

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гудого
Кафедра мехатроніки та наукової техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту (декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«20» 02 20 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Володимир КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«20» 02 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Дослідження кінематики та динаміки підймання накованих виробів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ПМ-2-1М

Тарасюк Олександр Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Башта Анатолій Володимирович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Радак СВЯТНЕНКО
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач
(підпис)

Київ - 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Гуцого
Кафедра мехатроніки та наукової техніки
Освітній ступінь Магістр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
(код і назва)
Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М.П.Т. Шкелет

Ірина КРИВОПЯС - ВОЛОДИНА

«07» 11 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Тарасюк Олександр Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розширення можливостей та удосконалення підсистем накованних виробів

керівник роботи Башта Анатолій Володимирович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» 11 2022 року № 794-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 24.01.2023

3. Вихідні дані до роботи 1. Тип обладнання - для викладання та вивчення вантажів. 2. Вид досліджень - аналітичні та експериментальні.

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

Розділ 1. Трансформаційно-технологічні системи харчових виробництв: основні положення. Розділ 2. Аналітичні моделювання протікання процесів опускання рухомих вантажів в обладнання для зберігання зручності утилізації. Розділ 3. Експериментальні дослідження. Розділ 4. Охорона праці. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

14 слайдів презентації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04. 11. 2022 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Рецензія	08. 11. 2022	
2	Вступ	10. 11. 2022	
3	Розділ 1	16. 11. 2022	
4	Розділ 2	24. 11. 2022	
5	Розділ 3	04. 12. 2022	
6	Розділ 4	25. 12. 2022	
7	Висновки	15. 01. 2023	
8	Список використаної літератури	23. 01. 2023	

Здобувач освіти  Олександр ТАРАСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник роботи  Анатолій БАШТА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«04» 11 2022 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	7
Розділ 1. Транспортно-технологічні системи харчових виробництв:	
основні положення.	10
1.1. Аналізування літературних джерел і вибір напряму дослідження. . .	10
1.2. Аналізування роботи технологічних машин для створення збільшених вантажних одиниць склотарної продукції.	14
1.3. Вибір основних методів дослідження.	22
1.4. Результати і висновки по розділу 1.	29
1.5. Постановка завдань дослідження.	30
Розділ 2. Аналітичне моделювання перехідних процесів опускного руху вантажів в обладнання для створення групової упаковки.	31
2.1. Дослідження динаміки систем з постійною жорсткістю.	31
2.2. Дослідження динаміки систем зі змінною жорсткістю.	33
2.3. Дослідження динаміки опускного руху підвіски укладальної головки за умови додаткового пружного елемента в ній.	44
2.4. Динаміка переміщень укладальної головки з косинусоїдальним законом руху ведучої маси.	55
2.4.1. Дослідження динаміки лінійних систем.	55
2.4.2. Дослідження динаміки нелінійних систем.	59
Розділ 3. Експериментальні дослідження.	62
3.1. Методика проведення та обробки багатofакторного експерименту. . .	62
3.2. Проведення обчислювального експерименту.	64
3.3. Статистична обробка результатів дослідження нелінійної моделі. . .	65

Розділ 4. Охорона праці на підприємствах та безпека	
людей при надзвичайних ситуаціях	68
Висновки.	77
Список використаної літератури.	78

РЕФЕРАТ

В роботі виконані дослідження пов'язані з моделюванням процесів вкладання вантажів, який супроводжує створення групових упаковок.

Робота ліній фасування харчових рідин пов'язана з розвитком проблем швидкодії і підвищення пропускної здатності обладнання. Створення групової упаковки може відбуватись за рахунок формування масиву з подальшими операціями обгортання в термоусадкову плівку або вкладанням в картонні, чи полімерні ящики.

На початку та наприкінці переміщення вантажів в таких пристроях виникають перехідні процеси, які можуть з'являтися як на горизонтальних так і на вертикальних ділянках руху. Підйом виробів найчастіше протікає в режимі ударного навантаження. Факторами, що впливають на ці режими є маса вантажу, приведена жорсткість системи підвіски та швидкість переміщення самого вантажу. Маса вантажу та його швидкість визначають пропускну здатність обладнання, тому варіювати можливо лише жорсткістю системи.

Тому в роботі представлені аналітичні моделі перехідних процесів обладнання для створення групових упаковок з різними законами руху ведучої маси. Виконані експериментальні дослідження. В результаті виконання експериментальних досліджень знайдені параметри які оптимізують систему з безударним вкладанням виробів в тару.

***Ключові слова:** динаміка, жорсткість, групова упаковка, навантаження, нелінійна система.*

ABSTRACT

The research carried out in the work is related to the modeling of the processes of placing goods, which accompanies the creation of group packages.

The work of food liquid packaging lines is associated with the development of speed problems and increasing the throughput of the equipment. Group packaging can be created by forming an array with further operations of wrapping in shrink film or placing in cardboard or polymer boxes.

At the beginning and at the end of the movement of loads in such devices, transient processes occur, which can appear both on horizontal and vertical sections of movement. Lifting of products most often takes place in the shock load mode. The factors affecting these modes are the mass of the cargo, the reduced stiffness of the suspension system and the speed of movement of the cargo itself. The mass of the cargo and its speed determine the capacity of the equipment, therefore it is possible to vary only by the rigidity of the system.

Therefore, the paper presents analytical models of transient processes of equipment for creating group packages with different laws of motion of the leading mass. Experimental studies have been carried out. As a result of experimental studies, parameters were found that optimize the system with shock-free placing of products in containers.

Key words: *dynamics, stiffness, group packing, load, nonlinear system.*

ВСТУП

Проголосивши Незалежність 24 серпня 1991 року, Україна дала поштовх іншим колишнім республікам СРСР на вихід із Союзу. Україна була другою – після росії – союзною республікою за кількістю населенням, економічним потенціалом і впливом.

У спадщину від пострадянського простору наша країна крім аграрного та промислового сектора одержала військово-промисловий комплекс, у якому була задіяна значна кількість трудових ресурсів і, незважаючи на конверсійну політику в останні роки існування СРСР, ця галузь практично залишилась без замовлень. Тобто однобока орієнтація на військове виробництво досягалась суворими обмеженнями машинобудівних галузей для харчової, легкої промисловості та сільського господарства. Обмеження торкалися будь-яких капіталовкладень: матеріальних та енергетичних ресурсів; номенклатури обладнання та комплектуючих до них тощо.

Дефіцит більшості найменувань продукції сільського господарства і харчової галузі стримував розвиток асортименту цих виробництв, їх якісних показників, а разом і розвиток нових прогресивних технологій. Та частина держбюджетних коштів, що виділяється на розвиток технологій і техніки для галузі пакування/фасування була занадто малою, у той час як в розвинених країнах Європи ця галузь займає друге місце після ВПК. Але розширення торгових стосунків з країнами Заходу і всього світу відкрило перспективи для розвитку передових технологій пакування.

Експорт західних технологій для виробництва сучасних пакувальних матеріалів заклав початкову базу, яка отримала швидкий розвиток в останні десятиліття. Західні та вітчизняні підприємці вкладають значні інвестиції у виробництво пакувальних матеріалів. Але сировинна база для їх виробництва практично не розвивається. Існуючий стан у цій галузі має такий вигляд: експорт імпортованих сировини і матеріалів, експорт імпортованого обладнання для виробництва пакувальних матеріалів, дешевша ніж у Європі робоча сила в Україні.

Очевидно, що виробництво пакувальних матеріалів в Україні є економічно вигідним для інвесторів; у в той же час організація повного циклу виробництва – від вихідних потоків сировини до створення готової упаковки – не вигідно стратегічно для західних інвесторів.

Але зусиллями вітчизняних виробників зроблено потужні кроки у напрямі розроблення пакувального, фасувального та іншого технологічного обладнання для пакувальної індустрії.

До числа найбільш важливих причин організації пакувального виробництва в Україні існують вагомі причини, такі як створення робочих місць на території нашої держави, досягнення економічного росту, створення інтелектуальної та виробничої баз у важливій сфері забезпечення життєдіяльності суспільства.

У напрямі створення сучасної машинобудівної галузі існує декілька шляхів розвитку: перший – придбання західних сучасних технологій і обладнання, а другий – полягає в активізації внутрішніх ресурсів країни і подальшому розвитку перспективних напрямів. Але головним напрямом є якнайшвидше прийняття генеральної концепції розвитку таких ланок як родючі українські ґрунти, потужні трудові ресурси з одночасним існуванням великої армії споживачів.

Загальний успіх цієї програми залежить від вирішення наступних етапів: розвиток теоретичної бази інноваційних розробок, що стосуються розвитку фасувального, пакувального і транспортно-технологічного обладнання, автоматизованих поточкових ліній та обладнання для створення збільшених транспортних одиниць.

З року в рік з'являються нові види тари та упаковки, нові схеми тарообігу, натомість державні стандарти вимог до тари багато в чому потребують перегляду. Для цього потрібно передивитись функціональне призначення певного типу і виду тари, а також відслідкувати закономірні шляхи її розвитку. Окрім цього, недостатню увагу приділяють зносу та утилізації тари. Серед завдань Сценарію розвитку поводження з відходами до 2025 року значиться повне оновлення парку контейнерів і спеціального автомобільного транспорту, а також обладнання перевантажувальних станцій. Необхідність модернізації обумовлена ступенем зносу, який за різними

даними варіюється від 50 до 70% [56]. Таким чином питання поводження з тарою виходить за межі виключно транспортного сектору, і є актуальним з боку урахування екологічної складової.

Законодавче регулювання вимог до тари й упаковки міститься у відповідних державних і міжнародних стандартах [57]. Згідно вітчизняного законодавства маємо ряд інших стандартів [58], в тому числі ГОСТ 17527-2003 «Упаковка. Терміни та визначення», який тлумачить термін упаковка, як засіб або комплекс засобів, що забезпечують захист продукції від пошкодження і втрат, навколишнього середовища від забруднень, а також забезпечують процес обігу продукції (транспортування, зберігання, реалізація). Упаковка являє собою споживчу і транспортну тару, амортизуючі матеріали, допоміжні пакувальні засоби і матеріали.

Технічні регламенти регулюють введення в обіг товарів в Україні і більшість цих товарів вводяться в обіг в упаковці. І хоч регулювання активно змінюють та оновлюють на виконання зобов'язань за Угодою про Асоціацію, нові технічні регламенти окремо не регулюють відповідність упаковки для товарів. Виробникам же необхідно пам'ятати, що разом із товаром вони вводять в обіг і його упаковку, а тому треба дбати про відповідність використаних пакувальних матеріалів вимогам законодавства. В Україні вимоги до пакувальних матеріалів встановлено Технічним регламентом з підтвердження відповідності пакування (пакувальних матеріалів) та відходів пакування, затвердженим наказом Держпродспоживстандарту від 24 грудня 2004 року № 289 ("Регламент"). Його розробили відповідно до Директиви про пакування та відходи пакування № 94/62/ЄС станом на 2004 рік, відтоді змін не вносили. При цьому Україна півтора року як мала наблизити до ЄС законодавство у сфері пакування та відходів пакування. Ці строки будуть стрімко надолужувати.

Водночас необхідно пильно слідкувати за змінами у законодавстві. Найближчим часом його стрімко оновлюватимуть у сфері упаковки та відходів упаковки. Для виробників це означає нову систему відповідальності за введenu в обіг упаковку, нові вимоги відповідності до упаковки та витрати на налаштування виробництв/ліній постачання під оновлене законодавство.

Розділ 1

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ: ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. Аналізування літературних джерел і вибір напряму дослідження

Харчова промисловість України включає в себе понад 40 різноманітних галузей виробництва: борошномельнокруп'яну, цукрову, спиртову, пивоварну, хлібопекарську, кондитерську, молочну, рибну, крохмально-меясну, лікєро-горілчану, макаронну, м'ясну, олійно-жирову, виноробну, консервну, соляну, овочеву тощо. Крім харчосмакової продукції, вона випускає добрива, комбікорми, тютюнові, косметичні вироби, мило тощо.

Харчова промисловість України — це тисячі великих, середніх і малих підприємств різної форми власності, які виробляють майже 20% від загального обсягу промислової продукції. Найбільша частина реалізованої продукції — це напої, м'ясні і молочні продукти, тютюнові вироби, хліб і хлібобулочні вироби, жири. На сучасному етапі розвитку склалося важке економічне становище для всього народного господарства України, і особливо для харчової промисловості, оскільки ця галузь дуже залежить від інших галузей — машинобудівної, хімічної, нафтопереробної — і особливо від платоспроможності населення. Питома вага цієї галузі в структурі виробництва предметів споживання сягає 52,8%, у загальному обсязі промислової продукції — 16,3%, а продукції агропромислового комплексу — 33,5%. Продовольчі товари становлять 68,1% загального виробництва товарів народного споживання у відпускних цінах, 63 % загального обсягу роздрібного товарообороту та 61,5% у структурі особистого споживання матеріальних благ населенням країни.

Будь-яке виробництво має за мету одержання готового продукту і, найчастіше, цей продукт повинен бути упакованим або розфасованим, особливо продукція харчової промисловості. Асортимент продукції надзвичайно великий і описується він вагою, розмірами та формою упаковки, пакувальним матеріалом, а також присутністю акцизних марок і засобів уникнення підробок. Не зважаючи на

розповсюдження різноманітних полімерних пакувальних матеріалів (поліетиленів, поліетилентерефталатів тощо), у багатьох випадках скляна тара залишається єдиною прийнятною тарою. Це особливо видно у виробництві вин, безалкогольних напоїв, мінеральних вод, «Пепсі-коли» і «Кока-коли». Але абсолютно інертний матеріал як скло не втратив своїх перспектив виробництва в Україні через багатими місцевими сировинними ресурсами і можливістю гарантованої утилізації.

Сьогодні весь західний світ знову повертається до використання склотарної упаковки і виробництво її розширюється. Цьому існує багато причин: скляна упаковка економічно вигідна для споживача як за абсолютною вартістю, так і завдяки можливості повернення ціни, адже скляна тара багатооборотна.

Також 100% скляного бою можливо утилізувати з метою випуску нової тари, адже використання вторинних ресурсів економічніше, ніж первинної сировини.

Недоліком орієнтації на розвиток виробництва скляної тари є те, що підприємства харчового виробництва і виробництва склотарної продукції розташовані на десятки і сотні кілометрів один від одного. У результаті це впливає на собівартість продукції харчових виробництв додатковими затратами. Тому залишається актуальним питання створення сучасних технологій перевезення на таких ділянках товарообороту.

Все більшого розповсюдження набувають пакет-піддонні і контейнерні технології перевезень товарів.

Розвиток пакет-піддонних технологій відбувається у двох напрямках.

Перший передбачає створення групової упаковки; її перев'язку або обтягування термоусадковою плівкою; вкладання певним чином на спеціальні транспортні піддони у кілька шарів; обгортання одержаних пакет-піддонів розтягнутою плівкою.

Другий напрям – включає у себе щільне вкладання масивів виробів (з прошарковими прокладками) на пакет-піддоні. Масиви виробів своїми розмірами мають відповідати розмірам піддону. Надалі завантажений пакет-піддон обгортається розтягнутою або термоусадковою плівкою.

Такі технології на виробництві супроводжуються повною механізацією. Для цього використовують спеціальні пристрої для формування масивів з виробів для одержання так званих групових упаковок, пристрої для обгорткування упаковок термоусадковою/розтягнутою плівкою, термокамери, пристрої для завантаження сформованих групових упаковок на піддони, а також пристрої для обтягування пакет-піддонів плівкою.

При формуванні пакет-піддонів у другому варіанті використовують пристрої для вкладання масивів виробів на піддони або на прошаркові прокладки та пристрої для обгортання одержаних пакет-піддонів плівкою. Цей спосіб надає можливість для механізації та автоматизації розформування пакет-піддонів, оскільки існують пристрої для захоплення виробів одного шару; або зіштовхування шару з прошаркової прокладки; або знімання шару виробів разом з прокладкою. Всі операції механізуються сучасними автоматизованими засобами з повним виключенням ручної праці, тому другий варіант кращий, адже операція розбирання групових упаковок вимагає застосування ручної праці.

Економічний бік пакет-піддонних технологій передбачає наявності спеціального піддона як елемента для повторного використання. Це реалізується відносно просто, ели виробник і споживач склотари – це підприємства, що розташовані в Україні: тоді можливо організувати зворотний потік піддонів для регулярного постачання. Це також стосується товароруку між заводом-виготовлювачем харчової продукції у склотарі та споживачем. Цей шляху має і недоліки – обмеження ресурсів деревини, екологічні питання, тому питання повторного використання піддонів залишається актуальним.

Поряд з пакет-піддонних технологій перевезення вантажів існує технологія контейнерних перевезень. У цьому випадку доставки склотарних виробів загальна кількість одиниць обладнання значно менша, оскільки всі технологічні операції завантаження здійснюються одним пристроєм. Це наступні операції: підвод контейнера, його позиціонування, операція формування масивів виробів з заданою певною розкладкою, захоплення масиву виробів, його переміщення до

контейнера, вкладання на прошаркові прокладки виробів при вертикальній орієнтації і на вироби при горизонтальній. При цій технології реалізується вкладання склотари на різні рівні і саме ця обставина й відрізняє машини-автомати такого призначення від пристроїв для однорівневого укладання виробів.

Таке обладнання як для пакет-піддонних, так і контейнерних перевезень абсолютно підходить для використання на ділянках формування збільшених вантажних одиниць на склозаводах і на підприємствах-споживачах. Ці технології завершують 100%-вий рівень механізації робіт на всій протяжності товароруку виробів. У світовій практиці використовують два підходи, які мають назву детермінований і недетермінований [1, 2].

Аналізуючи конструктивні вирішення елементів та самого обладнання закордонних ліній фасування харчових продуктів можна зробити висновок, що в багатьох випадках іноземним конструкторам вдається вирішувати аналогічні проблеми, але інколи вони бувають доволі далекі від ідеальних. Збільшення продуктивності ліній фасування вони вибрали збільшуючи майже удвічі різницю між реальними і номінальними величинами, а цей шлях, не завжди є доцільним.

Використання теорії розрахунку обладнання фасувальних ліній розливу на основі закордонних джерел інформації в нашій країні неможливе, через те що тематичні публікації) відсутні(виключаючи рекламного матеріали [3, 4]). Але треба відмітити значні зміни поставок імпортової техніки в Україну за останні два десятиліття. Це таке обладнання як накопичувачі для склотари і готової продукції з регульованими приводами, які мають можливість зміни частоти в системі керування, електронно-оптичні інспекційні автомати регулювання приводів різних технологічних машин, тощо. Також отримано позитивні рішення в області розвитку пакет-піддонних технологій.

Машинобудівна промисловість України на теренах ринкової вітчизняної економіки, успішно намагається забезпечити свій розвиток створюючи конкурентноздатні зразки новітньої техніки. Паралельно перед українськими конструкторами і проектувальниками постає актуальне питання розвитку сучасної теоретичної бази

розрахунків та проектування нового обладнання.

Після аналізу публікацій вітчизняних авторів, що вдалося знайти у відкритому доступі [5, 6], в основному переважають теоретичні викладки та загальний описовий матеріал, інколи – результати експериментальних досліджень. Застосування контейнерних перевезень готової продукції і склотари здебільшого була притаманна вітчизняній промисловості, хоча деякі успіхи у цьому напрямку зроблені й західними фірмами. Відомі розробки фірм Фінляндії, Франції та ін. [4]. Також доцільно використовувати технології доставки продукції як на близьких перевезеннях (до 10 км), так і на далеких (наприклад, для перевезення мінеральних вод – до 100 і більше км) [5-7].

