

$$x_{(к)} = \dot{x}_{(с)} t_{(к)} = \frac{\dot{x}_{(к)}}{2} \cdot \frac{\dot{x}_{(к)}}{\ddot{x}} = \frac{(\dot{x}_{(к)})^2}{2\ddot{x}}. \quad (3.4)$$

Тоді прискорення

$$\ddot{x} = \frac{P_p - fmg}{m}. \quad (3.5)$$

Енергетичні витрати на розгін тіла становлять

$$E = \frac{m(\dot{x}_{(к)})^2}{2} \left(1 + \frac{fg}{\ddot{x}} \right). \quad (3.6)$$

Аналіз останнього рівняння показує, що для обмеження енерговитрат за час перехідного процесу доцільним є розгін тіла із збільшеним значенням прискорення \ddot{x} , оскільки зменшується переміщення, на якому діє сила тертя fmg . Разом із тим енерговитрати, пов'язані із подоланням сили інерції, не залежать від значення останньої і визначаються величиною кінцевої швидкості $\dot{x}_{(к)}$.

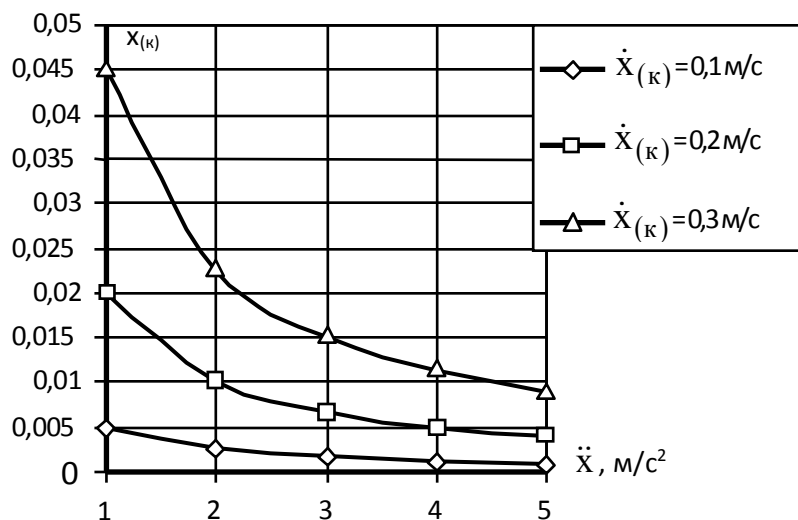


Рис. 3.2. Графіки залежностей $x_{(к)} = f(\ddot{x})$ при зміні \ddot{x} від 1 до 5 м/с²

На рис. 3.2 наведено залежності $x_{(к)} = f(\ddot{x})$ за фіксованих значень $\dot{x}_{(к)}$, що відповідають умові (3.4).

Зменшення прискорення \ddot{x} супроводжується зростанням кінцевого на етапі переміщення $x_{(к)}$ за інших рівних умов.

При сталих значеннях P_i і F_T енергетичні витрати на їх подолання відповідно становлять

$$E_{P_i} = \int_0^{x_{(к)}} P_i dx = P_i x_{(к)}; \quad (3.7)$$

$$E_{F_T} = \int_0^{x_{(к)}} F_T dx = F_T x_{(к)}. \quad (3.8)$$

Оскільки переміщення тіла із сталим прискоренням вимагає позитивної різниці між силами рушійними та силами опору, то має виконуватись наступна умова

$$P_{руш} = P_i + fmg = m\ddot{x} + fmg, \quad (3.9)$$

Тоді енергетичний баланс зводиться до формули

$$P_{руш} x_{(к)} = m(\ddot{x} + f g)x_{(к)} = \frac{(\dot{x}_{(к)})^2}{2} \left(m + \frac{2f mg}{\ddot{x}} \right), \quad (3.10)$$

із якої витікає, що робота сил рушійних витрачається на надання масі m кінетичної енергії та виконання роботи проти сил тертя.

Етап розгону тіла завершується, коли досягається значення $\dot{x}_{(к)}$ і стабілізацією швидкості на цьому рівні. Це означає, що і прискорення \ddot{x} миттєво зникає разом із силою інерції. На рис. 3.3 наведено діаграми кінематичних, силових і енергетичних параметрів цього процесу.

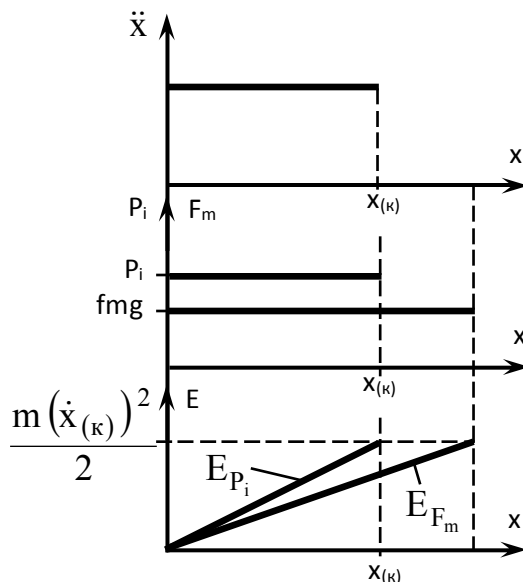


Рис. 3.3. Діаграми кінематичних, силових та енергетичних параметрів

Стрибок прискорення верхньої діаграми означає наявність такого динамічного явища, як м'який удар. На діаграмі $N = N(x)$ йому відповідає різка зміна потужності. При цьому похідну від енерговитрат по координаті переміщення будемо називати аналогом потужності

$$N_A = \frac{dE}{dx} \quad (4.11)$$

і відповідно до потужностей різних сил запишемо

$$N_{A(P_i)} = \frac{dE_{P_i}}{dx}; \quad N_{A(F_r)} = \frac{dE_{F_r}}{dx}. \quad (4.12)$$

Перехід до параметрів потужності здійснюємо за виразами

$$N_{P_i} = \frac{dE_{P_i}}{dx} \dot{x}; \quad N_{F_r} = \frac{dE_{F_r}}{dx} \dot{x}. \quad (4.13)$$

Звідси витікає, що зменшення часу розгону тіла потребує збільшення потужності, що розвивається силою рушійною.

Закон руху $\ddot{x} = \ddot{x}(x)$, наведений на рис. 3.3, відповідає умові швидкодії із обмеженим значенням \ddot{x}_{\max} . Однак висновки, що стосуються енерговитрат і потужностей розповсюджуються і на інші закони. Розглянемо для прикладу синусоїдальний закон переміщення, який реалізується кулачковим механізмом, та його енергетичні наслідки (Рис. 3.4).

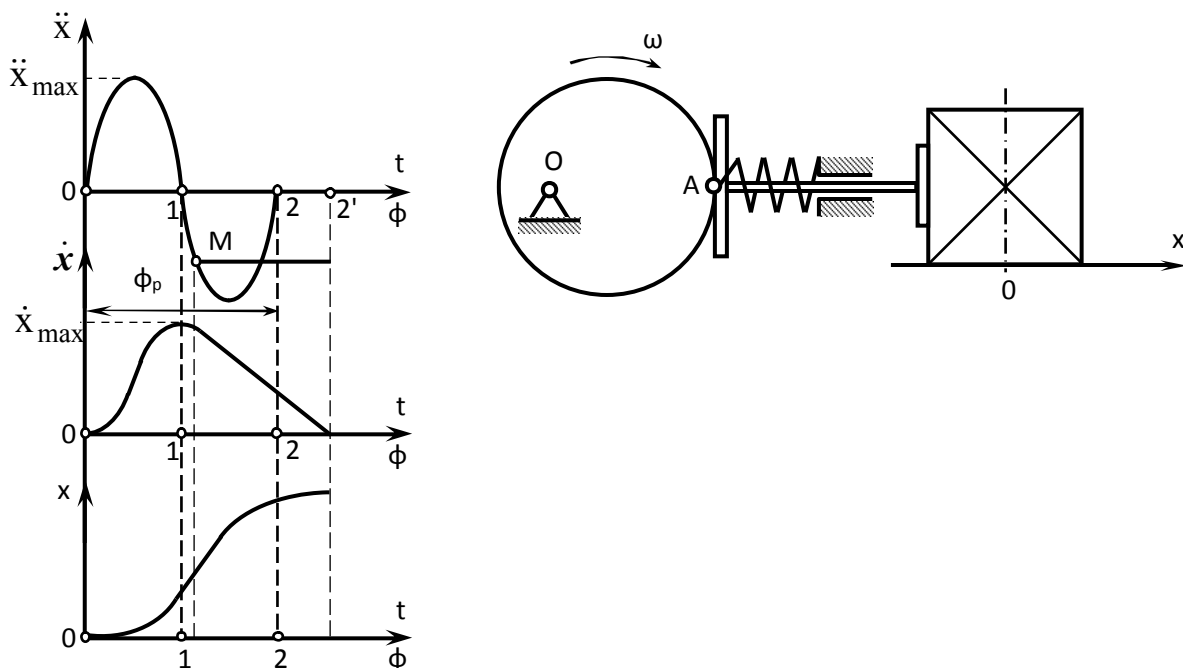


Рис. 3.4. Розрахункова схема та діаграми кінематичних параметрів за синусоїдального закону руху вантажу

При цьому будемо мати:

$$\ddot{x} = \ddot{x}_{\max} \sin \omega t; \quad (3.14)$$

$$\dot{x} = \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega} - \ddot{x}_{\max} \frac{1}{\omega} \cos \omega t; \quad (3.15)$$

$$x = \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega} t - \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega^2} \sin \omega t. \quad (3.16)$$

Тоді $P_i = m\ddot{x}_{\max} \sin \omega t$, де ω – кутова швидкість кулачка. Добуток ωt складає кутову координату кулачка. Нехай, залежностями (3.14) і (3.15) визначаються кінематичні параметри руху штовхача. При цьому на ділянці (0 – 1) діаграми (рис. 3.4) штовхач та вантаж переміщуються як одне ціле, а на ділянці

(1 – 2) у точці М має відбутися відрив вантажу від штовхача, оскільки сили тертя створюють прискорення меншим по модулю, ніж прискорення, що визначається кінематикою кулачкового механізму.

