

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛЕБЕДЄВА Олена Юріївна



УДК 004.942:62-272.6

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ
В КОМПЛЕКСНИХ САПР ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
СТАНОВСЬКИЙ Олександр Леонідович
доктор технічних наук, професор

Одеса - 2016

ЗМІСТ

	<i>Стор</i>
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НА ЕТАПАХ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	13
1.1 Дефекти гумометалевих виробів та їхній зв'язок із недоліками проектування	13
1.2 Динамічні моделі процесів виготовлення гумометалевих виробів	17
1.3 Вулканізація гумової складової гумометалевих виробів та вплив її параметрів на якість кінцевого продукту	27
1.4 Проблеми стабільності якості складних гетерогенних об'єктів із суттєво різними властивостями окремих компонентів як мета комплексного автоматизованого проектування із прогнозуванням	34
1.5 Висновки та постановка задач дослідження	38
РОЗДІЛ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	41
2.1 Класифікація об'єктів автоматизованого проектування гумометалевих виробів та вибір об'єкта-представника	41

2.2 Виділення підсистем, елементів та зв'язаних параметрів системи «конструкція – технологія» гумометалевого амортизатора АКСС-10 М	48
2.3 Методи взаємного відображення зв'язаних параметрів, які відносяться до підсистем різної фізичної природи	54
2.3.1 Використання марковської моделі	54
2.3.2 Використання моделі анізотропних середовищ	60
2.4 Контроль якості виробничої продукції	63
2.4.1 Перелік обов'язкових випробувань	63
2.4.2 Стенд для випробувань амортизаторів	64
2.4.3 Маркування та упакування	70
2.5 Висновки	73
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ «КОНСТРУКЦІЯ – ТЕХНОЛОГІЯ» ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ В САПР	
3.1 Оптимізація зв'язаних конструкцій в САПР-К	75
3.2 Оптимізація зв'язаних технологій в САПР-Т	84
3.3 Багатокритеріальна комплексна оптимізація в САПР	87
3.4 Висновки	95
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА БЛОКА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ САПР «RUMET»	
4.1 До виявлення причини нестабільності технологічного процесу виготовлення гумометалевих амортизаторів	97
4.2 Побудова прогновної моделі процесу перетворення гумометалевої суміші в гумометалевий виріб (вулканізації гуми) в САПР	102

4.2.1 Враховувані в САПР технологічні методи впливу на параметри вулканізації гуми	102
4.2.2 Проектування технології виготовлення гумометалевих амортизаторів із врахуванням біфуркацій її фазової траєкторії	110
4.2.3 Проектування технології виготовлення гумометалевих амортизаторів із врахуванням запізнювання подій в фазових параметрах системи	112
4.3 Побудова прогнозної моделі процесу «старіння» гумометалевих виробів	114
4.3.1 Проектування параметрів структурної надійності в підсистемі експлуатації гумометалевих амортизаторів	114
4.3.2 Прогнозування процесу «старіння» ГМВ на основі ізоморфних графів молекулярних структур	120
4.4 Структура та виробничі випробування комплексної САПР «RUMET»	126
4.5 Висновки	129
ВИСНОВКИ	133
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	136
ДОДАТКИ	151

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АКСС – амортизатор корабельний зварний зі страховкою;
- АСУ – автоматизовані системи управління;
- ГА – генетичний алгоритм;
- ГВ – гумовий виріб;
- ГМА – гумометалевий амортизатор;
- ГМВ – гумометалевий виріб;
- ГМС – гумометалева суміш;
- ГС – гумова суміш;
- ДАВ – дійсний агент вулканізації;
- ІБР – імовірність безвідмовної роботи;
- ІМ – інформаційна модель;
- ІММ – інтелектуальна морфологічна модель;
- КГА – комплексний генетичний алгоритм;
- ММ – математична модель;
- ММР – молекулярно-масове розподілення;
- ОБ – олігобутадиєн;
- ПАР – поверхньоактивні речовини;
- СС – складна система;
- ССР – складна система з резервуванням;
- СТС – складні технічні системи;
- ТОСП – технологічне обладнання зі слабкозв'язаними параметрами;
- ТП – тривимірний полімер;
- ТПСП – технологічні процеси зі слабкозв'язаними підсистемами.

ВСТУП

Актуальність теми. Складні вироби та технології їхнього виготовлення, до яких відносяться практично усі гетерогенні системи, що складаються з окремих елементів, які конкурують між собою за ресурси та вплив на кінцеву мету свого функціонування, відрізняються, як правило, нестабільністю і для свого автоматизованого проектування вимагають спеціальних методів та ускладнених моделей.

Так, сучасне гумометалеве обладнання (механічні амортизатори, автомобільні покришки, корпуси підводних човнів, магнітна та електропровідна гуми, тощо) складається з елементів, спроба сумісної оптимізації яких при проектуванні конструкцій та технологій стикається із серйозними проблемами саме із-за необхідності постійно враховувати суттєво різні властивості гетерогенних компонентів: металу та гуми.

Крім того, для таких об'єктів система автоматизованого проектування, як правило, суттєво ускладнюється також за рахунок спроб врахувати більше зовнішніх та внутрішніх впливів на об'єкт. Адже будь-які приховані чинники, що залишаються за межами моделей, використовуваних в САПР-К та в САПР-Т, можуть несподівано призвести до втрат в самому процесі створення проектів в тому сенсі, що проект не буде адекватним дійсному стану вимог до його результатів, а також втрат в процесі реалізації таких проектів, – тут мова йде про стабільне отримання якісної кінцевої продукції.

Нестабільність, коли при суворому дотриманні однакових запроєктованих режимів і властивостей матеріалів на виході отримують велику кількість (до 50 %) бракованої продукції, є, безумовно, найгіршою характеристикою будь-якого проекту, при створенні якого «щось важливе» було проігноровано, не включено до проектуючих моделей. Такий проект, як правило, виявляється дуже чутливим до прихованих чинників, нездатним до «самостабілізації», або *не робастним*.

Відомо, що головним завданням синтезу робастних систем управління є пошук такого закону останнього, який зберігав би вихідні змінні системи і сигнали помилки в заданих допустимих межах, незважаючи на наявність невизначеностей в контурі управління.

У випадку проектування мова йде про пошук таких методів та моделей останнього, коли готовий продукт буде зберігати свою якість в заданих допустимих межах, незважаючи на наявність невизначеностей в проектуючих методах та моделях.

В цих умовах головним завданням розробників САПР є, по-перше, передбачення можливих причин нестабільності майбутнього виробництва (адже вони не лежать на поверхні!) і, по-друге, створення таких проектів, які мають ознаки робастності, тобто мало залежать від прихованих чинників конструкцій та технологій. Іншими словами, об'єкт та технологія його виготовлення повинні бути *спроєктованими* таким чином, щоб, незважаючи на усі завади (в рамках існуючих обмежень), самостабілізація процесів все ж таки відбулася.

Тому удосконалення призначених для САПР методів стабілізації гумометалевих та інших конструкцій і технологічних процесів їхнього виготовлення з метою адаптації їх до роботи з об'єктами, які містять матеріали із суттєво різними елементами, є **досить актуальним завданням.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконувалася відповідно до технічних завдань науково-дослідних робіт Одеського національного політехнічного університету:

– *госпдоговірної* № 1637-24 «Розробка системи автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення корабельних амортизаторів»;

– *держбюджетних*: 608-24 «Інформаційне моделювання складних технічних систем для потреб проектування та управління» (№ державної реєстрації 0105U002185), № 631-24 «Прогнозуючі інформаційні моделі складних об'єктів для систем автоматизованого проектування і управління» (№ державної реєстрації 0101U001196) та 676-24 «Автоматизація проектування

об'єднаних техно-логічних процесів у машинобудуванні» (№ державної реєстрації 0111U010451).

Метою роботи є підвищення якості продукції гумотехнічних підприємств за рахунок підвищення стабільності гумометалевого виробництва на етапі автоматизованого проектування конструкцій та технологій виготовлення гетерогенних гумометалевих машинобудівних деталей шляхом розробки і впровадження нових комплексних САПР, які базуються на динамічних моделях, що забезпечують робастність конструкцій гумометалевих виробів та технологічного процесу їхнього виготовлення.

Для досягнення цієї мети в роботі були вирішені **наступні задачі**:

- проаналізовані існуючі методи та проблеми автоматизованого проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення, а також вплив особливостей проектування на стабільність технологічних процесів і якість кінцевої продукції;

- виконана класифікація технічних гумометалевих виробів як об'єктів автоматизованого проектування, розроблені загальні методи дисертаційного дослідження;

- розроблені головні засади системи автоматизованого «робастного» комплексного проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення із стабільними властивостями;

- розроблена комплексна САПР «RUMET» (*rubber metal product*), що базується на запропонованих методах та динамічних моделях і забезпечує оптимізацію конструкції та стабілізацію технології виготовлення гумометалевих виробів;

- здійснено виробниче впровадження комплексної САПР «RUMET» на машинобудівному гумотехнічному виробництві із позитивним технічним ефектом.

Об'єктом дослідження є процес комплексного автоматизованого проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення.

Предметом дослідження є методи і динамічні моделі в комплексній САПР (САПР-К та САПР-Т) гумометалевих виробів.

Методи дослідження. В основу підсистем комплексної САПР гумометале-вих виробів покладено теорію оптимізації слабкозв'язаних систем, а також теорію динамічних систем, а саме теорію біфуркації.

При побудові динамічних моделей процесів виготовлення гумометалевих виробів використовували хімічну теорію вулканізації каучуку в присутності сірки та сажі та математичну теорію графів, а також марковські моделі.

Для підтвердження висунутих наукових положень застосовували комп'ютерний експеримент (програмне забезпечення: Windows XP SP3, номер ліцензійної угоди: 76487-OEM-0061491-55112). Для верифікації створених моделей і практичного підтвердження на виробництві ефективності розроблених методів автоматизованого проектування були використані лабораторні стенди і виробничі потужності ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів».

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає в удосконаленні методів автоматизованої оптимізації параметрів технологічного процесу виготовлення композиційних гетерогенних систем з суттєво різними властивостями елементів композиції і в створенні прогнозних моделей, призначених для підвищення ефективності комплексної САПР:

– отримав подальший розвиток метод проектування гумометалевих виробів, який полягає у врахуванні зв'язностей різного рівня між параметрами їхніх конструкцій та технологічного процесу їхнього виготовлення, що дозволило створити комплексну САПР виробництва гумометалевих амортизаторів;

– отримала подальший розвиток марковська модель реології гетерогенної гумової суміші, представлена у вигляді дискретизованого на елементи простору з різними властивостями жорсткості елементів, який полягає у врахуванні залежностей між складом компонентів цієї суміші і параметрами технології її вулканізації, що дозволило поширити оптимізацію в САПР на етап заповнення форми;

– вперше запропонована прогнозна структурна модель хімічного процесу вулканізації каучуку з утворенням гуми, заснована на адаптації проектних оптимізаційних розрахунків до неврахованих чинників нестабільності, що дозволило на етапі проектування враховувати особливості майбутнього процесу вулканізації і досягати таким чином підвищення стабільності останнього;

– вперше запропонована прогнозна структурна модель хімічного процесу старіння гуми з утворенням макротріщин і втратою еластичності, заснована на адаптації проектних оптимізаційних розрахунків до неврахованих чинників ненадійності, що дозволило на етапі проектування враховувати особливості майбутнього процесу старіння і досягати початку останнього не раніше гарантійного строку на гумометалеві вироби.

Практичне значення отриманих результатів. Теоретично доведена і практично за допомогою комп'ютерного експерименту та виробничих випробувань підтверджена можливість підвищення стабільності виробництва та якості продукції гумотехнічних підприємств за рахунок використання комплексної САПР, яка забезпечує ефективну оптимізацію параметрів конструкції гумометалевих виробів та технологічного процесу їхнього виготовлення за допомогою динамічних моделей об'єкта проектування.

Розроблено комплексну САПР конструкцій та процесів виготовлення гумометалевих виробів «RUMET» (*rubber metal product*), яка базується на запропонованих методах та динамічних моделях.

В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» проведено випробування комплексної САПР «RUMET». В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували конструкцію та технологічний процес лиття під тиском гумової суміші при виробництві гумометалевих амортизаторів типу АКСС-10М. В результаті випробувань встановлено, що використання процесу виготовлення гумометалевих виробів, спроектованого за допомогою комплексної САПР «RUMET», дозволило знизити відсоток браку в партії гумометалевих амортизаторів АКСС-10М на

34,75 % при задовільненні технічних вимог до готових деталей.

Запропоновані методи і моделі, а також алгоритми і програми, розроблені для їхньої реалізації, впроваджені в навчальний процес в Одеському національному політехнічному університеті і використовуються в дисциплінах, які вивчають методи автоматизованого проектування технологій виготовлення та конструкцій композиційних об'єктів, а також у курсовому та дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці моделей процесів заповнення пресформ для вулканізації гуми [1, 2, 12, 14, 15, 22], виявленні впливів параметрів вулканізації на якість гумометалевих виробів [3, 29], вдосконаленні методу оптимізації слабкозв'язаних систем [4, 21, 24], розробці динамічних моделей технологічного процесу вулканізації гуми [9, 13, 33], розробці моделей процесів теплообміну в гетерогенних середовищах [31, 32], вдосконаленні моделей структур органічних речовин [10, 17, 18, 19, 20], розробці моделей нанесення полімерних покриттів на металеву арматуру [11], розробці конструкторської підсистеми САПР-К «RUMET» [5, 8, 25, 27], розробці технологічної підсистеми САПР-Т «RUMET» [7, 16, 28, 30]. Автор брала участь у виробничих випробуваннях результатів роботи [6, 23, 26] та оцінці їхньої ефективності.

Апробація результатів роботи. Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на засіданнях: Міжнародної науково-технічної конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (Севастополь, 2012); XVIII, XIX, XXI, XXII та XXIII семінарів «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях» (Одеса, 2010, 2011, 2013 – 2015); XX Міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика / Automatics – 2013» (Миколаїв, 2013); Міжнародних науково-практичних конференцій «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та освіті – 2011, 2013» (Севастополь, 2011, 2013); X, XI Всеукраїнських науково-технічних конференцій «Математичне моделювання та інформаційні технології» (Одеса, 2011, 2012); конференції «Інформаційні технології в освіті, науці та

виробництві» (Херсон, 2012); XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні і електронні технології» (Одеса, 2012); 19-ї Міжнародної конференції УНУХТ «Автоматика – 2012» (Київ, 2012); Міжнародної науково-практичної конференції «Современные технологии проектирования управляющих и мехатронных систем» (Севастополь, 2013); 2-ї Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015» (Івано – Франківськ, 2015); I Міжнародної конференції Infocom Advanced Solutions 2015 (Київ, 2015); II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Київ, 2015); Міжнародної науково-практичної конференції-виставки «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология» (Київ, 2011), а також на розширеному науковому семінарі кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні ОНПУ (Одеса, 2016).

Публікації. Результати дисертації викладені у 33 публікаціях, в числі яких: 9 статей в журналах з переліку фахових видань України (з них 3 входять до міжнародних наукометричних баз *BASE*, *ULRICHSWEB*, *DRIVER*, *Index Copernicus*, *Worldcat*, *DOAJ*, *EBSCO*, *Freefullpdf*, *elibrary*), а також 24 матеріали конференцій і семінарів.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НА ЕТАПАХ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Дефекти гумометалевих виробів та їхній зв'язок із недоліками проектування

Специфіка гумових конструкційних виробів полягає в тому, що до них пред'являються протилежні експлуатаційні вимоги. З одного боку, як і будь-яка «механічна» деталь вони повинні мати необхідну міцність, а з іншого, – велику гнучкість та стійкість до змінних навантажень. Невиконання цих вимог призводить до появи численних дефектів, а також технічних умов, які ці дефекти обмежують. Так, зокрема, на поверхні та в тілі гумового масиву не допускаються міхури та мушлі (раковини) (рис. 1.1), надриви (рис. 1.2), відшарування гуми від арматури (рис. 1.3), тріщини (рис. 1.4).

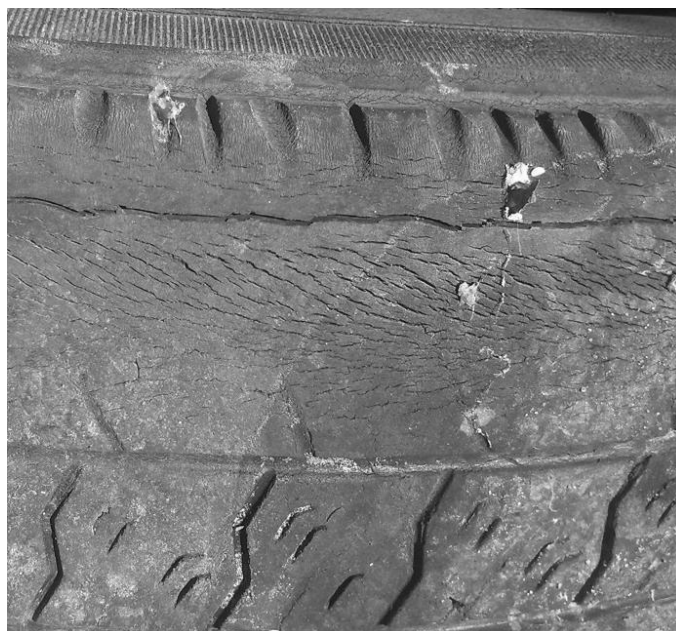


Рисунок 1.1 – Міхури та мушлі на поверхні гумового виробу.



Рисунок 1.2 – Надрив гумового виробу

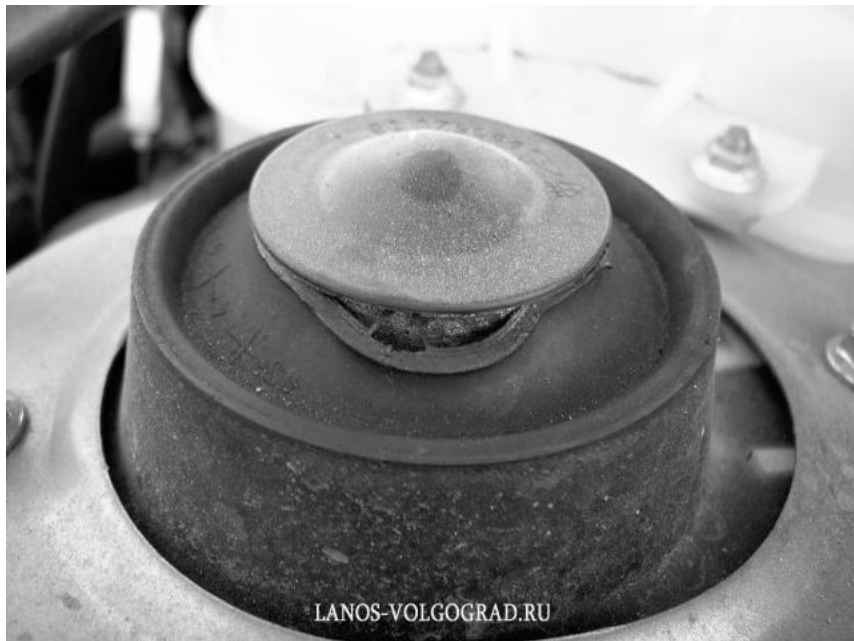


Рисунок 1.3 – Відшарування гуми від арматури

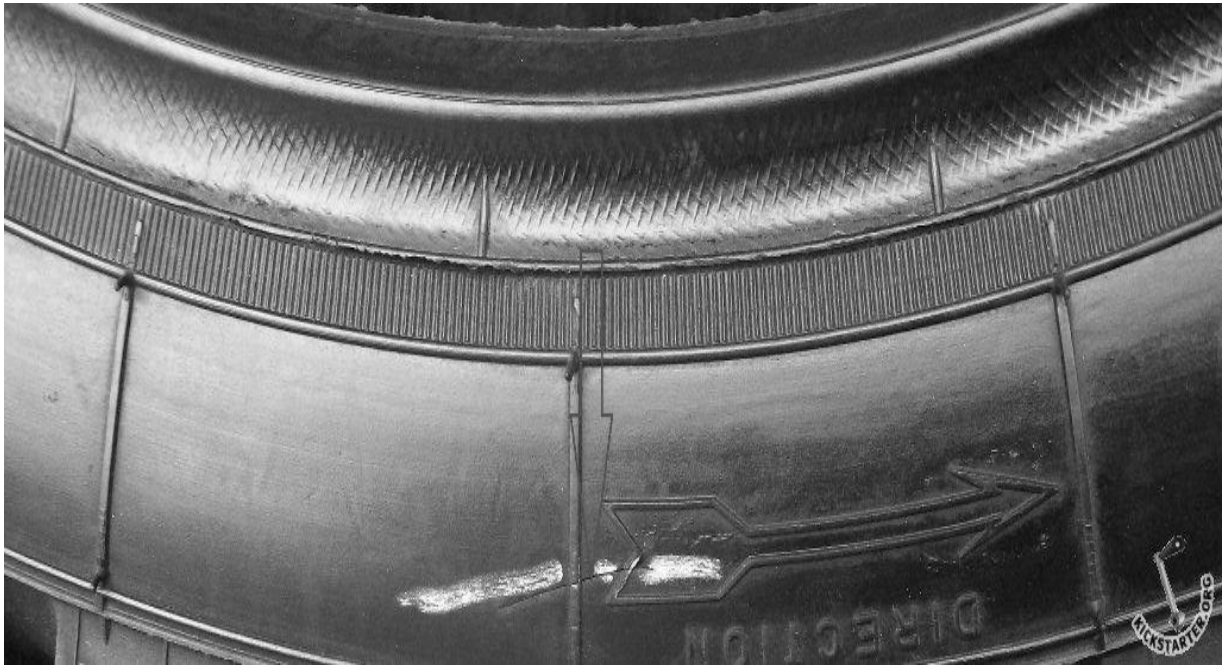


Рисунок 1.4 – Тріщина на поверхні гумового виробу

У місцях розрізу гумові вироби не повинні містити розшарувань (рис. 1.5), пор та сторонніх включень.