1.2. Аналізування роботи технологічних машин для створення збільшених вантажних одиниць склотарної продукції

Навантажувально-розвантажувальні операції з готовою продукцією/тарою займають великий обсяг робіт в лініях фасування напоїв. Особливо це стосується ліній фасування продуктивністю понад 12 тис. пл./год. Це надзвичайно важливо при використанні у якості тари скляних пляшок, тому що вага скляної пляшки майже однакова з вагою розфасованої в неї рідини, і це суттєво впливає енергоємність обладнання та на загальні трудовитрати.

Аналізування пропозицій міжнародних виставок, спеціальних технічних літературний джерел, рекламних проспектів провідних фірм-виробників ліній фасування дозволило прослідити тенденції удосконалення обладнання та шляхи збільшення продуктивності машин для вкладання/виймання скляних пляшок в транспортувальну тару. Основою вузлів в такому обладнанні є зубчасто-важільні, важільні та кулачково-важільні виконавчі механізми.

Ефективність роботи всієї фасувальної лінії залежить від надійності вкладальних комплексів адже конструкції сучасного високопродуктивного укладального обладнання доволі складна. Воно складається з таких функціональних модулів:

-вкладальний пристрій;

- конвеєри для підведення заповнених скляних пляшок;
- столи-накопичувачі та інші пристрої.

Функціональні модулі для формування шару пляшок та переміщення транспортної тари входять до складу комплексу окремими одиницями і мають індивідуальний привод, що дає змогу реалізувати різні варіанти компоновки лінії фасування та забезпечити її раціональне розташування на площах виробничих цехів. Це також набагато спрощує налагоджування, обслуговування і ремонт даного обладнання. Оптимальна компоновка фасувальної лінії забезпечує запроєктовану продуктивність. В машинах деяких фірм-розробників стіл-накопичувач або конвеєр для подачі ящиків/піддонів сполучають з укладальним пристроєм. В цих комплексах всі вузли монтуються на одній станині і приводяться в рух одним приводом. Така компоновка може зменшити габарити та металоемність саме укладальної машини [9]. Основним в даному комплексі є укладальний пристрій. До його складу включено:

- одна/кілька захоплюючих головок з пневмопатронами і системою розділення повітря;
- механізм переміщення шару виробів для горизонтального положення під час руху;
- гідро-, пневмо- чи електромеханічний привод;
- вузол рекуперації енергії та зрівноваження ланок;
- елемент демпфірування ударних навантажень.

В якості орієнтувальних пристроїв застосовуються системи взаємопов'язаних ланцюгів, різноманітні конструкції рухомих та нерухомих прямолінійних напрямних, важільні пантографи тощо. Зусилля, діючі в ланках таких пристроїв укладальної машини, відносно малі. Також незначний вплив на динамічні характеристики укладальної машини мають кінематичні параметри орієнтувальних механізмів.

Механізм переміщення захоплюючої головки вповдовж прямолінійної/складної просторової траєкторії звичайно розташовують між приводною станцією та захват-

ними елементами. Вони надають рух захватним елементам з шаром пляшок (на холостому ході – без шару виробів) вдовж потрібної траєкторії по заданим законам руху.

На основі проведеного аналізування розглянутих складових укладальних машин механізми переміщення згруповано у декілька характерних конструктивних схем. Розглянемо найбільш типові схеми.

Укладальник пляшок Ш-10-ВВУ-05 (0,7). Експериментальний автомат розроблений Тбіліським ВКВ по пакетних і контейнерних перевезеннях (рис. 1.1). В деяких конструкціях автоматів використовуються важільні механізми для зменшення ваги каретки. Він включає пристрій для формування шару пляшок, виконане у вигляді багатопотокового столу-накопичувача з обмежувально-фіксуєчим пристроєм; кривошипно-кулісний механізм горизонтального переміщення каретки 4; механізм горизонтального переміщення каретки, механізм вертикального переміщення укладальної головки.

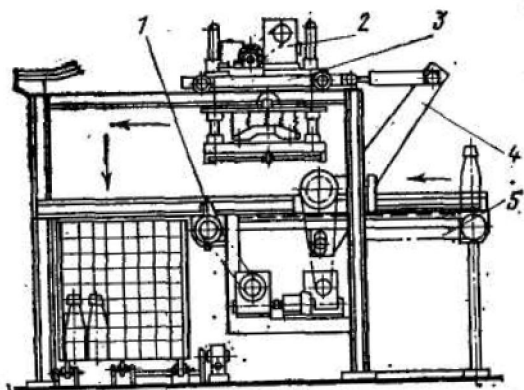


Рис. 1.1. Схема укладальника Ш-10-ВВУ-0,5(0,7)

Пристрій КТІППа для вертикального укладання пляшок в тару-устаткування (рис. 1.2). Пристрій має вузол формування вертикального шару пляшок, що є багатопотоковим столом-накопичувач 1, захватну механічну головку 2, сполучену за допомогою тяги 4 з двома нескінченними ланцюговими контурами 7. Захватна головка має підвіску 3 і виконана з можливістю переміщення по направляючих 5 у вертикальній площині, змонтованим на каретці 6, яка переміщається горизонтально.

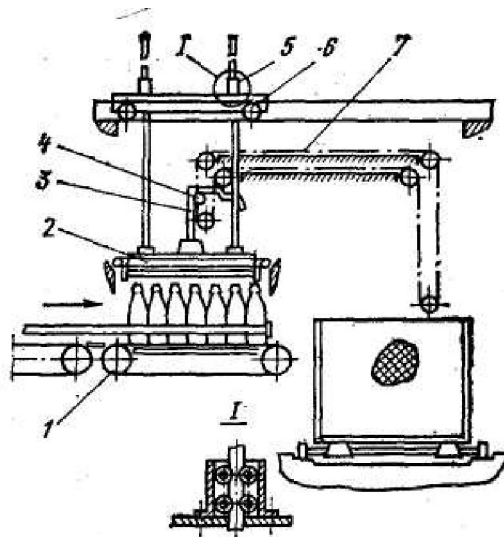


Рис. 1.2. Пристрій конструкції КТПШПа для вертикального вкладання пляшок в тару-устаткування

Працює пристрій таким чином. Контейнер подається під завантаження і фіксується. На столі-накопичувачі формується вертикальний шар пляшок, на який опускається захватна головка, виконана з двох плит. При відносному переміщенні останніх після контакту нижньої плити з пляшками відбувається спрацьовування захоплення. Відносне положення плит фіксується клямкою. Рух головки вниз відбувається при низхідному русі тяги на вертикальній ділянці в зоні формування шару. Після контакту з шийками пляшок нижня плита залишається нерухомою, а тяга продовжує рух, огинаючи зірочку ланцюгового контуру. При русі тяги вгору відбувається її контакт із захопленням головки. У момент захоплення і відведення пляшок із столу-накопичувача останній зупиняється. При подальшому русі тяги вгору відбувається підйом пляшок, а під час переходу неї від вертикального переміщення до горизонтального починають горизонтальне переміщення каретка і головка. При виході тяги на вертикальну ділянку в зоні контейнера каретка зупиняється, а захватна головка разом з пляшками продовжує вертикально переміщатися до контакту з дном контейнера або прокладкою. При цьому захоплення розтискаються і пляшки вивільнюються. При підйомі тяги відбувається її контакт із захопленням і вихід головки з конвеєра. З виходом тяги на горизонтальну ділянку починається переміщення головки і каретки до зони, де формується новий шар. Потім цикл повторюється.

Переваги розглянутої конструкції полягають в можливості вертикального і горизонтального переміщень головки за допомогою одного приводу, що працює в сталому режимі; у відсутності значних прискорень мас, що переміщуються; в простоті схеми електричного управління укладальником; низької металоємності; можливості використання пристрою для виїмки пляшок.

Пакеторозбирач конструкції СК „ХРАНмаш”(НРБ) (рис. 1.3) машина призначена в основному для підприємств розливу мінеральних вод і пива. Пакеторозбирач виконує пошарове розбирання пластмасових ящиків з скляними пляшками. Привід машини комбінований, електропневматичний.

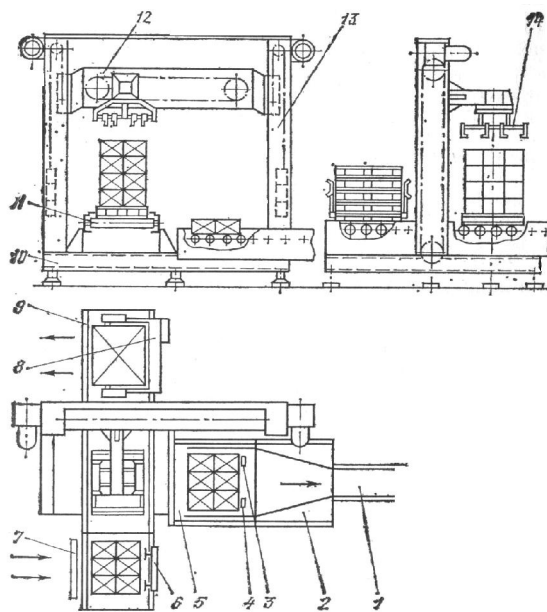


Рис 1.3. Пакеторозбирач конструкції СК „ХРАНмаш”(НРБ)

Пакеторозбирач складається з рами 10, на якій встановлені основні вузли і механізми машини. П-подібна колона 13 призначена для переміщення по ній балки 12 з захватною головкою 14 в вертикальному напрямку вгору вниз. Горизонтальне переміщення захватна головка виконує по балці 12. В нижній частині рами розташований рольганг приводу пакетів 11, рольганг відводу пустих піддонів 9, магазин піддонів 8, рольганг відводу ящиків з пляшками 1, рольганг пошарово розформування ящиків 2, упори 3 і 4 і рольганг прийому шару ящиків 5.

Машина для укладання пляшок ОПКБ ГрузНИИППа (рис. 1.4) включає в

себе пристрій для горизонтального шару пляшок в виконанні в вигляді чотирьох ручного транспортера, котрий передає пляшки на лотки, таких пристроїв в машині два, в зв'язку з чим ліквідується холостий хід горизонтального переміщення. На останній каретці змонтовані дві уклад очних головки, які опускаються і піднімаються синхронно. Одна з них опускається на сформований шар пляшок і захоплює його, а друга – в контейнері, де залишає наступний шар.

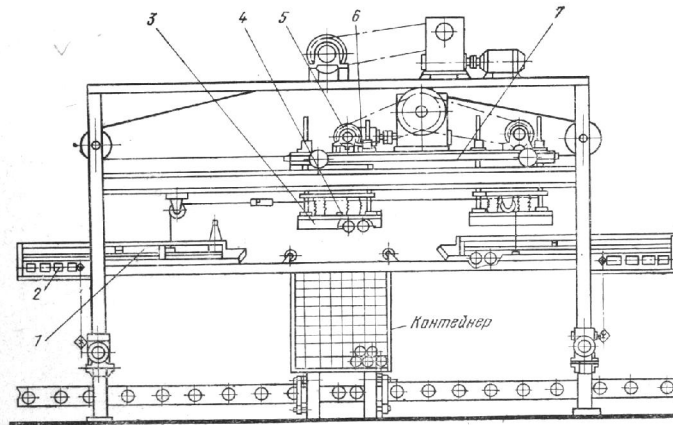


Рис. 1.4. Схема машини для укладання пляшок ОПКБ ГрузНИИППа
 1 – опрокидувальні лотки, 2 – подаючі транспортери, 3 – захватна головка,
 4 – фіксатор, 5 – привод, 6 – направляючі, 7 – каретка

Багатоярусне укладання досягається односторонньою підвіскою головок на ланцюгу, охоплюючи приводну зірочку. Під час підйому головок вільний кінець ланцюга складається в спеціальний карман, а за опускання – виймається з нього. При контактуванні головки з попереднім шаром пляшок, або дном контейнера спрацьовує датчик зупинки привода і через реле часу вмикається зворотній хід, а уклад очна головка виходить з контейнера.

Синхронізація роботи всіх робочих органів виконується за допомогою засобів автоматики.

Пакетозбирач типу "Monarch" UB200-206 ("Enzinger") (рис. 1.5.). Установка виконує пошарове укладання ящиків з пляшками на піддон зверху вона складається з каркаса 11, каретки пакетів 13, рольганга подачі ящиків 1, рольганга формування ряду ящиків 2, нерухомого листа накопичувача 6, рухомого листа накопичувача 7,

ричага формування шару ящиків 4, ричага переміщення формованого шару ящиків на рухомий лист накопичувач 5.

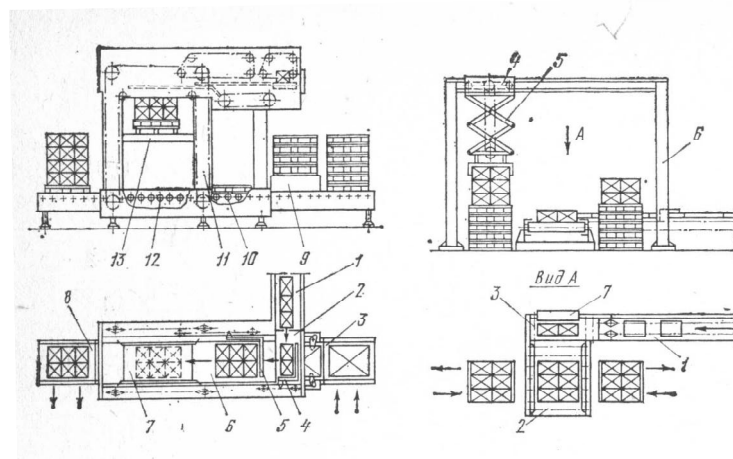


Рис. 1.5. Схема пакетозбирача типу "Monarch" УВ200-206("Enzinger")

Два ящика з готовою продукцією рольгангом 1, подаються на рольганг формування ряду 2, далі важіль 4 зміщується на нерухомий накопичувальний лист 6. Сформований шар з шести ящиків переміщується під дією важеля 5 на рухомий лист накопичувач 7. Піддон знаходиться на каретці в верхньому положенні під листом накопичувачем 7, котрий виводиться з під шару ящиків, і останні опускаються на піддон (або на раніше покладений на піддон шар ящиків).

Каретка 13 з піддоном автоматично опускається в низ на крок рівний висоті ящиків, а лист 7 повертається в попереднє положення, цикл повторюється.

У вищенаведених схемах укладальників робочі органи рухаються циклічно вповодж заздалегідь заданої траєкторії. Під час руху механізм переміщення здійснює зворотньо-поступальний чи зворотньо-коливальний рух. І це значно впливає на динамічні параметри обладнання. У крайніх точках – в кінці робочого та на початку холостого ходів) усі ланки механізму переміщення шару виробів мають зробити зупинку (окрім кривошипа), і надалі рухатися у зворотньому напрямі. Такий режим руху суттєво не зменшить інерційні навантаження і не виключить удари у крайніх точках. Тому пропонується для збільшення продуктивності укладальних пристроїв завдяки збільшенню швидкості руху робочих органів ввести

відповідні обмеження динамічних навантажень на ланки механізмів для дотримання умов цілісності пляшок. Існує також наступний варіант підвищення продуктивності вкладальних пристроїв – завдяки збільшенню кількості захоплюючих головок. Таке підвищення продуктивності доволі широко застосовується підприємствами – виробниками вкладального обладнання, але цей спосіб дає позитивний результат у лініях фасування продуктивністю до 40 тис. пляшок за год. Проте такий метод має і негативний бік – значне збільшення габаритних розмірів вкладальних комплексів та їх маси.

Ще одним напрямом у розвитку вкладально-виймального обладнання є використання конструкцій, у яких захоплювальні головки рухаються коловою траєкторією в одному напрямі та без технологічних зупинок. Розроблення подібних вкладальних комплексів на базі синтезу елементів роторних і технічних технологій дає значний економічний ефект завдяки можливості зменшення габаритних розмірів, їх питомих показників енергоємності та металоємності машин.

Роторні технології більше всього застосовують в машинобудуванні. Ефективність роторних ліній у сборочному виробництві визначається у першу чергу великою питомою вагою технологічних процесів третього класу в загальній структурі сборки. Також розроблені роторні лінії для виготовлення деталей з полімерних матеріалів, створено роторні лінії для харчової промисловості, сільського господарства, підприємств громадського харчування, роторні автомати застосовуються й при виробництві фармацевтичних засобів, пресованих харчових концентратів тощо.

На основі роторних ліній розроблені різні типорозміри обладнання для виготовлення деталей з металопластмасових деталей та композиційних матеріалів методом гарячого пресування.

Роторна технологія являється дієвим засобом комплексної автоматизації виробництва, вона також створює необхідні умови для автоматизації допоміжних робіт. Комплексна автоматизація виробництва на основі роторних та роторно-конвеєрних ліній дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці.

Використання роторних технологій досить ефективно при масовому виробництві нескладних однотипних виробів, тоді вони стають високопродуктивними, а кінематичні зв'язки у такому обладнанні дуже прості й надійні. До пристроїв роторного типу відносяться вкладальні комплекси «Roundpac» німецької фірми-виробника «Krones» та «Circlepac» нідерландської фірми «Seitz Enzinger Noll».

Через посилення конкурентної боротьби за ринки збуту змушує виробників напоїв приділяти більшу увагу зовнішньому вигляду та формі споживчої тари. Тому за останнє десятиліття значно збільшилася кількість пляшок нестандартної форми та оригінальних типорозмірів, змінилося зовнішнє оформлення транспортної тари.

Для механізації навантажувально-розвантажувальних та транспортно-складських (НРТС) робіт в цьому випадку використовують робото-технічні автоматизовані комплекси, які можливо легко перепрограмувати і працювати майже злюбими типами скляних пляшок або транспортної тари. До існуючих недоліків використання робото-технічних комплексів відносяться: суттєва вартість; складність в обслуговуванні та невелика продуктивність (їх доцільно застосовувати для роботи з груповими упаковками або для вкладання великих шарів однотипних упаковок).

Проведеного вище аналіз існуючих конструкцій машин для вкладання склотари у транспортну тару, можемо зробити наступні висновки:

- різноманітність споживчої упаковки привела до виробництва значної кількості типів пристроїв для механізації/автоматизації вкладання скляних пляшок у транспортувальну тару. Універсалізація існуючих пристроїв вважається недоцільною, адже універсальні конструкції суттєво програють спеціалізованим за продуктивністю, габаритами і металоємкістю;

- світова практика свідчить, що на основі важільних, зубчасто-важільних та кулачково-важільних механізмів захоплюючих пристроїв провідні світові фірми-виробники розробили високопродуктивні та надійні вкладальні машини.

1.3. Вибір основних методів дослідження

Застосування індустріальної технології кінцевих етапів виробництва продукції

вимагає створення пристроїв для укладання в контейнери готової продукції та розвантаження порожніх пляшок. Таке обладнання створювалося на базі загально прийнятих у динаміці і теорії механізмів та машин припущень, які ґрунтуються на ідеалізації еквівалентних схем [15-17], рівномірності розподілення тиску по опорних поверхнях чи лініях контактування [14]. Також враховувалися й специфічні припущення, що стосуються геометричних розмірів та форм вантажів, паралельності напрямних, знаходження центрів тяжіння та пружності вантажів [1, 13, 14].

Як приклад приведемо виконання цікавої розробки, яка стосувалася вибору геометричних розмірів тари-обладнання [18] у співвідношенні з розмірами виробів або масивів з них, виходячи з різних варіантів розташування (рядне чи шахове), динамічних умов завантаження/виймання (можливості захоплювання пляшок робочим органом), потреб збереження вантажу під час транспортування. Запропонована математична модель дозволяє вирішити завдання розрахунку розмірів контейнерів/тари-обладнання, які мають ознаки універсальності за типорозмірами скловиробів, або зворотнє завдання.