Вибором профіля кулачка забезпечується і стрибкоподібна зміна прискорення в позиції 1, що забезпечить від неї вільний вибіг вантажу.

В такому випадку весь накопичений потенціал кінетичної енергії тіла $\frac{m(\dot{x}_{\max})^2}{2}$ буде використано на подолання сил тертя в режимі вибігу:

$$\frac{m(\dot{x}_{\max})^2}{2} = f m g x_{(к)}^{\text{II}}, \quad (3.17)$$

де $x_{(к)}^{\text{II}}$ – величина вибігу на другому етапі (на ділянці (1 – 2')).

Звідси $x_{(к)}^{\text{II}} = \frac{(\dot{x}_{\max})^2}{2f g}$. Величина переміщення на першому етапі стано-

вить

$$x_{(к)}^{\text{I}} = \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega} t_{(к)}^{\text{I}} - \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega^2} \sin \omega t_{(к)}^{\text{I}}.$$

Час завершення першого етапу $t_{(к)}^{\text{I}}$ визначається величиною фазового кута для робочого ходу кулачка φ_p та його кутової швидкості ω

$$t_{(к)}^{\text{I}} = \frac{\varphi_p}{2\omega}.$$

Тоді на двох етапах переміщення $x_{(к)}$ становитиме

$$x_{(к)} = x_{(к)}^{\text{I}} + x_{(к)}^{\text{II}} = \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega} \cdot \frac{\varphi_p}{2\omega} - \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega^2} \sin \frac{\varphi_p}{2} + \frac{(\dot{x}_{\max})^2}{2f g} \quad (3.18)$$

Враховуючи необхідність обмеження силових дій слід звернути увагу на комбінацію рівноприскореного і рівносповільненого рухів кулачка. При цьому обмеження енерговитрат буде досягатися при умові дії на ділянці гальмування вантажу лише сили тертя. Встановимо співвідношення кінематичних, динамічних параметрів та енергетичних витрат в умовах вибігу вантажу за наявності лише сили тертя.

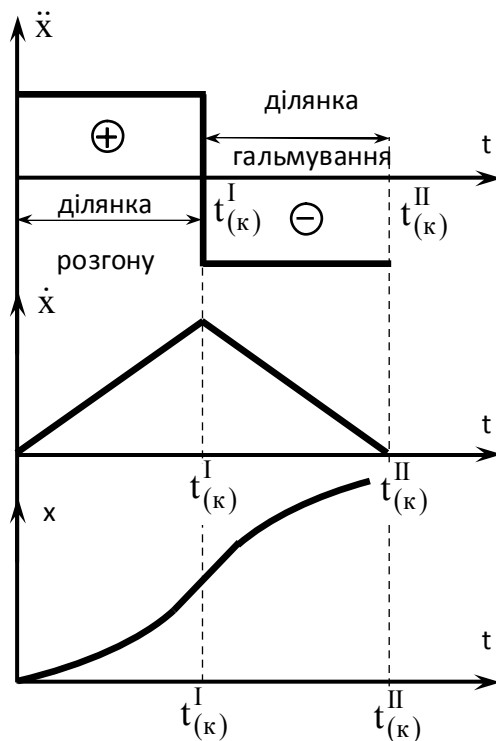


Рис. 3.5. Кінематичні діаграми визначення мінімальних енергетичних витрат

Тоді на першому етапі (ділянка розгону) (рис. 3.5) енерговитрати пов'язані із розгоном маси m до кінцевої швидкості I етапу $\dot{x}_{(к)}^I$ та подоланням сили тертя fmg , а на другому енергетичні витрати будуть мати величину

$$E^{\text{II}} = x_{(к)}^{\text{II}} fmg ,$$

де $x_{(к)}^{\text{II}}$ – кінцеве переміщення другого етапу.

Як було показано раніше, кінетична енергія, що досягається на I етапі:

$$W_{к(к)}^I = \frac{m(\dot{x}_{(к)}^I)^2}{2} = (P_p - fmg) x_{(к)}^I ,$$

оскільки $m\ddot{x} = P_i = (P_p - fmg)$. Прирівнявши E^{II} та $W_{к(к)}^I$, одержуємо

$$x_{(к)}^{\text{II}} fmg = (P_p - fmg) x_{(к)}^I .$$

$$\text{Звідси знайдемо } fmg = (P_p - fmg) \frac{x_{(к)}^I}{x_{(к)}^{\text{II}}} .$$

Позначимо $x_{(k)}^I / x_{(k)}^{\text{II}} = k$ і тоді

$$fmg = P_p k - fmgk; \quad P_p = \frac{fmg(1+k)}{k};$$

Оскільки рушійна сила діє на I етапі руху, то енергетичні втрати на ньому визначаються

$$E_{(k)}^I = P_p x_{(k)}^I$$

Нехай на двох етапах загальне переміщення вантажу становить

$$x_{\text{max}} = 1.$$

Тоді

$$x_{(k)}^I + x_{(k)}^{\text{II}} = 1; \quad x_{(k)}^I = 1 - x_{(k)}^{\text{II}} = 1 - \frac{x_{(k)}^I}{k};$$

$$x_{(k)}^I \left(1 + \frac{1}{k}\right) = 1; \quad x_{(k)}^I = \frac{1}{1 + \frac{1}{k}} = \frac{1k}{k+1}.$$

Знайдена величина $x_{(k)}^I$ дозволяє записати

$$E_{(k)}^I = \frac{fmg(1+k)}{k} \cdot \frac{1k}{k+1} = fmg1 = fmg(x_{(k)}^I + x_{(k)}^{\text{II}}).$$

Таким чином на цьому прикладі показано, що незалежно від співвідношень переміщень на першому та другому етапах величина енерговитрат залишається постійною і пов'язана лише із подоланням сил тертя.

Однак силова дія на вантаж P_p суттєво залежить від параметру k , про що свідчать дані, наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Співвідношення між рушійною силою та величиною сили тертя у залежності від параметра k

k	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5
$\frac{P_p}{fmg}$	11	7,67	6,0	5,0	4,33	3,5	3,0	2,67	2,25	2,0	1,8	1,67	1,5	1,4

Встановлені співвідношення варто доповнити таким важливим показником операції, як час перебігу процесу.

На першому етапі швидкість руху вантажу розраховується залежністю

$$\dot{x}^I = \ddot{x} t = \frac{P_p - fmg}{m} t.$$

Оскільки при цьому виконується умова

$$E_{(k)}^I - fmg = \frac{m(\dot{x}_{(k)}^I)^2}{2},$$

то таким чином для I етапу руху маємо:

$$m\ddot{x}^I = P_p - fmg; \quad \ddot{x}^I = \frac{P_p - fmg}{m}; \quad \dot{x}^I = \frac{P_p - fmg}{m} t; \quad x_{(k)}^I = \frac{1k}{k+1},$$

а для II етапу запишемо

$$m\ddot{x}^II = -fmg; \quad \ddot{x}^II = -fg; \quad \dot{x}^II = \dot{x}_{(k)}^I - fgt; \quad x_{(k)}^II = \frac{1}{k+1}.$$

Величина енерговитрат на II етапі становить

$$E_{(k)}^II = x_{(k)}^II fmg = \frac{fmg l}{k+1}.$$

За умовою задачі енерговитрати $E_{(k)}^II$ забезпечуються за рахунок кінетичної енергії W_k , яку вантаж має у кінці I етапу, а тому запишемо

$$E_{(k)}^II = \frac{m(x_{(k)}^I)^2}{2},$$

або підставивши $E_{(k)}^II$ одержуємо

$$\frac{m(x_{(k)}^I)^2}{2} = \frac{fmg l}{k+1} \frac{m(x_{(k)}^I)^2}{2} = \frac{fmg l}{k+1},$$

звідки $\dot{x}_{(k)}^I = \sqrt{\frac{2+gl}{k+1}}$.

Підстановкою P_p у формулу по визначенню \dot{x}^I визначимо

$$\dot{x}^I = \frac{fg(1+k)}{k} t - fgt.$$

Тоді на момент завершення I етапу маємо

$$\dot{x}^I = \frac{fg(1+k)}{k} t_{(k)}^I - fg t_{(k)}^I; \quad \sqrt{\frac{2fgl}{k+1}} = \left(\frac{fg(k+1)}{k} - fg \right) t_{(k)}^I.$$

З останнього виразу запишемо

$$t_{(k)}^I = \frac{\sqrt{\frac{2fgl}{k+1}}}{\frac{fg(k+1)}{k} - fg}.$$

На II етапі маємо співвідношення

$$\dot{x}^II = \dot{x}_{(k)}^I - fg t^II; \quad t^II = \frac{\dot{x}_{(k)}^I}{fg} - \frac{\dot{x}^II}{fg}.$$

Кінцевій умові II етапу відповідає $\dot{x}_{(k)}^I = 0$. Тому

$$t_{(k)}^II = \frac{\sqrt{\frac{2fgl}{k+1}}}{fg}.$$

Результати розрахунків по часу перебігу I та II етапів при значеннях $f = 0,2$; $l = 0,1$ м; $g = 9,81$ м/с наведемо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Дані часу перебігу I та II етапів та загального часу процесу

k	$t_{(k)}^I, \text{с}$	$t_{(k)}^II, \text{с}$	$t_{\text{заг}}, \text{с}$
0,1	0,068	0,68	0,748
0,5	0,4125	0,825	1,2375
1,0	0,456	0,456	0,912
2,0	1,1633	0,583	1,747

3.2. Енергетичні співвідношення при переміщенні вантажів по похилих площинах

Енергетичні співвідношення є невід'ємною і важливою складовою механіки та динаміки машин, у основу яких покладено закон збереження енергії і відображення його, як принцип можливих переміщень, метод енергомас, рівняння Лагранжа II роду, принцип Даламбера тощо.

Принцип Даламбера лежить в основі створення рівнянь руху. У складних випадках, наприклад, за взаємодії робочих органів із вантажами, кількість таких рівнянь може бути меншою ніж кількість невідомих, що приводить до необхідності використання інших співвідношень. До яких належать геометричні зв'язки, що можуть суттєво доповнюватись енергетичними співвідношеннями. Окрім того, вони можуть використовуватись для визначення кінцевих умов окремих етапів або певних сукупностей етапів чи взагалі для визначення кінематичних та силових параметрів переміщення мас у взаємодії із іншими масами і робочими органами.