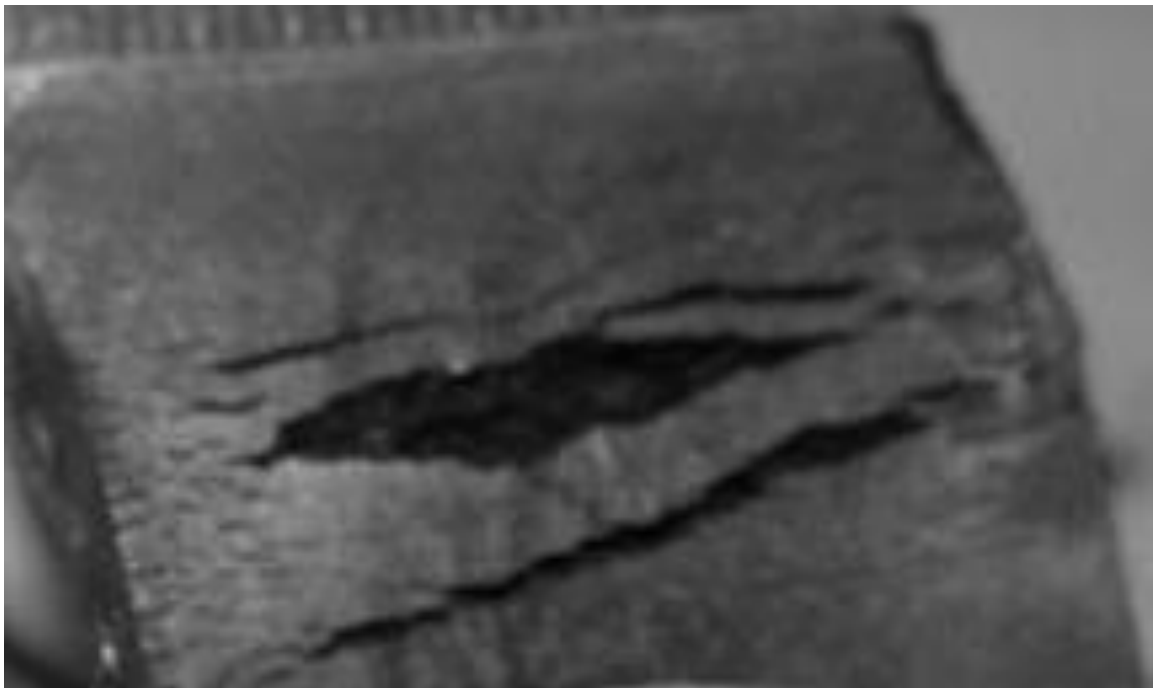


Рисунок 1.5 – Розшарування у місці розрізу гумового масиву

Якщо мова йде про гумометалеві вироби, які відносяться до композиційних [34, 35], то до переліку існуючих дефектів додаються проблеми із армуванням гуми (нерівномірність, відшарування, тощо). Дефекти гумометалевих виробів, які використовуються в якості корабельних амортизаторів, регламентує ГОСТ 17053.1-80. Стандарт передбачає різноманітні порушення цілісності та властивостей гумової маси, але при цьому не зв'язує їхню наявність із перебігом технологічних процесів, за якими вони були отримані.

Крім того, існує група дефектів гумових виробів, які не можна виявити при візуальному огляді, навіть із розрізом, який як відомо, відноситься до руйнівних методів контролю і тому не завжди бажаний на реальному гумовому підприємстві. До таких дефектів відносяться, у першу чергу, невідповідність механічних властивостей гуми відповідним нормам та стандартам, ненадійність гумових виробів в експлуатації (швидке зношування, старіння гуми, втрата властивості протистояти великій кількості змінних механічних навантажень, тощо)

Існує, як найменше, дві причини виникнення дефектів гумових та гумометалевих виробів:

- невдалий проект конструкції виробу або технологічного процесу його виготовлення;
- низька культура виробництва, коли «правильно» спроектовані параметри конструкції та технології в реальному виробництві з тих або інших причин не витримуються.

Зрозуміло, що в нашій роботі будемо досліджувати першу причину – невдале проектування конструкції та технології. Але на цьому шляху вдалося встановити, що виробництво стикається ще з однією однією проблемою.

Мова йде про підприємство з високою культурою виробництва, в якому усі спроектовані параметри суворо контролюються та додержуються, але, на жаль, результат такого виробництва виглядає парадоксальним: мало не половина готових виробів виявляється бракованою.

В такому випадку говорять про нестабільність виробництва, але виявити його зв'язок із процесом проектування, як конструкції, так і технології, іноді виявляється дуже важко. Адже техпроцес реалізується тоді, коли проектування вже завершено, тому управляти якістю продукції ще на етапі проектування досить складна задача, розв'язання якої потребує наукового підходу, створення нових методів оптимізації підсистем в проектуванні і експлуатації та нових прогнозних моделей.

Моделі руху технологічних процесів в фазовому просторі своїх властивостей (параметрів) називаються динамічними [36]. Саме в таких моделях спробуємо знайти відповідь на питання про причини нестабільності технологічних процесів виготовлення гумометалевих виробів.

1.2 Динамічні моделі процесів виготовлення гумометалевих виробів

Динамічні системи при своєму русі у фазовому просторі можуть супроводжуватися проходженням фазової траєкторії (графіку, побудованого тільки у фазових координатах без врахування часу) біля так званих точок біфуркації, після подолання яких процес може піти у двох суттєво різних з точки зору кінцевого продукту напрямках [37].

Теорія біфуркацій динамічних систем – це теорія, яка вивчає зміни якісної картини розбиття фазового простору, в залежності від зміни параметра (або декількох параметрів).

Біфуркація – це придбання нової якості в рухах динамічної системи при малій зміні її параметрів [38].

Центральним поняттям теорії біфуркації є поняття негрубої системи. В ній береться деяка динамічна система і розглядається таке параметричне сімейство динамічних систем, що вихідна система виходить в якості окремого випадку – при якомусь одному значенні параметра чи параметрів. Якщо при значенні параметрів, досить близьких до даного, зберігається якісна картина

розбиття фазового простору на траєкторії, то така система називається грубою (робастною) (рис. 1.6 *a*). В іншому випадку, якщо такої околиці не існує, то система називається негрубою [39] (рис. 1.6 *б*).

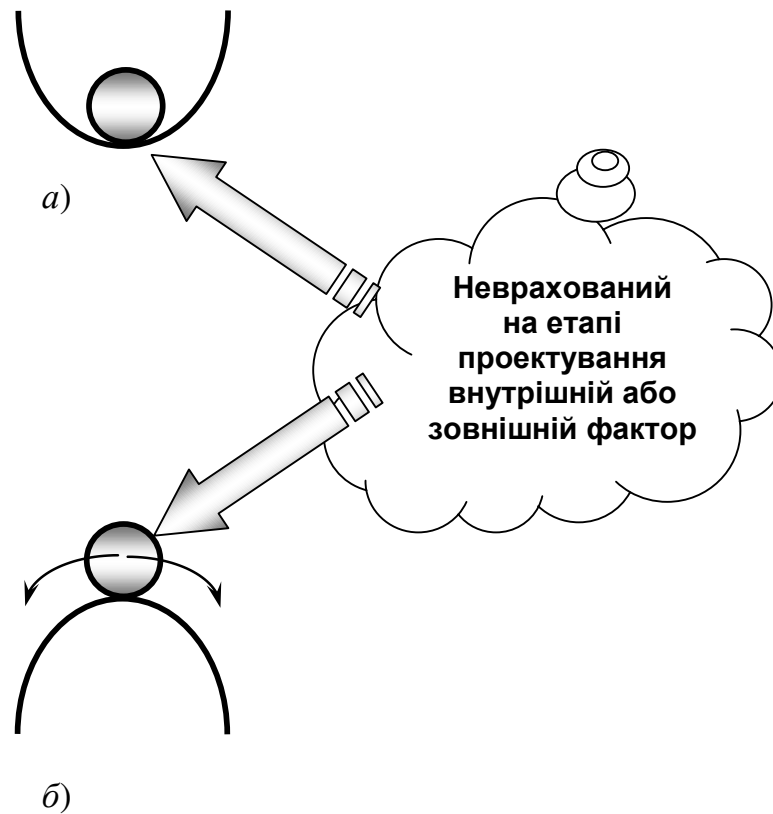


Рисунок 1.6 – Схеми грубої (робастної) та негрубої (неробастної) динамічних систем:

a – груба (робастна) система – неврахований при проектуванні малий внутрішній або зовнішній фактор не впливає на прийняте проектом кінцеве положення системи;

б – негруба (неробастна) система – неврахований при проектуванні малий внутрішній або зовнішній фактор суттєво (до протилежного) впливає на прийняте проектом кінцеве положення системи.

Таким чином, в просторі параметрів виникають області грубих систем, які розділяються поверхнями, що складаються з негрубих систем. Теорія біфуркацій вивчає залежність якісної картини при безперервній зміні параметра уздовж деякої кривої. Схема, за якою відбувається зміна якісної картини,

називається біфуркаційною діаграмою [40].

Основні методи теорії біфуркацій – це методи теорії збурень. Зокрема, застосовується метод малого параметра (Понтрягіна).

У механічних системах, як правило, рухи що встановилися (положення рівноваги або відносної рівноваги), залежать від параметрів. Значення параметрів, при яких спостерігається зміна кількості рівноваг, називаються їх біфуркаційними значеннями. Криві або поверхні, що зображують множину рівноваг в просторі станів і параметрів, називаються біфуркаційними кривими або біфуркаційними поверхнями. Проходження параметра через біфуркаційні значення, як правило, супроводжується зміною властивостійкості рівноваг. Біфуркації рівноваг можуть супроводжуватися народженням періодичних та інших, більш складних рухів [41].

Теорія катастроф – розділ математики, що включає в себе теорію біфуркацій диференціальних рівнянь (динамічних систем) і теорію особливостей гладких відображень [42, 43].

Терміни «катастрофа» і «теорія катастроф» були введені Рене Томом і Крістофером Зіманом наприкінці 1960-х – початку 1970-х років («катастрофа» в даному контексті означає різка якісна зміна об'єкту при плавній кількісній зміні параметрів, від яких він залежить) [44 – 53]. Одним із головних завдань теорії катастроф є отримання так званої нормальної форми досліджуваного об'єкта (диференціального рівняння або відображення) в околиці «точки катастрофи» і побудова на цій основі класифікації об'єктів.

Теорія катастроф знайшла численні застосування в різних галузях прикладної математики, фізики, а також в економіці [54 – 61].

Теорія катастроф аналізує критичні точки (репетиції) потенційної функції, тобто точки, де не тільки перша похідна функції дорівнює нулю, а і дорівнюють нулю похідні більш високого порядку. Динаміка розвитку таких точок може бути вивчена за допомогою розкладання потенційної функції в ряди Тейлора за допомогою малих змін вхідних параметрів. Якщо точки росту складаються не просто в випадковий шаблон, але формують структуровану

область стабільності, ці точки існують як організуючі центри для особливих геометричних структур з низьким рівнем катастрофічності, з високим рівнем катастрофічності в оточуючих їх областях фазового простору.

Якщо потенційна функція залежить від трьох чи меншого числа активних змінних, і п'яти або менш активних параметрів, то в цьому випадку існує всього сім узагальнених структур описаних геометрій біфуркацій, яким можна приписати стандартні форми розкладань в ряди Тейлора, в які можна розкласти репетиції за допомогою дифеоморфізмів (гладкою трансформації, звернення якої також гладко). Сьогодні ці сім фундаментальних типів катастроф відомі під іменами, які їм дав Рене Том.

1. Потенційні функції з однією активною змінною. Катастрофа типу «Складка» (рис. 1.7).

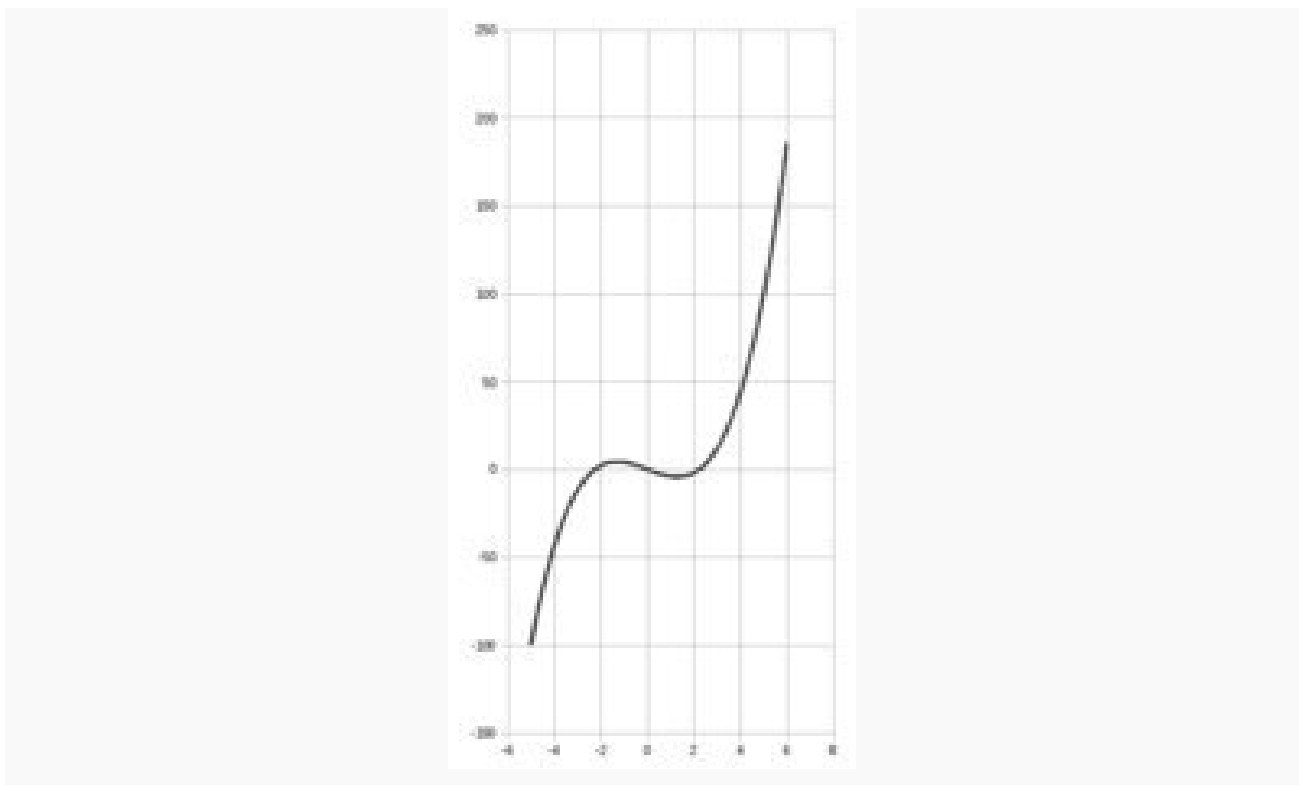


Рисунок 1.7 – Катастрофа типу «Складка»

Стабільна і нестабільна частини екстремуму, який зникає при біфуркації типу «Складка»:

$$V = x^3 + ax \quad (1.1)$$

При негативних значеннях параметра a , потенційна функція має два екстремуми – один стабільний (стійка рівновага) і один нестабільний (нестійка рівновага). Якщо параметр a повільно змінюється, система може знаходитися в точці стабільного мінімуму. Але якщо $a = 0$, стабільні і нестабільний екстремуми зустрічаються і анігілюють. Це – точка біфуркації. При $a > 0$ не існує стабільного рішення.

Якщо фізична система проходить через точку біфуркації типу «Складка», і тому параметр a досягає значення 0, стабільність рішення при $a < 0$ раптово втрачається, і система може здійснити раптовий перехід в новий, дуже відмінний від попереднього стан. Таке біфуркаційне значення параметра a іноді називається «точкою фіксації».

2. Катастрофа типу «Збірка» (рис. 1.8).

Стабільна і нестабільна частини екстремуму, який зникає при біфуркації типу «Збірка»:

$$V = x^4 + ax^2 + bx \quad (1.2)$$

Діаграма катастрофи збірки, як показують криві (рис. 1.8) для x , що задовольняє рівняння $dV / dx = 0$ і параметрів (a, b) , де параметр b змінюється безперервно, а для параметра a показані тільки кілька різних значень. За межами збірки (рис. 1.8) кожній точці (a, b) в просторі параметрів відповідає тільки одне рішення x . Усередині ж збірки існують по два різних значення x , відповідних локальним мінімумам $V(x)$ для кожної точки (a, b) , розділені значенням x , відповідним локальному максимуму (рис. 1.9).

Діаграма катастрофи «збірка» з точкою повернення, на якій показані криві (рис. 1.10) по змінній x , що задовольняють висловом для параметрів (a, b) , криві показані для безупинно мінливого параметра b при різних значеннях параметра a .

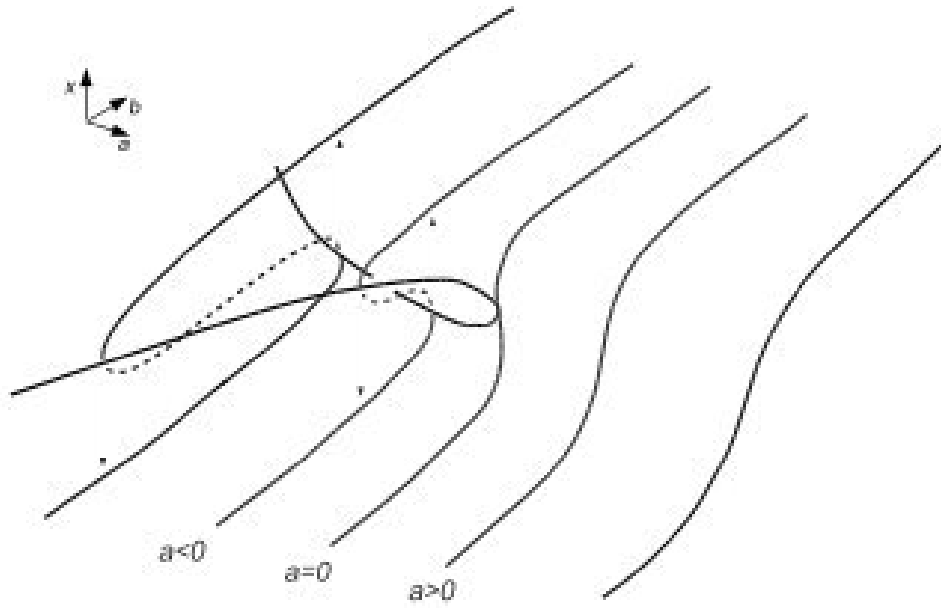


Рисунок 1.8 – Катастрофа типу «Збірка»

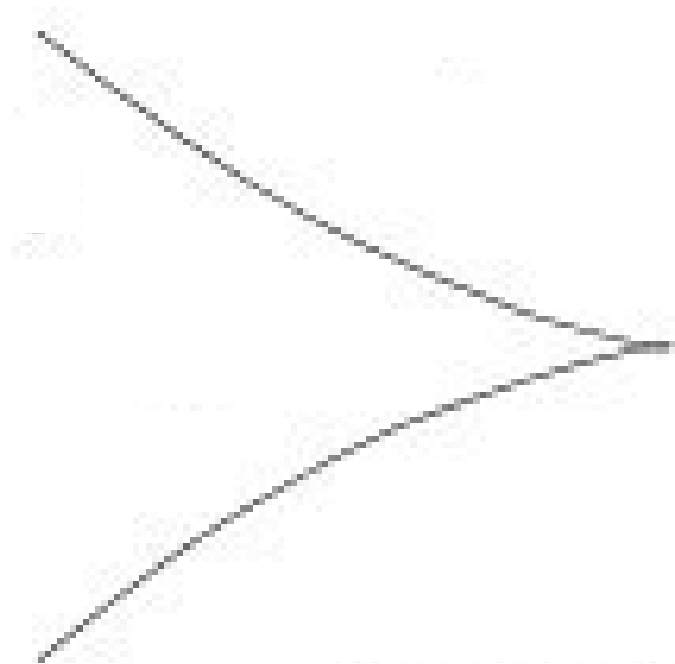


Рисунок 1.9 – Форма збірки в просторі параметрів (a, b) поблизу точки катастрофи, що показує біфуркацію, що розділяє області з одним і двома стійкими рішеннями

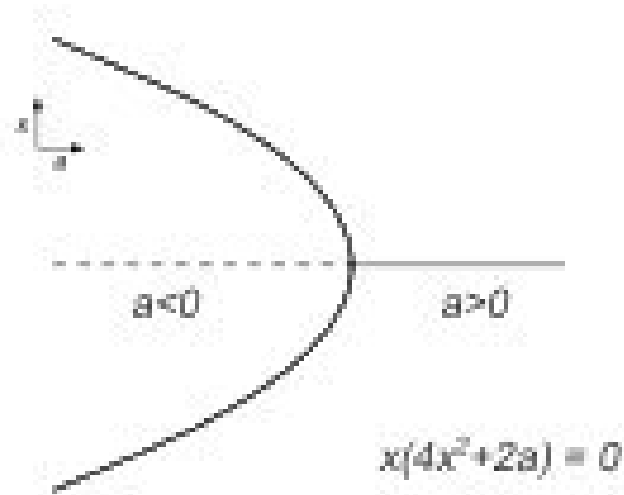


Рисунок 1.10 – Біфуркація типу вилки при $a = 0$ на поверхні $b = 0$

Поза геометричного місця точок повернення для кожної точки (a, b) у фазовому просторі існує тільки одне екстремальне значення змінної x . У середині точок повернення існує два різних значення x , які дають локальні мінімуми функції $V(x)$ для кожної пари (a, b) . При цьому вказані значення розділені локальним максимумом.