Для вирішення ряду оптимізаційних завдань використовують теорію екстремального планування експериментів та методи моделювання перехідних процесів у приводах машин. За критерій оптимізації приймають навантаження пружних елементів та певні керуючі параметри [18, 19].

Серйозну увагу приділяють розробці методів, за допомогою яких можливе обмеження навантажень на різні елементи конструкції в механізмах піднімання/опускання [14, 19]. Це такі методи як керування законами руху ведучої маси; застосування спеціальних активних/пасивних механізмів розгону; оптимальний вибір параметрів руху; включення до конструкції додаткових пружних елементів; застосування систем змінної жорсткості, тощо.

У дослідженні [20] запропоновано удосконалення конструкції формувача масиву виробів, визначено динамічні характеристики тягових ланцюгів та теорії врахування жорсткості елементів в умовах прикладання розподілених навантажень тощо.

Моделювання сили тертя під час складного плоского руху циліндричних виробів та лінійних (по дузі кола) контактів, розглядаються у дослідженні [1]. У ньому, зроблено спробу визначення взаємодії між кінематичними та геометричними параметрами процесу формування масиву виробів, застосовуючи теорію планування експериментів.

Дослідження [21, 22] присвячено дослідженню режимів ударного навантаження робочих органів машини для укладання склотари, моделюванню процесів перевантажування та переорієнтування виробів, а також вивченню впливу вибору апроксимаційних залежностей на рушійні сили та сили опору.

Аналіз експлуатація виробничого обладнання для вкладання/виймання склотари виявив суттєвий недолік – присутність коливального руху вантажів, утримуваних захоплюючими елементами під дією сил інерції у період розгону/гальмування. У роботі [13], в якій розглядається укладальник пляшок ЦАІГ.ВУА-12, пропонується вирішення задачі визначення кінематичних параметрів пристрою та спроектовано механізм гасіння коливань вантажів. Також у публікації проаналізовано теоретичні аспекти збільшення і розділення багатопотокових систем, та запропоновано математичні моделі процесу переміщення виробів горизонтальними вібраційними площинами.

У публікаціях [5-7] проведено огляд реалізації виконання багат шарового вкладання/виймання виробів у тару-обладнання, намічено тенденції розвитку і особливостей конструювання обладнання. Переміщення одного шару виробів, може відбуватися через верхній або бічний отвори контейнера. У першому випадку захоплення виробів у масиві виконується за верхню частину пляшки (горло) з подальшим переміщенням вертикально вгору, далі – горизонтально, і нарешті вертикально вниз на різну необхідну висоту. Захоплююча головка є достатньо складним робочим органом і її можливі відмови виникають через порушення позиціонування виробів у масиві, а також через відхилення від допустимих розмірів і форм пляшок, деформацію бокових стінок тари-обладнання.

При введенні масиву виробів у тару-обладнання через бічний отвір процес

розвантаження забезпечується або зіштовхуванням масиву, або переміщенням пляшок разом з площиною, на якій масив сформовано, і яка надалі виводиться з-під пляшок. Багат шарове вкладання виробів реалізується за рахунок піднімання/опускання контейнера. Цей випадок має певні переваги завдяки можливостям його машинного оформлення та недолік, а саме необхідність застосування спеціального тари-обладнання зі знімною боковиною, що знижує його міцність і жорсткість. Також треба відмітити, що серійний випуск такого обладнання не налагоджено, що також виступає як недолік.

Висновком вищевикладеного матеріалу є факт, що у найближчій перспективі використання пристроїв для вкладання/виймання масивів виробів через верхній отвір тари-обладнання залишається незмінним. Вимоги високої продуктивності та цілісності пляшок в роботі таких автоматів суперечать одна одній через неможливість обмеження силових дій на робочі органи. У працях [18, 21] приділено увагу суміщенню цих вимог. Проте до вкладальників/виймальників пляшок, в яких вкладання виробів проводять на приймальну площину в одному рівні, у цих публікаціях це питання не ставилось, хоча питання та проблеми безударного або близького до нього вкладання/виймання заслуговують на увагу.

Не зважаючи на велику кількість публікацій з цієї теми [23, 24] вирішення задачі точного позиціонування виробів у масивах, обладнання з високою надійністю роботи залишається проблемною і надалі потребує вирішення.

В численних винаходах України продовжується робота по удосконаленню пристроїв і обладнання для формування масивів або групування виробів [23, 24], пристроїв для розділення потоків виробів [22], потоків штучних предметів [26], для вкладання штучних виробів в транспортну тару [27, 28], захоплювальних пристроїв [29] тощо. Теоретичне обґрунтування даних розробок дозволить значно прискорити їх практичне застосування.

Сучасний розвиток теорії моделювання динамічних процесів і явищ дозволяє адекватно описувати реальні процеси, скорочувати матеріальні та часові витрати на створення нових видів техніки і прогнозувати задані діапазони кінематичних та

динамічних параметрів.

В роботах [30, 31] представлено дослідження по врахуванню кінцевих жорсткостей елементів приводів машин, які призводить до динамічних явищ коливального характеру. Після математичного моделювання кожного автомату проводять вибір її фізичної моделі, що розглядається у роботі [32]. Тут відмічено існування 3 розповсюджених моделей машин:

- 1) механічні, які враховують тільки пружність ланок;
- 2) електромеханічні, які паралельно з пружністю ланок враховують електромеханічні явища в електродвигуні;
- 3) електромеханіко-технологічні, що враховують пружність самих ланок, електромагнітні явища в електродвигуні та вплив технологічних збурень.

Перелічені моделі машин і процесів з пневматичними, гідравлічними і гравітаційними двигунами у широкому діапазоні параметрів та представлення сил рушійних та опору базуються на розробках С. Кожевнікова [16], В. Вейца [30], Ф. Іванченко [31], І. Артоболевського [33], А. Голубенцева [34], В. Зінов'єва [35], Я. Пановко [36] та інших вчених.

Аналіз розробок вищеперелічених авторів показує, що при описі динаміки перехідних процесів використовують еквівалентні схеми, завдяки яким записують рівняння руху. Зазвичай, в рівняння не входять непарні похідні, тобто не враховуються затухаючі коливальні процеси. Такий підхід започаткований для полегшення вирішення диференціальних рівнянь у явному вигляді, що пов'язано зі знаходженням коренів характеристичних рівнянь і не впливає на піки амплітуд шуканих величин у першому циклі та розрахунку частот власних коливань. Непарні похідні вводяться в початкові рівняння, коли дослідник розглядає характеристики затухаючих коливальних процесів.

Головним при виборі початкової моделі, – це точність відображення властивостей досліджуваного об'єкту.

Розглядаючи систему з зосередженими масами рівняння руху записують у скалярній формі, а для системи з роззосередженими – у векторній. У першому

випадку маємо звичайне неоднорідне диференціальне рівняння із залежністю вхідних та вихідних параметрів від функції часу, а в другому – диференціальне рівняння у часткових похідних із залежністю вхідних та вихідних величин від часу і координат системи у просторі.

Зовнішні збурення, що діють на систему, записуються в правій частині рівняння і впливають на закони руху мас, закони змінювання зовнішніх сил, обмеження на рух мас тощо. При цьому важливу роль має вибір початкових умов, разом з масами і жорсткостями, що визначають амплітуду коливального процесу. Названі параметри є керуючими, за допомогою них можливо досягти впливу на вихідну функцію.

Описання системи з нелінійними характеристиками видає нелінійні диференціальні рівняння, загальних методів розв'язку яких не існує. У цьому випадку пропонується використовувати різні методи лінеаризації або чисельні методи вирішень. Алгоритм розрахунків визначається в залежності від кінцевої мети дослідження.

Прикладне значення завдань динаміки визначає вимоги оптимальності аналізованих або створюваних систем. Критерії оптимальності враховують умови швидкодії, мінімальні енерговитрати, масу системи, її габарити, силові дії, кінематичні величини, тощо. Досягнення оптимальності одного з критеріїв часто отримують за рахунок погіршення інших, тому навіть вибір критерію оптимізації сам по собі представляє оптимізаційну задачу.

Питання оптимального управління відносять до питань варіаційного обчислення, але у ряді випадків рішення досягти неможливо. Тому в теорії автоматичного управління широке розповсюдження має теорія оптимального управління Л. Понтрягіна [37] і метод динамічного програмування Р. Белмана [38].

Теорія динаміки машин пропонує здійснювати вибір оптимальних параметрів плановим перебором параметрів з допомогою ЕОМ та методів комбінованих алгоритмів, штрафних функцій, послідовного наближення тощо.

Метою ідеалізації фізичних та математичних моделей, при описі динаміки перехідних процесів – є одержання рівнянь руху, які можливо розв'язати у явному

вигляді, що дозволяє провести поглиблений аналіз. Але і саме ідеалізація має певні теоретичні похибки. До числа використовуваних припущень відносять наступне: пружні зв'язки, що з'єднують маси в системі, – невагомі, залежність між деформаціями та пружними зусиллями описується законом Гука; також нехтують і дисипативними втратами енергії у пружних зв'язках. Останнє припущення практично не впливає на кілька перших піків навантажень, але сталі значення приведеної жорсткості у розрахункових моделях викликає певні сумнівні питання. Особливо це відслідковується у вантажопідйомних машинах, до яких відносять пристрої для формування-розформування пакет-піддонів та вкладання/виймання склотарної продукції в тару-обладнання.

Ці пристрої піднімають або опускають вантажі на тросових чи ланцюгових підвісках, тому переміщення захоплювального пристрою з виробами обмежене, хоча довжина підвіски під час піднімання/опускання виробів може змінюватися у декілька разів.

У двомасовій чи багатомасовій системах визначальним параметром є величина жорсткості. Вона має вплив на амплітуду коливальних процесів й одночасно на частоту власних коливань. Через це розрізняються високочастотні і низькочастотні системи. Але в теорії коливальних процесів таке розділення є достатньо умовним: якщо період власних коливань суттєво менший ніж період зміни зовнішніх збурень, то систему вважають високочастотною, і навпаки. З точки зору інтересів моделювання перевагою низькочастотної системи є визначення сил рушійних та сил опору на деяких ділянках руху сталими величинами. Також низькочастотні системи вважають такими, в яких відбувається повільне затухання коливань [39].

Також підкреслимо, що врахування зміни приведеної жорсткості при навантаженні призводить до зміни частоти власних коливань. Наприклад, для зменшення ударних навантажень у дво- або багатомасових моделях, жорсткість варто зменшувати. Нагадаємо, що ударне навантаження – це силова взаємодія, при якій ведуча маса (або декілька ведучих мас) має постійну швидкість руху. Але зменшення жорсткості призводить до зниження частоти власних коливань і тоді необхідно забез-

печити їх примусове припинення. Досягти це можливо завдяки включенню у систему зв'язків спеціальних демпферів, розташованих між веденою та ведучою масами, і які забезпечують розсіювання енергії коливальних процесів.

Врахування зміни приведеної жорсткості за рахунок зміни довжини зв'язків призводить до того, що з'являються певні особливості змінени рівнянь руху.

1.4. Результати і висновки по розділу 1

Проведені аналіз і огляд сучасних видів обладнання транспортно-технологічних систем харчових виробництв, технологій організації внутрішніх та зовнішніх вантажних і енергетичних потоків, методів моделювання динаміки машин та механізмів, розгляд робочих процесів, що протікають в системах, дають можливість викласти такі висновки.

1. Транспортно-технологічні системи сучасних виробництв не можна вважати оптимальними за показникам комплектації, організації, вибору типорозмірів збільшених вантажних одиниць, і це негативно позначається на продуктивності, економічній ефективності та конкурентоздатності виробництва продукції в цілому.

2. Існуючі на сьогодні обладнання і технології пакет-піддонних перевезень склотарних виробів дозволяють механізувати різні види НРТС робіт, однак вони не забезпечують можливості машинного розформування контейнерів та піддонів. Розв'язання цього завдання лежить на шляху відмови від технології перевезень групових упаковок, а також забезпечення точного початкового позиціонування виробів під час завантаження/розвантаження.

3. Подальший розвиток зовнішніх товарно-виробничих потоків на пряму залежить на шляху використання збільшених вантажних одиниць.

4. Для інтенсифікації виробничих процесів важливу роль отримують пристрої для формування/розформування масивів пляшок, їх позиціонування та переорієнтації.

5. Сучасна теоретична база описування перехідних процесів, що протікають при багат шаровому вкладанні масивів пляшок, але треба звернути увагу на незавершеність її положень стосовно математичного описування процесів безударного вкла-

дання/виймання виробів та неврахування нелінійних підвісок вантажів.

1.5. Постановка завдань дослідження

Проведений огляд літературних джерел інформації, різноманітних рекламних матеріалів, проспектів фірм-виробників обладнання, аналіз накопиченого промислового досвіду, дозволяють сформулювати завдання даного проєкту.

1. Створити методику розрахунків для визначення динамічних параметрів систем для формування/розформування пакет-піддонів застосовуючи поетапний опису робочих процесів; оптимізувати їх вибравши за оптимізаційних елемент силову дію на вантаж.

2. Розробити математичну модель процесу безударного вкладання пляшок у тару-обладнання використавши лінійну систему підвіски захоплювальної головки.

3. На основі проведених теоретичних досліджень створити передумови для розробки конструкторської документації пристрою безударного вкладання/виймання виробів на приймальну площадку.

Розділ 2

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ОПУСКНОГО РУХУ ВАНТАЖІВ В ОБЛАДНАННІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ГРУПОВОЇ УПАКОВКИ

2.1. Дослідження динаміки систем з постійною жорсткістю

В багатьох випадках привод захоплювальної головки обладнання для формування групових упаковок (вкладання в ящики) виконують застосовуючи пружну підвіску, яка є складовим елементом конструкції або спеціальним пружним елементом.

Фізичну модель приводять до двомасової або багатомасової системи, що вимагають особливості певних конструктивних вимог.

Вважатимемо, що закон руху ведучої маси m_1 наперед відомий, а пружний елемент з жорсткістю C_{12} на початок руху веденої маси m_2 навантажено вагою m_2g . Нехай масу m_2 складає маса захоплювальної головки та маса вантажу, причому технологічний зазор δ у процесі вкладання має бути перекритим (рис. 2.1).

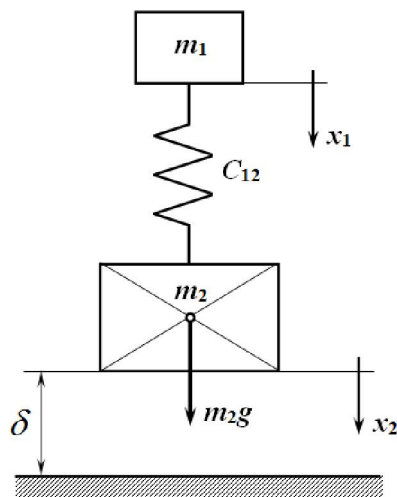


Рис. 2.1. Еквівалентна схема механізму

Проведемо дослідження зображеного технологічного процесу. Припустимо, що жорсткість підвіски C_{12} – стала. Через зміну навантажень у системі підвіски при перехідному процесі виникають коливальні процеси, які будуть впливати на кіне-

матичні параметри маси m_2 . Обмежені дисипативні можливості системи впливають на швидкість входження в контакт вантажів з прийомною площадкою і буде значно відрізнятись від швидкості руху ведучої маси.

Рівняння руху мас запишемо у загальному вигляді:

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_1(t); \quad (2.1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = m_2 g - C_{12}(x_2 - x_1). \quad (2.2)$$

Якщо прирівняти $x_1 = V_1 t$, і записати початкові умови:

$$t_{\text{п}} = 0; \quad x_{2(\text{п})} = \frac{m_2 g}{C_{12}}; \quad \dot{x}_{2(\text{п})} = 0, \quad (2.3)$$

то отримаємо:

$$x_2 = V_1 t + \frac{g m_2}{C_{12}} - V_1 \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}} \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t; \quad (2.4)$$

$$\dot{x}_2 = V_1 - V_1 \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t; \quad (2.5)$$

$$\ddot{x}_2 = V_1 \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t. \quad (2.6)$$

З виразу (2.5) видно, що швидкість руху веденої маси m_2 може вдвічі перевищувати швидкість V_1 руху ведучої маси або дорівнювати нулю за певних значень часу t .

Так як метою дослідження є оптимізація системи по швидкості входження в контакт пляшок з прийомною площадкою, то треба досягти виконання рівності швидкостей $\dot{x}_{2(\kappa)} = \dot{x}_{2\text{min}}$ на момент вибору технологічного зазору $x_2 = \delta$. Екстремуми функції (2.5) знайдемо з виразу (2.6):

$$V_1 \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t = 0. \quad (2.7)$$

Умова (2.7) виконається, коли маємо:

$$t = 0; \quad 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}}; \quad 4\pi \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}} \dots$$

Тобто, найменше значення t_{\min} дорівнює:

$$t_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}} . \quad (2.8)$$

Підстановкою значення t_{\min} у вираз (2.4) отримаємо:

$$x_2 = \delta + \frac{m_2 g}{C_{12}} = V_1 t_{\min} + \frac{m_2 g}{C_{12}} - V_1 \sqrt{\frac{m_2}{C_{12}}} \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t_{\min} . \quad (2.9)$$

Аналізуючи вираз (2.9) бачимо, що за інших рівних умов співвідношення параметрів δ та C_{12} забезпечить оптимізацію системи. Результати розрахунків при $m_2=200$ кг зведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Результати розрахунків по визначенню величин зазорів

C_{12} , Н	t_{\min}	Зазор δ , м				
		швидкість ведучої маси, м/с				
		0,051	0,11	0,16	0,21	0,26
20000	1,98	0,099	0,199	0,297	0,398	0,498
40000	1,41	0,071	0,141	0,212	0,282	0,352
60000	1,16	0,058	0,116	0,173	0,228	0,288
80000	0,994	0,052	0,099	0,148	0,198	0,249
100000	0,889	0,045	0,089	0,134	0,177	0,223

З конструктивних міркувань задамо якесь певне значення зазору δ , тоді йому відповідатиме певне значення жорсткості C_{12} . При цьому маємо на увазі, що вказана величина C_{12} є величиною приведеною, але, найчастіше, вона виступає жорсткістю самої підвіски. Встановивши у підвіску послідовно з тросом або ланцюгом додатковий пружний елемент (рис. 2.2), будемо мати:

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} , \quad (2.10)$$

де C_1 – величина жорсткості тросу або ланцюга у підвісці головки; C_2 – величина жорсткості пружного елемента.

2.2. Дослідження динаміки систем зі змінною жорсткістю

Жорсткість C_2 на всіх етапах навантаження підвіски залишається сталою, але

жорсткість C_1 під час опускання захоплювальної пристрою з пляшками змінюється. Коли ж пружний елемент у системі відсутній, то $C_{12}=C_1$, тоді зміна величини C_{12} протягом взаємодії буде достатньо відчутною.

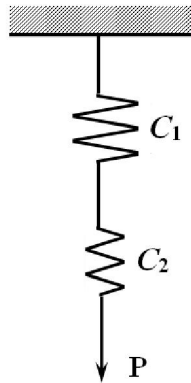


Рис. 2.2. Схема для визначення приведеної жорсткості підвіски

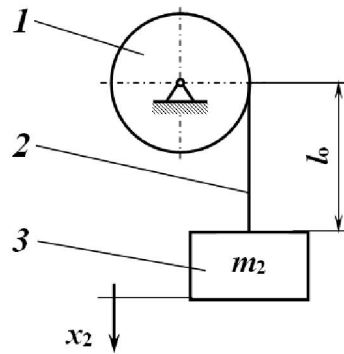


Рис. 2.3. Розрахункова схема до визначення змінного значення C_{12}

Розглянемо детальніше випадок, розрахункова схема якого наведена на рис. 2.3. На рисунку показано барабан 1, трос 2 та захоплювальна головка з вантажем 3. Припустимо, що початковому положенню системи відповідає довжина троса l_0 . Жорсткість троса визначимо з виразу:

$$C_1 = \frac{EF}{l}, \quad (2.11)$$

тут E – модуль пружності матеріалу, з якого виготовлено трос, Па; F – приведена площа поперечного перерізу троса, m^2 ; l – довжина троса, м.