У зв'язку із викладеним метою цієї частини дослідження є побудова аналітичних моделей переміщення вантажів у гравітаційному полі на основі енергетичних співвідношень.

Розглянемо випадок переміщення вантажу масою m під дією складової сили тяжіння $mg\sin\alpha$ (рис. 3.6), де g – прискорення вільного падіння; α – кут нахилу опорної площини до горизонту.

Початку гравітаційного спуску відповідає початкова точка А із координатами $x_{(п)}$ і $y_{(п)}$, а закінченню – точка В ($x_{(п)}$; $y_{(п)}$). Тоді стосовно початкового положення маса має потенціальну енергію

$$E_{\text{пот}} = mg(y_{(п)} - y_{(к)}) = mgh, \quad (3.19)$$

де h – висота відносного положення.

Якщо $y_{(к)} = 0$, то і кінцева потенціальна енергія $E_{\text{пот.к}} = 0$, а початковий енергетичний потенціал витрачається на створення енергії рухомої маси та роботу сил тертя A_{τ} :

$$E_{\text{пот}} = W_{\text{кін}} + A_{\text{T}}.$$

При цьому

$$A_{\text{T}} = F_{\text{T}} l_{\text{AB}} = fmg \cos \alpha \frac{h}{\sin \alpha}, \quad (3.20)$$

де F_{T} – сила тертя; f – коефіцієнт тертя в парі "вантаж – опорна площина".

Звідси

$$W_{\text{кін}} = mgh - fmg \cos \alpha \frac{h}{\sin \alpha} = mgh \left(1 - \frac{\text{tg} \rho}{\text{tg} \alpha} \right), \quad (3.21)$$

де $\rho = \arctg f$ – кут тертя.

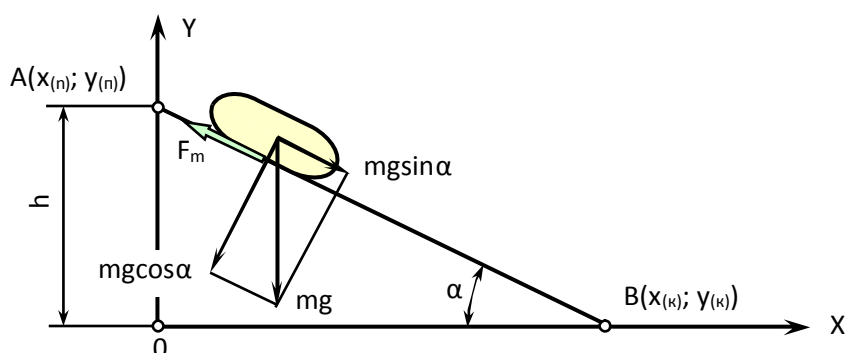


Рис. 3.6. Розрахункова схема переміщення вантажу по похилій площині

Оскільки при кінцевій швидкості $V_{\text{к}}$ кінетична енергія $W_{\text{кін}} = mV_{\text{к}}^2/2$, то

$$V_{\text{к}} = \sqrt{2gh \left(1 - \frac{\text{tg} \rho}{\text{tg} \alpha} \right)}. \quad (3.22)$$

З виразу (4.22) видно, що для всякого сполучення координат x та y і, визначаючи $h_i = (y_{(\text{п})} - y_i)$,

$$V_i = \sqrt{2g(y_{(\text{п})} - y(x)) \left(1 - \frac{\text{tg} \rho}{\text{tg} \alpha} \right)}. \quad (3.23)$$

Якщо спуск прямолінійний, то середня швидкість $V_{\text{с}} = \frac{V_{(\text{п})} - V_{(\text{к})}}{2}$ (3.24)

і якщо $V_{(\text{п})} = 0$ швидкість $V_{\text{с}} = V_{(\text{к})}/2$. Шлях, який проходить тіло

$$S = \frac{y_{(\text{п})} - y_{(\text{к})}}{\sin \alpha}. \quad (3.25)$$

Тоді час переміщення визначається за формулою

$$t_{(к)} = \frac{2S}{V_{(к)}} = \frac{2(y_{(п)} - y_{(к)})}{\sin \sqrt{2gh \left(1 - \frac{\text{tg}\rho}{\text{tg}\alpha}\right)}}. \quad (3.26)$$

З формули (3.23) можна також отримати умову самогальмування тіла на похилій площині, задаючись значенням $V_i = 0$. Тоді

$$2hg \left(1 - \frac{\text{tg}\rho}{\text{tg}\alpha}\right) = 0;$$

$$1 - \frac{\text{tg}\rho}{\text{tg}\alpha} = 0; \quad \text{tg}\alpha = f = \text{tg}\rho.$$

Рівняння (3.26) є універсальним, і перехід до $\alpha = 90^\circ$ приводить до випадку вільного падіння тіла зі часом переміщення

$$t_{(к)к} = \sqrt{2h/g}. \quad (3.27)$$

Повернімося до формули (4.20) і підставимо в неї $h = l_{OB} \text{tg}\alpha$. Тоді

$$A_T = fmg l_{OB}. \quad (3.28)$$

Це означає, що робота сил тертя для переміщення вантажів прямолінійними гравітаційними спусками пропорційна добутку fmg на горизонтальну проекцію похилої площини. За ввігнутого гравітаційного пристрою робота сил тертя зростає (рис. 3.7).

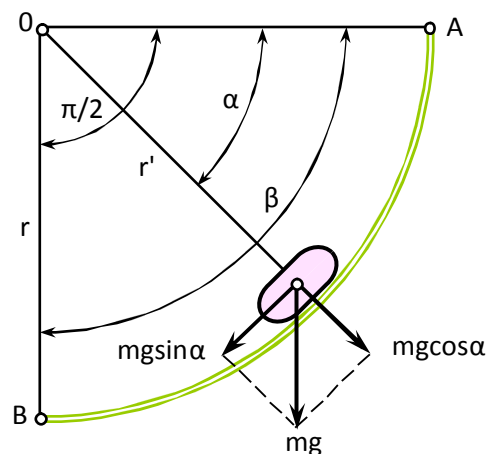


Рис. 3.7. Розрахункова схема криволінійного опускового пристрою

Вона в цьому разі складається зі складових від сил тяжіння і відцентрової сили інерції $A_T = A'_T + A''_T$.

При цьому

$$\begin{aligned} A'_m &= \int_0^{\pi/2} fmgr \cos \alpha d\alpha = \\ &= fmgr \int_0^{\pi/2} \cos \alpha d\alpha = fmgr \end{aligned} \quad (3.29)$$

Як бачимо, ця складова також дорівнює добутку fmg на горизонтальну проекцію траси криволінійного опускного пристрою.

Якщо вважати, що $r \approx r'$, то сила тертя від сили інерції

$$F_T'' = fm\omega^2 r,$$

де ω – середнє значення $\frac{d\alpha}{dt}$, і

$$A_T'' = \beta fm\omega^2 r^2.$$

Тоді загальна робота сил тертя

$$A_T = fmgr + \beta fm\omega^2 r^2 = fm r (g + \beta\omega^2 r), \quad (3.30)$$

де $\beta = \pi/2$ – центральний кут, що відповідає криволінійній ділянці траси.

Оскільки $\omega_{(к)}^2 = V_{(к)}^2 / r^2$, то

$$\frac{mV_{(к)}^2}{2} = mgr - f mgr - f m\beta V_{(к)}^2; \quad (3.31)$$

$$V_{(к)} = \sqrt{\frac{2gr(1-f)}{1+\pi f}}. \quad (3.32)$$

При початковій швидкості маси m $V_{(п)} \neq 0$ маємо

$$\frac{mV_{(к)}^2}{2} = mgr + \frac{mV_{(п)}^2}{2} - f mgr - f m\beta V_{(к)}^2; \quad (3.33)$$

$$V_{(к)} = \sqrt{\frac{2gr(1-f) + 0,5V_{(п)}^2}{1+\pi f}}. \quad (3.34)$$

Якщо відношення кінцевої кінетичної енергії тіла до вичерпаної потенціальної енергії вважати коефіцієнтом використання енергетичного потенціалу, то для прямолінійного гравітаційного опускного пристрою в кінцевому результаті будемо мати

$$\eta = \frac{W_{\text{кін}}}{E_{\text{пот}}} = \frac{2mgh \left(1 - \frac{\text{tg}\rho}{\text{tg}\alpha}\right)}{2mgh} = \frac{\text{tg}\alpha - \text{tg}\rho}{\text{tg}\alpha}. \quad (3.35)$$

Для ввігнутого спуску із сталим радіусом кривизни відповідно до формули (4.32)

$$\eta = \frac{2mgr(1-f)}{2(1+\pi f)mgr} = \frac{1-f}{1+\pi f}. \quad (3.36)$$

Результати розрахунків із визначення коефіцієнтів використання енергетичного потенціалу за формулами (3.35) і (3.36) наведемо у таблицях 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3

Значення коефіцієнтів використання енергетичного потенціалу похилої площини в залежності від кута α і кута тертя ρ

$\alpha / \text{tg}\rho$	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
f	0,268	0,364	0,466	0,577	0,7	0,839	1	1,192	1,428	1,732	2,145
0,10	0,627	0,725	0,785	0,827	0,857	0,88	0,9	0,915	0,93	0,942	0,953
0,15	0,44	0,588	0,678	0,74	0,785	0,82	0,85	0,874	0,895	0,913	0,93
0,20	0,25	0,45	0,570	0,653	0,714	0,761	0,8	0,832	0,86	0,885	0,906
0,25	0,067	0,313	0,464	0,567	0,643	0,72	0,75	0,79	0,825	0,856	0,883
0,30	-	0,176	0,356	0,48	0,571	0,642	0,7	0,748	0,79	0,827	0,86
0,35	-	0,038	0,249	0,393	0,5	0,583	0,65	0,706	0,755	0,797	0,836
0,40	-	-	0,1416	0,306	0,429	0,523	0,6	0,664	0,72	0,769	0,814
0,45	-	-	0,034	0,22	0,357	0,464	0,55	0,622	0,685	0,74	0,79
0,50	-	-	-	0,133	0,286	0,404	0,5	0,58	0,65	0,711	0,767