Біфуркація типу «вилка» при $a = 0$ на просторі $b = 0$. Форма точок повернення у фазовому просторі (a, b) близько точки катастрофи, що показує геометричне місце біфуркацій типу «згортка», яке розділяє область з двома стабільними рішеннями і область з одним рішенням. Геометрія точок повернення досить звичайна, коли здійснюється вивчення того, що відбувається з біфуркацією типу «згортка» при додаванні в керуючий простір нового параметра b . Змінюючи параметри, можна знайти, що є крива (синя) точок у просторі (a, b) , на якій втрачається стабільність, тобто на цій кривій стабільне рішення може раптово «перестрибнути» на альтернативне значення (також стабільне).

Але в геометрії точок повернення крива біфуркацій загортає назад, створюючи другу гілку, на якій вже це друге рішення втрачає стабільність, а тому може здійснити «стрибок» назад на вихідне безліч рішень. При

повторному збільшенні значення параметра b і наступному зменшенні його, можна спостерігати гістерезис в поведінці петель, оскільки система слідує по одному рішенню, «перестрибує» на інше, слідує по ньому і «перестрибує» назад на вихідне.

Однак це можливо тільки в області в параметричному просторі при $a < 0$. Якщо значення параметра a збільшується, петлі гістерезису стають менше і менше, поки значення a не досягне 0.

У цій точці петлі зникають (катастрофа з точкою повернення), і з'являється тільки одне стабільне рішення.

Також можна розглянути процес зміни параметра a при незмінному значенні b . У симетричному випадку при $b = 0$ можна спостерігати біфуркацію типу «вилка» при зменшенні значення параметра a одне стабільне рішення раптово розділяється на два стабільних рішення і одне нестабільне.

У цей час динамічна система переходить в область $a < 0$ через точку повернення ($a = 0, b = 0$) (це – приклад спонтанного порушення симетрії). Далеко від точки повернення не існує раптових змін у фізичній системі, оскільки при проходженні по кривій біфуркації «згортки» відбувається тільки такі, які роблять доступним друге альтернативне рішення.

Інший приклад прикладного застосування катастрофи з точкою повернення полягає в моделюванні поведінки електрона при переміщенні з одного енергетичного рівня на інший, що часто спостерігається в хімічних і біологічних системах.

Це вказує на те, що біфуркації розглянутого типу і геометрія точок повернення є найбільш важливою практичною частиною теорії катастроф. Це – шаблони, які проявляються знову і знову у фізиці, інженерії та математичному моделюванні.

Решта простих геометричних катастроф є більш спеціалізованими в порівнянні з розглянутим, а тому виявляються тільки в деяких окремих випадках.

3. Катастрофа типу «Ластівчин хвіст» (рис. 1.11).

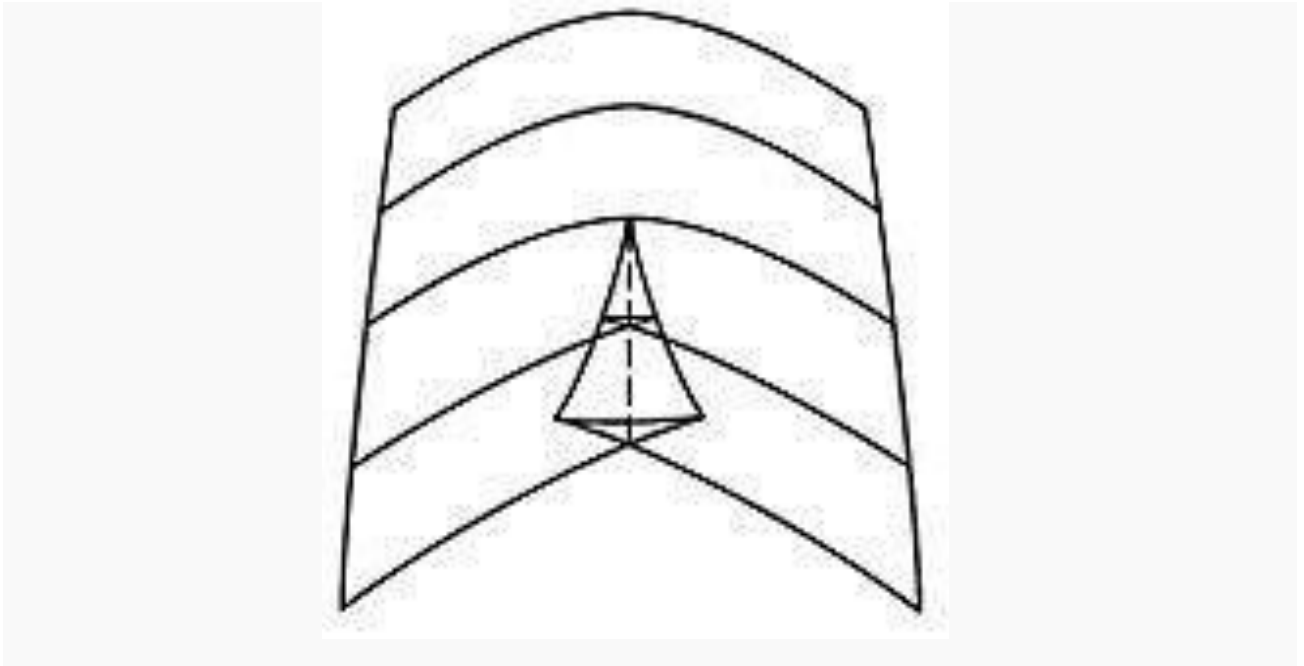


Рисунок 1.11 – Поверхня катастрофи "Ластівчин хвіст"

Стабільна і нестабільна частини екстремуму, який зникає при біфуркації типу «Ластівчин хвіст»:

$$V = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx \quad (1.3)$$

Управляючий простір в даному типі катастроф є тривимірним. Каскад біфуркацій у фазовому просторі складається з трьох поверхонь біфуркацій типу «згортки», які зустрічаються на двох кривих біфуркацій з точками повернення, які в кінцевому підсумку зустрічаються в одній точці, що представляє собою біфуркацію типу «ластівчин хвіст».

В міру проходження значень параметрів по поверхнях областей біфуркацій типу «згортка» пропадає одна мінімум і один максимум потенційної функції. В області біфуркацій з точкою повернення два мінімуми і один максимум заміщаються одним мінімумом; за ними біфуркації типу «згортка» зникають. У точці ластівчин хвіст два мінімуми і два максимуми зустрічаються

в одному значенні змінної x . Для значень $a > 0$ за ласточкиним хвостом існує або одна пара (мінімум, максимум), або не існує взагалі ніяких біфуркацій. Це залежить від значень параметрів b і c . Дві поверхні біфуркацій типу «згортка» і дві лінії біфуркацій з точками повернення зустрічаються при $a < 0$, а тому зникають в самій точці ластівчин хвіст, замінюючись однією поверхнею біфуркацій типу «згортка». Остання картина Сальвадора Далі під назвою «ластівчин хвіст» створена під впливом цього типу катастроф.

4. Катастрофа типу «Метелик». Стабільна і нестабільна частини екстремуму, який зникає при біфуркації «Метелик»:

$$V = x^6 + ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx \quad (1.4)$$

В залежності від значень параметрів потенційна функція може мати три, два чи один локальний мінімум, причому всі мінімуми розділені областями з біфуркації типу «згортка». У точці «Метелик» зустрічаються три різні простори біфуркацій типу «згортка», дві поверхні біфуркацій з точками повернення і крива біфуркацій типу «ластівчин хвіст». Всі ці біфуркації пропадають в одній точці і перетворюються в просту структуру з точкою повернення тоді, коли значення параметра a стає позитивним.

5. Потенційні функції з двома активними змінними. Омбіличні катастрофи є прикладами катастроф другого порядку. Вони, наприклад, можуть спостерігатися в оптиці при віддзеркаленні світла від тривимірних поверхонь. Самі по собі такі катастрофи тісно пов'язані з геометрією майже сферичних поверхонь. Рене Том запропонував розглядати гіперболічну катастрофу як руйнування хвилі:

$$V = x^3 + y^3 + axy + bx + cy \quad (1.5)$$

а еліптичну омбіличну катастрофу – як процес створення структур, схожих на волосяне покриття:

$$V = x^3/3 - xy^2 + a(x^2 + y^2) + bx + cy \quad (1.6)$$

Як виходить з аналізу життєвого циклу гумометалевих виробів існує, принаймні, три його періоди, коли питання можливих біфуркацій і пов'язаної із ними нестабільності стає особливо гостро:

- перший етап – це зповнення прес-форми гумовою сумішшю, оскільки при цьому «працюють» багато, на перший погляд, несуттєвих параметрів, які не враховуються відповідною САПР, але можуть суттєво вплинути на якість продукції в цілому;

- другий етап – це вулканізація гумової складової гумометалевих виробів (з тих же причин);

- третій етап – це старіння вже готової гуми або гумової складової гумометалевих виробів під час їхньої експлуатації, коли до невраховуваних внутрішніх впливів додаються вже непередбачувані зовнішні впливи із тим же результатом.

Розглянемо деякі з цих етапів докладніше.

1.3 Вулканізація гумової складової гумометалевих виробів та вплив її параметрів на якість кінцевого продукту

Вулканізація – це технологічний процес, в якому еластичний каучук перетворюється в гуму [62]. В результаті вулканізації фіксується форма виробу і воно набуває необхідні міцність, еластичність, твердість, опір розриву, втомлісну витривалість та інші корисні експлуатаційні властивості. З хімічної точки зору вулканізація – з'єднання («зшивання») гнучких макромолекул каучуку в тривимірну просторову сітку (так звану вулканізаційну сітку) рідкісними поперечними хімічними зв'язками. Утворення сітки відбувається під дією спеціального хімічного агента або (і) енергетичного фактора, наприклад високої температури, іонізуючої радіації.

Поперечні зв'язки обмежують незворотні переміщення макромолекул при механічному навантаженні (зменшують пластичність), але не змінюють їх здатності до високоеластичної деформації. Ступінь зшивання (густоту сітки поперечних зв'язків) характеризують рівноважним модулем розтягування або зсуву, які визначають при порівняно невеликих деформаціях, рівноважним набуханням в розчиннику, а також вмістом макромолекул, що залишилися в зшитому зразку поза сітки (зольфракція).

Вулканізаційна сітка має складну будову. У ній поряд з вузлами, в яких поєднуються дві макромолекули (тетрафункціональні вузли), спостерігаються також поліфункціональні вузли (поєднання в одному вузлі кількох макромолекул). Властивості сіток залежать від концентрації поперечних хімічних зв'язків, їх розподілу і хімічної будови, а також від середньої молекулярної маси і ММР каучуку, розгалуженості його макромолекул, змісту в сітці зольфракції і інше.

Оптимальна густина сітки досягається за участю в зшиванні всього 1 – 2 % мономірних ланок макромолекули. Дефектами сітки можуть бути вільні кінці макромолекул, що не увійшли до неї, але до неї приєднані; зшивання, що з'єднують ділянки одного і того ж ланцюга; захлести або переплетіння ланцюгів і т.д.

Поперечні хімічні зв'язки – містки, утворюються під дією різних агентів вулканізації і є фрагментами молекул самого агента. Від хімічного складу цих містків залежать експлуатаційні характеристики гум, наприклад, опір термоокиснювальному старінню, швидкість накопичення залишкових деформацій в умовах стиснення при підвищених температурах, стійкість до дії агресивних середовищ. Вплив хімічного складу і довжини поперечних зв'язків на міцність гум при звичайній температурі надійно не встановлено [63, 64].

Будова сітки вулканізаторів, наповнених технічним вуглецем (сажею), складніше, ніж ненаповнених, через сильну фізичну і хімічну взаємодію каучуку з наповнювачем. Для таких вулканізаторів кількісний зв'язок між параметрами сітчастої структури і експлуатаційними характеристиками до сих

пір не знайдено. Однак існують різноманітні якісні та напівкількісні залежності, які широко використовують для розробки рецептур гум і прогнозування їх поведінки при вулканізації [65].

На практиці, щоб забезпечити високу продуктивність обладнання, прагнуть досягнути мінімальної тривалості вулканізації, але в умовах, що забезпечують ефективну переробку сумішей і отримання гум з кращими якостями. Весь процес прийнято поділяти на три періоди: 1) індукційний; 2) період формування сітки; 3) перевулканізація (реверсія).

Під час індукційного періоду, коли зшивання макромолекул не спостерігається, визначають стійкість гумової суміші до передчасної вулканізації (подвулканізації). Остання ускладнює переробку суміші і призводить до погіршення якості виробів.

Цей період особливо важливий при вулканізації багатошарових виробів, так як зі збільшенням його тривалості посилюються злипання окремих шарів суміші при формуванні виробу і совулканізація шарів.

Завершення періоду формування сітки відповідає оптимум вулканізації – час, за яке зазвичай досягається утворення вулканизата з кращими властивостями. Технічно важлива характеристика – плато вулканізації, тобто відрізок часу, протягом якого значення вимірюваних параметрів, близькі до оптимальних, змінюються порівняно мало.

До перевулканізації призводить продовження нагрівання гуми після витрачання агента вулканізації. Перевулканізація проявляється в подальшому підвищенні жорсткості вулканизата (наприклад, при вулканізації полібутадієну, сополімерів бутадієну зі стиролом або акрилонитрилом) або, навпаки, його розм'ягшенням (при вулканізації поліізопрену, бутил-каучуку, етилен-пропіленового каучуку). Ці зміни властивостей пов'язані з термічною перебудовою вулканізаційної сітки, термічними і термоокиснювальними перетвореннями макромолекул.

Елементарні реакції, що протікають при вулканізації, визначаються хімічною будовою каучуку і агента вулканізації, а також умовами процесу.

Зазвичай, незалежно від характеру цих реакцій, розрізняють 4 стадії вулканізації. На першій стадії, що охоплює індукційний період, агент вулканізації переходить в активну форму: в результаті його реакції з прискорювачами і активаторами процесу утворюється так званий дійсний агент вулканізації (ДАВ). Застосування порівняно стабільних компонентів вулканизуючої системи обумовлено необхідністю щодо тривалого (до одного року) їх зберігання на гумових заводах, а також збереження протягом деякого часу пластичності гумої суміші, оскільки в іншому випадку виключається можливість формування виробу.

Власне зшивання охоплює дві стадії:

а) активацію макромолекул в результаті їх реакції з ДАВ, що приводить до утворення полімерного вільного радикала, полімерного іона або активного проміжного продукту приєднання агента вулканізації до макромолекулі;

б) взаємодія двох активованих макромолекул (або активованої і неактивованої) з утворенням поперечного зв'язку.

На 4-й стадії відбувається перебудова «первинних» поперечних зв'язків в термічно і хімічно більш стійкі структури; при вулканізації каучуків спеціального призначення, наприклад, полісілоксанових або фторкаучуків, для цієї мети служить окрема технологічна операція – витримка в повітряних термостатах.

Специфічні особливості розглянутих реакцій – високов'язка середовище, а також великий надлишок каучуку в порівнянні з кількістю агента вулканізації (зазвичай 1 – 5 % від маси каучуку). Більшість агентів вулканізації погано розчиняється (тверді речовини) або погано сумісно (рідини) з каучуком; тому для рівномірного диспергування агента вулканізації в середовищі каучуку в вигляді частинок (крапель) мінімально можливого розміру застосовують спеціальні диспергатори, які являються ПАР для даної системи.

Хорошим диспергатором служить, наприклад, стеарат цинку, який утворюється в гумової суміші при реакції стеаринової кислоти з ZnO, який використовується як активатор сірчаної вулканізації. Присутність полярних

угруповань в макромолекулі, полярних нерозчинних речовин в гумовій суміші і ряд інших факторів сприяє локальному концентруванню навіть розчинних в каучуку агентів вулканізації.

Внаслідок цього реакції, що зумовлюють вулканізацію, йдуть частково як гомогенні (розчинений ДАВ), а частково як гетерогенні реакції на межі поділу каучук – частка (крапля) ДАВ. Вважають, що гетерогенні реакції призводять до утворення сітки з вузьким ММР відрізків макромолекул між сшивками, завдяки чому підвищуються еластичність, динамічна витривалість і міцність вулканизатів. Статистичний розподіл поперечних зв'язків, характерний для гомогенних реакцій, переважно при отриманні ущільнювачів гум, найбільш важлива властивість яких – мале накопичення залишкових деформацій при стисненні.

Оскільки від частки гетерогенних реакцій залежить будова вулканізаційної сітки, властивості вулканизатів визначаються не тільки механізмом хімічних реакцій, але і розміром і розподілом дисперсних частинок агента вулканізації і ДАВ в каучуку, інтенсивністю міжмолекулярної взаємодії на міжфазній межі та інше. Вплив цих факторів проявляється при змішуванні каучуку з інгредієнтами і переробці гумової суміші. Тому властивості вулканизата залежать від «передісторії» конкретного зразка.

Більшість гумових сумішей піддається вулканізації при температурі 130 – 200 °С в спеціальних агрегатах (преса, автоклави, форматори-вулканізатори, сольові ванни, котли, ливарні машини та ін.) З застосуванням різноманітних теплоносіїв (перегрітий водяний пар, гаряче повітря, електрообігрів і інше). Герметики і гумові покриття часто вулканізують близько 20 °С ("холодна" вулканізація).

Коло агентів вулканізації досить широке, і вибір їх визначається хімічною будовою каучуку, умовами експлуатації виробів і прийнятним технологічним способом проведення вулканізації. Для дієнових каучуків (гомополімерів і сополімерів ізопрену або бутадієну) найбільш широко застосовують так звану сірчану вулканізацію. Її використовують у виробництві автомобільних

покришок і камер, багатьох видів гумого взуття, ГТВ і інше. Світове споживання сірки для вулканізації перевищує 100 тис. т / рік (середній її вміст в гумовій суміші становить 1,5 % по масі).

Найбільш важливі компоненти сірчаної системи вулканізації являються прискорювачі вулканізації; варіюючи їх тип і кількість (при обов'язковій присутності активатора вулканізації – суміші ZnO зі стеаринової кислотою), вдається в широких межах змінювати швидкість вулканізації, структуру сітки і властивості гум. Саме хімічна будова прискорювача визначає швидкість утворення і реакційну здатність ДАВ. У разі сірчаної вулканізації він представляє собою полісульфідні з'єднання прискорювача (Пр) типу Пр-Sx-Пр або Пр-Sx-Zn-Si-Пр. В результаті реакцій ДАВ з метиленовими групами або (і) подвійними зв'язками макромолекули утворюються поперечні зв'язки, що містять один або кілька атомів сірки.

У промисловості в якості прискорювачів сірчаної вулканізації найбільш широко (70 % загального обсягу споживання цих інгредієнтів) застосовують заміщені тіазоли і сульфенаміди. Перші, наприклад 2-меркаптобензотіазол, дібензотіазолілдісульфід, забезпечують широке плато вулканізації і високий опір гум термоокиснювальному старінню. Сульфенамід, наприклад N-циклогексил-2-бензотіазолілсульфенамід (сульфенамід Ц), морфолілтіабензотіазол (сульфенамід М), зменшують схильність сумішей до передчасної вулканізації, покращують формоутворюючі властивості сумішей і монолітність виробів, затримують побічні процеси (наприклад, деструкцію і ізомеризації каучуку).

У присутності прискорювачів з групи тіурами, наприклад, тетраметилтіурам дисульфїду, діпентаметилентіурам тетрасульфїди, отримують гуми з підвищеною теплостійкістю. Ці сполуки, що забезпечують високу швидкість сірчаної вулканізації, здатні вулканізувати дієнові каучуки і без елементної сірки. Ще більше прискорення вулканізації спостерігається при використанні так званих ультраприскорювачів – дитіокарбаматів і ксантогенатов.

У присутності перших (діметилдітіокарбамат Zn, діетилдітіокарбамат діетиламіну) гумові суміші можуть бути вулканізованої протягом короткого часу при 110 – 125 °С. Водорозчинні представники цієї групи з'єднань, наприклад, діметилдітіокарбамат Na, використовують для вулканізації латексних сумішей і деяких гумових клеїв. Ксантогенат, наприклад, бутилксантогенат Zn, застосовують головним чином в клейових композиціях, які вулканізуються при 20 – 100 °С.