У випадку опускного руху захоплювальної головки довжина троса складе:

$$l=l_0+x_2; \quad (2.12)$$

$$C_1=\frac{EF}{l_0+x_2}=C_{12}. \quad (2.13)$$

Позначимо $EF=C_{\Pi}$, тоді

$$C_{12}=\frac{C_{\Pi}}{l_0+x_2}.$$

Повернувшись до рівнянь руху у цьому випадку запишемо:

$$\begin{aligned} x_1 &= V_1 t; \\ m_2 \ddot{x}_2 &= m_2 g - C_{12}(x_2 - x_1) = m_2 g - \frac{C_{\Pi}}{l_0 + x_2}(x_2 - x_1). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Здійснивши підстановку x_1 , виконаємо перетворення:

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{x}_2 &= m_2 g - \frac{C_{\Pi}}{l_0 + x_2}(x_2 - V_1 t); \\ \ddot{x}_2 &= g - \frac{x_2 C_{\Pi}}{m_2(l_0 + x_2)} + \frac{C_{\Pi} V_1 t}{m_2(l_0 + x_2)}. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Отримане рівняння руху – нелінійне; здійснимо його аналіз застосувавши чисельні методи з наступними значеннями параметрів:

$$m_2 = 200 \text{ кг}; \quad V_1 = 0,2 \text{ м/с}; \quad l_0 = 0,3 \text{ м}; \quad g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Оцінимо вплив величини C_{Π} , змінюючи її в запропонованому діапазоні:

$$C_{\Pi} = 6000; 20000; 30000; 100000; 300000 \text{ Н}.$$

Підставляючи останні значення одержуємо рівняння руху:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{6000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{6000 \cdot 0,2 \cdot t}{200(0,3+x_2)} = 9,81 - \frac{30x_2}{0,3+x_2} + \frac{6t}{0,3+x_2}; \quad (2.16)$$

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{20000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{20000 \cdot 0,2 \cdot t}{200(0,3+x_2)} = 9,81 - \frac{100x_2}{0,3+x_2} + \frac{20t}{0,3+x_2}; \quad (2.17)$$

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{30000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{30000 \cdot 0,2 \cdot t}{200(0,3+x_2)} = 9,81 - \frac{150x_2}{0,3+x_2} + \frac{30t}{0,3+x_2}; \quad (2.18)$$

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{100000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{100000 \cdot 0,2 \cdot t}{200(0,3+x_2)} = 9,81 - \frac{500x_2}{0,3+x_2} + \frac{100t}{0,3+x_2}; \quad (2.19)$$

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{300000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{300000 \cdot 0,2 \cdot t}{200(0,3+x_2)} = 9,81 - \frac{1500x_2}{0,3+x_2} + \frac{300t}{0,3+x_2}. \quad (2.20)$$

Початкові умови по параметру $\dot{x}_{2(n)}$ для всіх значень C_{Π} будуть однаковими, а координати переміщень $x_{2(n)}$ у кожному випадку необхідно визначати за початкових умов:

$$t_{(n)}=0; \quad x_{2(n)}=\frac{m_2 g}{C_{12(n)}}; \quad \dot{x}_{2(n)}=0.$$

Значення початкової жорсткості $C_{12(n)}$ визначаємо за виразом:

$$C_{12(n)} = \frac{C_{\Pi}}{l_0} = \frac{C_{\Pi}}{0,3}. \quad (2.21)$$

Тоді за вибраних значень C_{Π} матимемо відповідні значення $C_{12(n)}$ та $x_{2(n)}$, які зведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Значення $C_{12(n)}$ та $x_{2(n)}$

	C_{Π}				
	6000	20000	30000	100000	300000
$C_{12(n)}$, Н/м	20000	66668	100000	333334	1000000
$x_{2(n)}$, м	0,0982	0,0295	0,01963	0,005886	0,001963

За цих же вихідних даних проведено розрахунки по визначенню кінематичних параметрів для порівняння випадку з лінійною моделлю (рівняння (2.2)).

Метою цих розрахунків є розрахунок переміщення x_2 , якому відповідає значення швидкості $\dot{x}_2 = 0$. На рисунках 2.4–2.8 наведено результати розрахунків залежностей $x_2 = x_2(t)$ та $\dot{x}_2 = \dot{x}_2(t)$ для лінійних та нелінійних моделей. Результати розрахунків зведено у табл. 2.3.

Нижній рядок цієї таблиці – це різниця $\Delta x_{2(k)}$ між нелінійною та лінійною моделями системи. Як бачимо ця різниця зменшується зі збільшенням C_{Π} і, зрозуміло, що суттєву роль при цьому має значення маси m_2 . До такого висновку приходимо аналізуючи рівняння (2.16)-(2.20).

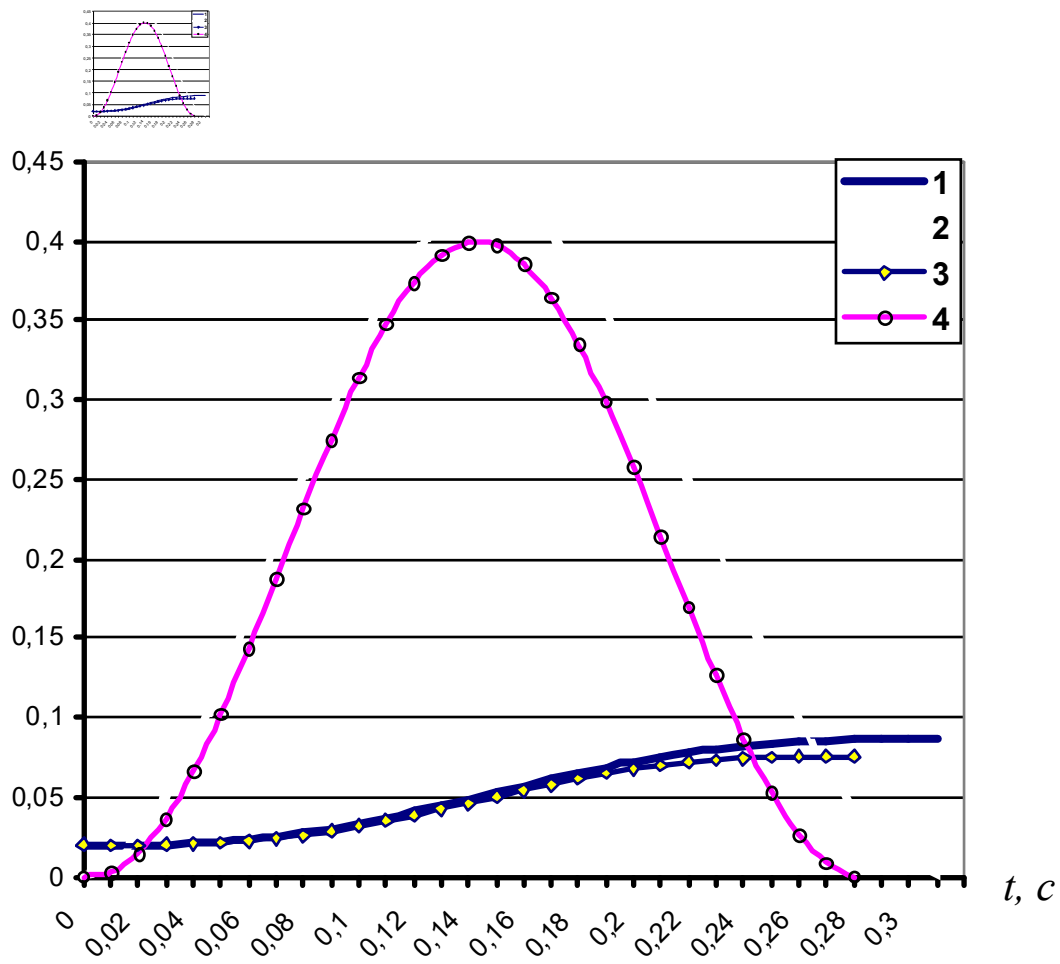


Рис. 2.4. Графіки залежностей швидкостей для нелінійної (2), лінійної (4) моделей, і переміщень (1) і (3) у випадку, коли $C_{II} = 300000$ Н; $m_2 = 200$ кг; $V_1 = 0,2$ м/с; $l_0 = 0,3$ м

$x_2, \text{ м}$
 $\dot{x}_2, \text{ м/с}$

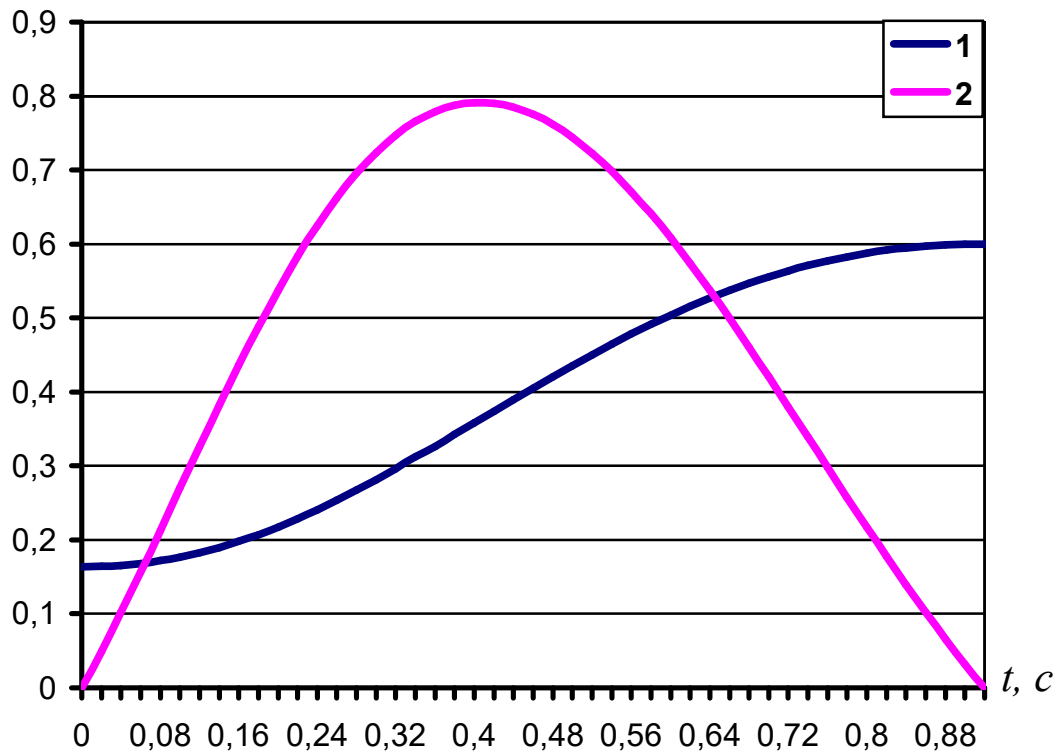


Рис. 2.5. Графічна залежність переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 у випадку нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами та з величинами жорсткості $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{II} = 6000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$.

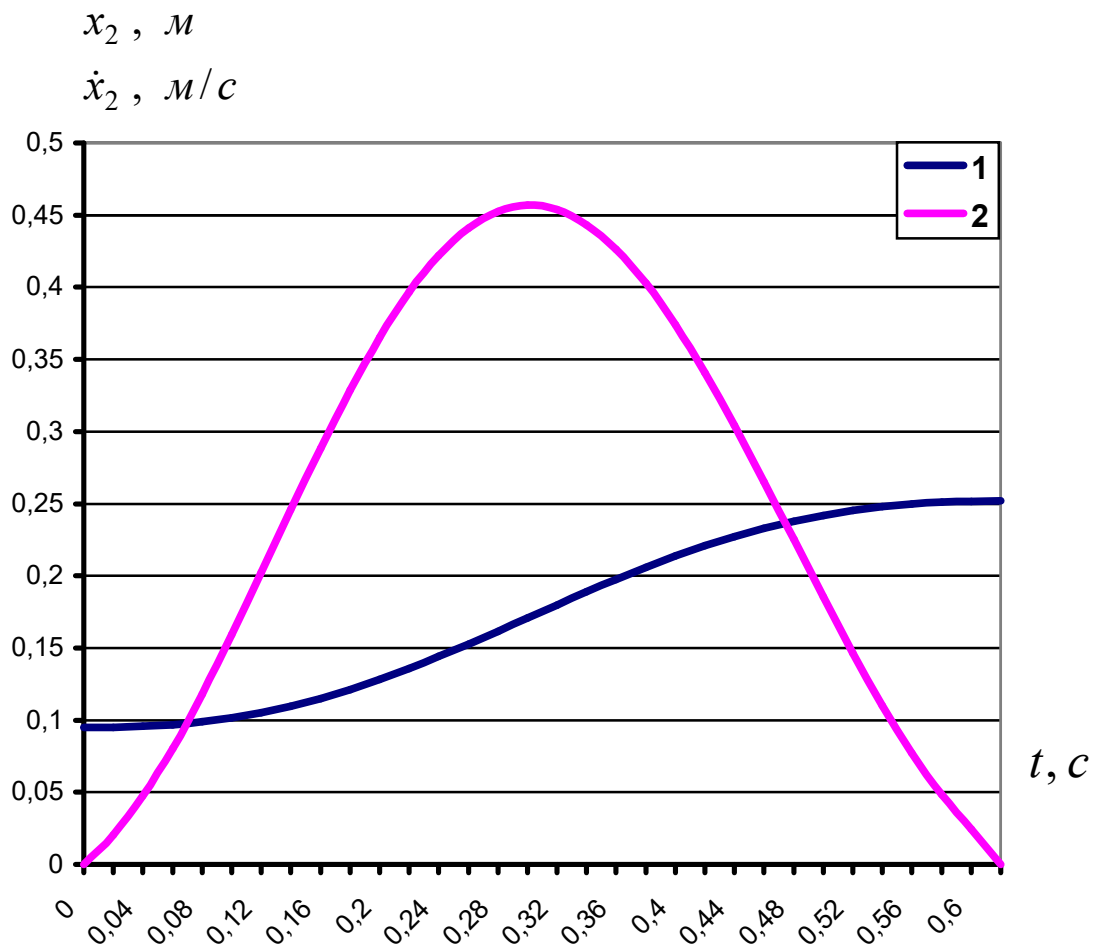


Рис. 2.6. Графічні залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 від часу у випадку нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами та з величинами: $C_2 = 30000$ Н/м; $C_{II} = 20000$ Н; $V_1 = 0,2$ м/с; $m_2 = 200$ кг; $l_0 = 0,3$ м

$x_2, \text{ м}$
 $\dot{x}_2, \text{ м/с}$

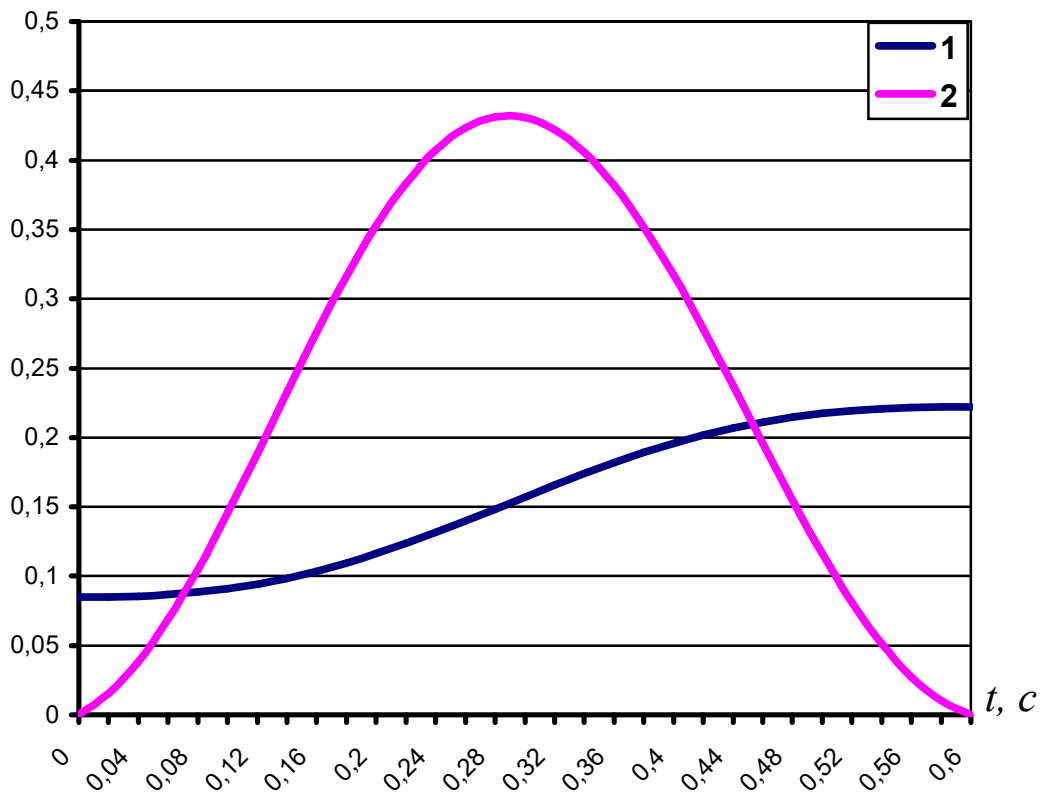


Рис. 2.7. Графічні залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 для випадку нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами та з величинами: $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{II} = 30000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$