Значення коефіцієнтів використання енергетичного потенціалу
гравітаційних спусків із сталим радіусом кривини

f	0,01	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
η	0,68	0,577	0,49	0,42	0,36	0,31	0,266	0,228	0,195

Наявність даних значень коефіцієнтів використання енергетичного потенціалу опускних пристроїв дає можливість в спрощеному варіанті визначати кінцеві швидкості вантажів

$$\frac{W_{\text{кін}}}{E_{\text{пот}}} = \eta; \quad \frac{mV_{(\kappa)}^2}{2} = \eta mgh; \quad V_{(\kappa)} = \sqrt{2gh\eta}. \quad (3.37)$$

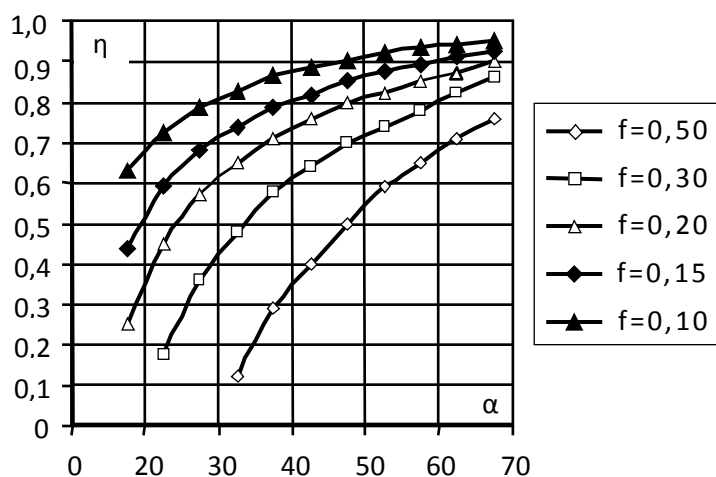


Рис. 3.8. Графіки залежностей $\eta = \eta(\alpha)$ для вибраних значень f у прямолінійних опускних пристроях

Графіки залежностей $\eta = \eta(\alpha)$ (Рис. 3.8), що стосуються плоских гравітаційних пристроїв, показують зростання значень коефіцієнту корисної дії зі збільшенням різниці кутів α та ρ .

3.3. Енергетичні трансформації в пружних системах

Одномасові фізичні моделі не вирішують всіх задач у моделюванні систем. Достатньо часто, виникає необхідність визначити навантаження на найбільш пружний елемент у системі. У такому випадку моделювання здійснюється на основі двомасових, а іноді і багатомасових систем. При побудові даного виду моделей оперують поняттями приведених мас та приведених жорсткостей.

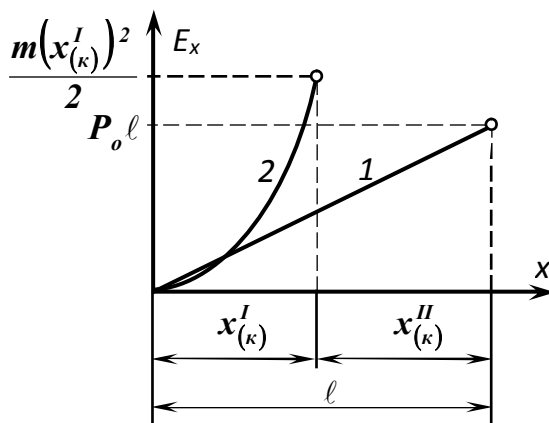


Рис. 3.9. Залежність енергетичних витрат E_x від величини переміщення вантажу:
1 – статична складова енерговитрат; 2 – динамічна складова витрат

Достатньо часто коливальним процесам, що відбуваються у двомасових системах передують ударні навантаження. Ударним навантаженням у динаміці машин відповідають випадки силової взаємодії між масами, коли ведуча маса зберігає постійну швидкість. Даному випадку відповідає схема зображена на рис. 3.9, на якому ведуча маса m_1 має постійну швидкість V . Будемо вважати, що цю швидкість вона набрала при вибиранні зазору δ . Такі випадки характерні для пакувального обладнання у якому здійснюється піднімання (вкладання, виймання) вантажів. Тоді рівняння руху при жорсткості c підвіски запишемо у вигляді

$$y_1 = Vt; \quad (3.38)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 = c(y_1 - y_2) - m_2 g. \quad (3.39)$$

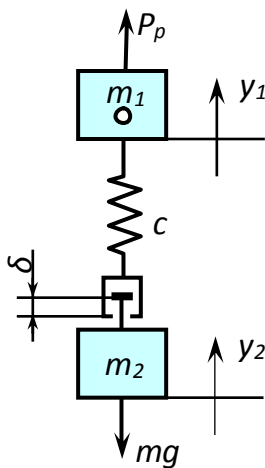


Рис. 3.10. Розрахункова схема двомасової моделі з ударним елементом

Розв'язання даної системи приводить за початкових умов $t_{(п)} = 0$; $y_{(п)2} = -m_2g/c$; $\dot{y}_{(п)2} = 0$ до виду

$$y_2 = Vt - \frac{m_2g}{c} - V\sqrt{\frac{m_2}{c}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}}t; \quad (3.40)$$

$$\dot{y}_2 = V - V \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}}t; \quad (3.41)$$

$$\ddot{y}_2 = V\sqrt{\frac{c}{m_2}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}}t \quad (3.42)$$

При цьому пружні сили в підвісці рівні

$$P_{пр} = m_2g + V\sqrt{m_2c} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}}t. \quad (3.43)$$

Тоді кінетична енергія піднімання

$$T_{кін} = \frac{m_2}{2}(\dot{y}_2)^2 = \frac{m_2}{2} \left(V - V \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}}t \right)^2. \quad (3.44)$$

При цьому миттєва потужність, яка розвивається у системі, відображується законом

$$N = P_{пр}\dot{y}_2 = \left(m_2g + V\sqrt{m_2c} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}}t \right) \left(V - V \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}}t \right). \quad (3.45)$$

Графік потужності у залежності від часу представлений на рис. 3.11.

Розрахунки виконані при наступних параметрах системи:

$$m_2 = 20 \text{ кг};$$

$$V = 0,05 \text{ м/с};$$

$$c = 50000 \text{ Н/м};$$

$$g = 9.81 \text{ м/с}^2$$

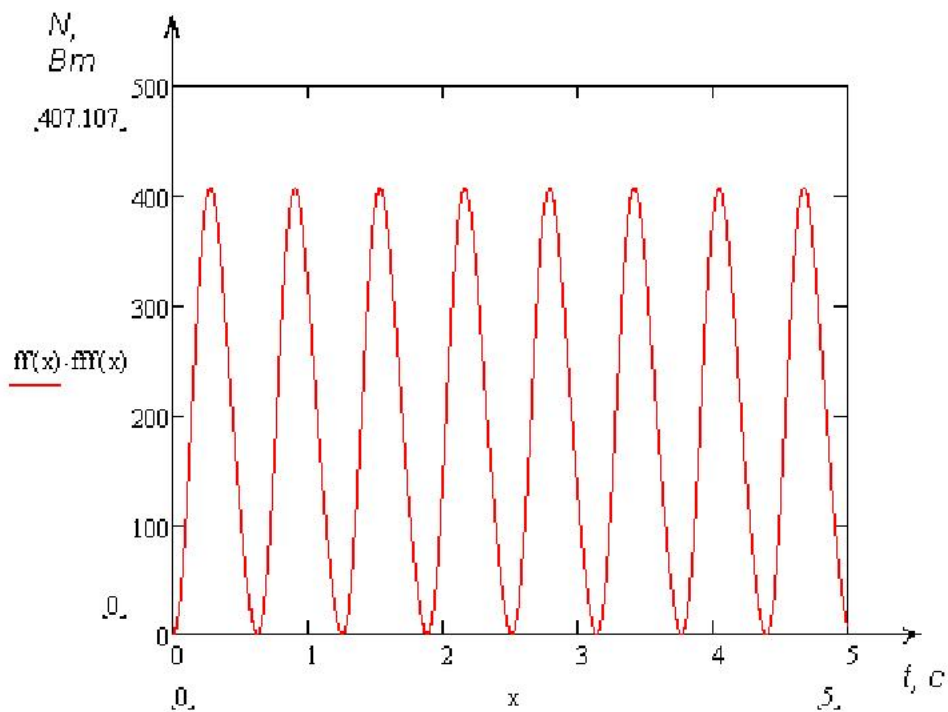


Рис. 3.11. Графік залежності потужності від часу

Рівняння (3.45) описує миттєву потужність, яка розвивається у системі. Проте у зв'язку із складною функціональною залежністю параметрів, які входять у рівняння, оцінити їх вплив на процес, використовуючи метод параметрів, складно.

Ціленспрямований перебір варіантів може бути зроблений із використанням методів планування та проведення чисельного експерименту.

За параметр оптимізації виступає середня миттєва потужність, що витрачається у системі.

Факторами, які впливають на даний процес виступають:

V - швидкість, м/с;

m_2 - маса вантажу, кг;

c - жорсткість, Н/м.

У результаті планування та проведення обчислюваного експерименту необхідно одержати функцію відгуку у залежності від параметрів впливу.

Більш кращим для опису процесу є поліноміальна модель, яка представлена наступним виглядом:

$$y = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 + \dots + b_k z_k + b_{12} z_1 z_2 + b_{13} z_1 z_3 + \dots + b_{k-1,k} z_{k-1} z_k \quad (3.46)$$

де: y – функція відгуку;

z_k - фактори, які впливають на процес;

b_k - відповідні коефіцієнти регресії;

k - кількість факторів.

Проведемо повний факторний експеримент.

Виберемо області визначення та інтервали варіювання факторів (табл.3.5) у межах яких система, яка розглядається, може працювати.

Таблиця 3.5

Значення факторів нижнього та верхнього рівнів

Фактори	Код	Рівні			Інтервал варіювання I_j
		нижній	нульовий	верхній	
m_2 , кг	z_1	20,0	60,0	100,0	40
V , м/с	z_2	0,05	0,125	0,2	0.075
c , Н/м	z_3	5000	502500	100000	497500

Для проведення експерименту складена програма в Mathcad. Програмою розраховувалося значення середньої потужності за зазначеними даними.

Матриця планування трьохфакторного експерименту та дані обчислення наведені у таблиці 3.6.

Дані обчислення наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6.