Перші введені в практику прискорювачі сірчаної вулканізації – альдегідаміни (продукти конденсації аніліну з альдегідами) і гуанідинів (головним чином дифенілгуанідин) – характеризуються уповільненою дією. Завдяки цьому вони зручні при отриманні ебонітом і масивних виробів. Дифенілгуанідин, крім того, широко застосовують в комбінації з тіазолами для підвищення активності останніх; розроблено велику кількість подвійних систем прискорювачів, які забезпечують більш ефективну вулканізацію, ніж кожен з них окремо.

Для ефективного зменшення схильності до подвулканізації гумових сумішей з сірчаної вулканізуючою системою застосовують сповільнювачі подвулканізації фталевий ангідрид, N-ціклогексилтіофталімід. Дія цих інгредієнтів зводиться до зменшення швидкості реакцій компонентів системи вулканізації з каучуком або між собою при утворенні ДАВ.

З метою отримання гум зі спеціальними властивостями в промисловості розширюється застосування таких агентів вулканізації, як органічні пероксиди, алкилфенолформальдегідні смоли, олігоефіракрилатів, ненасичені сполуки, органічні полігалогенпохідні, нітросоединення та ін. Зростає також інтерес до вулканізації під дією радіаційного випромінювання та інших фізичних факторів. Пероксидні і радіаційні гуми відрізняються підвищеною теплостійкістю і поліпшеними діелектричними властивостями; гуми, вулканізовані алкилфенолформальдегідними смолами, відрізняються високою стійкістю до перегрітого пару.

Вулканізація каучуку, що містить в макромолекулі функціональні групи,

можлива також за допомогою з'єднань, що вступають з цими групами в хімічні реакції. Так, вінілпіридинові каучуки вулканізуються полігалогенпроізводними, галогенвмісні каучуки (поліхлоропрен, хлорсульфирований поліетилен, хлорбутилкаучук, фторкаучук) – діамінами, уретанові – діізоціанатами.

1.4 Проблеми стабільності якості складних гетерогенних об'єктів із суттєво різними властивостями окремих компонентів як мета комплексного автоматизованого проектування із прогнозуванням

У різних галузях промисловості, таких як кораблебудування, машинобудування, тощо, для гасіння вібрації і ударних хвиль використовують багатошарові амортизуючі системи, що складаються із пружних і непружних шарів, здатних гасити коливання і витримувати значні навантаження під дією зовнішнього збурення.

Таким системам необхідний відповідний адаптований комплексний підхід до постановки і вирішення завдань оптимізації, що дозволяє враховувати не тільки різні властивості матеріалів елементів, але і зв'язки між елементами. Таким чином, удосконалення існуючих методів розрахунку та оптимізації багатошарових систем з урахуванням різних властивостей матеріалів елементів і зв'язків між ними є актуальною задачею.

Коефіцієнт стабільності η розраховується з використанням поняття ентропії як міри впорядкованості зв'язків в системі [66, 67]:

$$\eta = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad (1.7)$$

де H – ентропія системи, що знаходиться в даному функціональному стані;

H_{\max} – максимально можлива ентропія, відповідна повній невизначеності в поведінці системи.

Максимум ентропії $H_{\max} = 1$ відповідає її нестійкому стану, при якому ймовірність досягнення бажаного результату P_1 дорівнює отриманню небажаному результату P_2 . З урахуванням цього

$$\eta = 1 - \frac{H}{I}. \quad (1.8)$$

Ентропію функціонуючої системи розраховують за формулою:

$$H = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 \quad (1.9)$$

де P_1 – вірогідність здійснення події в заданому (бажаному) інтервалі;

$P_2 = 1 - P_1$ – вірогідність виходу події із заданого інтервалу.

Розрахувавши значення ентропії H і підставивши його до формули (1.9), знаходять коефіцієнт стабільності η для кожного показника якості виробленої продукції. Оцінку процесу за коефіцієнтом стабільності η доцільно проводити при наявності великої вибірки даних ($n = 25 - 30$).

Поняття «стабільність технологічного процесу» охоплює ряд властивостей. У їх числі слід назвати стабільність точності, стабільність продуктивності, стабільність витрат матеріалів і енергії, стабільність виходу придатної продукції, стабільність різних показників якості продукції [68].

До показників стабільності технологічних процесів відносяться: задача продукції з першого пред'явлення, рівень дотримання технологічної дисципліни, втрати від браку, відсутність рекламаций, претензій від споживачів.

У підтримці стабільності технологічних процесів найбільш дієвими заходами виявилися зведення до мінімуму впливу суб'єктивних факторів на хід виробництва шляхом його механізація і автоматизації; впровадження статистичних методів регулювання технологічних процесів і контролю; підтримка необхідної технологічної точності обладнання і оснастки; підтримання високої технологічної дисципліни.

Для ефективного вирішення багатьох задач оптимізації складних систем в САПР важливе значення має результат вибору відповідної цільової функції. При такому виборі увагу необхідно звертати увагу не тільки на функціональні параметри проектованої системи, але і на деякі вихідні дані ззовні обмеження, які настільки важливі для характеристик майбутньої системи, що їх краще було б отримувати саме в результаті оптимізації.

Очевидними прикладами таких обмежень можуть служити деякі стандартні розміри машин і механізмів, граничні швидкості обертання і прямолінійного руху окремих деталей і вузлів в механіці, «паспортні» напруги і струми в електрообладнанні і багато інших.

Але існують і менш очевидні параметри систем, які самі є «вторинними» при вирішенні деяких завдань оптимізації і які виникають лише в результаті глибокого аналізу процесів, що протікають в об'єкті проектування під час його життєвого циклу.

До таких параметрів можна віднести показники зв'язності елементів складних систем, в самій можливості реально чи віртуально впливати на цю зв'язність і знаходити за рахунок такого впливу додаткові можливості створення сучасної продукції з «заоптимальними» властивостями. З урахуванням постійно зростаючих вимог до якості продукції, технологій та обладнання сучасного виробництва, можна стверджувати, що пошук і створення методів такої оптимізації є надзвичайно актуальним.

До найбільш поширених амортизуючих систем сьогодні можна віднести гумотехнічні вироби різного призначення [69 – 71], які відносяться до композиційних матеріалів [72, 73]. Фізично вироби такого типу являють собою анізотропне середовище, поширення механічних взаємодій у якому залежить від напрямку і місця прикладання зовнішніх сил [74].

Оптимізація таких систем в САПР є непростим завданням, оскільки необхідно враховувати істотно різні властивості матеріалів елементів системи. На жаль, існуючі методи розрахунку дозволяють враховувати тільки пружні елементи даної системи, хоча реально існуючі системи є значно складнішими.

Виходячи з цього, в САПР-К таких виробів ставиться і вирішується завдання оптимізації конструкції гумометалевих виробів, що забезпечує, наприклад, кращі умови гасіння ударних хвиль.

Як відомо, оптимізація – це пошук вектора аргументів x , що забезпечує екстремум деякій цільовій функції $f(x)$ [75]. Багатокритеріальна оптимізація – це процес одночасної оптимізації двох або більше конфліктуючих цільових функцій у заданій області визначення [76].

Завдання багатокритеріальної оптимізації полягає в пошуку вектора рішення (множини оптимізуючих аргументів), що задовільняє накладеним обмеженням і оптимізує деяку загальну векторну функцію, елементи якої відповідають окремим цільовим функціям.

Останні утворюють математичний опис критерію задовільності і, як правило, взаємно конфліктують. Звідси, оптимізувати – значить знайти таке рішення, при якому значення окремих цільових функцій були б прийнятними для постановника задачі [77].

При автоматизованому проектуванні систем часто виникає проблема, викликана тим, що окремі параметри тієї або іншої системи належать одночасно двом або більше її елементів [78]. Наприклад, проектуючи редуктор, неможливо оптимізувати швидкість обертання зубчастого колеса без врахування «інтересів» іншої шестерні, що перебуває з першої на одному валу [79]; не можна проектувати графік відключення однієї частини електронного пристрою, не погоджуючи результат проектування з іншою частиною, якщо у них загальний вимикач [80] і т. п.

Подібні зв'язки між параметрами елементів є жорстким обмеженням на систему в цілому і, наприклад, при послідовному проектуванні елементів є проєктованими параметрами тільки для першого з них, – для подальших вони автоматично переводяться в множину початкових даних.

Такий підхід може як спрощувати проектування (як мінімум, одним розрахунковим параметром менше), так і істотно ускладнювати його, примушуючи неодноразово повертатися до вже спроектованих елементів або

проекувати систему в цілому одночасно. Для рішення задачі оптимізації в цьому випадку використовується комплексний генетичний алгоритм, доповнений блоком обліку нових обмежень [81].

Останнім часом з'явилися роботи, в яких згадані вище зв'язки між елементами систем, не є жорсткими [82]. Наявність таких зв'язків дозволяє вирішувати задачі оптимізації систем більш ефективно, наприклад, глибше, ніж за Парето [83]. І в цьому випадку використовуються комплексні генетичні алгоритми, доповнені блоками адаптації розрахункових моделей під «гнучкий» зв'язок між аргументами цільових функцій багатокритеріальної оптимізації [84].

При цьому не враховуються абсолютно нові математичні можливості «зворотної» оптимізації, тобто пошуку оптимального проектного рішення, коли згадані обмеження, обумовлені нежесткими зв'язками «переводяться» в множину цільових функцій, оскільки параметри цих зв'язків знаходяться в залежності від параметрів конструкції об'єкта і технології його виготовлення.

1.5. Висновки та постановка задач дослідження

Аналізом існуючих методів математичного моделювання та оптимізації в САПР гумометалевих виробів та технології їхнього виготовлення встановлено, що, такі виробництва відрізняються, як правило, нестабільністю і для автоматизованого проектування вимагають спеціальних методів та ускладнених моделей.

Сучасне гумометалеve обладнання (механічні амортизатори, автомобільні покришки, корпуси підводних човнів, магнітна та електропровідна гуми, тощо) складається з елементів, спроба сумісної оптимізації яких при проектуванні конструкцій та технологій стикається із серйозними проблемами саме із-за необхідності постійно враховувати суттєво різні властивості гетерогенних компонентів: металу та гуми.

Динамічні системи, до яких відноситься технологічний процес виготовлення гумометалевих виробів, при своєму русі у фазовому просторі можуть супроводжуватися проходженням фазової траєкторії біля так званих точок біфуркації, після подолання яких процес може піти у двох суттєво різних з точки зору кінцевого продукту напрямках. Тобто, біфуркація – це придбання нової якості в рухах динамічної системи при малій зміні її параметрів. Оскільки такі зміни параметрів, особливо не враховувані САПР, або навіть взагалі непередбачувані, носять ймовірнісний характер, техпроцес виглядає як нестабільний.

Нестабільність, коли при суворому дотриманні однакових запроєктованих режимів і властивостей матеріалів на виході отримують велику кількість (до 50 %) бракованої продукції, є, безумовно, найгіршою характеристикою будь-якого проекту, отриманому за допомогою САПР, який виявляється дуже чутливим до прихованих чинників, нездатним до «самостабілізації», або *не робастним*.

В цих умовах головним завданням є передбачення можливих причин нестабільності майбутнього виробництва і створення таких проектів, які мають ознаки робастності, тобто мало залежать від прихованих чинників конструкцій та технологій. Наприклад, джерелом нестабільності може стати вулканізація – технологічний процес, в якому еластичний каучук перетворюється в гуму. В результаті нестабільної вулканізації фіксується непередбачувана форма виробу і воно не завжди набуває необхідної міцності, еластичності, твердості, опору розриву, втомлісної витривалості, тощо.

Тому метою роботи було підвищення якості продукції гумотехнічних підприємств за рахунок підвищення стабільності гумометалевого виробництва на етапі автоматизованого проектування конструкцій та технологій виготовлення гетерогенних гумометалевих машинобудівних деталей шляхом розробки і впровадження нових комплексних САПР, які базуються на динамічних моделях, що забезпечують робастність конструкцій гумометалевих виробів та технологічного процесу їхнього виготовлення.

Для досягнення цієї мети в роботі були вирішені **наступні задачі:**

– проаналізовані існуючі методи та проблеми автоматизованого проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення, а також вплив особливостей проектування на стабільність технологічних процесів і якість кінцевої продукції;

– виконана класифікація технічних гумометалевих виробів як об'єктів автоматизованого проектування, розроблені загальні методи дисертаційного дослідження;

– розроблені головні засади системи автоматизованого «робастного» комплексного проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення із стабільними властивостями;

– розроблена комплексна САПР «RUMET» (*rubber metal product*), що базується на запропонованих методах та динамічних моделях і забезпечує оптимізацію конструкції та стабілізацію технології виготовлення гумометалевих виробів;

– здійснено виробниче впровадження комплексної САПР «RUMET» на машинобудівному гумотехнічному виробництві із позитивним технічним ефектом.

РОЗДІЛ 2

КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Класифікація об'єктів автоматизованого проектування гумометалевих виробів та вибір об'єкта-представника

Найбільш загальні засади поняття «гумометалевий виріб» складають наступне [85, 86]:

– гумометалевий виріб є нероз'ємним з'єднанням двох частин однієї деталі: гуми та будь-якого металу або інших речовин, які за своїми властивостями наближаються до металів, наприклад, графіту – за електропровідністю, алмазу – за твердістю, тощо;

– технологія виготовлення будь-яких гумометалевих виробів містить єдині для усіх класів останніх операції, обладнання та речовини, наприклад, вулканізація гуми, підготовка початкових компонентів, тощо.

В роботі виділені такі класи гумометалевих виробів:

- гумометалеві вироби класу «Гумове покриття» (рис. 2.1);
- гумометалеві вироби класу «Силовий композиційний елемент» (рис. 2.2);
- гумометалеві вироби класу «Зосереджене (макро) армування» (рис. 2.3);
- гумометалеві вироби класу «Дисперсійне (мікро) армування» (рис. 2.4).

Оскільки вироби, які входять до різних класів, мають суттєві особливості при проектуванні їхньої конструкції та технології їх виготовлення, будь-яке проектування гумометалевих виробів повинно починатися з визначення цього класу та вибору відповідних до останнього методів та моделей САПР та інформації, яка зберігається у відповідних підсистемах загальної бази даних САПР.



а)



б)

Рисунок 2.1 – ГМВ типу «Гумове покриття»:

а – гумометалеві валки;

б – корпус підводного човна



а)



б)

Рисунок 2.2 – ГМВ типу «Силовий композиційний елемент»
(гумометалеві амортизатори):

а – типу АКСС;

б – типу КРМ.



а)



б)

Рисунок 2.3 – ГМВ типу «Зосереджене (макро) армування»

а – траки гусениць;

б – автомобільні шини.



а)



б)

Рисунок 2.4 – ГМВ типу «Дисперсійне (мікро) армування»:

а – електропровідна гума (рухоме заземлення);

б – магнітна гума (ущільнювачі).

Далі в дисертаційній роботі будемо розглядати гумометалеві вироби класу «Силовий композиційний елемент» на прикладі гумометалевих амортизаторів типу АКСС (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд лінійки типорозмірів гумометалевих амортизаторів

Амортизатори АКСС можуть застосовуватися для амортизації механізмів, приладів, агрегатів і в інших галузях народного господарства. Гумометалеві амортизатори призначені також для захисту від вібрації та ударних навантажень обладнання на судах, двигунів і коробок сільгоспмашин, танків, БТР, вентиляційних установок, установок кондиціонування та ін.

Амортизатори АКСС призначені для роботи в повітряному середовищі в присутності парів масла і дизельного палива, а також при можливості

безпосереднього потрапляння масла, дизельного палива, прісної і морської води, при температурі від $+ 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+ 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, короткочасно (не більше 1 години і не частіше одного разу на місяць) від $- 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а також при температурі до $- 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в неробочому стані в період добудови та відстою суден [28].

Амортизатори призначені для роботи в вібраційному режимі з частотою до 50 Гц з амплітудами деформування гумового масиву в напрямку осей X , Y і Z до 0,2 мм.

Параметри представника лінійки: амортизатора АКСС-10М (рис. 2.6) наведені в табл. 2.1.

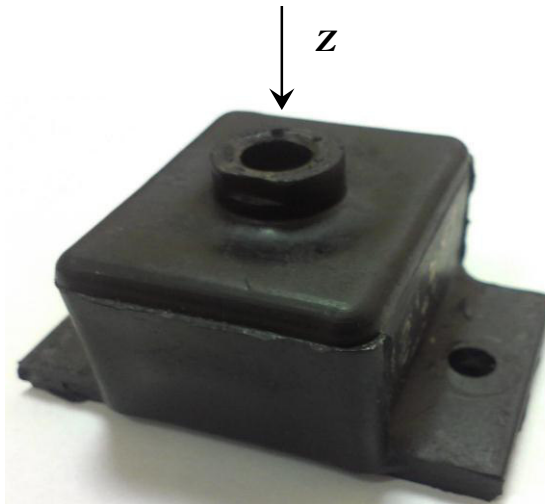


Рисунок 2.6 – Гумометалевий амортизатор АКСС-10 М і основний напрямок його робочого навантаження Z

Таблиця 2.1 – Параметри представника лінійки:
амортизатора АКСС-10М

Загальна вага, г	Вага гуми, г	Вага арматури, г	Відходи гуми	
			г	%
191,0	58,0	133,0	4,0	6,9

Зовнішній вигляд устаткування для вулканізації гумової частини амортизаторів наведено на рис. 2.7 та 2.8, а креслення прес-форм – 2.9 та 2.10.

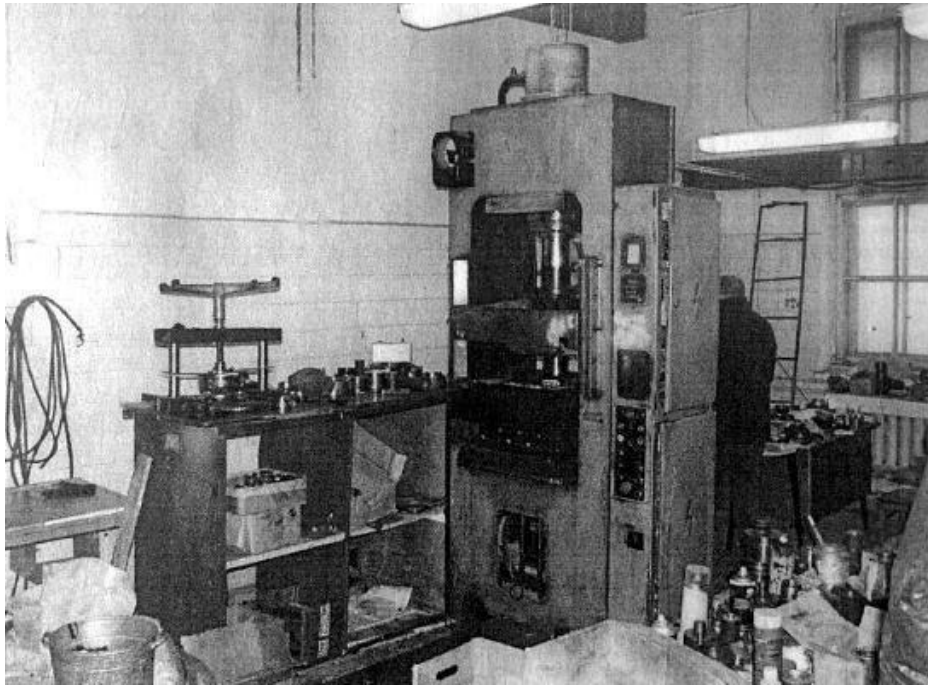


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд устаткування для вулканізації гумової частини амортизатора

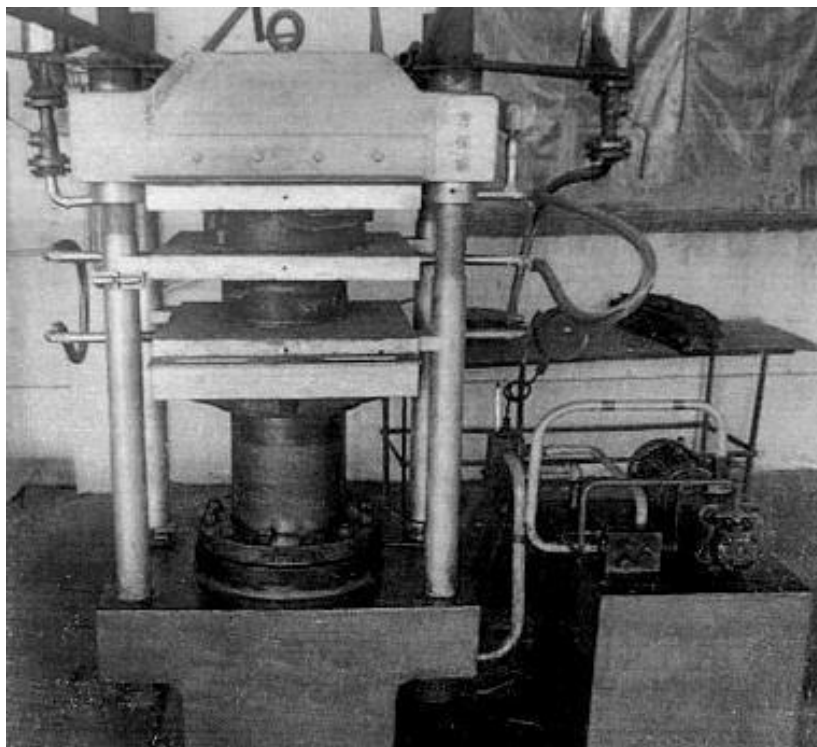


Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд прес-форми для вулканізації гумової частини амортизатора