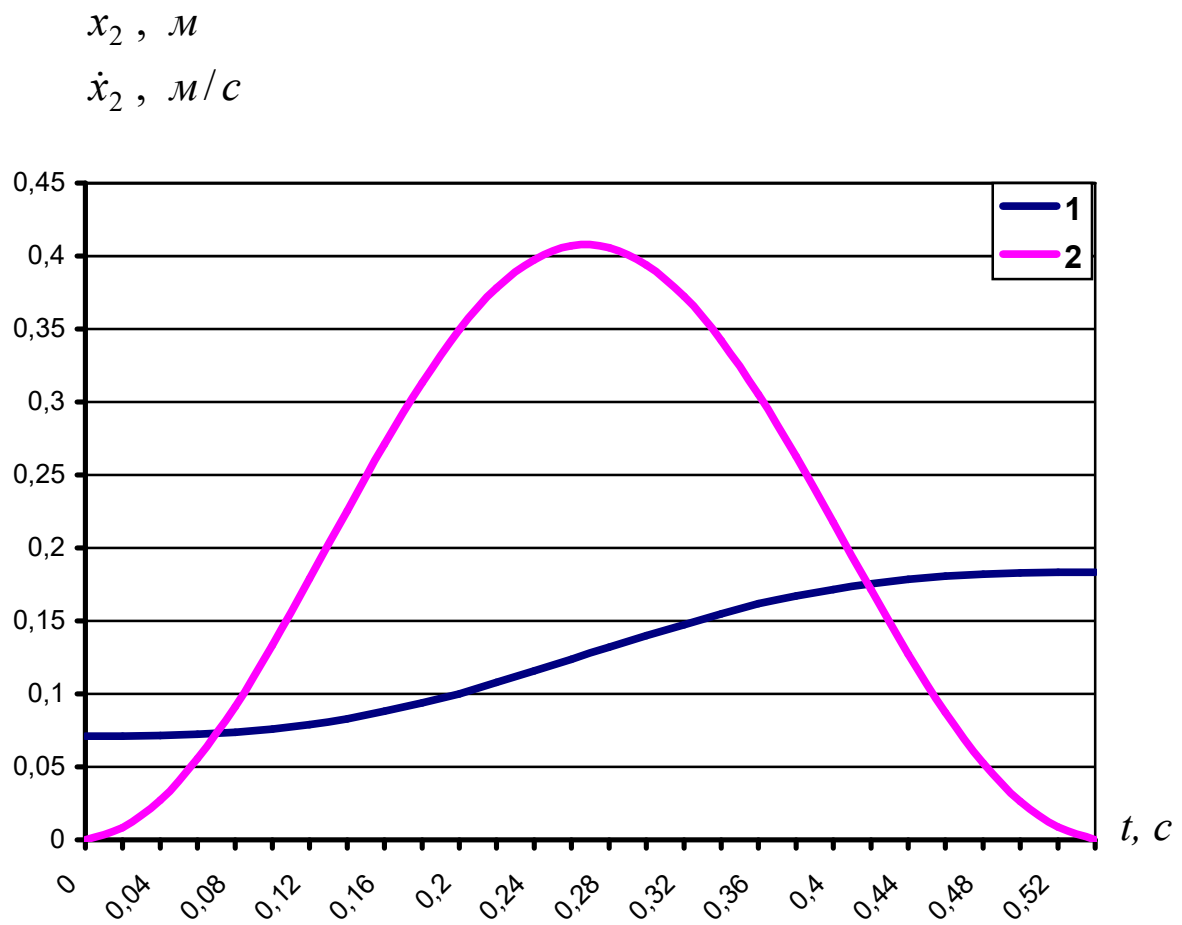


Рис. 2.8. Графічні залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 у випадку нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами та з величинами: $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{II} = 100000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$

Таблиця 2.3. Результати розрахунків кінцевих параметрів

C _П , Н	6000		20000		30000		100000		300000	
	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель
t _(к) , с	0,78	0,629	0,39	0,35	0,31	0,29	0,164	0,154	0,09	0,09
x _{2(к)} , м	0,425	0,224	0,119	0,0983	0,087	0,0758	0,0387	0,0367	0,0202	0,0197
ẋ _{2(к)} , м/с	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δx _{2(к)}	0,201		0,0207		0,0112		0,002		0,0005	

Для доведення цього твердження розв'яжемо рівняння руху для наступних даних C_П = 300000, m₂ = 2000 кг та інших рівних умов, тоді отримаємо для нелінійних моделей:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{300000x_2}{2000(0,3+x_2)} + \frac{300000 \cdot 0,2t}{2000(0,3+x_2)} = 9,81 - 150 \frac{x_2}{0,3+x_2} + \frac{30t}{0,3+x_2}, \quad (2.22)$$

і для лінійних:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - 500x_2 + 100t. \quad (2.23)$$

Рівняння розв'язуємо за наступних початкових умов:

$$t_{(п)} = 0 \text{ с}; \quad x_{2(п)} = 0,01962 \text{ м}; \quad \dot{x}_{2(п)} = 0. \quad (2.24)$$

і отримуємо для нелінійної моделі:

$$t_{(к)} = 0,3099 \text{ с}; \quad x_{2(к)} = 0,087 \text{ м}; \quad \dot{x}_{2(к)} = 0,$$

і для лінійної:

$$t_{(к)} = 0,285 \text{ с}; \quad x_{2(к)} = 0,0758 \text{ м}; \quad \dot{x}_{2(к)} = 0.$$

Різниця величин переміщень складе:

$$\Delta x_{2(k)} = 0,087 - 0,0758 = 0,011 \text{ м.}$$

Одержаний результат (рис. 2.9) максимально близький до випадку, коли $C_{\Pi} = 30000 \text{ Н}$, що є підтвердженням співпадіння коефіцієнтів з рівнянь (2.18) і (2.22). Цей висновок підтверджує і та обставина, що збільшення маси величини m_2 (за інших рівних умов) зменшує частоту власних коливань, що наближує систему до низькочастотної. Але для низькочастотної системи похибки лінійної і нелінійної моделей зростають. Оскільки нелінійна модель більш точно відображає фізичну суть явищ, то в таких розрахунках вона повинна бути пріоритетною. Це тим більш доцільно, що навіть системи з жорсткими підвісками за рахунок великих мас можуть перетворюватись в низькочастотні.

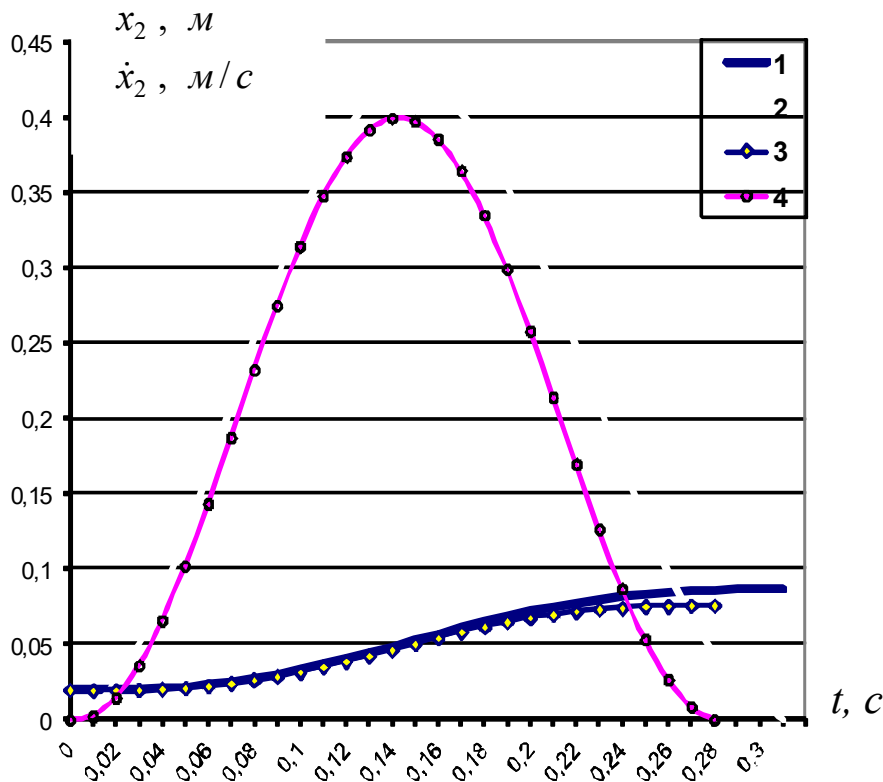


Рис. 2.9. Графічні залежності швидкості для нелінійної (2), лінійної (4) системи та переміщення (1) і (3) від часу при значенні величин: $C_{\Pi} = 300000 \text{ Н}$; $m_2 = 2000 \text{ кг}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$.

Зупинимось далі на оцінках значень максимальних швидкостей $\dot{x}_{2\max}$, порівнявши лінійну і нелінійну моделі. Отримані результати зведемо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Результати значень кінематичних параметрів

C _П , Н	60000		20000		30000		100000		300000	
	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель	Нелінійна модель	Лінійна модель
$\dot{x}_{2\max}$, м/с	0,711	0,4	0,44	0,4	0,425	0,4	0,4015	0,4	0,401	0,4
$\Delta \dot{x}_{2\max}$	0,312		0,041		0,026		0,0016		0,002	

З таблиці видно, що лінійна модель за будь-якого співвідношення параметрів має максимальну швидкість $\dot{x}_{2\max}$, яка дорівнює подвоєній швидкості руху ведучої маси V_1 . Для лінійних моделей маємо результат, відповідно з яким $\dot{x}_{2\max}$ залежить від частоти власних коливань даної системи. Доцільність використання нелінійної моделі підтверджує останній висновок.

Але збільшення частоти власних коливань системи відчутно зменшує різницю швидкостей лінійної і нелінійної систем (рис. 2.8 та 2.9).

2.3. Дослідження динаміки опускного руху підвіски укладальної головки за умови додаткового пружного елемента в ній

Позначимо додатковий пружний елемент системи підвіски жорсткістю C_2 (рис. 2.2), а жорсткість C_1 змінюється відповідно залежності:

$$C_1 = \frac{C_{\text{П}}}{l_0 + x_2}. \quad (2.25)$$

Тоді приведену жорсткість C_{12} знайдемо за виразом:

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{C_{\text{П}}}{l_0 + x_2}} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_{\text{П}} C_2}{C_2(l_0 + x_2) + C_{\text{П}}}. \quad (2.26)$$

Тоді рівняння руху мас матимуть вид:

$$x_1 = x_1(t);$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = m_2 g - \frac{C_{\Pi} C_2}{C_2(l_0 + x_2) + C_{\Pi}} (x_2 - x_1). \quad (2.27)$$

При $x_1 = V_1 t$ отримаємо:

$$m_2 \ddot{x}_2 = m_2 g - \frac{C_{\Pi} C_2 x_2}{C_2(l_0 + x_2) + C_{\Pi}} + \frac{C_{\Pi} C_2 V_1 t}{C_2(l_0 + x_2) + C_{\Pi}}, \quad (2.28)$$

$$\ddot{x}_2 = g - \frac{C_{\Pi} C_2 x_2}{m_2 C_2(l_0 + x_2) + m_2 C_{\Pi}} + \frac{C_{\Pi} C_2 V_1 t}{m_2 C_2(l_0 + x_2) + m_2 C_{\Pi}}. \quad (2.29)$$

При значеннях величин $C_{\Pi} = 6000$ Н; $C_2 = 30000$ Н/м; $m_2 = 200$ кг; $l_0 = 0,3$ м; $V_1 = 0,2$ м/с нелінійне диференціальне рівняння матиме вид:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{180x_2}{3+6x_2} + \frac{36t}{3+6x_2}. \quad (2.30)$$

За інших рівних умов і при $C_{\Pi} = 20000$ Н одержимо:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{600x_2}{5,8+6x_2} + \frac{120t}{5,8+6x_2}. \quad (2.31)$$

Коли $C_{\Pi} = 30000$ Н маємо:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{900x_2}{7,8+6x_2} + \frac{180t}{7,8+6x_2}. \quad (2.32)$$

За $C_{\Pi} = 100000$ Н та інших рівних умов отримаємо:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{3000x_2}{21,8+6x_2} + \frac{600t}{21,8+6x_2}. \quad (2.33)$$

За $C_{\Pi} = 300000$ Н одержуємо рівняння руху:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{0000x_2}{61,8+6x_2} + \frac{1800t}{61,8+6x_2}. \quad (2.34)$$

Розраховані приведені початкові жорсткості та за початкових умов по рівнянням (2.30)-(2.34) зведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Значення приведених початкових жорсткостей та початкових умов

C_{II} , Н/м	6000	20000	30000	100000	300000
$t_{(II)}$, с	0	0	0	0	0
$x_{2(II)}$, м	0,1636	0,0949	0,086	0,072	0,068
$\dot{x}_{2(II)}$, м/с	0	0	0	0	
$C_{12(II)}$	12000	20688	23078	27524	29125

Результати розрахунків вибірково наведено на рис. 2.10-2.14 та в табл.2.6.

Таблиця 2.6. Залежність величин максимальних швидкостей x_{2max} від параметрів системи

	$C_2 = 30000$, Н				
C_{II} , Н	6000	20000	30000	100000	300000
\dot{x}_{2max} , м/с	0,793	0,458	0,433	0,409	0,403

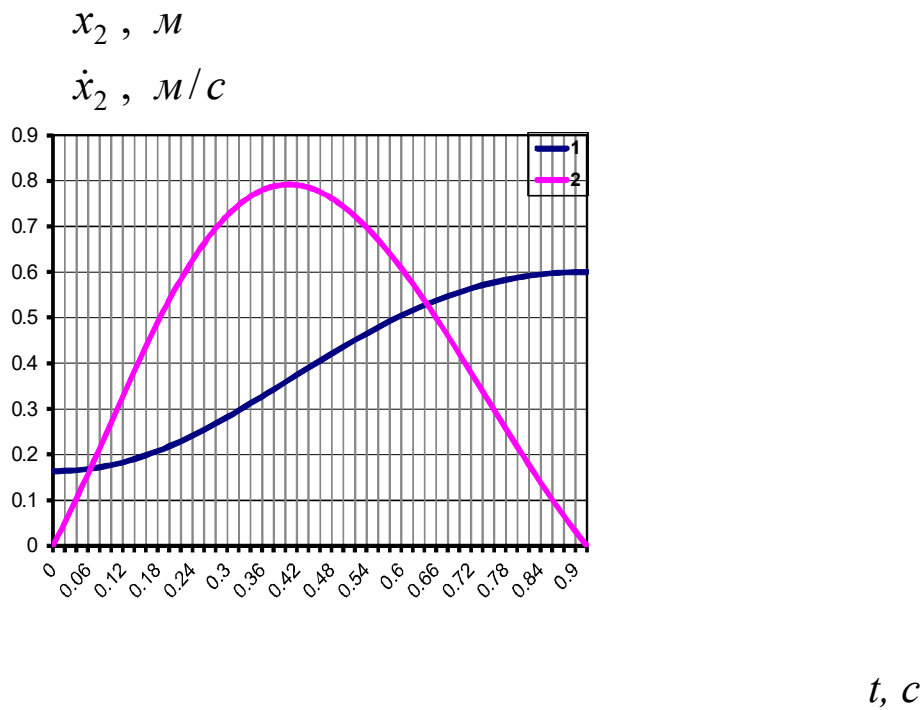


Рис. 2.10. Графічні залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 для нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами і величинами: $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{II} = 6000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$.

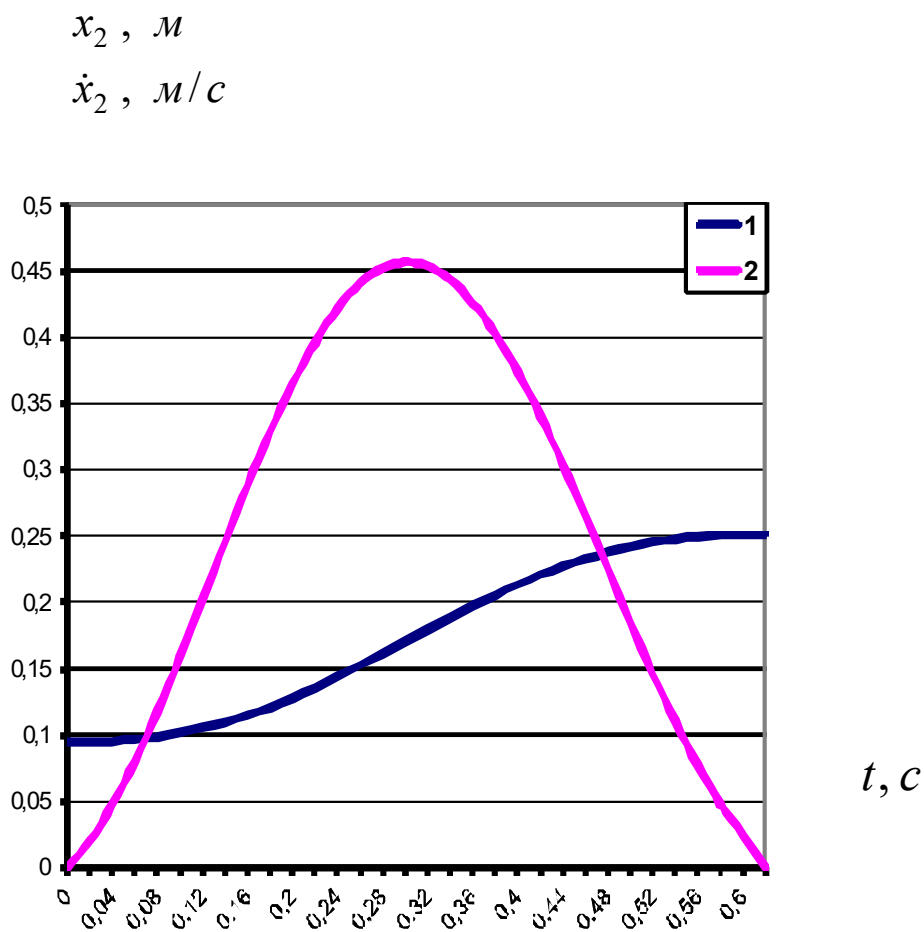


Рис. 2.11. Графіки залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 для нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами і величинами: $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{\Pi} = 20000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$.

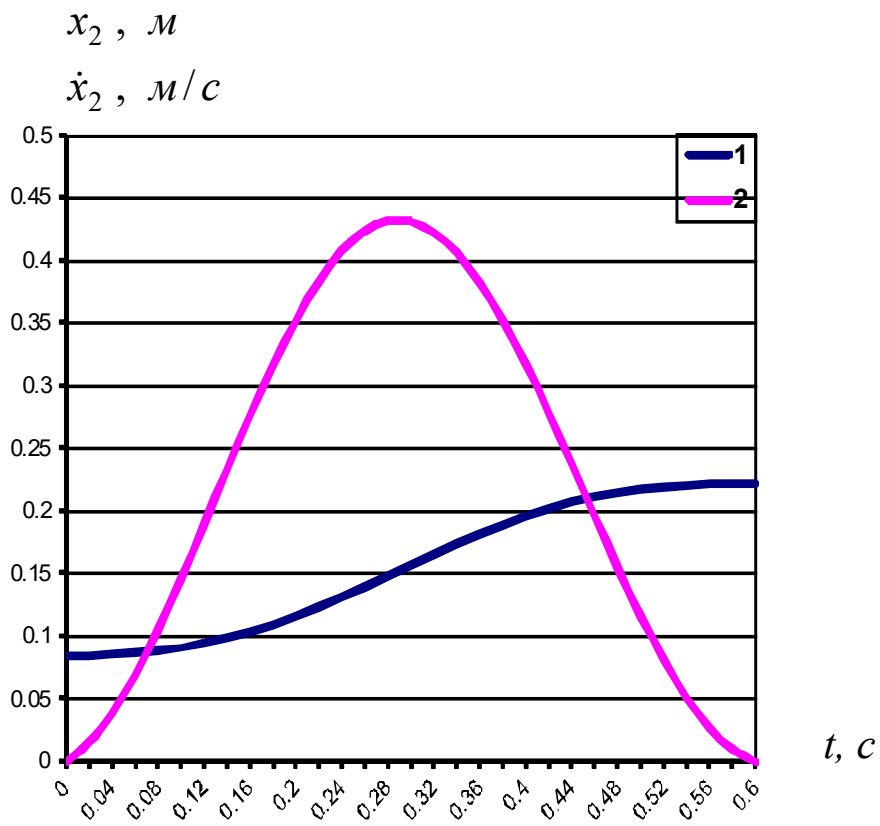


Рис. 2.12. Графіки залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 для нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами і величинами $C_2 = 30000$ Н/м; $C_{II} = 30000$ Н; $V_1 = 0,2$ м/с; $m_2 = 200$ кг; $l_0 = 0,3$ м.