План проведення та результати експерименту

N	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃	y ₁
1	+	+	+	+	+	+	+	+	203,550
2	+	+	+	-	+	-	-	-	200,054
3	+	+	-	+	-	+	-	-	50,2395
4	+	+	-	-	-	-	+	+	49,1385
5	+	-	+	+	-	-	+	-	45,0345
6	+	-	+	-	-	+	-	+	42,5345
7	+	-	-	+	+	-	-	+	10,8025
8	+	-	-	-	+	+	+	-	9,8725

Використовуючи метод найменших квадратів записуємо рівняння регресії для функції відгуку. У нашому випадку рівняння має вигляд:

$$y = 76.40325 + 49.34225z_1 + 46.39z_2 + 1.003375z_3 + 29.6665z_1z_2 + 0.145875z_1z_3 + 0.495625z_2z_3 + 0.103125z_1z_2z_3 \quad (3.47)$$

Таким чином рівняння (3.47) описує вплив параметрів в залежності від функції відгуку. Як можна бачити з цього рівняння, фактором, який найбільш впливає на збільшення потужності – це є маса вантажу m_2 . Наступним фактором впливу є швидкість вантажу V . Оцінюючи знаки при складових рівняння регресії можна сказати, що кожен параметр приводить до збільшення середнього значення потужності у системі.

З точки зору інтересів забезпечення нормальної роботи асинхронних двигунів в складі приводів пакувальних машин є необхідність утримання їх на ділянці стійкої частини статичної механічної характеристики, що відповідає умові

$$M_o < M_m, \quad (3.48)$$

де M_o – приведений до валу двигуна момент сил опору; M_m – максимальний момент, що розвивається двигуном.

Очевидно, що величина M_0 в умовах динамічного навантаження залежить від величини пружної сили (умова (3.48)), яка визначається сумою статичної складової m_2g і динамічної – $V\sqrt{m_2c} \sin \sqrt{c/m_2} t$.

Амплітуду динамічної складової пружного навантаження, що дорівнює $V\sqrt{m_2c}$ порівнюємо із статичною складовою. Тоді

$$\psi = \frac{m_2g}{V\sqrt{m_2c}}. \quad (3.49)$$

Скоріш за все співвідношенню (25) має відповідати відношення максимального M_m до номінального M_n моментів, що розвиваються двигуном. Звідси витікає, що максимальна динамічна складова навантаження з одного боку дорівнює

$$P_{\text{дин max}} = V\sqrt{m_2c}, \quad (3.50)$$

а з іншого –

$$P_{\text{дин max}} \leq \frac{M_m P_{\text{ст}}}{M_n}. \quad (3.51)$$

Виконання умови (3.51) при цьому за відомих для системи маси m_2 та жорсткості c досягається за рахунок обмеження швидкості

$$V \leq \frac{g}{\psi} \sqrt{\frac{m_2}{c}}. \quad (3.52)$$

Для оцінки значення швидкості виконаємо розрахунки із наступними параметрами:

$\psi = 2.8$ (для більшості асинхронних електронних двигунів);

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

$m_2 = 20, 40, 60, 80, 100 \text{ кг}$;

$50000 < c < 100000 \text{ Н/м}$;

Графік залежності виконаних розрахунків представлена на рис. 3.12, а також Додаток Б.

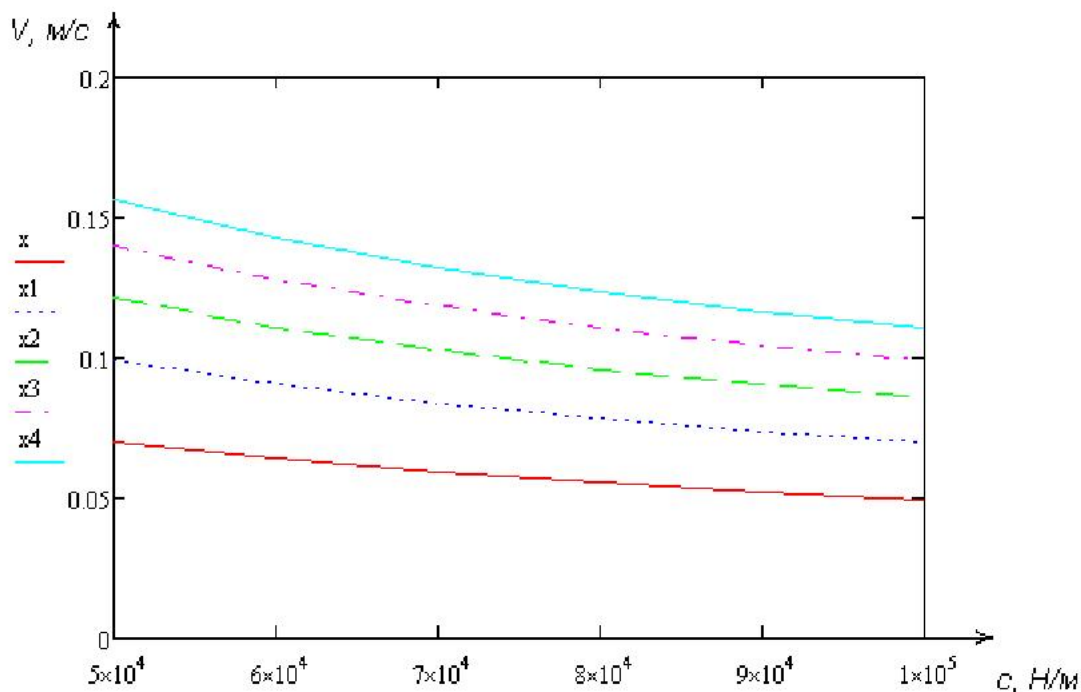


Рис. 3.12. Графік залежності швидкості від маси та жорсткої системи

Як бачимо, знайдені параметри швидкості не задовольняють продуктивності сучасних пакувальних машин із піднімання вантажів. Для покращення вказаної ситуації можна порекомендувати встановлення двигунів із підвищеним ковзанням у яких відношення $M_{\max} / M_{\min} = 7$.

3.4. Енергія дисипації у процесах пакування

Побудова сучасних машин передбачає наявність у них двигунів, передавально-перетворювальних механізмів і робочих органів. Під дією силових факторів ланки механізмів, робочі органи та об'єкти маніпулювання деформуються, та у більшості випадків, такі деформації є пружними.

Якщо пружний елемент у вигляді валу, балки або пружини відхилити від положення рівноваги додатковою силовою дією, яка потім усувається, то у збуреному стані пружні сили вийдуть із стану рівноваги, та виникнуть коливальні процеси. Очевидно, що коливальні процеси супроводжуються трансформацією пружної енергії деформації в теплову енергію із розсіюванням

останньої у навколишнє середовище (дисипацією). При цьому коливальні системи поділяють на високо- і низькочастотні, а високочастотні відносять до тих, що швидко затухають. Останнє має чітке фізичне підґрунтя та пояснення, а у математичні моделі вводяться спеціальні лінеаризовані складові, які визначають рівень затухання коливань швидкості або пружних навантажень систем. Проте у літературі практично відсутні дані про енергетичні витрати, пов'язані із коливальними процесами у пружних системах. У зв'язку із викладеним, метою даного дослідження визначено оцінку енергетичних витрат при коливаннях. Практичний інтерес в такій оцінці стосується пакувального обладнання, у якому використовується взаємодія між ведучими і веденими масами із використанням плівкових пружних матеріалів обмеженої жорсткості. У значній кількості випадків такі взаємодії відбуваються в умовах перехідних процесів із різними законами кінематичних збурень, що пов'язані з законами руху ведучих мас.

Розглянемо сформульовану задачу на окремих випадках.

Припустимо, що має місце взаємодія ведучої маси m_1 із веденою m_2 (рис. 3.13) через пружний зв'язок c , та ведуча маса здійснює рух на досліджуваному інтервалі переміщення із законом

$$x_1 = R(1 - \cos \omega t), \quad (3.53)$$

де R – геометричний параметр кулачка; ω – кутова швидкість кулачка.

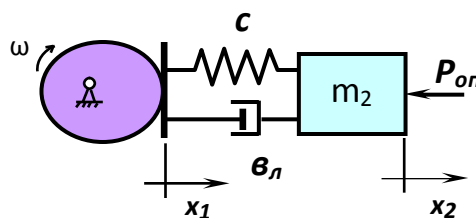


Рис. 3.13. Схема двомасової моделі з кулачковим механізмом

У широкому використанні при аналізі таких систем використовуються моделі, у яких не враховується затухання коливального процесу. Для даного випадку записуються рівняння руху веденої маси в наступному вигляді:

$$\ddot{x}_2 + \frac{c}{m_2} x_2 = \frac{cR}{m_2} (1 - \cos \omega t) - \frac{P_{\text{оп}}}{m_2}, \quad (3.54)$$

де $P_{\text{оп}}$ – опір переміщенню веденої маси.

Кінематичні параметри руху веденої маси отримують шляхом вирішення диференціального рівняння (3.54):

$$x_2 = \frac{Rc}{c - m_2 \omega^2} \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}} t + R(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}} t) - \frac{cR \cos \omega t}{c - m_2 \omega^2} - \frac{P_{\text{оп}}}{c}; \quad (3.55)$$

$$\dot{x}_2 = R \sqrt{\frac{c}{m_2}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}} t - \frac{Rc \sqrt{\frac{c}{m_2}}}{c - m_2 \omega^2} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}} t + \frac{Rc \omega \sin \omega t}{c - m_2 \omega^2}. \quad (3.56)$$

При цьому навантаження на пружний елемент визначається

$$P_{\text{пр}} = c(x_1 - x_2) = \frac{Rm_2 \omega^2}{1 - \frac{m_2 \omega^2}{c}} (\cos \omega t - \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}} t) + P_{\text{оп}}. \quad (3.57)$$

Оскільки рушійною силою в переміщенні веденої маси виступає $P_{\text{пр}}$, то енергетичні витрати на заданому кінцевому переміщенні $x_{2(k)}$ складуть:

$$A_1 = \int_{x=0}^{x_{2(k)}} P_{\text{пр}}(x_2) dx_2. \quad (3.58)$$

При врахуванні дисипативних явищ рівняння руху веденої маси набуває наступного вигляду

$$\ddot{x}_2 = \frac{c}{m_2} (x_1 - x_2) - \frac{b_{\text{л}}}{m_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - \frac{P_{\text{оп}}}{m_2}, \quad (3.59)$$

де

$$b_{\text{л}} = \frac{EF\psi}{2\pi l \sqrt{\frac{EF}{2m_2 l} (1 + \sqrt{1 + \frac{\psi^2}{4\pi^2}})}}.$$

У цьому випадку роботу пружної сили позначимо A_2 і тоді

$$A_2 = \int_{x=0}^{x_{2(k)}} P_{\text{пр}}(x_2) dx_2. \quad (3.60)$$

Початкові умови для вирішення диференціальних рівнянь 2 і 7 мають вид

$$t_{(n)} = 0; \quad x_{2(n)} = -\frac{P_{\text{оп}}}{c}; \quad \dot{x}_{2(n)} = 0. \quad (3.61)$$

Розрахунки диференціальних рівнянь 2 і 7 виконано за допомогою програми Mathcad за наступних даних: $R = 0,25$ м; $m_2 = 100$ кг; $P_{\text{оп}} = 300$ Н; $\omega = 3,14$ с⁻¹; $\psi = 0,6$; $c = EF/l$; де $EF = 30000$ Н; $l = 0,5$ м. Результати розрахунків визначених кінематичних і силових параметрів представлено на рис. 3.14...3.18.