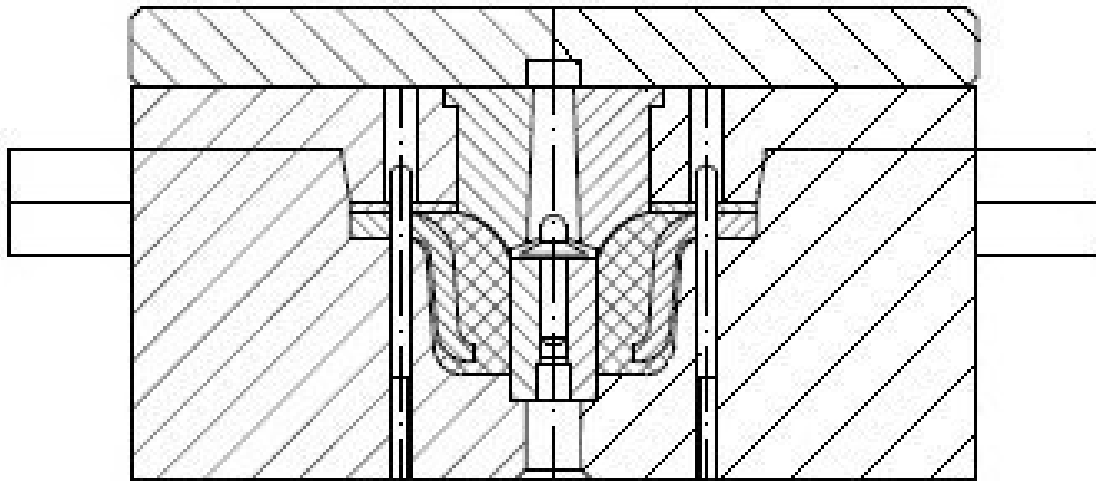


Рисунок 2.9 – Конструкція одномісної прес-форми для вулканізації гумової частини амортизаторів

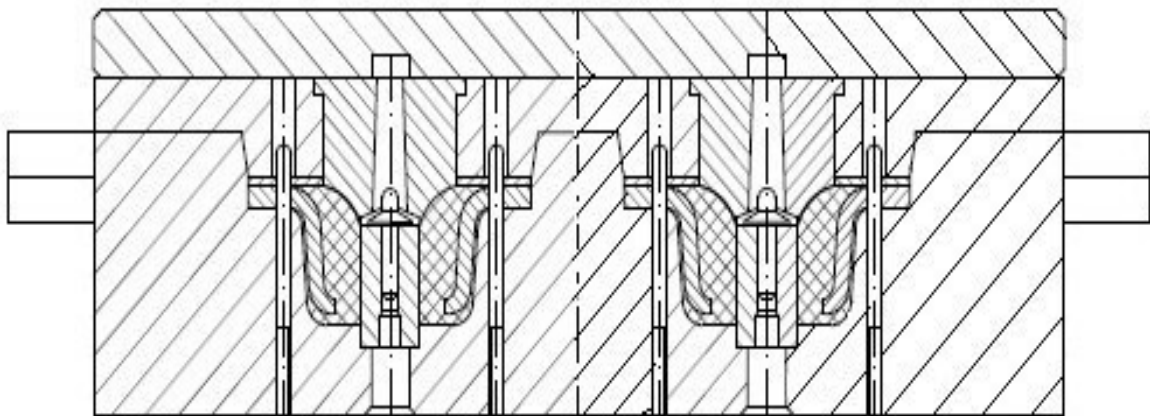


Рисунок 2.10 – Конструкція двомісної прес-форми для вулканізації гумової частини амортизаторів

Заправлені арматурою і гумовою сумішшю прес-форми за допомогою пересувного підйомного столу завантажуються в вулканізаційні преса. На кожну плиту встановлюються дві прес-форми. Прес-форми повинні бути одного типорозміру.

Перед початком вулканізації відповідно до технологічних карт проводиться 2 – 3 підпресування. Контроль режиму вулканізації здійснюють на відповідних приладах [28].

Після вулканізації прес-форми за допомогою спеціальних щитів (перекидних столів) вивантажують на робочий стіл. Роз'єднання частин прес-форм для вилучення готових виробів виконується за допомогою пневмовитискувача. Зняття кришок і витягування заглушок виконують за допомогою монтувань.

Вулканізовані амортизатори переміщуються в бункери-накопичувачі. Дані про амортизатори заноситься в маршрутний лист, в якому вказують типорозміри деталей, їх кількість, дату виготовлення.

Бункери з амортизаторами, виробленими за зміну, за допомогою електронавантажувача перевозять на ділянку обробки.

Обробку деталей після вулканізації виконують на ділянці, обладнаній робочими столами, верстатом для видалення напливів на різьбову поверхню несучих планок амортизаторів.

Обрізка облоя (випрессовок) та залишків літників виконується вручну ножицями. Допускається змочування інструменту мильним розчином або бензином. При необхідності проводиться видалення заплівів гуми з різьбової поверхні несучих планок амортизаторів за допомогою мітчиків, закріплених на верстаті.

У маршрутному листі, який надходить з деталями з ділянки вулканізації, обрізувачі відзначають кількість оброблених деталей та прізвища виконавців цієї процедури.

2.2 Виділення підсистем, елементів та зв'язаних параметрів системи «конструкція – технологія» гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

Гумометалевий амортизатор – досить складна деталь, яка містить штамповані та литі елементи металевої арматури і гумовий прошарок, який працює в найважчих умовах механічного навантаження. Креслення базової конструкції гумометалевого амортизатора типу АКСС-10 М наведено на рис. 2.11.

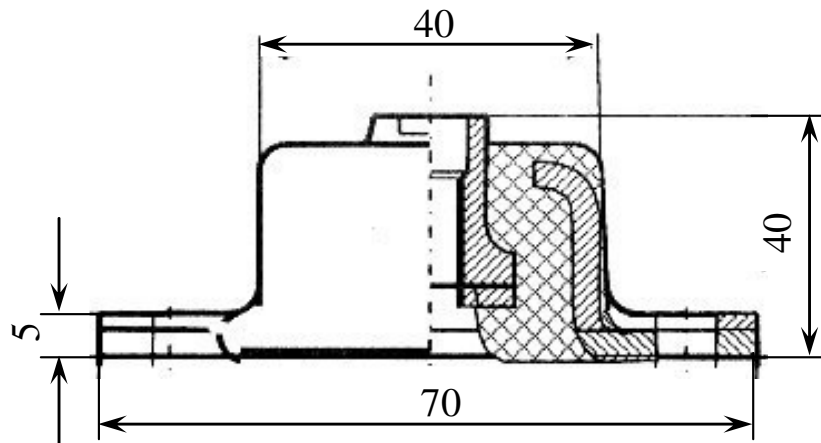


Рисунок 2.11 – Конструкція гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

Виділимо в конструктивній схемі амортизатора параметри, зв'язність між якими принципово відрізняється. До них відносяться розміри опорних майданчиків, внутрішні та зовнішні діаметри металевих деталей та гумового прошарку між ними, висоту амортизатора, тощо.

Як бачимо, зв'язок повністю відсутній між розмірами майданчиків, слабкий – між внутрішнім діаметром зовнішньої металеві деталі та зовнішнім діаметром внутрішньої металеві деталі, сильний – між висотами усіх металевих та гумового елементів (рис. 2.12).

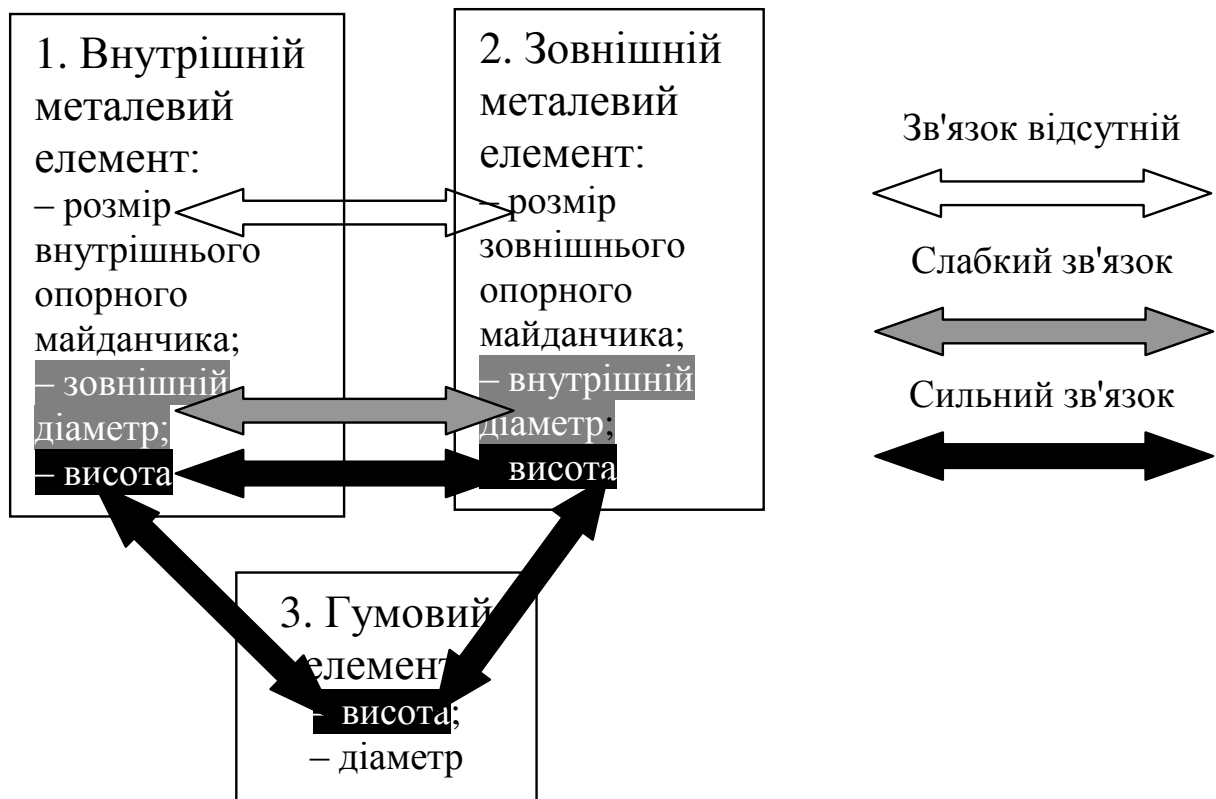
Відмітимо, що зв'язані параметри метрологічно відносяться до одного геометричного або фізичного сенсу: «діаметр – діаметр», «довжина – довжина», «площа – площа» і т.п.

Схема базового (існуючого) на підприємстві технологічного процесу виготовлення гумометалевого амортизатора класу «Силовий композиційний елемент» типу АКСС-10 М представлена на рис. 2.13 [27].

Як видно з рисунку, технологічний процес містить такі основні елементи:

- обслуговування прес-форм;
- виготовлення та контроль металеві частини гумометалевого виробу: арматури (зазначимо, що в амортизаторі АКСС-10 М частина арматури виготовляється штампуванням, а частина – литтям);
- лиття гумові суміші у прес-форму;

- вулканізація;
- фінішна обробка, контроль якості, маркування та пакування готових амортизаторів.



Рисунки 2.12 – Параметри елементів конструкції амортизатора, які підлягають оптимізації в САПР-К, та приклади видів системних зв'язків між ними

Відмітимо також і в цьому випадку, що зв'язані параметри метрологічно відносяться до одного геометричного або фізичного сенсу: «тиск – тиск», «властивості – склад», тощо.

Виділимо аналогічно в технологічній схемі виготовлення амортизатора параметри, зв'язність між якими принципово відрізняється (рис. 2.14).

Тут також присутні три види зв'язків: відсутність зв'язку, слабкий зв'язок та сильний зв'язок. Зрозуміло, що подібні зв'язки наведені умовно, адже в кожному випадку проектування їх необхідно встановлювати індивідуально.

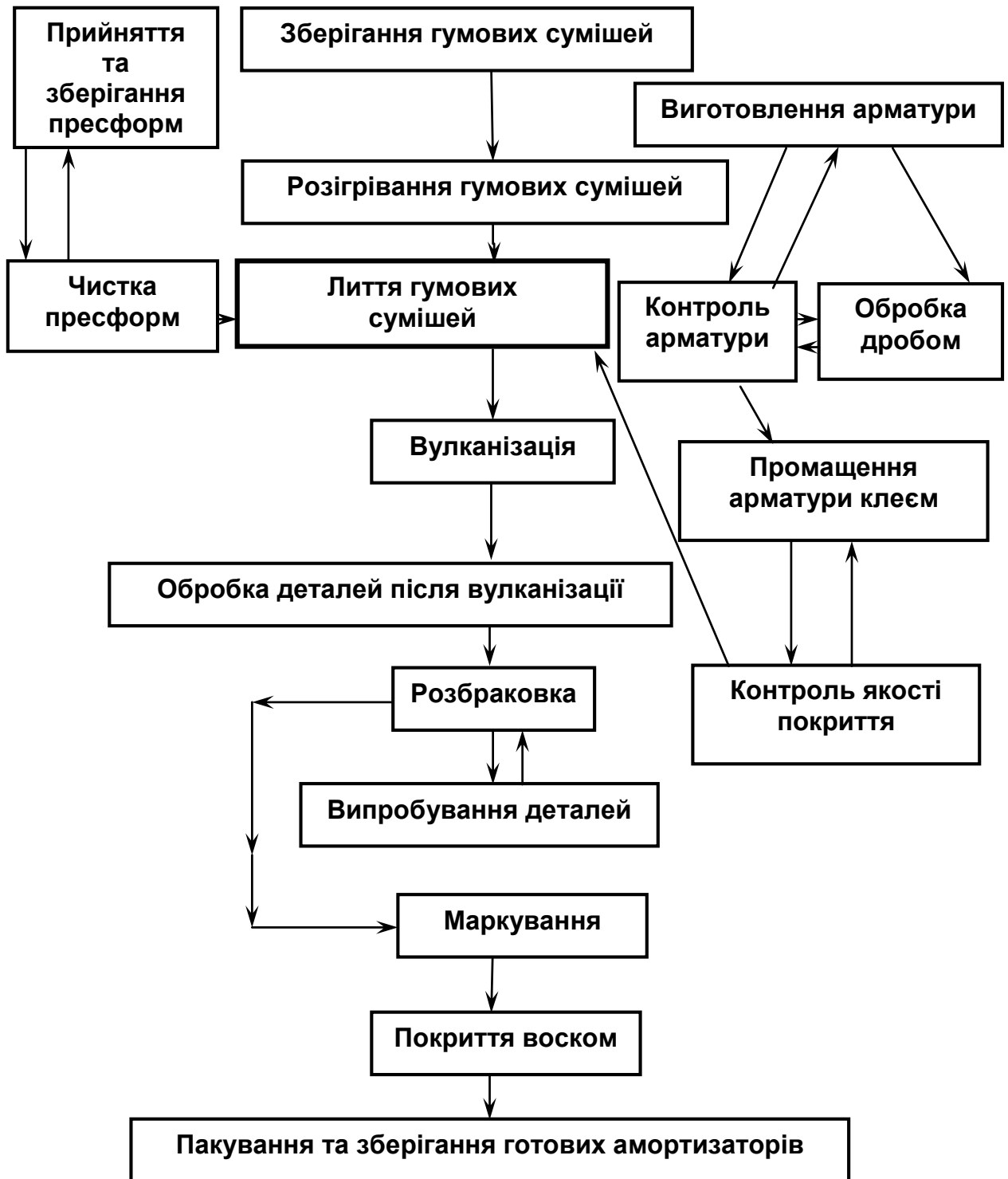


Рисунок 2.13 – Базова технологічна схема процесу виготовлення гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

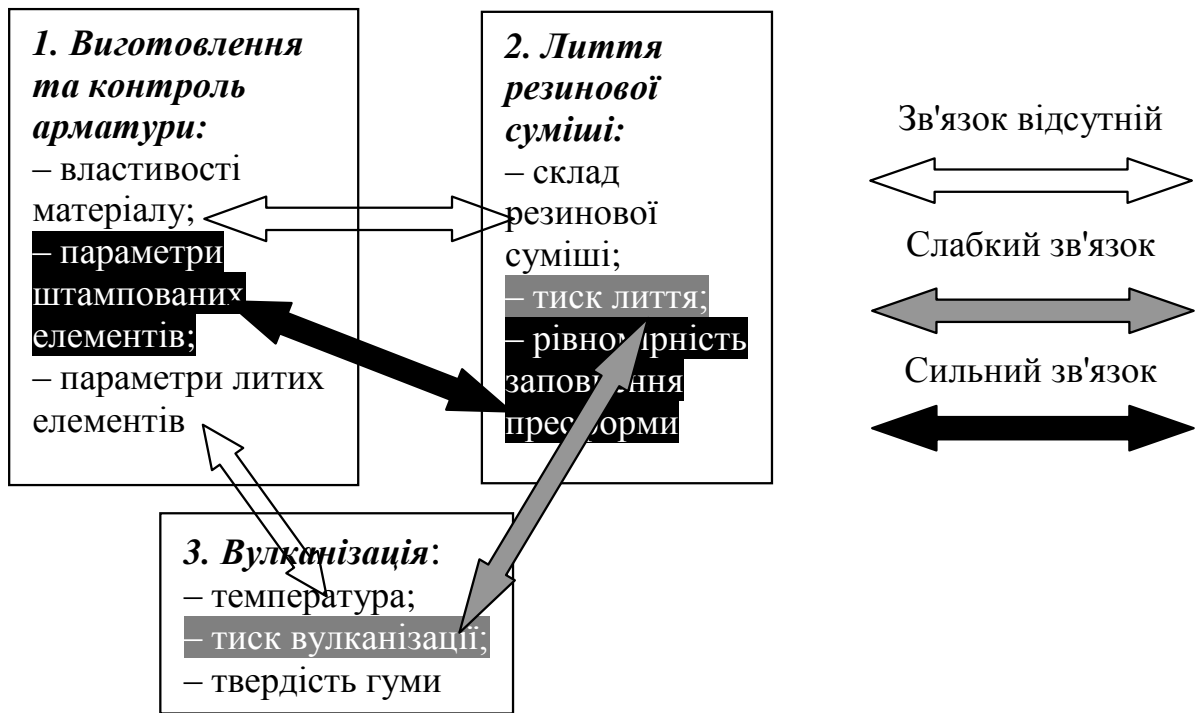


Рисунок 2.14 – Параметри елементів технологічної схеми виготовлення амортизатора, які оптимізуються в САПР-Т, та приклади видів системних зв'язків між ними

Поєднуючи схеми, наведені на рис. 2.12 та 2.14, отримуємо перелік параметрів елементів, як конструкції амортизатора, так і технології його виготовлення, які оптимізуються в комплексній САПР. Приклади видів системних та міжсистемних зв'язків між такими параметрами наведені на рис. 2.15.

Відмітимо, що «міжсистемні» зв'язки не такі очевидні, як внутрішньосистемні. Наприклад, всередині механічної системи можна говорити про сильний зв'язок між швидкостями обертання двох шестерень, які знаходяться на одному валу. Технологічну систему можуть об'єднувати слабкі зв'язки по температурі всередині одного нагрівального пристрою, тощо.

В міжсистемному середовищі ознаки «пристрою» та «способу» можуть суттєво відрізнятися, що не робить їх менш зв'язними. Наприклад діаметр свердла може бути однозначно зв'язаний із діаметром деякого конструктивного отвору, що може «потягнути» за собою режими свердління, тощо.