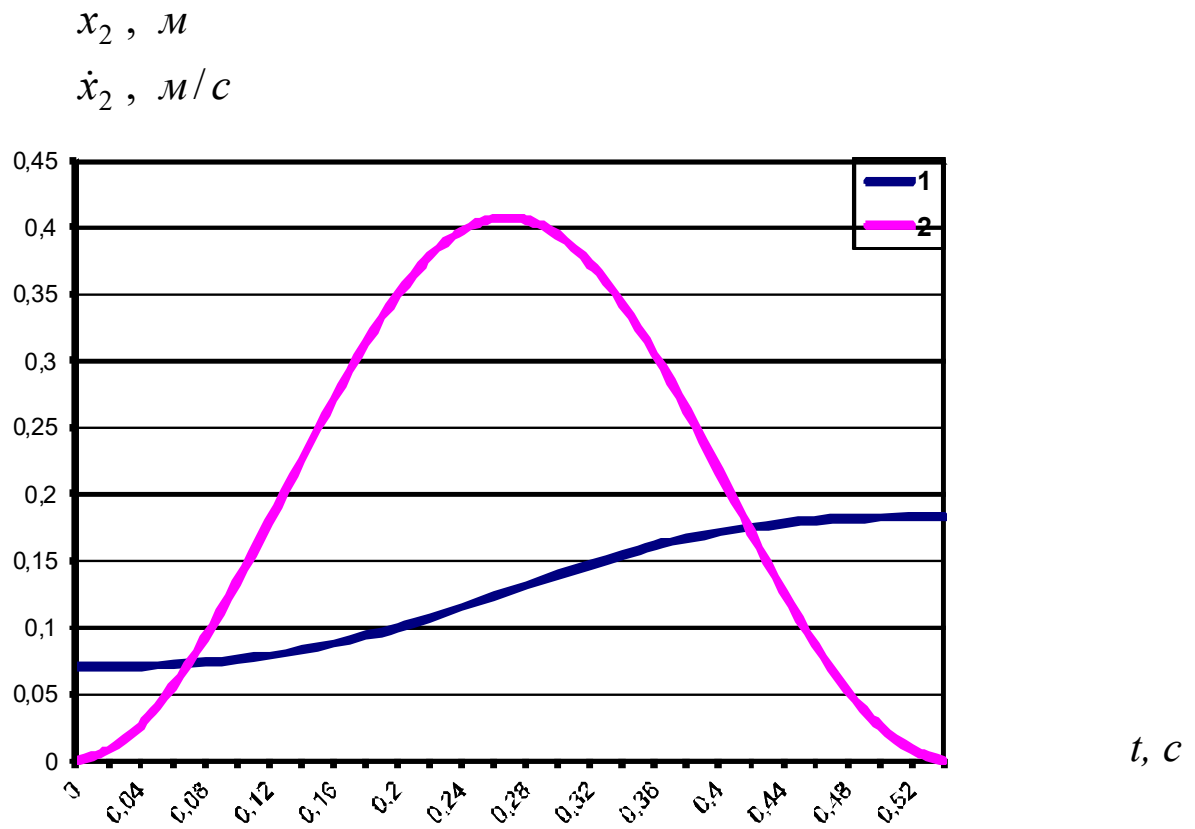


Рис. 2.13. Графіки залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 для нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами і величинами $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{\text{П}} = 100000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$.

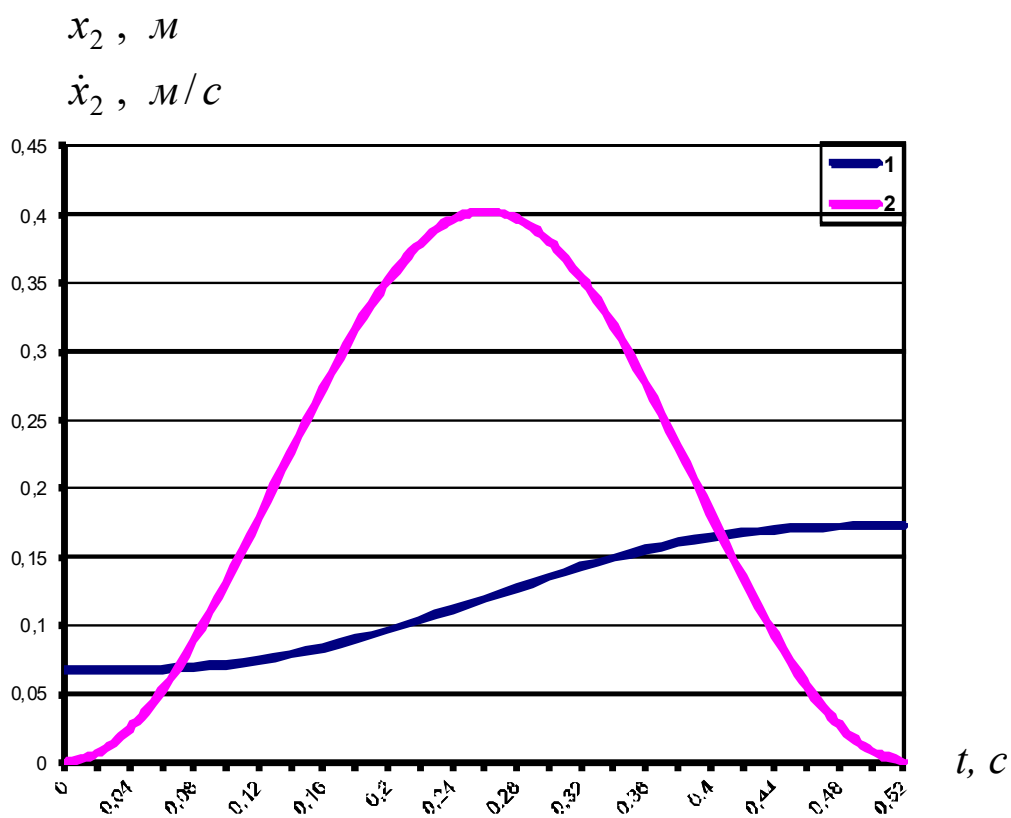


Рис. 2.14. Графіки залежності переміщення (1) та швидкості (2) маси m_2 для нелінійної системи з послідовно встановленими пружними елементами і величинами $C_2 = 30000 \text{ Н/м}$; $C_{II} = 300000 \text{ Н}$; $V_1 = 0,2 \text{ м/с}$; $m_2 = 200 \text{ кг}$; $l_0 = 0,3 \text{ м}$.

Порівнюючи ці дані з результатами розрахунків, представленими у таблиці 2.4 (рис. 2.15) бачимо, що закономірності зниження $\dot{x}_{2\max}$ зі збільшенням C_{Π} зберігаються для обох випадків, але є певна різниця між вказаними параметрами.

Тобто, у випадки, що тут розглядаються, підтверджують відому в теорії коливань залежність частоти вільних коливань нелінійних систем від амплітуди. Так як частота власних коливань системи визначається приведеною жорсткістю, то зведемо дані, які розраховані з формули (2.26), у таблицю 2.7 та рис. 2.16.

Таблиця 2.7. Значення приведеної жорсткості C_{12} системи

C_2 , Н/м	3 0 0 0 0				
C_{Π} , Н	6000	20000	30000	100000	300000
x_2 , м					
0	12000	20688	23078	27524	29127
0,10	10000	18751	21428	26787	28847
0,15	9232	17911	20691	26433	28709
0,20	8572	17144	20000	26088	28572
0,25	8000	16439	19356	25752	28435
0,30	7500	15787	18751	25423	28302

З даних таблиці 2.7 зробимо висновок: збільшенням величини C_{Π} величина приведеної жорсткості C_{12} асимптотично наближається до значення $C_2 = 30000$ Н/м. Зміна C_2 викликає зміну межі величини C_{12} . Тобто і у випадку послідовного з'єднання пружних елементів системи раніше розраховані закономірності продовжують мати місце, тому вибір нелінійної моделі є доцільний.

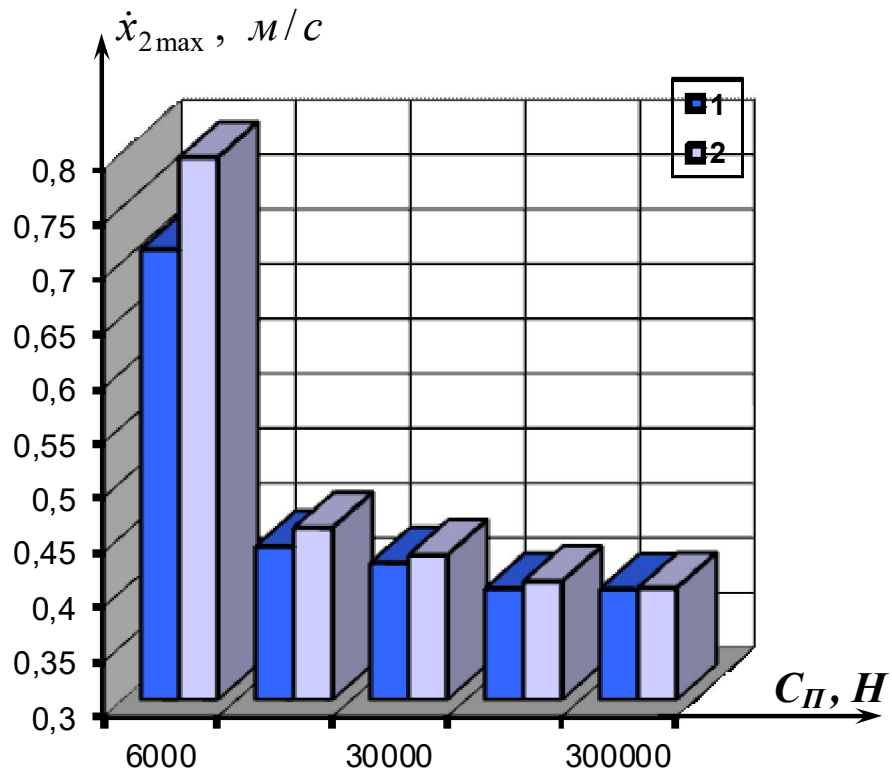


Рис. 2.15. Залежність максимальних швидкостей $\dot{x}_{2\max}$ від значення C_{II} для нелінійних систем (1) і нелінійних систем з послідовним встановленням пружних елементів (2)

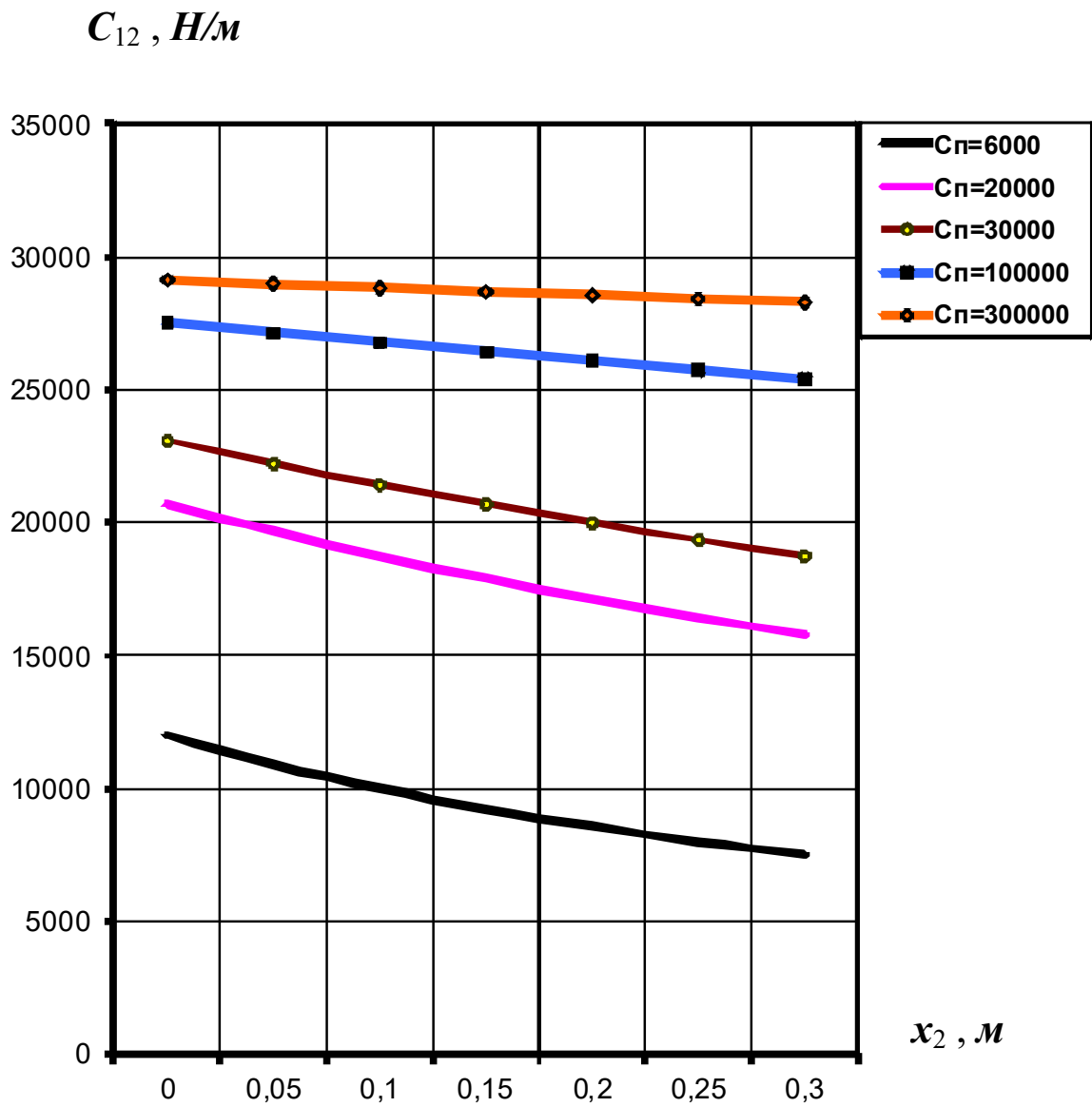


Рис. 2.16. Графічна залежність приведеної жорсткості C_{12} від переміщення x_2

2.4. Динаміка переміщень укладальної головки з косинусоїдальним законом руху ведучої маси

2.4.1. Дослідження динаміки лінійних систем

Косинусоїдальний закон руху вхідної ланки можливо реалізувати досить простими засобами (рис. 2.17):

$$x_1 = R(1 - \cos \omega t), \quad (2.35)$$

де R – радіус встановлення тяги/троса підвіски; ω – кутова швидкість елемента тяги ланцюгового контуру.

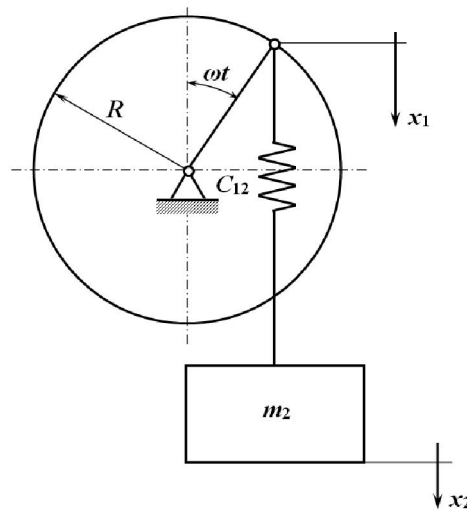


Рис. 2.17. Розрахункова схема до випадку з косинусоїдальним законом руху ведучої маси

Для лінійної системи рівняння руху записуємо:

$$\begin{aligned} x_1 &= R(1 - \cos \omega t); \\ m_2 \ddot{x}_2 &= m_2 g - C_{12}(x_2 - x_1). \end{aligned} \quad (2.36)$$

При вибраних значеннях початкових умов:

$$t_{(n)} = 0; \quad x_{1(n)} = 0; \quad x_{2(n)} = \frac{m_2 g}{C_{12}}; \quad \dot{x}_{2(n)} = 0 \quad (2.37)$$

маємо рівняння переміщення:

$$x_2 = B_1 \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t + R - \frac{RC_{12} \cos \omega t}{C_{12} - m_2 \omega^2} + \frac{m_2 g}{C_{12}}, \quad (2.38)$$

де

$$B_1 = R \left(\frac{C_{12}}{C_{12} - m_2 \omega^2} - 1 \right). \quad (2.39)$$

$$\dot{x}_2 = R \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} \left(1 - \frac{C_{13}}{C_{12} - m_2 \omega^2} \right) \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t + \frac{R \omega C_{12} \sin \omega t}{C_{12} - m_2 \omega^2}. \quad (2.40)$$

Метою дослідження поставлена мінімізація швидкості контактування пляшок з прийомною площадкою, тоді необхідно знайти час t_{\min} , який буде відповідати поставленому завданню.

Продиференціюємо вираз (2.40) та прирівняємо до 0, тоді знайдемо час t_m , значення якого відповідає екстремумам першорядної функції:

$$\ddot{x}_2 = R \frac{C_{12}}{m_2} \left(1 - \frac{C_{13}}{C_{12} - m_2 \omega^2} \right) \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} t_m + \frac{R \omega^2 C_{12} \cos \omega_m t}{C_{12} - m_2 \omega^2} = 0. \quad (2.41)$$

Для розв'язання рівняння (2.41) застосуємо метод ітерацій. Проте і перебором величини часу в умові (2.40) можемо знайти екстремуми. Перебір проведемо за значень величин:

$$m_2 = 200 \text{ кг}; \quad C_{12} = \frac{C_{\Pi}}{l_0}; \quad l_0 = 0,3 \text{ м}; \quad R = 0,075 \text{ м}; \quad \omega = 2,67 \text{ с}^{-1};$$

$$C_{\Pi} = 6000; \quad 20000; \quad 30000; \quad 100000; \quad 300000 \text{ Н.}$$

Результати розрахунків наведено на рис. 2.18 та в табл. 2.8.

Таблиця 2.8. Значення максимальних швидкостей

	Значення жорсткості C_{Π} , Н				
	6000	20000	30000	100000	300000
$\dot{x}_{2\max}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	0,266	0,235	0,222	0,215	0,207

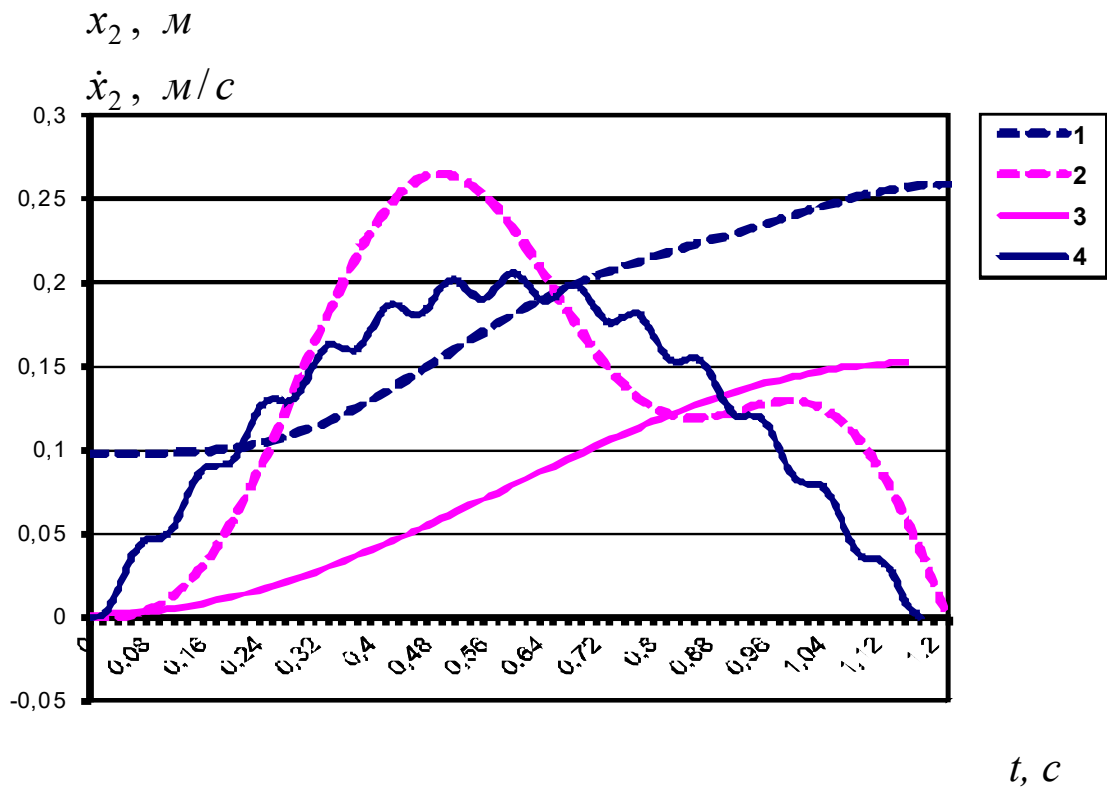


Рис. 2.18. Графічні залежності переміщення (1 та 3) і швидкості (2 та 4) від часу для системи з параметрами $C_{II} = 6000; 300000 \text{ Н}$

Порівнюючи отримані результати з випадком, який відповідає закону переміщення ведучої маси $x_1 = V_1 t$ для лінійної моделі, приходимо до висновку, що за інших рівних умов косинусоїдальний закон руху системи суттєво обмежує швидкість $\dot{x}_{2\max}$. При цьому підкреслимо, що пара значень ω і R вибиралась так, щоб лінійна швидкість точки підвіски дорівнювала б $V_{\text{під}} = \omega R = 0,2 \text{ мс}^{-1}$ і це дає можливість порівняти результати з розглянутим попереднім випадком.