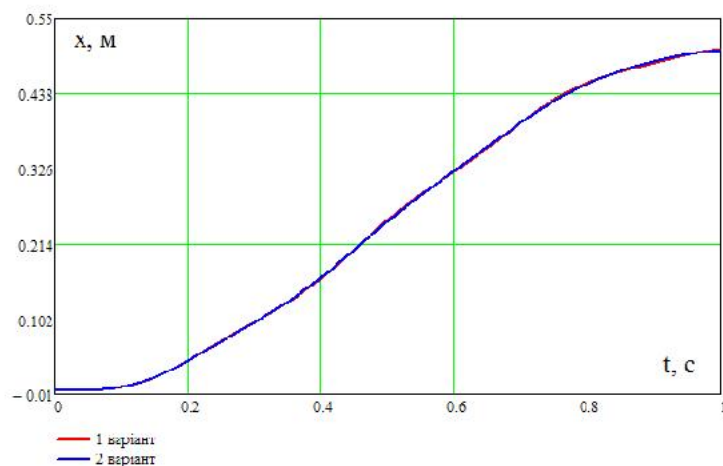


Рис. 3.14. Графіки залежності переміщень веденої маси від часу

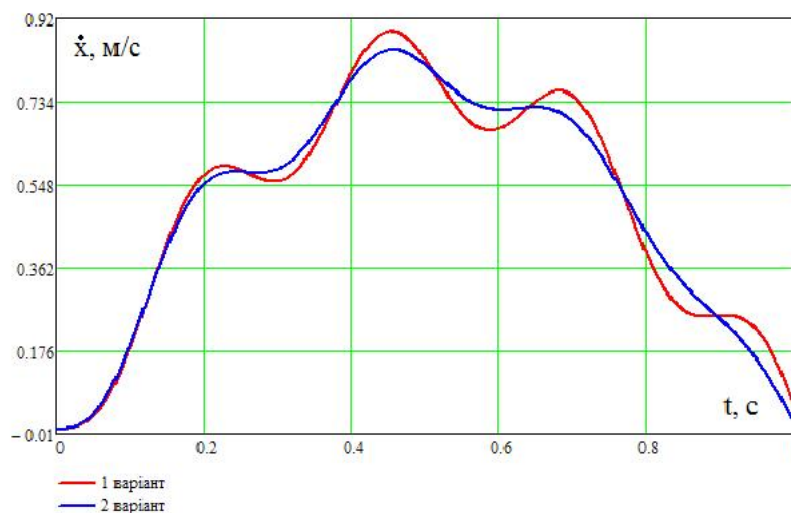


Рис. 3.15. Графіки залежності швидкостей від часу

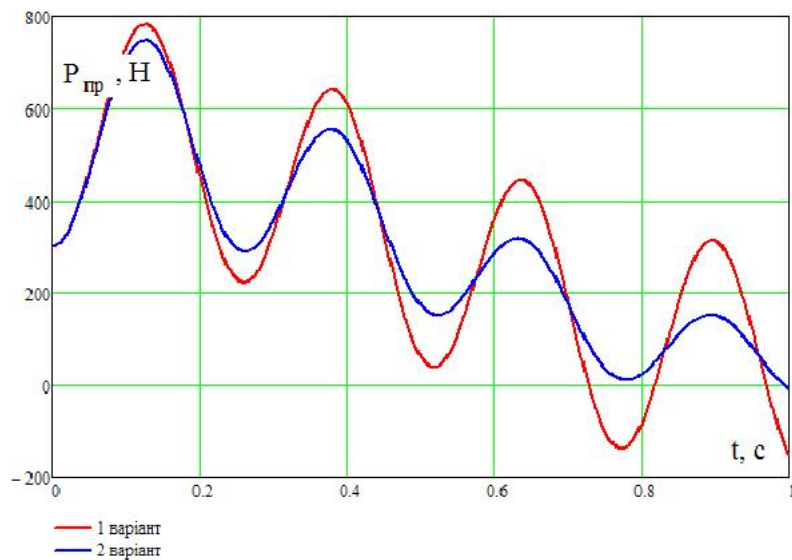


Рис. 3.16. Графіки залежності навантажень на пружний елемент від часу

Повертаючись до рівнянь 6 і 8, варто зазначити, що в явному вигляді залежності $P_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}(x_2)$ для обох випадків відсутні, а комп'ютерне інтегрування потребує такої залежності, хоча їх графічну інтерпретацію можна отримати шляхом виключення параметру часу із залежностей $P_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}(t)$ та $x_2 = x_2(t)$, і здійснити порівняльну оцінку досліджуваним випадкам (рис. 3.17).

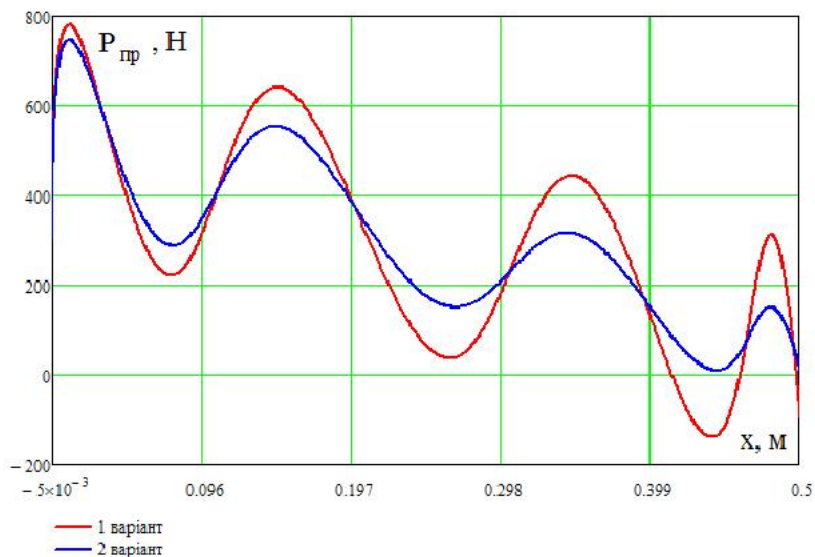


Рис. 3.17. Графіки залежності $P_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}(x_2)$

При цьому площі, обмежені графіками та горизонтальною віссю, пропорціональні роботі пружних сил.

Разом з тим, наявність залежностей швидкостей і пружних зусиль від часу дозволяє для кожного моменту часу визначити миттєву потужність, яка розвивається пружною силою (рис. 3.18):

$$N = P_{\text{пр}}(t) \cdot \dot{x}_2(t). \quad (3.62)$$

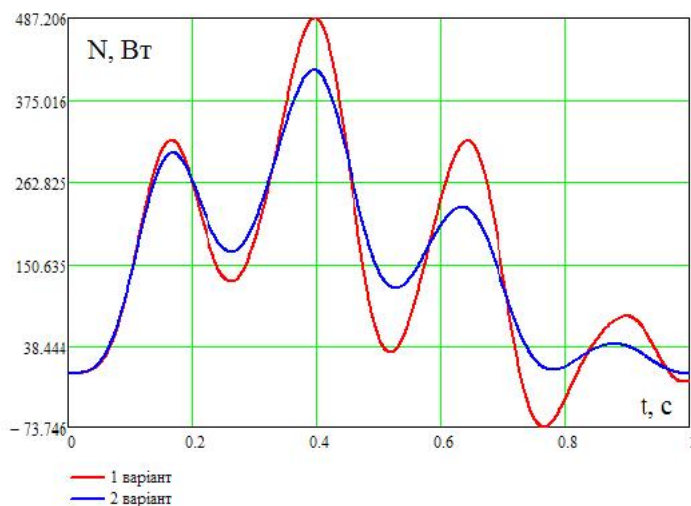


Рис. 3.18. Графіки залежності миттєвих потужностей $N = N(t)$ від часу

При порівнянні останніх графіків видно, що максимальне значення миттєвих потужностей для випадку неврахування дисипативних явищ на 72 Вт перевищує аналогічний показник у другому випадку, що є своєрідним відображенням різниць швидкостей і пружних сил для часу 0,4 с.

Інтегрування залежностей $N = N(t)$ у межах від $t = 0$ до $t = t_{(k)}$ дає можливість визначення енергетичних витрат, що пов'язані із переміщенням веденої маси під дією пружної сили:

$$A = \int_{t=0}^{t_{(k)}} P_{\text{пр}}(t) \cdot \dot{x}_2(t) dt. \quad (3.63)$$

У результаті інтегрування можна отримати наступні дані: $A_1 = 152,50$ Дж та $A_2 = 153,24$ Дж, які, можливо оцінити наслідком обмеженого розсіювання енергії у коливальних процесах.