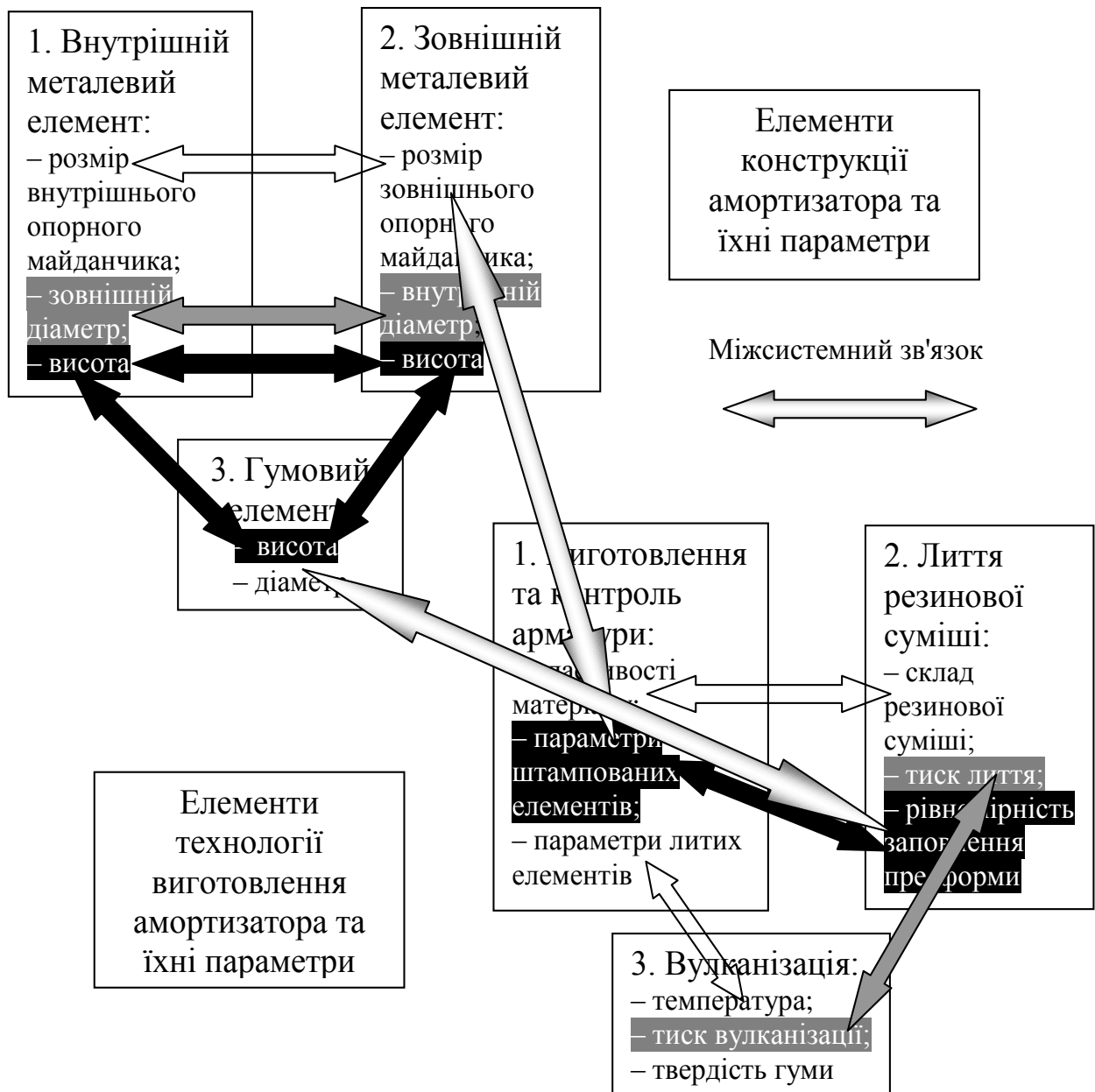


Рисунок 2.15 – Параметри елементів конструкції амортизатора та технології його виготовлення, які оптимізуються в комплексній САПР, та приклади видів системних та міжсистемних зв'язків між ними

Структура комплексної САПР, відповідно, також ускладнюється, оскільки тепер вона повинна розв'язувати задачі оптимізації як для окремих підсистем, переводячи параметри інших в початкові дані або в обмеження, так і для всієї системи «конструкція – технологія» в цілому. Такий підхід потребує «модернізації» існуючих методів оптимізації технологічних процесів в САПР [87, 88], про що мова піде в наступному розділі.

2.3 Методи взаємного відображення зв'язаних параметрів, які відносяться до підсистем різної фізичної природи

2.3.1 Використання марковської моделі

Для того, щоб зв'язані параметри, які відносяться до підсистем різної фізичної природи, можна було оптимізувати сумісно, їх треба привести до деякого загального абстрактного (наприклад, безрозмірного) параметру, тобто виконати їхнє взаємне відображення (рис. 2.16).

Практичне здійснення такого відображення за допомогою комп'ютерного експерименту на спеціально розробленій для цього моделі проілюструємо на прикладі встановлення зв'язку між розміром гумової частини амортизатору (параметр конструкції) та реологічною характеристикою заповнення відповідної частини прес-форми гумометалевою сумішшю (параметр технології).

Дійсно, найбільш відповідальним етапом технологічного процесу виготовлення виробів з композиційних матеріалів є заповнення формуючого оснащення: прес-форми, опалубки, тощо. На цьому етапі закладаються основні показники якості готового виробу, визначається, чи буде він придатним до експлуатації, закладаються його властивості, зовнішній вигляд. Тому конструктивні характеристики виробу та реологічні характеристики суміші, з якої виробляється останній, сумісно суттєво впливають на перераховані показники [89].

У той же час реологія композиційних матеріалів, як правило, не може бути описана ні законами гідравліки, ні моделями, застосовуваними в механіці ґрунтів для сипучих матеріалів; часто такі гетерогенні суміші містять різнорідні за розмірами, конфігурацією, агрегатним станом компоненти, які в процесі перемішування і переміщення змінюють основні фізичні властивості, наприклад, в'язкість.

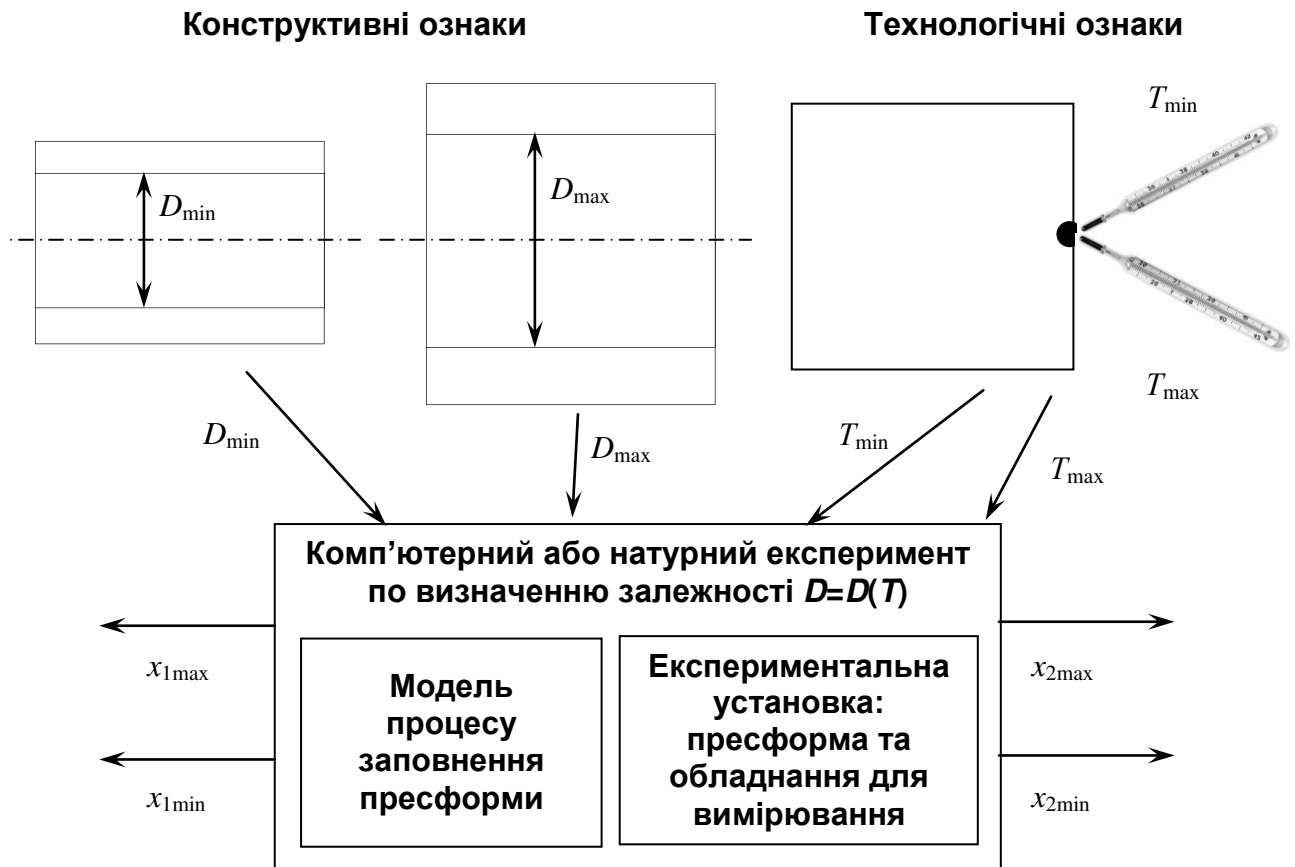


Рисунок 2.16 – Схема взаємного відображення зв'язаних параметрів, які відносяться до підсистем різної фізичної природи

Основною проблемою при розробці технології виготовлення виробів з гетерогенних матеріалів з компонентами, що істотно розрізняються, (армована гума, бетони та залізобетони, синтегран, тощо) є відсутність адекватних структурних імітаційних моделей, на вході яких – характеристики процесів переміщення таких матеріалів, заповнення ними відповідних форм, а також процесів їх хімічного або фізичного твердіння, а на виході – структурозалежні властивості майбутніх виробів: щільність, поруватість, повітря- і вологонепроникність, ізотропність, міцність, ударна в'язкість, здатність до вібропоглинання та ін.

Існуючі структурні моделі взаємопроникнення компонентів гетерогенних матеріалів являють собою, найчастіше, тривимірний об'єм, заповнений паралелепіпедами різних розмірів, моделюючими тверді компоненти суміші, і

вільним простором між цими паралелепіпедами, який моделює пори між твердими елементами суміші [90].

Недоліки такої формалізації: невідповідність форми реальних компонентів паралелепіпедам; їх взаємна нерухомість, що виключає моделювання реологічних процесів; відсутність врахування зміни зовнішніх впливів на компоненти; відсутність обліку зміни фізичних властивостей гетерогенних матеріалів в процесі переміщення.

Наприклад, відомі з ливарного виробництва моделі, в яких враховується переміщення мас початкових матеріалів під дією зовнішніх сил, але і їх можливості дуже обмежені, оскільки вони не враховують істотні різноманітності розмірів елементів вихідних матеріалів [91, 92]. Моделі, що застосовуються в механіці ґрунтів, також, на жаль, не враховують зміну властивостей, яка відбувається із зв'язуючими матеріалами початкових сумішей при їх твердінні [93, 94].

Уявлення про структурні перетворення, засновані на математичному апараті марковських процесів, вимагають «навчання» моделі на реальних подіях, оскільки реальні значення ймовірностей марковських переходів повинні корелювати з фактичними подіями, що відбуваються при переміщенні гетерогенних середовищ [95, 96].

Для вирішення подібного роду завдань пропонується використовувати динамічну марковську модель заповнення простору прес-форм, яка враховує переміщення гумометалевої суміші під дією різноманітних сил – гравітації, тиску, тощо.

Як відомо, реологія композиційних матеріалів, використовуваних при виготовленні виробів в будівництві, машинобудуванні, тощо, ускладнюється тим, що такі матеріали часто містять компоненти, які знаходяться в трьох агрегатних станах (твердий, рідкий, газоподібний), причому як самі агрегатні стани, так і відповідні цим станам властивості багатьох компонентів змінюються в часі. Запропонована двомірна модель миттєвого стану гетерогенної суміші має вигляд, представлений на рис. 2.17 [1, 12, 14, 22].

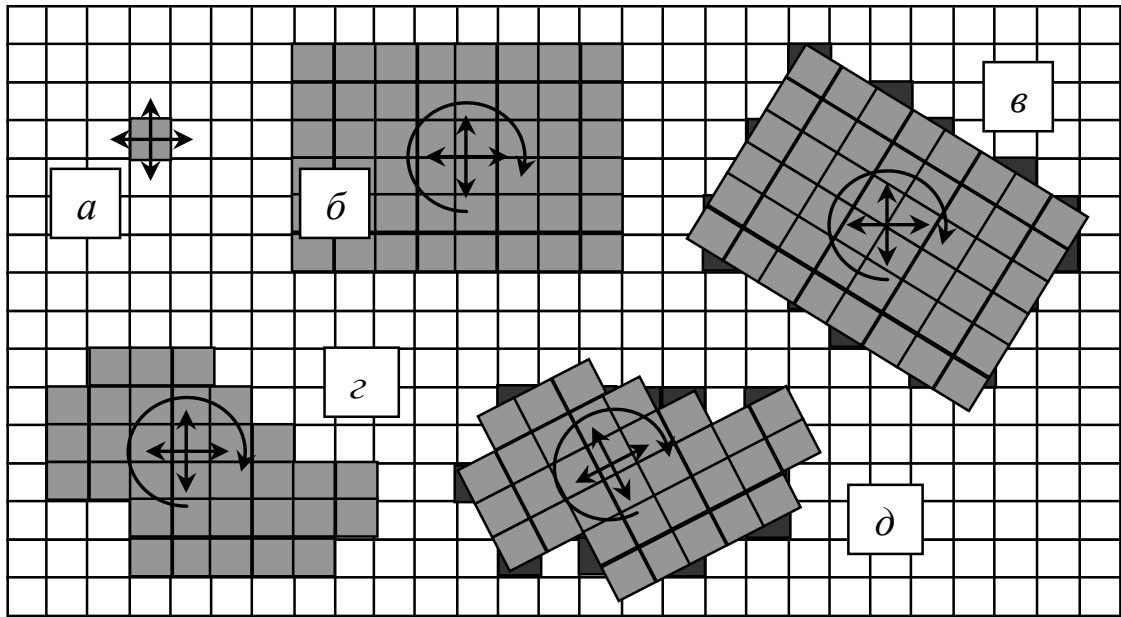


Рисунок 2.17 – Схема дискретизації простору, заповненого моделями фракцій композиційного матеріалу

На цьому рисунку окремий мікроелемент суміші (наприклад, піщинка наповнювача) відповідає одній клітині сітки (рис. 2.17, *a*), один макроелемент (наприклад, арматура) – постійній спільноті таких клітин (рис. 2.17, *б – д*), а рідини і газу, що заповнюють пори між мікро та макроелементами, являють собою простір, який залишився, умовно та приблизно розділений на клітини того ж розміру.

Будемо вважати, що зміною стану всієї системи є зміна (переміщення) хоча б одного її елемента. Модель переміщення виглядає наступним чином: елемент з деякими властивостями в заданій клітці зникає, елемент з таким же (для твердого або газоподібного) або зміненими (для рідкого) властивостями з'являється в одній з чотирьох сусідніх ортогонально розташованих клітин.

Природно, якщо елемент займає площу більше однієї клітини (макроелемент), то рух (поступальний, обертальний) таких елементів має відбуватися спільно: на одну величину і в одному напрямку.

Поворот мікроелемента в моделі не передбачений, а поворот спільноти елементів призводить до його поширення на ті клітини, де перекриття сітки

основи перевищує 50 % її площі (рис. 2.17, в, д).

Рух кожного елемента може відбуватися при наявності таких обставин [2, 15, 16]:

- зовнішні сили достатні для переміщення;
- простір у напрямку діючої сили, куди може переміститися модельований фрагмент вільно або відносно легко звільнюється.

Якщо для переміщення мікроелемента місце для його нової позиції повинно бути звільнене від елементів інших компонентів, то необхідно розрахувати, чи вистачає зовнішньої енергії, яка витрачається на переміщення, щоб подолати опір і зазначене звільнення відбулося.

Відповідно до представлень, наведених на рис. 2.17, кожен квадратний елемент сітки може перебувати в наступному стані: заповнений газом («порожній»); заповнений твердим тілом (діспергована арматура – металевий порошок, сажа); заповнений рідиною (каучук). Марківська модель процесу зміни стану елемента являє собою граф, в основі якого – один з станів: незаповнена клітина (рис. 2.18, а), клітина, заповнена твердим елементом (рис. 2.18, б), і клітина, заповнена твердим макроелементом (рис. 2.18, в). Будь-яка зміна структури здійснюється в результаті переходу, що відбувається з тим або іншим ступенем ймовірності, у значенні якої «захиті» перераховані вище зовнішні впливи і властивості матеріалів суміші.

За допомогою марковської моделі на кожному кроці моделювання визначаються всі можливі стани після кожної ітерації, ймовірності переходу до цих станів і статистичні характеристики часу, необхідні для завершення переходу. В'язкість твердих елементів приймається рівною нескінченності, в'язкість газоподібних – нулю, а в'язкість каучуку визначається на кожній ітерації моделювання залежно від реальних хімічних процесів полімеризації (утворення гуми). В результаті використання запропонованої моделі вдалося отримати співвідношення, які зв'язують реологічні характеристики початкових гумометалевих сумішей та параметри зовнішніх впливів з важливими характеристиками конструкції гумометалевих амортизаторів (рис. 2.19) [32].

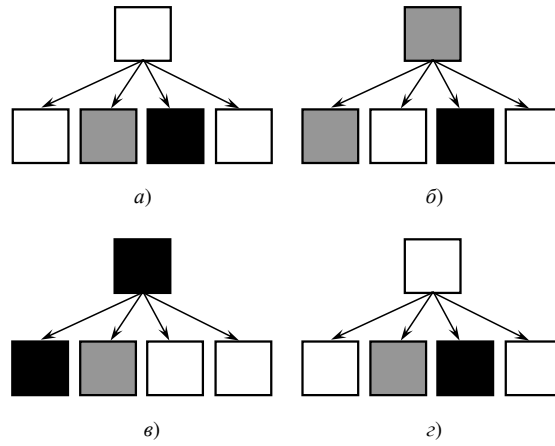


Рисунок 2.18 – Марковські переходи стану клітини моделі:

□ – «порожнина» (заповнена повітрям);

■ (gray) – заповнена твердим елементом;

■ (black) – заповнена твердою субстанцією макроелементу;

■ (hatched) – заповнена каучуком

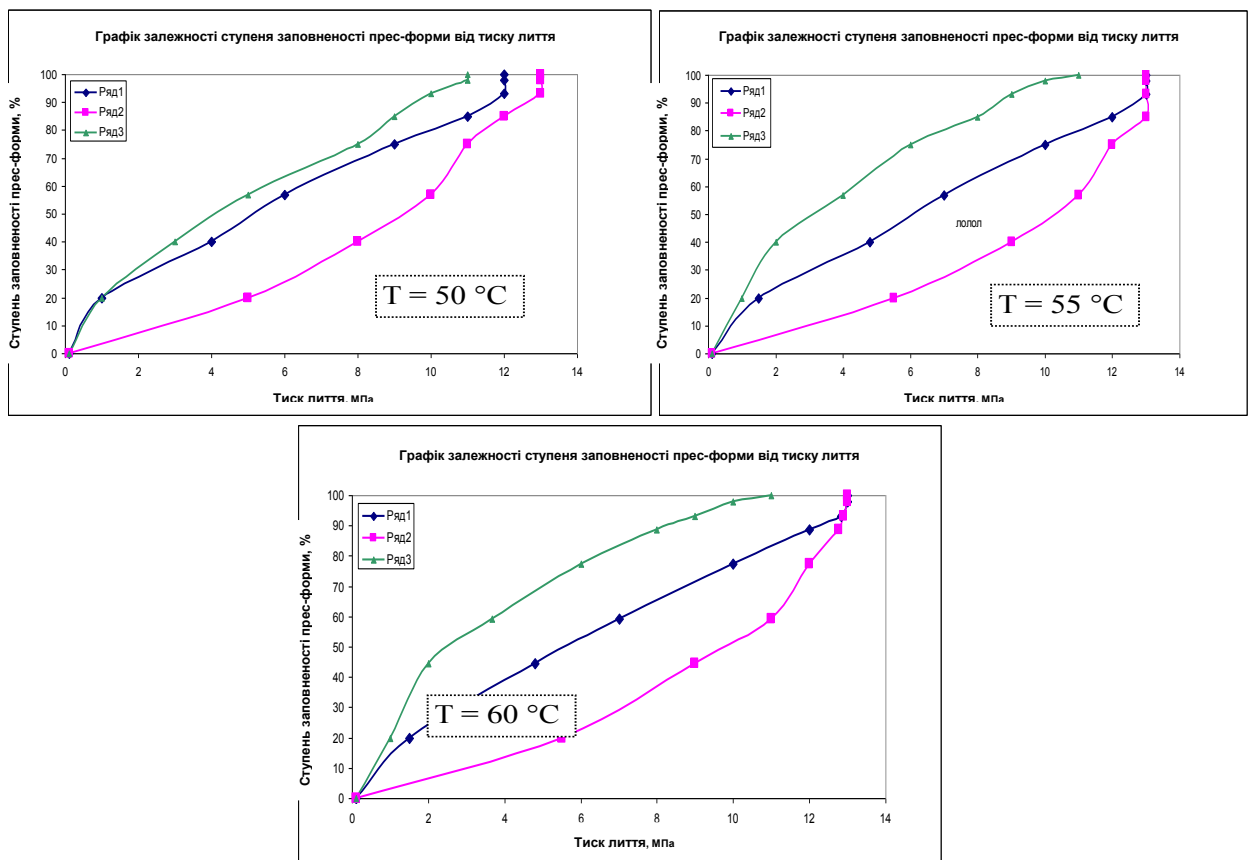


Рисунок 2.19 – Результати моделювання процесу заповнення прес-форми гумовою сумішшю

2.3.2 Використання моделі анізотропних середовищ

Для гасіння вібрації двигунів використовують багат шарові амортизуючі системи, що складаються з пружних і непружних шарів, здатні гасити коливання і витримувати значне навантаження під дією маси двигуна.

Оптимізація таких систем в САПР є непростим завданням, оскільки необхідно враховувати істотно різні властивості матеріалів елементів системи [24, 26].

Фізично гумометалеві амортизатори такого типу являють собою анізотропне шарувате середовище, в якому поширення механічних взаємодій залежить від напрямку і місця докладання зовнішніх сил при ударі об амортизатор та від властивостей матеріалів окремих шарів.

Анізотропне середовище – це середовище, макроскопічні властивості якого різні в різних напрямках, на противагу середовищу ізотропному, де вони не залежать від напрямку.