Поряд з цим зрозуміло, що використання розрахованих співвідношень у конструкторській практиці повинно обмежуватися певними моментами, пов'язаними з можливістю застосування косинусоїдальних законів руху. Тобто максимальний кут повороту барабана/зірочки може скласти:

$$\varphi_{\max} = \omega t = \frac{\pi}{2} \quad \text{або} \quad \varphi_{\max} = \omega t = \pi.$$

Тобто в рамках вказаного закону у першому випадку $x_{2\max} = R$, а в другому – $x_{2\max} = 2R$. Бачимо, що за відомого попереднього значення $x_{2\max}$ можна вибрати таке значення радіусу R , щоб отримати задане переміщення маси m_2 для випадку косинусоїдального закону.

Результати проведених розрахунків показують існування коливального процесу і відповідно з рівнянням (2.40) маємо дві гармонічні складові. Частота зовнішніх збуджень – ω , а частота власних коливань – $\sqrt{C_{12}/m_2}$.

Параметри системи обираються за необхідності уникнення резонансних явищ. Для даного випадку цьому відповідає рівняння:

$$C_{12} = m\omega^2. \quad (2.42)$$

Саме за умови (2.42) у другій складовій рівняння (2.40) у знаменнику одержимо 0, тому коливальний процес буде супроводжуватися резонансним явищем.

Враховуючи необхідність обмеження швидкості контактування пляшок з прийомною площадкою відмітимо, що низькочастотна складова досягне нульового значення при рівності:

$$t = \frac{\pi}{\omega},$$

але тут швидкість не дорівнює нулю через високочастотну складову, тому оптимізація не досягнута. Але, оскільки низькочастотна складова амплітуди переважає, то досягнення оптимальної величини часу, як видно з розрахунків, близько до $t = \frac{\pi}{\omega}$ і величина відхилення від цього значення залежить від жорсткості та маси.

Знайдемо критичне значення приведеної жорсткості для нашої системи (тобто значення, яке відповідає умові резонансу):

$$C_{12} = 200 \cdot 2,67^2 = 1425,78 \text{ Н/м}.$$

Найближче значення $C_{12(n)}$ у даному дослідженні склало 20000 Н/м, що у $\frac{20000}{1425,78} \approx 14$ разів більше чим резонансне значення жорсткості і це співвідношення будемо вважати прийнятним.

Зміна жорсткості системи за рахунок подовження елемента підвіски від $l_0 = 0,3$ м до величини $l_0 + x_2 = 0,3 + 0,3 = 0,6$ м також не виводить систему на рівень критичних значень жорсткості. Хоча варто відмітити ще одну обставину, пов'язану з обмеженою кількістю циклів коливальних процесів, яка також діє не на користь виникнення резонансу.

Результати виконаних досліджень у випадку нелінійної моделі дають підстави очікувати, що і у випадку косинусоїдального закону руху ведучої маси зміну приведеної жорсткості C_{12} доцільно враховувати.

2.4.2. Дослідження динаміки нелінійних систем

Нехай, як і в попередньому дослідженні, $C_{12} = \frac{C_{\Pi}}{l_0 + x_2}$. Рівняння руху мас системи тут матиме вигляд:

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

$$m_2 \ddot{x}_2 = m_2 g - \frac{C_{\Pi}}{l_0 + x_2} (x_2 - x_1). \quad (2.43)$$

Перепишемо рівняння (2.43) у придатному для інтегрування вигляді:

$$\ddot{x}_2 = g - \frac{C_{(\Pi)}}{m_2(l_0 + x_2)} x_2 + \frac{C_{(\Pi)} R}{m_2(l_0 + x_2)} (1 - \cos \omega t). \quad (2.44)$$

Початкові умови для записаного виразу наступні:

$$t_{(\Pi)} = 0; \quad x_{2(\Pi)} = \frac{m_2 g}{C_{12(\Pi)}}; \quad \dot{x}_{2(\Pi)} = 0. \quad (2.45)$$

Виконаємо розв'язання та аналіз одержаного нелінійного диференціального рівняння (44) за таких значень величин:

$$m_2 = 200 \text{ кг}; \quad l_0 = 0,3 \text{ м}; \quad R = 0,075 \text{ м}; \quad \omega = 2,67 \text{ с}^{-1}; \quad C_{12(\Pi)} = \frac{C_{\Pi}}{l_0};$$

$$C_{\Pi} = 6000; 20000; 30000; 100000; 300000 \text{ Н}.$$

Після підстановки отриманих даних, запишемо наступні рівняння:

за $C_{\Pi} = 6000 \text{ Н}$:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_2 &= 9,81 - \frac{6000 x_2}{200(0,3 + x_2)} + \frac{6000 \cdot 0,075}{200(0,3 + x_2)} (1 - \cos 2,67 t) = \\ &= 9,81 - \frac{30 x_2}{0,3 + x_2} + \frac{2,25}{0,3 + x_2} (1 - \cos 2,67 t). \end{aligned} \quad (2.46)$$

Початкові умови: $t_{(\Pi)} = 0$; $x_{2(\Pi)} = 0,0981 \text{ м}$; $\dot{x}_{2(\Pi)} = 0$.

Для випадку $C_{\Pi} = 20000 \text{ Н}$ одержуємо

$$\begin{aligned} \ddot{x}_2 &= 9,81 - \frac{20000 x_2}{200(0,3 + x_2)} + \frac{20000 \cdot 0,075}{200(0,3 + x_2)} (1 - \cos 2,67 t) = \\ &= 9,81 - \frac{100 x_2}{0,3 + x_2} + \frac{7,5}{0,3 + x_2} (1 - \cos 2,67 t). \end{aligned} \quad (2.47)$$

Початкові умови: $t_{(\Pi)} = 0$; $x_{2(\Pi)} = 0,0294 \text{ м}$; $\dot{x}_{2(\Pi)} = 0$.

Аналогічно, при $C_{\Pi} = 30000 \text{ Н}$ маємо

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{30000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{30000 \cdot 0,075}{200(0,3+x_2)}(1 - \cos 2,67t) =$$

$$= 9,81 - \frac{150x_2}{0,3+x_2} + \frac{11,25}{0,3+x_2}(1 - \cos 2,67t). \quad (2.48)$$

Початкові умови: $t_{(п)} = 0$; $x_{2(п)} = 0,01962\text{м}$; $\dot{x}_{2(п)} = 0$.

При $C_{П} = 100000 \text{ Н}$ одержуємо:

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{100000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{100000 \cdot 0,075}{200(0,3+x_2)}(1 - \cos 2,67t) =$$

$$= 9,81 - \frac{500x_2}{0,3+x_2} + \frac{37,5}{0,3+x_2}(1 - \cos 2,67t). \quad (2.49)$$

Початкові умови: $t_{(п)} = 0$; $x_{2(п)} = 0,0059\text{м}$; $\dot{x}_{2(п)} = 0$.

Для випадку $C_{П} = 300000 \text{ Н}$ маємо

$$\ddot{x}_2 = 9,81 - \frac{300000x_2}{200(0,3+x_2)} + \frac{300000 \cdot 0,075}{200(0,3+x_2)}(1 - \cos 2,67t) =$$

$$= 9,81 - \frac{1500x_2}{0,3+x_2} + \frac{112,5}{0,3+x_2}(1 - \cos 2,67t). \quad (2.50)$$

Початкові умови: $t_{(п)} = 0$; $x_{2(п)} = 0,001962\text{м}$; $\dot{x}_{2(п)} = 0$.

Результати розрахунків по записаним рівнянням (2.46)-(2.50) наведені в табл.

2.9.

Таблиця 2.9. Максимальні швидкості переміщення маси m_2 та $x_{2(к)}$ при умові $\dot{x}_{2(к)} = 0$

	Питома жорсткість $C_{П}$, Н				
	6000	20000	30000	100000	300000
$\dot{x}_{2\text{max}}$, М/с	0,415	0,239	0,218	0,214	0,206
$x_{2(к)}$, М	1,37	1,16	1,19	1,18	1,18

Результати проведених розрахунків підтверджують доцільність використання нелінійної моделі і для цього випадку, особливо для системи з обмеженою жорсткістю $C_{П}$, оскільки вона наблизить реалізацію безударного вкладання пляшок.

Розділ 3.

Експериментальні дослідження

3.1. Методика проведення та обробки багатофакторного експерименту

Для описання досліджуваного процесу використовується поняття математичної моделі. *Математична модель* – це співвідношення між величинами, що характеризують процеси, явища чи будь-які об'єкти.

Використовуючи відомі закони природи, аналізуючи енергетичні або матеріальні баланси складається *теоретична математична модель* у вигляді інтегральних, диференціальних, алгебраїчних рівнянь чи їх систем. Математична модель, побудована методом ідентифікації, при якому основні залежності отримані шляхом безпосередніх вимірів, називається *емпіричною математичною моделлю*. Принциповою відмінністю емпіричної моделі є те, що її параметри розраховуються експериментальними методами, тобто, є випадковими величинами. Тому при аналізі таких моделей використовують теорію імовірності і математичної статистики.

Мета даних методичних вказівок – вибрати шлях у постановці, виконанні експериментальних досліджень і опрацюванні експериментальних даних для отримання емпіричної математичної моделі.

Експериментом називається послідовність заздалегідь спланованих дій для отримання величин-результатів експерименту.

Планування експерименту – вибір кількості та умов проведення дослідів, які необхідні для розв'язання задачі досліджень з певною точністю.

Складають план експерименту для вирішення наступних задач: пошук оптимальних умові процесу або системи, виведення інтерполяційних формул, вибір впливових на процес факторів, визначення або уточнення констант теоретичної математичної моделі, наприклад, коефіцієнтів тертя, відновлення тощо.

У теорії експерименту вхідні параметри називаються *факторами*, а вихідні – *відгуком*.

Розрізняють пасивний і активний експерименти. *Пасивний експеримент* – це традиційний метод дослідження, під час його проведення вхідні параметри не змінюються, тільки реєструються вхідні і вихідні параметри. Прикладом пасивного експерименту є збирання статистичних даних під час нормальної експлуатації промислового виробництва. Для отримання емпіричної математичної моделі дані опрацьовують методами класичного регресійного і кореляційного аналізу.

Активний експеримент зазвичай проводять за заздалегідь складеним планом, проводиться одночасна зміна всіх впливових на процес параметрів, і це дає змогу віднайти силу взаємодії між факторами зі скороченням загальної кількості дослідів. В результаті активного експерименту отримують рівняння регресії з розміром впливу кожного фактора на вихідний параметр.

Коли при проведенні експерименту змінюється тільки одна вхідна величина і реєструється її відгук, то експеримент називається *однофакторним*. Відповідно, якщо впливових факторів більше одного, то проводиться *багатофакторний експеримент*.

Здебільшого різні технологічні процеси характеризуються впливом кількох факторів. Якщо кожен фактор має два рівня, то експеримент називають *дворівневим*.

Сучасна теорія багатофакторного активного експерименту дозволяє розв'язати задачу:

- 1) розкриття механізму процесу або явища – побудова в умовах невизначеності математичної емпіричної моделі процесу, яка в кількісній формі показує вплив різних факторів на вихідний параметр;
- 2) оптимізації об'єктів, тобто знаходження сукупності значень параметрів керування процесом, які забезпечують екстремум вихідного параметру;
- 3) виділення з усієї сукупності змінних факторів, які суттєво впливають на вихідний параметр;
- 4) ідентифікації об'єкту – визначення його стану і параметрів його функціонування;
- 5) екстраполяції поведінки об'єкту у часі та просторі.

Перед проведенням експерименту спочатку формулюється мету, обґрунтовується величина, яку приймають за відгук, далі вибирають суттєві незалежні вхідні фактори, які варіюють у процесі експерименту; наступний етап – складання плану проведення дослідів, опрацювання отриманих даних та формулювання результатів. Розглянемо детальніше проведення багатофакторного експерименту стосовно даного дослідження.

3.2. Проведення обчислювального експерименту

Зібраний у попередньому розділі матеріал щодо оцінювання різних факторів впливу на можливість одержання нульових значень швидкості вкладання пляшок, дозволяє зробити висновок про необхідність проведення багатофакторного експерименту, який ставиться як обчислювальний повний факторний.

У табл. 3.1 наведено та фактори нижнього та верхнього рівнів та їх значення.

Таблиця 3.1. Перелік та значення факторів нижнього та верхнього рівнів

Параметр	Одиниця вимірювання	Код	Р і в н і			Інтервал варіювання
			нижній	нульовий	верхній	
C_{II}	Н	z_1	5000	22500	40000	17500
m_2	кг	z_2	100	200	300	100
V_1	м/с	z_3	0,1	0,2	0,3	0,1
l_0	м	z_4	0,3	0,4	0,5	0,1

Складена матриця планування та отримані результати обчислювального експерименту зведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Матриця планування та результати повного факторного експерименту

№ п/п	z_1	z_2	z_3	z_4	z_1z_2	z_1z_3	z_1z_4	z_2z_3	z_2z_4	z_3z_4	$z_1z_2z_3$	$z_1z_3z_4$	$z_2z_3z_4$	$z_1z_2z_4$	$z_1z_2z_3z_4$	b_0	\hat{X}_2	t
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	0,145	0,46
2	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	0,027	0,19
3	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	1,091	1,33
4	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	0,059	0,10

5	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	0,316	0,65
6	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	0,065	0,186
7	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	2,241	2,23
8	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	0,135	0,35
9	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	0,216	0,56
10	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	0,037	0,24
11	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	1,671	1,62
12	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	0,084	0,38
13	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	0,421	0,79
14	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	0,086	0,24
15	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	2,951	2,83
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,178	0,44

3.3. Статистична обробка результатів дослідження нелінійної моделі

Статистична обробка багатofакторного експерименту, виконана за допомогою програмних пакетів дозволила одержати рівняння регресії у вигляді:

$$\begin{aligned}
 x_2 = & 0,607 - 0,524z_1 + 0,444z_2 + 0,192z_3 + 0,098z_4 - 0,413z_1z_2 - 0,159z_1z_3 - \\
 & - 0,085z_1z_4 + 0,139z_2z_3 + 0,072z_2z_4 + 0,012z_3z_4 - 0,123z_1z_2z_3 - \\
 & - 0,008z_1z_3z_4 + 0,007z_2z_3z_4 - 0,067z_1z_2z_4 - 0,005z_1z_2z_3z_4.
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Даний обчислювальний повний факторний експеримент здійснювали за відповідних значень впливових факторів; з масиву розрахункових даних у кожному випадку вибиралися сполучення координати x_2 та відповідне їй значення t , за яких $\dot{x}_2 = 0$.

Як було встановлено вище збільшення жорсткості системи наближує нелінійну модель до лінійної, тому другу серію експериментів здійснили зі значеннями впливових факторів, приведеними у табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Перелік та значення факторів нижнього та верхнього рівнів

Параметр	Одиниця вимірювання	Код	Р і в н і			Інтервал варіювання
			нижній	нульовий	верхній	
C_{Π}	Н	z_1	100000	200000	300000	100000
m_2	кг	z_2	100	200	300	100
V_1	м/с	z_3	0,1	0,2	0,3	0,1
l_0	м	z_4	0,3	0,4	0,5	0,1

Аналогічно наведеній в табл. 3.2 матриці планування отримали наступні

результати, які представлено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Результати обчислювального експерименту

№ п/п	x_2 , м	t, с
1	0,014	0,110
2	0,007	0,060
3	0,028	0,190
4	0,014	0,110
5	0,036	0,110
6	0,020	0,060
7	0,065	0,190
8	0,036	0,110
9	0,020	0,145
10	0,009	0,085
11	0,039	0,240
12	0,019	0,145
13	0,047	0,145
14	0,026	0,085
15	0,088	0,240
16	0,047	0,145

Рівняння регресії отримали провівши математичну обробку результатів обчислювального експерименту:

$$\begin{aligned}
 x_2 = & 0,032 - 0,0099z_1 + 0,0987z_2 + 0,0134z_3 + 0,0047z_4 - 0,003z_1z_2 - \\
 & - 0,0034z_1z_3 - 0,0017z_1z_4 + 0,0036z_2z_3 + 0,0016z_2z_4 + 0,0017z_3z_4 - \\
 & - 0,0011z_1z_2z_3 - 0,0004z_1z_3z_4 + 0,0006z_2z_3z_4 - 0,0006z_1z_2z_4 - \\
 & - 0,0003z_1z_2z_3z_4.
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Вирази (3.1) та (3.2) – це рівняння регресії, але вони записані у кодованому виді. Переводимо їх до некодованого вигляду і для першого випадку маємо:

$$\begin{aligned}
 x_2 = & 0,106 - 2,97 \cdot 10^{-6} C_{\Pi} - 1,34 \cdot 10^{-3} m_2 - 1,696 V_1 - 0,999 l_0 + \\
 & + 3,49 \cdot 10^{-8} C_{\Pi} m_2 + 4,51 \cdot 10^{-5} C_{\Pi} V_1 + 2,57 \cdot 10^{-5} C_{\Pi} l_0 + 2,38 \cdot 10^{-2} m_2 V_1 + \\
 & + 1,31 \cdot 10^{-2} m_2 l_0 - 0,457 V_1 l_0 - 5,88 \cdot 10^{-7} C_{\Pi} m_2 V_1 + 1,14 \cdot 10^{-5} C_{\Pi} V_1 l_0 + \\
 & + 1,34 \cdot 10^{-2} m_2 V_1 l_0 - 3,25 \cdot 10^{-7} C_{\Pi} m_2 l_0 - 2,86 \cdot 10^{-7} C_{\Pi} m_2 V_1 l_0
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

і рівняння регресії для другого випадку –

$$\begin{aligned}
x_2 = & -6,2 \cdot 10^{-3} + 2,1 \cdot 10^{-8} C_{\Pi} + 2,6 \cdot 10^{-5} m_2 + 0,082 V_1 + 0,023 l_0 - \\
& - 8,10 \cdot 10^{-11} C_{\Pi} m_2 - 2 \cdot 10^{-7} C_{\Pi} V_1 - 9,1 \cdot 10^{-8} C_{\Pi} l_0 + 1 \cdot 10^{-4} m_2 V_1 + \\
& + 4 \cdot 10^{-5} m_2 l_0 + 1 \cdot 10^{-2} V_1 l_0 + 1 \cdot 10^{-10} C_{\Pi} m_2 V_1 + 2 \cdot 10^{-7} C_{\Pi} V_1 l_0 + \\
& + 1,2 \cdot 10^{-3} m_2 V_1 l_0 - 3 \cdot 10^{-9} C_{\Pi} m_2 V_1 l_0.
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Отримані за допомогою обчислювального експерименту рівняння регресії у вказаних межах змін впливових на вихідний параметр факторів дають можливість визначити значення технологічного зазору δ через параметр x_2 , і завдяки якому можна оптимізувати систему за параметром швидкості контактування пляшок з опорною прийомною площадкою.