Разом із тим, при аналізі графіків $P_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}(t)$ (Рис.3.15) витікає можливість важливого уточнення вихідних параметрів, прийнятих для реалізації заданих законів руху. Так із графіка, що не враховує характер

затухання видно, як у завершальній частині переміщення веденої маси досягаються від'ємні навантаження пружного елемента, що є наслідком вибігу маси m_2 . Якщо таким пружним елементом є плівковий матеріал, що використовується у завершальній стадії формування упаковки, то подібні результати є неприпустимими, оскільки приводять до порушення технологічних умов створення збільшених вантажних одиниць. Використання моделей, в яких враховуються дисипативні явища дозволяють уточнити припустимі діапазони вибору вихідних параметрів.

Відносно обмежена різниця у значеннях A_1 і A_2 пояснюється наявністю лише чотирьох піків параметрів коливального процесу. В умовах постійної зміни матеріалів у зонах, які відповідають досліджуваним процесам, такі рівні дисипації не приводять до помітних змін їх фізичних властивостей, але стосовно пружних зв'язків, які підлягають подовженням у часі діям силових параметрів змінних значень, методика оцінки рівнів енергетичної дисипації буде доцільною.

Окрім зазначених випадків в оцінці енергій дисипації можливим є ще один підхід, пов'язаний із складовою $b_{л}(\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t))$, яка входить в рівняння (3.59) і відображує силу опору внутрішнього тертя.

У зв'язку з цим запишемо

$$P_{\text{вн.т.}} = b_{л}(\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)). \quad (3.64)$$

Оскільки різниця $\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)$ є швидкістю деформації пружного елемента, то у першому наближенні будемо вважати, що їй відповідає швидкість точки прикладання $P_{\text{вн.т.}}$. Тоді потужність дисипації складе

$$N_{д} = b_{л}(\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t))^2, \quad (3.65)$$

а енергія дисипації визначається за формулою

$$A = \int_{t=0}^{t_{(k)}} b_{л}(\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t))^2 dt. \quad (3.66)$$

Обчислення за останньою залежністю дають результати, які практично співпадають з даними попередньо викладеної методики.

ОХОРОНА ПРАЦІ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, які спрямовані на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Стандарт України ДСТУ 2293-99 "Охорона праці. Терміни та визначення основних понять" встановлює терміни та визначення основних понять з охорони праці.

Державний нагляд за охороною праці – діяльність уповноважених державних органів і посадових осіб, що спрямована на забезпечення виконання органами виконавчої влади, суб'єктами господарювання і працівниками вимог законодавства про охорону праці.

Державні міжгалузеві та галузеві нормативно-правові акти про ОП – правила, стандарти, норми, положення, інструкції, які є обов'язковими для виконання.

Працівник – особа, яка працює на підприємстві, в установі та виконує обов'язки згідно з трудовим договором (контрактом).

Роботодавець – власник підприємства, установи, незалежно від форми власності, виду діяльності, господарювання, та фізична особа, яка використовує найману працю.

Виконання трудових обов'язків – трудова діяльність за встановленими нормами, правилами та інструкціями.

Здоров'я – стан фізичного та психічного благополуччя людини, в тому числі відсутність хвороб та фізичних вад.

Працездатність – це стан людини, при якому сукупність фізичних, розумових та емоційних можливостей дозволяє працюючому виконувати конкретну кількість роботи заданої якості за необхідний інтервал часу.

Трудовий процес характеризується важкістю та напруженістю праці.

Виробниче середовище – це сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних та інших чинників, що діють на людину під час виконання нею трудових обов'язків.

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, тривалий вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності людини.

Небезпечний виробничий фактор – це виробничий фактор, раптова дія якого за певних умов може призвести до травм або погіршення здоров'я працівника.

Небезпечні та шкідливі фактори:

- • фізичні;
- • хімічні;
- • біологічні;
- • психофізіологічні

Охорона праці як галузь науки виникла на перетині соціально- правових, технічних і медичних наук, науки про людину.

Головними об'єктами її досліджень є людина у процесі праці, виробниче середовище, організація праці і виробництва. На підставі цих досліджень розробляються заходи та засоби, спрямовані на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

"Основи охорони праці" – це комплексна дисципліна, яка базується як на загальноосвітніх (фізика, хімія, математика), так і на загальнотехнічних та спеціальних дисциплінах (електротехніка, технології). Особливо тісно дисципліна пов'язана з безпекою життєдіяльності, науковою організацією праці, ергономікою, інженерною психологією та технічною естетикою.

Актуальні проблеми охорони праці в наукових дослідженнях

Відповідно СНиП 11-90-81 наукові і навчальні лабораторії відносяться до категорії В – пожежонебезпечне виробництво. Згідно із Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення таких лабораторій відносяться до класу В-16.

Наукові лабораторії необхідно розташовувати у окремих будівлях, в спеціальних прибудовах або на верхніх поверхах будівлі, які ізолювано від інших приміщень. Ступінь вогнестійкості будівель повинна бути не нижче третьої. Стіни та стелі наукової лабораторії забарвлюють фарбами, які запобігають адсорбції отруйних речовин та дозволяють проводити їх чистку, миття або дегазацію. Підлоги та поверхні робочих столів рекомендується виконувати з негорючих або важкогорючих антикорозійних матеріалів.

Для кожної наукової лабораторії повинна бути передбачена можливість відключення подачі газу, води та електроенергії. Крани і рубильники закритого типу встановлюють поза робочих приміщень у легко доступних місцях.

Замкнений простір у будівлях і спорудах, призначений для трудової діяльності людей, називається **виробничим приміщенням**.

У такому приміщенні виділяють **робочу зону** – простір, у якому розташовано робочі місця.

Робоче місце – це місце постійного або тимчасового перебування працівника під час виконання ним трудових обов'язків.

Повітря робочої зони залежно від хімічного складу, фізичних властивостей, та наявності забруднюючих чинників може бути сприятливим, несприятливим або небезпечним.

Сприятливим повітряне середовище у робочій зоні буває тоді, коли воно має відповідну чистоту, нормальні хімічні показники та нормальний мікроклімат.

Мікроклімат виробничих приміщень – метеорологічні умови внутрішнього середовища приміщень, що визначаються спільною дією на організм людини температури, вологості, швидкості руху повітря та теплового випромінювання.

Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання кількісних показників мікроклімату, які при систематичній дії на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів

терморегуляції. Вони забезпечують почуття теплового комфорту і створюють передумови для високого рівня працездатності.

При оцінці мікрокліматичних умов житла основне значення має його температурний режим. Так, взимку оптимальна температура в приміщенні повинна становити 18°C-19°C.

У приміщеннях шкіл температура повітря в класах і кабінетах 17°C-20°C, в майстернях 16°C-18°C, в спортивному залі 15°C- 17°C, в актовому залі 17°C-20°C, в бібліотеці 16°C-18°C, в спальних приміщеннях 18°C-20°C; у вестибюлі, гардеробі 16°C-19°C.

Вимоги до мікроклімату в житлових приміщеннях зводяться до того, щоб людина, вдягнена в легкий одяг і взуття, яка знаходиться тривалим час в малорухливому стані, не мала неприємних відчуттів: охолодження (перегрівання).

Нормалізація параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою комплексу заходів та засобів колективного захисту, які включають будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-гігієнічні, технічні.

Вентиляція – видалення повітря з приміщення і заміна його свіжим, в необхідних випадках, обробленим повітрям. Вентиляція створює умови повітряного середовища, сприятливі для здоров'я і самопочуття людини, що відповідають вимогам технологічного процесу.

За способом переміщення повітря вентиляція поділяється на два види: природну; механічну.

За способом організації повітрообміну вентиляція може бути: місцевою; загальнообмінною.

За принципом дії вентиляційне устаткування поділяється на:

- 1) витяжне у (загальне і місцеве);
- 2) припливне воно буває місцеве (повітряні душові ванни, оазиси, завіси) і загальне.

Кондиціонування повітря – це створення і автоматична підтримка у приміщеннях незалежно від зовнішніх умов постійних або змінних за

відповідною програмою параметрів мікроклімату, які найбільш придатні для людини та нормального проходження технологічного процесу.

Основний **принцип повітряного балансу** будівлі полягає в тому, що обсяг що надходить в будівлю повітря зовні повинен відповідати обсягу що виходить з нього повітря. В ідеалі обсяг зовнішнього повітря, подається через системи вентиляції та кондиціонування будівлі, повинен перевищувати обсяг вихідного повітря, щоб забезпечити деякий надлишковий тиск усередині будівлі. Це запобігає неконтрольовану інфільтрацію зовнішнього повітря на входах і виходах.

Кратність повітрообміну – це показник, який показує, скільки разів протягом години змінюється повітря в приміщенні.

Враховуючи виділення діоксиду вуглецю людиною в спокої, вчені підраховали, що мінімальний об'єм вентиляції на одну людину в житлових приміщеннях повинен бути не меншим 30 м^3 за 1 годину. Оптимальні ж умови повітряного середовища для людини забезпечуються при об'ємі вентиляції 80–120 м³/год.

На стан життєдіяльності людини створює значний вплив **вологість повітря**. Оптимальна вологість в приміщеннях має складати 40–60%. Допустима величина відносної вологості зростає до 75%. Вологість повітря вимірюють гігрометрами та психрометрами.

Досить важливим для самопочуття людини є **рух навколишнього повітря**. В приміщенні його ще називають протягами. Оптимальна швидкість руху повітря коливається від 0 до 0,5 м/с. У навчальних приміщеннях є оптимальною швидкість руху повітря – 0,4 м/с.

Світло – це випромінювання електромагнітних хвиль, яке викликає зорові відчуття.

Серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, **світло** посідає одне з перших місць. Відомо, що 90 % усієї інформації про довкілля людина одержує через **органи зору**. Під час

здійснення трудової діяльності втомлюваність очей, в основному, залежить від напруженості процесів, що супроводжують зорове сприйняття.

Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність організму в цілому. У разі поганого освітлення людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Згідно зі статистичними даними, до 5 % травм можна пояснити недостатнім освітленням, а в 20% воно сприяло виникненню травм. Погане освітлення призводить до професійних захворювань (робоча міопія, короткозорість, спазм акомодациї).

Освітлення виробничих приміщень характеризується кількісними та якісними показниками.

До **основних кількісних показників належать**, світловий потік, сила світла, яскравість і освітленість.

Освітлення має відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях;
- не створювати засліплювальної дії як від джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- не створювати на робочій поверхні різних та глибоких тіней;
- повинен бути достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих чинників (шум, випромінювання, електро- та пожежонебезпеки);
- бути надійним і простим, економічним та естетичним.