Формально анізотропія однорідного безмежного середовища означає неінваріантність його властивостей щодо групи обертань. Оскільки у реальному середовищі, безумовно, є межі, при строгому підході до визначення анізотропії необхідно мати на увазі не абстрактне безмежне середовище, а умовно вирізану з цього середовища макроскопічно однорідну кулю.

Середовище слід вважати анізотропним, якщо існує експериментально виявлене обертання навколо центру зазначеної кулі [97].

Анізотропія середовища може бути обумовлена декількома причинами: анізотропією частинок, що його утворюють, анізотропним характером їх взаємодії, упорядкованим розташуванням частинок, дрібномасштабними неоднорідностями.

У той же час анізотропні або анізотропно взаємодіючі частинки можуть утворювати ізотропне середовище. Анізотропне середовище може утворитися також під дією зовнішніх полів різної фізичної природи, що орієнтують або деформують частинки.

З анізотропією пов'язані різноманітні явища. Однорідне анізотропне середовище виробляє істотний вплив на властивості нормальних хвиль, які в ньому поширюються, визначаючи, зокрема, їх поляризацію і відмінність напрямків поширення хвильового (фазового) фронту та енергії хвиль. У неоднорідному анізотропному середовищі може відбуватися лінійна взаємодія поляризованих хвиль, що призводить до перерозподілу енергії між нормальними хвилями, але не порушує їхньої суперпозиції [98].

Існуючі методи розрахунку амортизаторів дозволяють враховувати тільки пружні елементи даної системи, хоча реально існуючі системи є значно складнішими.

Таким системам необхідний відповідний адаптований комплексний підхід до постановки та вирішення задач оптимізації, що дозволяє враховувати не тільки різні властивості матеріалів елементів, але і зв'язки між цими елементами.

Таким чином, удосконалення існуючих методів розрахунку та оптимізації багатошарових систем з урахуванням різних властивостей матеріалів елементів і зв'язків між ними є актуальним завданням.

Відомості, наведені в цьому розділі, дозволяють побудувати концепцію створення комплексної САПР, на вході якої – технічне завдання на гумометалевий силовий амортизатор, а на виході – проекти конструкції амортизатора та технології його виготовлення, які забезпечують зменшення витрат на проектування та підвищення якості готової продукції.

Структурна схема комплексної САПР із стабілізацією якості продукції проектованого об'єкта за допомогою динамічної прогновної моделі наведена на рис. 2.20.

На схемі умовно виділені підсистеми «власне» проектування конструкцій гумометалевих амортизаторів та технології їхнього виготовлення та підсистеми стабілізації результатів виробництва, якщо в цій стабілізації є потреба.

Зрозуміло, що фактично всі заходи щодо стабілізації повинні бути «вбудовані» в САПР, що тільки підвищує ступінь її комплексності.

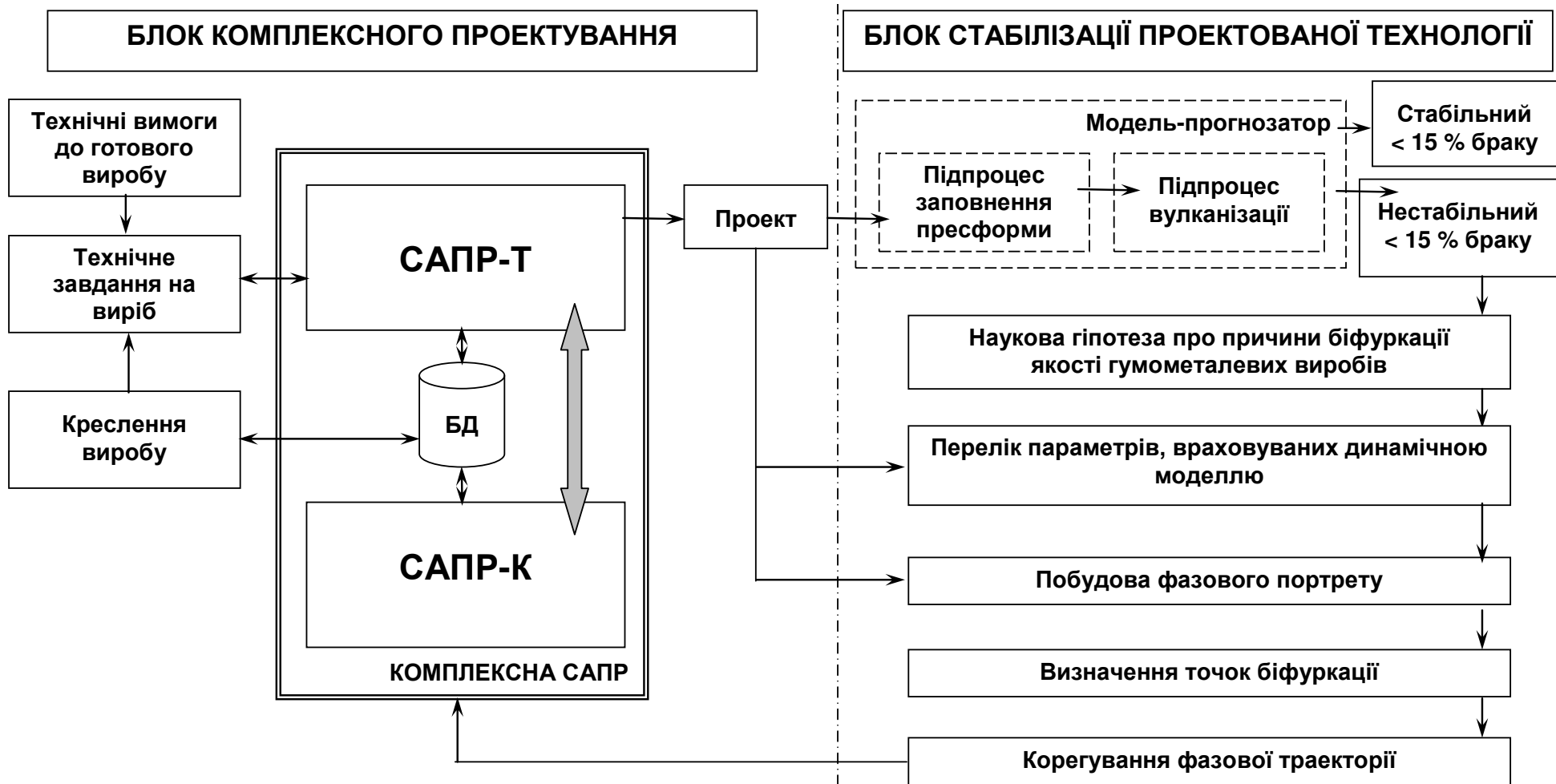


Рисунок 2.20 – Структурна схема комплексної САПР із стабілізацією якості продукції проєктованого об’єкта за допомогою динамічної прогнозної моделі

2.4 Контроль якості виробничої продукції

2.4.1 Перелік обов'язкових випробувань

Випробування готових гумометалевих амортизаторів мають важливе значення не тільки в якості технічного контролю при прийомі готової продукції на діючому виробництві, але й для науково-дослідницьких робіт, зокрема в області розробок нових методів автоматизованого проектування, оскільки результати таких випробувань є найголовнішими, як під час вибору методів та побудови динамічних моделей в САПР, так і при чисельній оцінці ефективності результатів дисертаційних досліджень – якості продукції та стабільності технологічних процесів [25].

Зокрема, до обов'язкових випробувань відносяться: огляд зовнішнього вигляду, розшарувань, пор і сторонніх включень, висота амортизатора, виконавчі розміри амортизаторів, деформація амортизаторів уздовж осі при статичному стисненні, граничне статичне навантаження, фізико-механічні показники гуми, тощо [6].

Виготовлені амортизатори після видалення облоя і візуальної перевірки за зовнішнім виглядом відбирають для випробувань згідно ГОСТ 17053.1-80, ТУ 38105 1953-90.

Дані по кількості відібраних амортизаторів відображаються в маршрутному листі.

Відібрані амортизатори складаються в бункери і за допомогою електронавантажувача перевозяться в ЦЗЛ.

Випробування амортизаторів проводять після витримки при температурі $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ не менше 6 годин після вулканізації – для АКСС-М і не менше 24 годин – для АКСС-И.

Амортизатори випробовують на деформацію при статичному стисненні під впливом максимального робочого навантаження і граничне статичне навантаження згідно розділу 4 ГОСТ 17053.1-80 – для АКСС-М і розділу 3 ТУ

38105 1953-90 – для АКСС И.

За результатами перевірки заповнюють сертифікат якості. У сертифікаті якості повинно бути вказано: умовне позначення амортизатора; номер партії; дата виготовлення, кількість; найменування підприємства виробника; Результати випробовувань; висновок про відповідність до діючих технічних вимог.

Деформацію амортизаторів при статичному стисненні під впливом максимального робочого навантаження уздовж осі Z і граничну статичне навантаження уздовж осі Z визначають згідно розділам 3 та 4 ГОСТ 17053.1-80. За результатами перевірки заповнюють сертифікат якості. В сертифікаті якості повинно бути вказано: типорозмір амортизатора, дата виготовлення, кількість, зміна, показники: деформація амортизаторів при статичному стисненні під впливом максимального робочого навантаження уздовж осі Z ; граничне статичне навантаження уздовж осі Z .

2.4.2 Стенд для випробувань амортизаторів

Стенд перевірки служить для визначення робочих характеристик амортизаторів. Існує багато типів стендів перевірки амортизаторів, що відрізняються кінематичної ланцюгом роботи, системою визначення навантажень, інтерфейсом блоку управління, тощо [23].

Стенди перевірки з кінематичною ланцюгом, заснованої на ексцентриці, є досить компактними і відносно легкими – ідеальні для перевезень і використання в маленьких пересувних лабораторіях, придатні для перевірки амортизаторів автомобілів і мотоциклів на змаганнях.

Недоліки стенду:

- не можна використовувати для тривалої неперервної роботи;
- не підходять для перевірки особливо довгих або занадто широких амортизаторів (стійки телескопічні Mac Pherson).

Стенди перевірки, засновані на масляній гідравліці, мають у порівнянні з

механічними стендами перевірки, багать переваг, завдяки винятковій гнучкості в управлінні стендом, що дає змогу відтворити реальні умови роботи амортизатора.

Стенди перевірки, засновані на масляній гідравліці, ідеально підходять для центрів дослідження і розробки нових конструкцій амортизаторів та автоматизованих систем їхнього проектування.

Недоліки стенду:

– основним і найзначнішим недоліком таких стендів є їх висока вартість (до декількох сотень тисяч доларів), що не дозволяє застосовувати їх на СТО і в ремонтних майстернях.

Розроблено стенд для випробування амортизаторів з кінематичним ланцюгом, побудованим на кривошипно-шатунному механізмі. Габарити і міцність стенду дозволяють проводити випробування практично усіх амортизаторів наведеної на рис. 2.5 лінійки типорозмірів.

Стенд відрізняється потужним контролером і методикою вимірювання основних динамічних характеристик амортизаторів, що дозволяє отримувати всі значення за один робочий хід амортизатора. Це, у свою чергу, дозволяє отримувати наочну швидкісну характеристику (залежність зусилля від швидкості) на одній швидкості обертання приводу стенду (60 об/хв).

В аналогічних стендах швидкісна характеристика будується за результатами випробування амортизаторів на декількох швидкостях, від кожного випробування виходять два значення швидкісної характеристики (максимальне зусилля стиснення і відбою).

Таким чином, після проведення випробування на 5 швидкостях обертання приводу стенду отримуються 10 точок швидкісної характеристики. Розроблений стенд за один робочий хід амортизатора на одній швидкості дозволяє отримати від 128 до 2500 точок швидкісної характеристики.

Крім того стенд дозволяє проводити статичні випробування, при яких фіксується зміна робочих характеристик амортизаторів на кожному робочому ході, протягом часу випробування.

Параметри вимірювання та їхні діапазони:

- максимальне зусилля системи навантаження 1000 кг;
- діапазон вимірюваних зусиль – 200 – + 200 кг;
- частота першої швидкості 1 Гц; частота другій швидкості 2 Гц;
- мінімальний хід 10 мм; максимальний хід 110 мм;
- діапазон регулювання довжин 300 – 700 мм;
- похибка вимірювання 0,2 %;
- електроживлення 380 В, 50 Гц; потужність 2 кВт;
- габарити: ширина 950 мм; висота 2200 мм; глибина 500 мм.

Суть методу полягає в стисненні амортизаторів типу АКСС вздовж осі Z (див. рис. 2.6) зусиллям, рівним максимальному робочому навантаженню і вимірюванні їхньої деформації під цим навантаженням. Метою випробувань гумометалевих амортизаторів є встановлення відповідності отриманої на стенді деформації із заданою нормою, зазначеною в ГОСТ 17053.1-80 (табл. 2.2)

Таблиця 2.2 – Норми деформації амортизаторів лінійки АКСС

Назва амортизатору	Максимальне робоче навантаження, Н, (кгс)	Деформація, мм (Гранічне відхилення $\pm 0,25$)
АКСС-10М	98 (10)	0,6
АКСС-15М	147 (15)	0,6
АКСС-25М	245 (25)	0,7
АКСС-40М	392 (40)	0,7
АКСС-60М	589 (60)	0,7
АКСС-85М	834 (85)	0,6
АКСС-120М	1177 (120)	0,9
АКСС-160М	1570 (160)	0,6
АКСС-220М	2158 (220)	0,6
АКСС-300М	2943 (300)	0,6
АКСС-400М	3924 (400)	0,7

3. Встановити індикатор для вимірювання деформації зразків на випробувальну машину (рис. 2.21), оперши ніжку індикатора на плоску поверхню сферичного вкладиша (рис. 2.22).



Рисунок 2.21 – Машина для випробування гумометалевих амортизаторів на механічні властивості

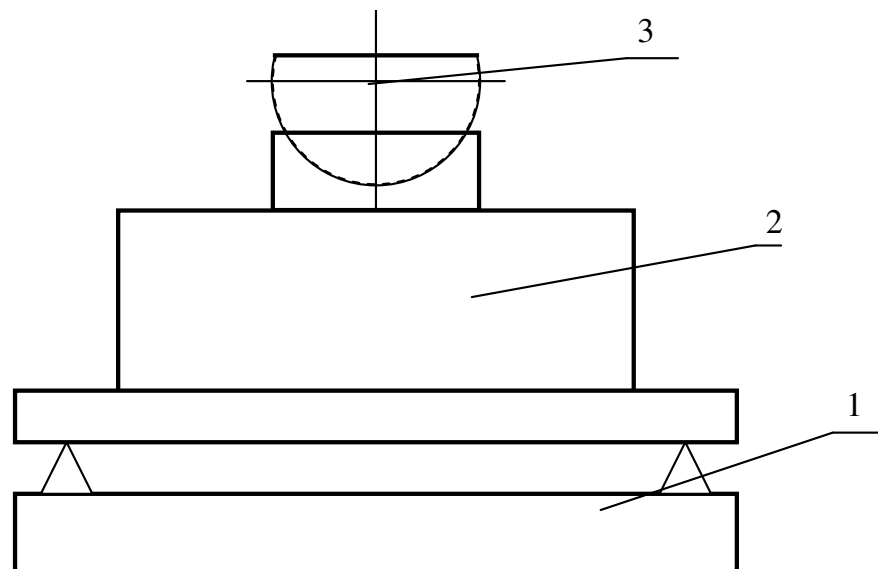


Рисунок 2.22 – Схема оснастки для випробування гумометалевих амортизаторів:

- 1 – плита опорна;
- 2 – амортизатор;
- 3 – вкладиш сферичний

4. Встановити необхідний діапазон вимірювання зусилля.
5. Встановити необхідну швидкість переміщення.
6. Зразок навантажити до робочого навантаження з допустимим відхиленням $\pm 5\%$ два рази поспіль. Час між кінцем і початком наступного циклу (навантаження - розвантаження) не повинний перевищувати 10 с.
7. Зразок після тренування витримати не менше 1 хв.
8. Нуль лімба індикатора поєднати з великою стрілкою.
9. Зразок навантажити максимальним робочим навантаженням з допустимим відхиленням не більше $\pm 0,5$ частки використовуваної шкали вимірювання навантаження
10. Зафіксувати навантаження і показання індикатора. Результати занести в протокол випробувань. За деформацію зразка вважати показання індикатора округлене до 0,01 мм.
11. Збірку зняти з випробувальної машини і розібрати.
12. Зразок витримав випробування, якщо його деформація під дією

максимального робочого навантаження менше або дорівнює значенням, наведеним у табл. 2.2.

Гумометалеві амортизатори випробують не раніше, ніж через 24 годин після їх виготовлення або через 3 години після попереднього випробування, але не пізніше, ніж через 3 місяці після їх виготовлення.

Випробування проводили при температурі 23 ± 2 °С.

Гумометалеві амортизатори перед випробуванням витримували при температурі випробування не менше 3-х годин.

Таким чином, згідно з ГОСТ 17053.1-80 випробуванням піддають 2 % від партії амортизаторів, але не менше 3-х штук. При випуску амортизаторів по ГОСТ ВД 17053.1-80 випробуванням на деформацію піддають кожен амортизатор.

Амортизатори АКСС-М і АКСС-И, що пройшли технологічні операції, передбачені регламентом, партіями у супроводі маршрутних листів пред'являють до приймання ВТК. Контроль і розбраковування амортизаторів за зовнішнім виглядом проводиться згідно ГОСТ 17053.1-80, ГОСТ ВД 17053.1-80, ТУ 38105 1953-90.

Зовнішній вигляд амортизаторів перевіряють візуально або порівнянням з контрольним зразком.

Контроль амортизаторів на відсутність в гумовому масиві розшарувань, пор або сторонніх включень проводять візуальним оглядом місць розрізів, проведених у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Виконавчі розміри амортизаторів визначають штангенциркулем або універсальним вимірювальним інструментом, який забезпечує задану похибку вимірювань.

Амортизатори, виготовлені з урахуванням вимог № 01-1874-62, після приймання їх відділом технічного контролю, пред'являють представнику замовника в установленому порядку.

Представник замовника перевіряє партію амортизаторів на відповідність технічним вимогам.

2.4.3 Маркування та упакування

Кожен амортизатор в місці, вказаному на кресленні має рельєфне маркування відтиском від прес-форми із зазначенням товарного знака заводу-виробника, позначенням амортизатора і двох останніх цифр року виготовлення. На кожен прийнятий відділом технічного контролю амортизатор незмивною водою фарбою наноситься штамп відділом технічного контролю і квартал виготовлення.

При поставці амортизаторів з урахуванням вимог № 01-1874-62, після приймання їх представником замовника незмивною водою фарбою наносять: маркування букви «Х» у позначенні типорозмірів амортизатора; величину статичної деформації; знак зірки; клеймо представника замовника.

На амортизаторах, призначених для експлуатації в умовах тропічного клімату, додатково маркують жовтою фарбою букву «Т».

Покриття воском. Прийняті ВТК і представником замовника (для амортизаторів виготовлених з урахуванням вимог № 01-1874-62) амортизатори за допомогою навантажувача подають у ванну для покриття штучним воском з метою підвищення їх стійкості до світла, озону та інших зовнішніх атмосферних впливів.

Склад штучного воску: сплав парафіну і петролатума у співвідношенні 1: 1 по масі.

Заправка ванни проводиться по мірі витрачання воску.

Покриті воском вироби поступають у відділення упаковки, де сортуються за типорозмірами.

Упаковка придатних амортизаторів в дерев'яні або картонні ящики і металеві контейнери проводиться згідно ГОСТ 17053.1-80.

Готові вироби зберігаються в ящиках або контейнерах на складі у відповідність до вимог ГОСТ 17053.1-80.