Розділ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТА БЕЗПЕКА ЛЮДЕЙ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Закони України про охорону праці

Державна політика у питаннях охорони праці насамперед керується принципами створення здорових нешкідливих умов праці, а також максимально ліквідувати тяжку фізичну працю запроваджуючи нові інноваційні види техніки і технології. В Україні охорона праці регулюється законом «Про охорону праці» від 14.10.1992, «Кодексом законів про працю України», «Правилами охорони праці в цукровому виробництві», «Законом про пожежну безпеку» від 17.11.1993, а також іншими нормативно-правовими законами актами та правилами.

4.2. Види інструктажів

Відповідно до діючих законодавств України на адміністрацію підприємств та організацій покладається проведення інструктажів з техніки безпеки для всіх працівників даного підприємства. Регулярно проводять наступні інструктаж незалежно від кваліфікації співробітників і стану роботи:

- ввідний інструктаж;
- інструктаж на робочому місці;
- цільовий інструктаж;
- повторний інструктаж;
- позачерговий інструктаж.

Ввідний інструктаж з техніки безпеки проводить інженер з охорони праці з усіма працівниками підприємства.

Перед допуском до самостійної роботи з кожним новоприбулим проводять первинний інструктаж, який проводиться майстром з кожним працівником окремо по кожному виду робіт.

Повторний інструктаж проводиться майстром на робочому місці з встановленою для даного виду робіт періодичністю.

Позаплановий інструктаж проводиться майстром індивідуально у випадках зміни правил охорони праці, технологічного процесу, порушеннях працівниками техніки безпеки.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками перед виконанням робіт, на які оформлюється наряд-допуск, в якому фіксується інструктаж.

4.3. Стан виробничого травматизму на підприємстві

Підприємство на якому встановлена виробнича лінія нараховує робітників. Події, які можуть призвести до травми:

- транспортні пригоди;
- падіння потерпілого, у тому числі — з висоти;
- удари деталями, що рухаються, обертаються;
- ураження електричним струмом;
- стихійне лихо;
- пожежа.

Метою аналізу виробничого травматизму є розроблення заходів до запобігання нещасних випадків на підприємстві. Для цього необхідно систематично аналізувати і узагальнювати їх причини.

Для вивчення виробничого травматизму використовують різні методи. Найпоширеніші і взаємодоповнюючі — статистичний, монографічний, економічний, ергономічний, психофізіологічний.

Організація служби охорони праці на підприємстві.

Так як підприємство має великий склад працівників, то на ньому є інженер з охорони праці, який зобов'язаний слідкувати за належною організацією праці на підприємстві. Його основні обов'язки — проводити інструктажі з охорони праці, слідкувати за дотриманням вимог виробничої санітарії та гігієни праці.

4.4. Фінансування заходів з ОП

Кошти фонду охорони праці на підприємстві формуються за рахунок 0,5% від фонду оплати праці, штрафів, спонсорської допомоги, які витрачаються виключно на заходи по створенню безпечних і здорових умов праці.

4.5. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів при експлуатації обладнання

Відділення, в якому встановлена технологічна лінія розливу, характеризується невеликим виділенням пилю. При підвищенні ГДК пилю (від 4 до 6 мг/м³) це може призвести до професійних захворювань робітників. Для максимально можливого зменшення концентрації пилю в робочих приміщеннях робиться вологе прибирання, а також все обладнання оснащено аспіраційними установками.

Безпека гарантується постійним невеликим розрідженням, яке виключає запилення, або більш високим вакуумом. Пил уловлюється в циклонах, мішкових, воняних, смоляних фільтрах або мокрих пиловловлювачах.

Муфти, шківни, передачі, вали повинні надійно відгороджуватись кожухами, щоб виключити можливість контакту з ним обслуговуючого персоналу.

4.6. Мікроклімат

ГОСТ12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Мікроклімат виробничих приміщень визначається слідуючими факторами: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря. В холодний період року виробничі приміщення обігріваються. Допустимі норми становлять:

- температура повітря – 15...20°C;
- відносна вологість – не більше 75%;
- швидкість руху повітря – не більше 0,4 м/с;
- температура повітря поза постійними робочими місцями– 13...20°C.

Вентиляція. У відділенні передбачено витяжну вентиляцію з механічним збудженням. Вентиляційне обладнання, що розміщується у вибухонебезпечному виконанні. Для повітря, що видаляється системою з приміщення, передбачено влаштування припливної камери. Регулювання подачі повітря здійснюється за допомогою решіток.

4.7. Шум і вібрація

Шум в цеху, де розміщена лінія, створюється у всіх місцях подачі пляшок.

У всіх цехах передбачаються заходи, виконання яких повинно забезпечити на робочому місці та в робочих зонах, у виробничих приміщеннях і на території підприємства рівні звукового тиску, рівні звуку еквівалентних рівнів звуку, що не перевищують допустимих норм.

Перевірка шуму і вібрації на робочих місцях повинна проводитись не рідше 1 разу на рік, також при встановленні нового обладнання чи зміні технологічного процесу.

Допустимий рівень шуму на робочому місці регламентується за ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности». Цей стандарт також встановлює класифікацію шуму, вимоги до шумових характеристик і до захисту від шуму на робочих місцях.

Допустимий рівень шуму для постійних робочих місць і робочих зон у виробничих приміщеннях становить 80дБ.

Найбільш раціональним методом боротьби з шумом є зменшення його в джерелах виникнення:

- по можливості замінюються ударні взаємодії деталей на безударні;
- звукоізоляція огорожувальних конструкцій;
- своєчасна заміна підшипників;
- змазка ударних деталей в'язкими рідинами.

Вібрація буває локальна і загальна. Загальну технологічну вібрацію, що передається на фундамент створює екструзійне обладнання.

ГОСТ 12.1012 – 90.ССТБ. Вибрационная безопасность. Общих требования.

1. Застосування обладнання та інструментів з параметрами вібрації, що не перевищують ГОСТ 12.1.012 – 78.
2. Застосування зниження рівня вібрації, шляхом переводу енергії механічного коливання в інші види енергії.

4.8. Освітлення

Для забезпечення освітленості передбачається природне і штучне освітлення. Освітлення відповідає вимогам СНиП II – 4 -79 і ДСТУ 18.384 – 81. В денний час максимально повинно використовуватись денне світло. Робочі місця, які в денний час з технічних причин не можуть бути забезпечені природнім освітленням, повинні освітлюватись електричним світлом. Для забезпечення освітленості в денний час доби використовують світильники з люмінесцентними лампами або лампами розжарення.

Норми освітленості:

- при комбінованому (і газорозрядні лампи, і лампи розжарювання) — 200 лк;
- при загальному (газорозрядні лампи) — 75 лк;
- при загальному (лампи розжарювання) — 100 лк.

Передбачено джерело понижуючої напруги (24 В) для вмикання переносних світильників і ручного електроінструменту. Для ремонтного освітлення використовуються світильники РВО42.

Напруга мереж освітлення:

- робоча — 220 В;
- аварійна — 220 В;
- ремонтна — 12 В.

Мережі всіх видів освітлення роздільні і використовується кабель марки АВВГ, що прокладається по стінах на скобах.

4.9. Санітарно-побутові приміщення

Побутові приміщення повинні відповідати вимогам НАПБ Б.03.002-07.

Побутові приміщення розміщуються так, щоб працівники, які ними користувались, не проходили через виробничі приміщення з шкідливими виділеннями.

У кожного працюючого є своя шафа в роздягальні. Відстань між рядами шаф в роздягальні, не обладнаних лавками, повинна бути 1,5 м. Відстань від прохідної до роздягальні — не більше 800 м. для зберігання робочого і чистого одягу передбачаються відокремлені кладові площею не менше 3,0 м². Роздягальні повинні бути обладнані лавками шириною 0,3 м.

Душові розміщені в приміщенні, суміжному з роздягальнею. Кількість душових кабінок розраховується: 3 чоловіки на одну душову кабінку. Відстань між кранами умивальників не менше 0,65 м. убиральні розміщують на відстані не більше 75,0 м від найбільш віддаленого робочого місця.

Площа приміщення для відпочинку в робочий час — не менше 0,2 м².

Передбачено кімнати для паління. Відстань від робочих місць, розміщених у будівлі, до кімнат для паління — не більше 75,0 м, а по території підприємства — не більше 150,0 м. площа кімнат для паління на одну особу: 0,03 м² — для чоловіків, 0,01 м² — для жінок (але не менше 9,0 м²).

4.10. Електробезпека

Приміщення сухе, з нормальною температурою, ізольованою підлогою, має незначну кількість заземлених предметів, відноситься до приміщення підвищеної небезпеки.

Для виключення можливості попадання обслуговуючого персоналу під небезпечну для життя напругу, передбачається захисне занулення. Занулення електрообладнання повинно виконуватись згідно вимог ПУЕ.

Занулення електрообладнання необхідно виконувати тільки приєднанням спеціальної нульової захисної жили кабелів до заземленого електрообладнання.

Для запобігання пропуску блискавок ставлять вогнеогороджуючі сітки або гравітаційні фільтри.

Для захисту від електромагнітної індукції між трубопроводами та іншими металевими предметами в місцях їх взаємного зближення на відстані 10 см і менше, через кожні 20 см слід приварити перемички із сталевого дроту Ø6 мм.

Існує два види захисту від ураження електричним струмом:

- колективні;
- індивідуальні.

До колективних засобів захисту відносяться ізоляція усіх струмоведучих частин обладнання, а також встановлення огороження для двигунів.

До індивідуальних засобів захисту відносяться: ізолюючі рукавиці, резинові чоботи, спецодяг, також мають бути ізольовані всі інструменти, якими ремонтуються струмоведучі частини.

4.11. Пожежна безпека

Приміщення, в якому встановлена лінія, відноситься до категорій приміщень Г. На випадок загоряння забезпечують відділення системою автоматичного пожежогасіння.

Система пожежної сигналізації виконана з шлейфів, пожежних оповісників і приєднуються до пульта ППС – 1, встановлюється в приміщенні проходної.

Пожежні оповіщення прийняті автоматичні, типу ЦП – 103 – 2/2 і ручні, типу ИПР. Шлейфи пожежної сигналізації виконані кабелями марки ВВГ, що прокладені на стінах відкрито, на скобах, під перекриттям. Сигнал тривоги подається з пульта ППС – 1 до пожежного депо за допомогою резервної жили, існуючого телефонного кабелю. Біля місць установки ручних пожежних оповісників ИПР ззовні будівлі необхідно передбачити вказівні знаки згідно з ГОСТ – 124026 -76.

Протипожежна безпека відділення досягається впровадженням конструкційних матеріалів, які мають необхідну границю вогнестійкості і забезпечують будівлі необхідною границею вогнестійкості, згідно СНиП 20102 – 85. На заводі також повинні бути засоби пожежогасіння: вогнегасники, бочки з водою, лопати, сухий пісок.

Витрати води на пожежогасіння, яка необхідна для тушіння пожежі протягом трьох годин:

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot n}{1000} = \frac{3 \cdot 3600 \cdot 5}{1000} = 108, \text{ м}^3$$

де n — секундна витрата води на внутрішнє пожежогасіння 5 л/с і зовнішнє — 10 л/с; 3600 і 1000 — перевідні коефіцієнти: години в секунди, літри в м^3 .

Пожежний під'їзд, шляхи евакуації мають відповідати вимогам СНиП 20102 – 85.

4.12. Техніка безпеки

Безпечна експлуатація вантажопідйомних механізмів і пристроїв забезпечується шляхом проведення таких заходів, як створення сприятливих умов праці, підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу, забезпечення кваліфікованого технічного нагляду за експлуатацією вантажопідйомної техніки з боку інженерно-технічного персоналу, а також належним контролем за станом трудової дисципліни і виконанням правил технічної експлуатації.

Правилами безпечної експлуатації вантажопідіймальних механізмів категорично заборонено користуватися зношеними канатами.

Однією з основних умов безпечної експлуатації вантажопідіймальних механізмів є добре діючі гальмівні пристрої, що забезпечують в механізмах підйому зупинку вантажу і утримання його в підвішеному стані.

Для здійснення нагляду за безпечною експлуатацією вантажопідіймальних механізмів на кожному підприємстві повинен бути призначений фахівець, який має відповідне посвідчення.

Пристрій і експлуатація вантажопідйомних механізмів регламентуються Правилами будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, Правилами будови і безпечної експлуатації ліфтів, затверджених Держгіртехнаглядом. Згідно з правилами, відповідальність за справний стан і безпечну експлуатацію вантажопідйомних механізмів покладається на спеціально виділеного наказом по підприємству інженерно-технічного працівника підприємства, цеху або дільниці, де експлуатується даний механізм.

4.13. Пропозиції по покращенню умов праці

На всіх ділянках виробництва необхідно провести наступні заходи для покращення умов праці:

- забезпечити достатній рівень автоматизації технологічного процесу;
- постійно підвищувати якість роботи аспіраційних мереж;
- рухомі частини обладнання повинні бути закріплені огороженням;
- забезпечувати звукоізоляцію;
- застосувати засоби контролю рівнів шкідливих та безпечних факторів на робочих місцях;
- постійно впроваджувати системи автоматичного контролю та сигналізації наявності шкідливих і небезпечних виробничих факторів, а також блокуючи пристроїв, що забезпечують аварійне відключення технологічного і енергетичного обладнання у разі виникнення небезпеки для обслуговуючого персоналу та працюючих.

ВИСНОВКИ

Після проведення досліджень відмітимо наступне.

1. Вкладання скляної тари на прийомну площадку під час вивантаження транспортної тари або розформування пакет-піддонів здійснюється на фіксований рівень, що означає правомірність постановки оптимізаційної задачі по обмеженню швидкості контакту пляшок з площиною вкладання.

2. Створено методику розрахунків для визначення динамічних параметрів систем для формування/розформування пакет-піддонів застосовуючи поетапний опису робочих процесів; оптимізувати їх вибравши за оптимізаційних елемент силову дію на вантаж.

3. Розроблено математичну модель процесу безударного вкладання пляшок у тару-обладнання, використавши лінійну систему підвіски захоплюючої головки.

4. На основі проведених теоретичних досліджень створено передумови для розробки конструкторської документації пристрою безударного вкладання/виймання виробів на прийомну площадку.

5. Співставлення лінійних та нелінійних моделей за різних законів руху ведучої маси вказує на доцільність використання останніх.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пітра М.М., Ковальов О.І. Виконавчі механізми в укладальних машинах. // Упаковка. – 2003. № 4. – С. 24-27.
2. Піддубний В.А. Розробка методів розрахунку і удосконалення обладнання ситем виробництва солоду. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12. – Київ. – 2003. – 17 с.
3. Мартиненко М.А., Лебедева І.В. Збурення напруженого стану просторового тіла конічною тріщиною. // Вісник Київ. ун-ту: серія фіз.-мат. науки. – 2003. – № 5. – С. 73-82.
4. Мартиненко М.А., Лебедева І.В. Кручення пружного простору з циклічною тріщиною. // Вісник Київ. ун-ту: серія фіз.-мат. науки. – 2004. – № 4. – С. 116-120.
5. Бирюков А.Ф. Гавва О.М., Масло М.А., Волчко А.І., Шевченко М.Я. Автомат для пакування солі // Упаковка. – 2003. – № 2. – С. 36-38.
6. Костюк В.С. Оптимизация параметров рабочих процессов и совершенствование конструкций автоматов для загрузки и разгрузки транспортной тары в пищевой промышленности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. Киев: 1989. – 23 с.
7. Мартиненко М.А., Лебедева І.В. Метод розв'язання систем інтегро-диференціальних рівнянь Фредгольма другого роду. // Наукові праці НУХТ. – 2005. – № 16. – С. 157-159.
8. Голоперов І.В., Мусійчук В.М., Гавва О.М. Наукове обґрунтування вибору раціональних параметрів дозаторів поршневого типу з пневматичним приводом. // Харчова промисловість. – 2005. – № 4. – С. 143-146.
9. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, – 1988. – 734 с.
10. Полатайло Д.М., Соколенко А.І. Динаміка пружних систем у машинах для створення упаковок. // Харчова промисловість. – 2005. – № 4. – С. 173-175.
11. Гавва О.О., Волотківський О.М., Дембовський Л.О. Пристрої для

фасування пластичних харчових продуктів // Упаковка. – 2003. – № 4. – С.32-34.

12. Ковалев А.И. Разработка конструкций и методов расчета устройств для укладывания пищевых упаковок в тару-оборудование. Автореферат канд. диссертации. – Киев: 1988. – 25 с.

13. Полюдов О., Топольницький П., Черненко О. Виброрізання в поліграфії та пакуванні // Упаковка. – 2002. – № 1. – С. 18-19.

14. Розрахунки перевантажувальних пристроїв ліній фасування / А.І.Соколенко, К.В.Васильківський, О.І. Степанець та ін. – К.: УДУХТ, 1998. – 19 с.

15. Рудь В.Д., Семенюк Г.А. Обладнання для картонної упаковки // Упаковка. – 2000. № 4. – С.46-49.

16. Гавва О.М. Наукові основи розрахунку параметрів потоково-транспортних систем харчових виробництв. Дис. д-ра техн. наук: 05.18.18. – К., 1996. – 562 с.

17. Гуць В.С., Прип'ік О.С., Коваль О.А. Комп'ютерні програми аналітичних розрахунків процесів харчових виробництв. // Наук. праці УДУХТ. – 2001. – № 10. – Ч. 2. – С.135.

18. Башта А.В. Методика визначення амплітудних напружень при складному повторно-змінному навантаженні. // Харчова промисловість. – 2005. – № 4. – С. 93-95.

19. Губарев О.П. Структурно-модульний синтез циклових систем гідро- та пневмоприводу. Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.02.03. – Київ. – 2004. – 35 с.

20. Легеза В.П. Моделі і метод віброзахисту динамічних систем на основі катково-демпферувальних пристроїв: дис. д-ра техн. наук. / НТТУ "КПІ" – Київ, 2004. – 38 с.

21. Малецький Ю. Пакетування штучних вантажів // Харчова і переробна промисловість. – 1998. – № 10 – жовтень. – С.35.

22. Яресько В.П. Разработка методов расчета и совершенствования оборудования для механизации ПРТС работ со стеклотарной продукцией производства. Дисс. на соиск. уч. степени канд.техн.наук. – Киев: 1987. – 212 с.

23. Костюк В.С. Оптимизация параметров рабочих процессов и

совершенствование конструкций автоматов для загрузки и разгрузки транспортной тары в пищевой промышленности. Дисс. на стиск. уч. степени канд.техн.наук. – Киев: 1989. – 277 с.

24. Соколенко А.И., Сторишко И.И., Ярьсько В.П. и др. Погрузочно-разгрузочное и транспортное оборудование в перерабатывающей промышленности. – Киев: Урожай, 1990. – 148 с.

25. Соколенко А.И. Разработка методов расчета и оборудования транспортно-технологических систем стеклотарной продукции пищевых производств. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - Киев, 1988. – 32 с.