Одним з факторів, які впливають на безпеку праці, є раціональне фарбування приміщення і обладнання. Правильно підібрані кольори добре впливають на психіку працюючих, зменшують їх зорову і загальну

втомлюваність. Всі оточуючі нас кольори поділяють на ахроматичні (білий, чорний, всі відтінки сірого) і хроматичні (всі решта кольорів і відтінків).

Обладнання, яке рухається, фарбують в червоний колір з жовтими чи чорними смужками. Верстаки в слюсарних майстернях фарбують в помаранчевий, жовтий колір, захисні сітки – у світло-сірий, класні дошки – в коричневий чи темно-зелений, кришки парт і столів – в зелений, світло-сірий колір, основи столів і стільці – у світлі кольорові тони.

Хроматичні кольори характеризуються трьома величинами: кольоровим фоном, який визначається довжиною хвилі, яка вимірюється в нанометрах, насиченістю (наближення кольору до чистого спектрального тону), яскравістю, яка оцінюється коефіцієнтом відбивання. Всі кольорові тони об'єднують в три групи (ділянки спектру): довгохвильові – від 760 до 590 нм (червоний, оранжевий); середньохвильові – від 590 до 500 нм (жовтий, зелений); короткохвильові – від 500 до 380 нм (голубий, синій, фіолетовий).

Ефективність природного і штучного освітлення залежить від своєчасності й ретельності їх обслуговування. Забруднення скла ламп та світильників може знизити освітленість приміщень у 1,5–2,0 рази. Вікна необхідно мити не менше 2 разів на рік. Періодичність чищення світильників – 4–12 разів на рік.

У світильниках з люмінесцентними лампами необхідно також стежити за справністю схем включення, забезпечувати безпеку та зручність експлуатації світильників. Періодично, не менше 1 разу на рік, необхідно перевіряти рівень освітленості в контрольних місцях виробничого приміщення.

Освітлювальна арматура перерозподіляє світловий потік лампи в просторі або змінює його властивості (спектральний склад випромінювання), захищає очі працівника від засліплювальної дії ламп. Вона захищає джерело світла від впливу навколишнього пожежо- та вибухонебезпечного чи хімічно активного середовища, механічних ушкоджень, пилу, бруду, атмосферних опадів.

При *проектванні штучного освітлення* необхідно з'ясувати наступне: обрати систему освітлення, тип джерела світла, тип світильників, визначити

розташування світлових приладів, виконати розрахунки штучного освітлення та визначити потужності світильників та ламп.

Для всіх виробничих приміщень проектують систему загального чи комбінованого освітлення. Вибір типу світильників відбувається з урахуванням характеристики приміщення, для якого проектується освітлення.

В навчальних приміщеннях парти і столи розміщують так, щоб світло падало з лівої сторони від учнів. Висота підвіски світильників має бути не менше 2,5 м.

Шуми шкідливо впливають на здоров'я людей, з'являються симптоми перевтоми, послаблюється увага, підвищується нервова збудливість, знижується працездатність, виникають захворювання органів слуху, ендокринної, нервової, серцево-судинної систем, шлунково-кишкового тракту. Від тривалого сильного шуму на 60% знижується продуктивність розумової праці. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини.

При регламентуванні фізичних факторів, як допустимі норми для шуму використовують здебільшого такий показник як ГДР (гранично допустимий рівень). Допустимі межі сили звуку становлять 45...85 дБ, больовий поріг – 140 дБ. У разі постійного шумового фону 70 дБ виникає розлад ендокринної та нервової системи; 90 дБ – порушується слух; 120 дБ – з'являється фізичний біль, який стає нестерпним. Вуха людини сприймає шум до 130 дБ. При 150 дБ шум для людини стає нестерпним.

Нормою виробничого шуму є рівень звуку до 85 дБ.

Ефективний засіб боротьби з шумом це зниження його в джерелі виникнення: заміна шумних технологічних процесів або обладнання малошумними, звукопоглинання та звукоізоляція, екранування, використання глушників шуму, застосування малошумного обладнання, заміна металевих деталей на пластмасові, установка обладнання на демпферних прокладках, установка "антизвуку", оснащення шумних машин засобами дистанційного та автоматичного управління.

Індивідуальні засоби захисту від шуму: протичумні навушники, вкладиші, шоломи, костюми, звукоізолюючі кабіни, акустичні екрани.

ВИСНОВКИ

1. При проектуванні технічних систем та компонентів слід врахувати основні техніко-економічні параметри серед яких: продуктивність, рівень механізації, коефіцієнт корисної дії, економічна ефективність використання машини.

Зміст енергетичного підходу стосовно проектування технологічних систем типу "людина - машина - предмет праці - джерело енергії" може використовуватись як методологічна база на ранній стадії (стадії науково-дослідних робіт) та проектній стадії (стадії дослідно-конструкторських робіт) створення і освоєння технологічних систем.

2. Виконані теоретичні дослідження, які стосуються пошуку взаємозв'язків між геометричними, кінематичними та енергетичними параметрами процесів переміщення вантажів по горизонтальних площинах, дозволяють відмітити наступне:

- на основі принципу суперпозиції загальні енергетичні витрати визначаються роботою проти сил тертя та проти сил інерції;

- вибір параметрів систем переміщення вантажів доцільно здійснювати таким чином, щоб накопичена у процесі розгону кінетична енергія повністю витрачалася на переміщення вантажів у процесах вибігу.

3. У випадку переміщення вантажів по похилих площинах робота сил тертя у гравітаційних прямолінійних опускних пристроях пропорційна добутку fmg на довжину горизонтальної проекції траси пристрою. На криволінійній трасі опускного пристрою робота сил тертя збільшується на величину, яка визначається відцентровою силою інерції;

4. У випадку піднімання вантажів для жорстких систем енергетичні витрати пов'язані із двома складовими. Динамічною складовою останніх слід вважати витрати, пов'язані з подоланням сил інерції, а статичною складовою є енергетичні витрати, пов'язані із подоланням статичного опору переміщення;

динамічна складова енергетичних витрат визначає кінетичну енергію переміщеної маси;

співвідношення переміщень вантажів на етапах розгону та вибігу визначає загальну величину енергетичних витрат в жорстких системах;

у випадку пружних двомасових систем відношення максимальної до номінальної потужності, які розвиваються двигуном, повинно бути більшим (або гранично рівним) за відношення динамічної складової до статичної, оскільки це гарантує роботу асинхронного двигуна на ділянці жорсткої частини його характеристики.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.2.049 -80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 20с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 10 с.
3. Косилов С.А. Физиологические основы НОТ. – М.: Экономика, 1969. 302 с.
4. Лихницкая И.И. Методика определения степени физического напряжения при производственной деятельности и возможности ее использования в мероприятиях по научной организации труда. – Л.: ЛДНТП, 1973 - 30 с.
5. Мочулаев В.Е. Методология и практика применения энергетического подхода в машиностроении. – Ярославль: Издательство Ярославского гос. ун – та, 2003. – 103с.
6. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы /Пер. с англ., под ред. и с предисл. канд. филос. наук А.П. Огурцова. – М.: Прогресс, 1978. – 379с.
7. Полежаев Е.Ф. Физиологические основы работоспособности // Психофизиологические и эстетические основы НОТ. - М., 1971. – С. 64-81.
8. Р.2.2.2006 – 05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / Утверждено главным государственным врачом РФ 29.07.2005 г. Введено в действие с 1 ноября 2005 г.
9. Степанов В.С. Химическая энергия и эксергия веществ. – Новосибирск: Наука, 1985. – 101 с.
10. Физиология человека /Под ред. А.Н. Крестникова. – М.: Медгиз, 1954. – 319 с.
11. Тертя в машинах і системах транспортування вантажів / А.І. Соколенко, О.П. Мацко, В.А. Піддубний та ін. / За ред. А.І. Соколенка. – К.: ЛЮКСАР, 2007. – 246 с.

12. Васильківський К.В. Моделювання і оптимізація робочих процесів і вдосконалення обладнання транспортно-технологічних систем в харчовій промисловості. Дис. на здобуття ступ. докт. техн. наук. К.: 17. – 204 с.
13. Бут С.А., Юно М.І., Яровий В.Л. Гравітаційні опускні пристрої. К.: РВЦ, НУХТ, 2004. – 35 с.
14. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: справочник – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
15. Пальчевский Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація). – Львів: Світ. – 2001. – 232 с.
16. Ярьсько В.П. Разработка методов расчета и совершенствования оборудования для механизации НРТС-работ со стеклотарной продукцией пищевых производств. Дисс. На соиск. Ученой степени канд. Техн. Наук К.:, 1987. – 212 с.
17. Соколенко А.І. Яровий В.Л., Піддубний В.А., Васильківський К.В., Шевченко О.Ю. Моделювання процесів пакування / За редакцією Соколенка А.І./Підручник . – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 272 с.
18. Варфоломеев А.Й., Сторіжко Й.І. Вибір геометрії упаковок. “Упаковка”, 2001. №2 с. 54-55.
19. Соколенко А.І., Яровий В.Л., Шевченко О.Ю. та ін. Моделювання процесів пакування. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 272 с.
20. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1969. – 296 с.
21. Полатайло Д.М., Піддубний В.А. Співвідношення кінематичних, динамічних і енергетичних параметрів за синтезу технологічних машин // Харчова промисловість. – 2008. – №7. С. 69-71.
22. Полатайло Д.М., Піддубний В.А., Петришин Н.З. Безударне вкладання вантажів // Харчова промисловість. – 2008. – №7. С. 75-77.
23. [Бондаренко А.А., Дубінін О.О., Переяславцев О.М. Теоретична механіка. Частина 2. Динаміка. К.: Знання, 2004. – 590 с.](#)
24. [Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. М.: Машиностроение,](#)

1969. – 296 с.

25.Соколенко А.І., Яровий В.Л., Шевченко О.Ю. та ін. Моделювання процесів пакування. Вінниця: Нова книга, 2004. – 272 с.

25-26. Васильківський К.В., Соколенко А.І., Шевченко О.Ю. Методичні вказівки до постановки і оброблення результатів багатофакторного експерименту. К.: УДУХТ, 2000 – 24 с.

26-27.