Норми технологічних режимів наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Норми технологічних режимів

Назва стадії техпроцесу	Показник	Технологічна норма
1	2	3
Зберігання гумових сумішей	Термін зберігання	Згідно ТУ 38 105 1402-80
Розігрів гумових сумішей	Завантаження вальців Температура вальців: – переднього – заднього час розігріву Товщина листа, що знімається Розмір рулону: – довжина – ширина	(10 ± 2) кг (40 ± 15) °С (50 ± 15) °С (5 ± 2) хв (5 ± 1) мм (320 ± 20) мм (110 ± 10) мм
Контроль арматури	Зовнішній вигляд, розміри	Згідно ГОСТ 17053.2-80, ГОСТ ВД 17053.2-80, ТУ 38 105 1953-90 Та узгодженим кресленням
Підготовка арматури:		
Дробеструйна обробка	Завантаження колокола, час обробки АКСС-10М АКСС-15М АКСС-25М, АКСС-25И АКСС-40М, АКСС-40И АКСС-60М, АКСС-60И АКСС-85М, АКСС-85И АКСС-120М, АКСС-120И АКСС-160М, АКСС-160И АКСС-220М, АКСС-220И АКСС-300М, АКСС-300И АКСС-400М, АКСС-400И	200 компл., 20 ± 1 хв 150 компл., 20 ± 1 хв 150 компл., 20 ± 1 хв 100 компл., 20 ± 1 хв 70 компл., 20 ± 1 хв 40 компл., 20 ± 1 хв 30 компл., 20 ± 1 хв 20 компл., 20 ± 1 хв 19 компл., 20 ± 1 хв 18 компл., 20 ± 1 хв 17 компл., 20 ± 1 хв
	Термін зберігання	Не більш, ніж 8 годин
Покриття арматури клеєм	Час сушіння кожного шару	30 хв
Контроль арматури	Норма міцності кріплення	Не менш ніж 2,45 МПа

Чистка прес-форм	Концентрація лугу Час обробки в лугу Температура розчину	(20 ± 5) % по масі Не менш ніж 10 годин (80 ± 10) °С
Сушка прес-форм	Температура Час	(110 ± 10) °С (40 ± 20) хв
Лиття під тиском	Температура напірної камери Тиск гідравліки	(55 ± 5) °С (12 ± 1) МПа
Вулканізація	Температура Тиск гідравліки Підпресування Вантаження плит (по ГОСТ 17053.1-80), час вулканізації АКСС-10М АКСС-15М АКСС-25М, АКСС-25И АКСС-40М, АКСС-40И АКСС-60М, АКСС-60И АКСС-85М, АКСС-85И АКСС-120М, АКСС-120И АКСС-160М, АКСС-160И АКСС-220М, АКСС-220И АКСС-300М, АКСС-300И АКСС-400М, АКСС-400И	(155 ± 5) °С (155 ± 10) кгс/см ² (15,5 ± 1,0) МПа 2 - 3 шт. 9 (6) шт., 20 хв ± 3,0 9 (6) шт., 20 хв ± 3,0 9 (6) шт., 25 хв ± 3,0 12 (9) шт., 25 хв ± 3,0 9 (8) шт., 25 хв ± 3,0 9 (6) шт., 25 хв ± 3,0 12 (8) шт., 25 хв ± 3,0 10 (8) шт., 25 хв ± 3,0 12 (8) шт., 35 хв ± 3,0 10 (6) шт., 35 хв ± 3,0 10 (6) шт., 35 хв ± 3,0
Обробка виробів	Кількість облою	Згідно ГОСТ 17053.1-80
Випробування амортизаторів	Деформація амортизаторів уздовж осі при статичному стисненні Граничне статичне навантаження	Згідно ГОСТ 17053.1-80 ГОСТ ВД 17053.1-80 ТУ 38 105 1953-90 Згідно ГОСТ 17053.1-80 ГОСТ ВД 17053.1-80 ТУ 38 105 1953-90
Покриття воском	Температура воскування Час воскування	(110 ± 10) °С (6 ± 1) хв
Розбракування, маркування, пакування та зберігання	Зовнішній вигляд	Згідно ГОСТ 17053.1-80 ГОСТ ВД 17053.1-80 ТУ 38 105 1953-90

2.5 Висновки

1. Загальні засади поняття «гумометалевий виріб» передбачають, що останній є нероз’ємним з’єднанням двох частин однієї деталі: гуми та будь-якого металу або інших речовин, які за своїми властивостями наближаються до металів, наприклад, графіту – за електропровідністю, алмазу – за твердістю, тощо.

2. В роботі виділені такі класи гумометалевих виробів: «Гумове покриття», «Силовий композиційний елемент», «Зосереджене (макро) армування» та «Дисперсійне (мікро) армування». Зокрема, в роботі засади створення комплексної САПР розглянуті на прикладах виробів класу «Силовий композиційний елемент» – гумометалевих амортизаторах.

3. В міжсистемному середовищі ознаки «пристрою» та «способу» можуть суттєво відрізнятися, що не робить їх менш зв’язними. Наприклад розміри (товщина) гумової частини амортизатора відносяться до конструктивних параметрів, а тиск на гумометалеву суміш під час заповнення прес-форми – до технологічних, однак між ними існує суттєвий, хоча й не однозначний, зв’язок. Наведені приклади параметрів елементів конструкції амортизатора та технології його виготовлення, які оптимізуються в комплексній САПР, та приклади видів системних та міжсистемних зв’язків між ними.

4. Для того, щоб зв’язані параметри, які відносяться до підсистем різної фізичної природи, можна було оптимізувати сумісно, їх треба привести до деякого загального абстрактного параметру, тобто виконати їхнє взаємне відображення. Практичне здійснення такого відображення за допомогою комп’ютерного експерименту проілюстровано на прикладі марковської моделі взаємодії зв’язаних параметрів.

5. Наведені описи устаткування, обладнання та перераховані методи чисельного вимірювання якості амортизаторів, яка в роботі інтерпретується як кінцевий параметр, за яким визначається ефективність проектування та стабільність техпроцесу виготовлення гумометалевих виробів.

6. Розроблено стенд для випробування амортизаторів з кінематичним ланцюгом, побудованим на кривошипно-шатунному механізмі. Габарити і міцність стенду дозволяють проводити випробування амортизаторів усієї лінійки типорозмірів. Стенд відрізняється потужним контролером і методикою вимірювання основних динамічних характеристик амортизаторів, що дозволяє отримувати всі значення за один робочий прохід. Це, у свою чергу, дозволяє отримувати наочну швидкісну характеристику (залежність зусилля від швидкості) на одній швидкості обертання приводу стенду.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ «КОНСТРУКЦІЯ – ТЕХНОЛОГІЯ» ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ В САПР

3.1 Оптимізація зв'язаних конструкцій в САПР-К

При проектуванні конструкцій гумометалевих амортизаторів багатокритеріальній оптимізації підлягають такі параметри останньої, які забезпечують, наприклад, заданий розподіл деформації у композиційних системах, передачу імпульсу, розподіл звукової хвилі між елементами композиції або залежність гучності від їх властивостей, тощо.

Як зазначено вище, для вирішення задач багатокритеріальної оптимізації за багатовимірними сильнозв'язаними аргументами в САПР використовують еволюційні методи, зокрема комплексний генетичний алгоритм (КГА), схема якого призначена для постійного моніторингу під час еволюції рішення з метою недопущення порушення умов зв'язності (рис. 3.1) [4, 21, 24, 99, 100]. В КГА застосовуються розгалужені комплексні символічні моделі генотипу об'єкта проектування, що містить по-різному пов'язані параметри елементів [84, 101].

Розглянемо можливість отримання «заоптимального» рішення, тобто виконання багатокритеріальної розширеної Парето-оптимізації «глибше, ніж за Парето» [102].

Вона можлива, коли аргументи слабкозв'язані (можуть приймати різні для кожної з цільових функцій значення з області свого існування $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$, але тільки такі, які належать ще й до деякого «діапазону зв'язності» ($x_{зв\max} - x_{зв\min}$), який, в свою чергу належить, до деякої багатовимірної області зв'язності **b**; що цілком лежить в області існування $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$ і менша за останню). В результаті виходять одна задача оптимізації і, в загальному випадку, два її рішення: x^* та x^{**} , що забезпечують $f_{1opt}(x^*) \neq f_{2opt}(x^{**})$.

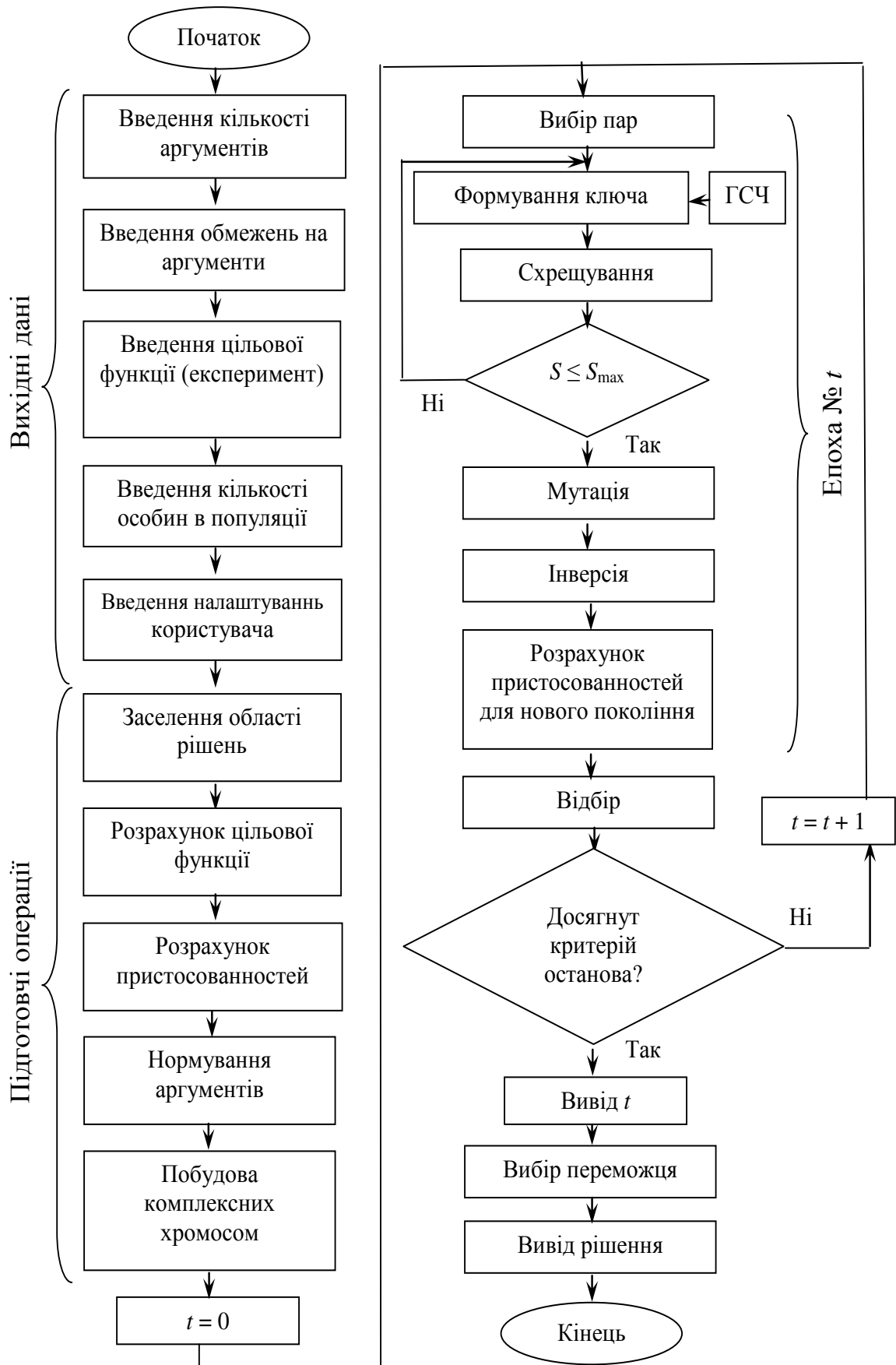


Рисунок 3.1 – Схема комплексного адаптивного генетичного алгоритму [4, 21, 24, 99, 100]

Розширений оптимум Парето розташовується нижче верхньої і вище нижньої оцінок для двох крайніх випадків оптимізації – незалежної і сильнозв'язаної.

Як відомо, загальна задача багатокритеріальної оптимізації формулюється наступним чином [103]:

$$\min_{\mathbf{x}} \{f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x})\}, \quad \mathbf{x} \in Q, \quad (3.1)$$

де $f_i : R^n \rightarrow R$ це k ($k \geq 2$) цільових функцій, а всі можливі для цього завдання вектори рішень $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ відносяться до області визначення Q .

Запишемо загальний вираз (3.1) як пряму двокритеріальну задачу оптимізації функцій двох аргументів, в яких їхні компоненти збігаються лише частково, у вигляді:

$$\min_{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2} \{f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)\}, \quad \mathbf{x}_1 \in Q_1, \mathbf{x}_2 \in Q_2 \quad (3.2)$$

де $f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ – цільові функції,

$\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ – вектори, які підлягають оптимізації.

Якщо між оптимізуєчими векторами є слабкий зв'язок, можна записати:

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}_2 + \mathbf{b}, \quad (3.3)$$

де \mathbf{b} – векторний розмір області зв'язності. Зазначимо, що розмірність цієї області дорівнює кількості пов'язаних компонентів оптимізуєчих векторів. Якщо в результаті аналізу конкретного об'єкта проектування виявляється, що розмірність області зв'язності дорівнює нулю, то оптимізація може виконуватися окремо: $f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ за \mathbf{x}_1 , а $f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ – за \mathbf{x}_2 .

Величина області зв'язності \mathbf{b} при вирішенні прямих оптимізаційних задач входить до множини обмежень і задається на підставі аналізу

майбутнього об'єкта.

При стохастичному характері області зв'язності ймовірність відхилень x_1 та x_2 в її межах залежить від властивостей об'єкта та умов його експлуатації. В процесі оптимального проектування область зв'язності може переміщуватися і змінювати свій розмір \mathbf{b} , який, при інших рівних умовах, також може бути випадковою величиною, але параметри слабкозв'язаних елементів будуть завжди залишатися всередині неї.

В рамках вирішення зворотної оптимізаційної задачі в якості цільових функцій вибираються вже не властивості об'єкта, а розмір області зв'язності \mathbf{b} [30]:

$$\min_{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2} \{\mathbf{b}\}, \quad \mathbf{x}_1 \in Q_1, \mathbf{x}_2 \in Q_2. \quad (3.4)$$

Це, як сказано вище, надає додаткові можливості проектувальникові, оскільки параметри цільових функцій $f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ та $f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ відображають одні властивості об'єкта проектування, а параметри області зв'язності \mathbf{b} , як правило, зовсім інші, – такі, які при «звичайній» оптимізації залишаються поза увагою останньої. Розв'язання задачі оптимізації конструкцій об'єктів із зв'язаними елементами в САПР-К розглянемо на прикладі проектування амортизаторів гумотехнічних типу АКСС (рис. 2.5). Розрахункова схема такого амортизатора наведена на рис. 3.2.

Завдання на проектування формулюється таким чином. Спроекувати амортизатор гумометалевий класу «Силовий композиційний елемент», конструктивно оформлений у вигляді трьох співвісних труб: метал – гума – метал (рис. 3.2), в якому зусилля, що підлягає амортизації, \mathbf{P} уздовж осі Y прикладається до внутрішньої металеві труби і далі, через гуму і зовнішню металеву трубу передається на опору [104].

Мета оптимізації – мінімізація маси M амортизатора при збереженні заданих робочих режимів.

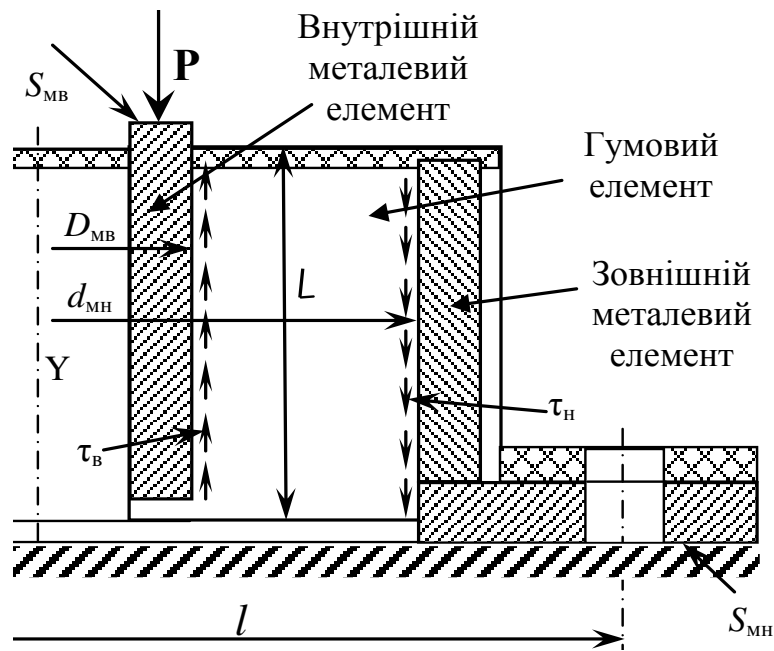


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема конструкції гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

Аргументи, які підлягають оптимізації в САПР: D_{MB} – зовнішній діаметр внутрішнього металевий елемент; $d_{МЗОВ}$ – внутрішній діаметр зовнішнього металевий елемент; L – висоти внутрішнього і зовнішнього металевих, а також гумовий елементів; S_{MB} – площа внутрішньої опорної площадки; $S_{МЗОВ}$ – площа зовнішньої опорної площадки.

Обмеження: $[\tau]$ – гранично припустиме значення дотичних напружень на межі метал – гума; $[\sigma]$ – гранично припустиме значення внутрішніх напружень у гумі.

Відомо, що гумометалеві вироби як система, відповідно до назви, складаються, як мінімум, з двох підсистем – металевий та гумовий, які знаходяться в тісній фізичній взаємодії (взаємне оточення, взаємне проникнення, адгезійний контакт). Виділимо в амортизаторі АКСС три підсистеми: внутрішній металевий елемент, гумовий елемент і зовнішній металевий елемент (рис. 3.2) і визначимо параметри проектування (оптимізуючи аргументи), що поєднують ці елементи жорсткими та нежорсткими зв'язками (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Елементи амортизатора АКСС і зв'язки між ними, що враховуються в процесі оптимізації

Система	Гумометалевий виріб: амортизатор АКСС		
Підсистеми	Внутрішній металевий елемент	Гумовий елемент	Зовнішній металевий елемент
Незв'язані аргументи	$S_{\text{МВ}}$ – розміри внутрішнього опорного майданчику	–	$S_{\text{МН}}$ – розміри зовнішнього опорного майданчику
Слабозв'язані аргументи	$D_{\text{МВ}}$ – зовнішній діаметр внутрішнього металевого елемента	–	$d_{\text{МН}}$ – внутрішній діаметр зовнішнього металевого елемента
Сильнозв'язані аргументи	L – висота внутрішнього металевого елемента	L – висота гумового елемента	L – висота зовнішнього металевого елемента

Як видно, навіть у найпростішому гумометалевому амортизаторі АКСС-10 М існують аргументи, що відносяться до всіх перерахованих вище множин зв'язності елементів підсистем гумометалевого амортизатора, які відрізняються видом зв'язності.

Цільова функція оптимізації буде виглядати наступним чином:

$$M = M_{\text{МВ}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{МЗОВ}} + M_{\text{ДОП}}, \quad (3.5)$$

де $M_{\text{МВ}}$ – маса внутрішнього металевого елемента; $M_{\text{Г}}$ – маса гуми; $M_{\text{МЗОВ}}$ – маса

зовнішнього металевого елемента; $M_{\text{доп}}$ – маса допоміжних елементів, наприклад, опорних майданчиків.

Вважаючи всі складові параметри, які входять до правої частини рівняння (3.5), але не згадані в завданні на проектування, константами, запишемо в загальному вигляді:

$$M = f(D_{\text{мв}}; d_{\text{мн}}; L), \quad (3.6)$$

тоді згадана вище трьохкритеріальна задача оптимізації (3.1) буде виглядати таким чином:

$$\min_M \{M_{\text{іа}}(D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}}; L), M_{\text{д}}(D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}}; L), M_{\text{іі}}(D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}}; L)\}, \quad D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}}; L \in Q. \quad (3.7)$$

Виведемо з (3.7) у константи сильнозв'язані та незв'язані аргументи. В результаті отримаємо:

$$\min_M \{M_{\text{іа}}(D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}}), M_{\text{д}}(D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}}), M_{\text{іі}}(D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}})\}, \quad D_{\text{іа}}; d_{\text{іі}} \in Q. \quad (3.8)$$

Будь-який метод оптимізації задачі (3.8) повинен тепер враховувати нежорсткий зв'язок виду (3.3) між $D_{\text{мв}}$ і $d_{\text{мзоб}}$:

$$d_{\text{мзоб}} - D_{\text{мв}} \in [\mathbf{b}]. \quad (3.9)$$

Зі схеми навантаження (3.2) безпосередньо випливає, що в цьому випадку $[\mathbf{b}]$ – це гранично припустима товщина стінки гумової частини (циліндру), обумовлена, у свою чергу, гранично допустимою деформацією (стисненням) амортизатора під навантаженням. З іншого боку, $[\mathbf{b}]$ – це область зв'язності, оскільки вона обмежує відстань між нежорстко зв'язаними параметрами $D_{\text{мв}}$ і $d_{\text{мзоб}}$.

Підкреслимо, що тут мова йде не про допуск на розмір гумового елемента, а про область зв'язності оптимізуючих параметрів металевих елементів, яка, як зазначено вище, визначає можливість більш глибокої оптимізації конструкції всього амортизатора в цілому [30].

Для побудови математичної моделі зв'язності параметрів елементів амортизатора розглянемо умови рівноваги уздовж вертикальної осі Z при його статичному навантаженні у відповідності зі схемою, наведеною на рис. 3.1. Для внутрішнього металевого елемента амортизатора ця умова виглядає наступним чином:

$$\tau_b \pi D_{\text{мв}} L = P, \quad (3.10)$$

а для зовнішнього:

$$\tau_{\text{зов}} \pi d_{\text{мн}} L = P. \quad (3.11)$$

Оскільки τ_b при такій схемі навантаження завжди більше, ніж $\tau_{\text{зов}}$, умова міцності виглядає так:

$$\tau_{\hat{a}} = \frac{P}{\pi D_{\hat{a}} L} \leq [\tau]. \quad (3.12)$$

Підставляючи в (3.12) вираз для зв'язності (3.9), отримаємо:

$$\frac{P}{\pi(d_{\text{ісіа}} - [b])L} \leq [\tau], \quad (3.13)$$

що є розрахунковою моделлю для багатокритеріальної оптимізації функцій $M_{\text{мв}}$, $M_{\text{г}}$ та $M_{\text{зов}}$ за аргументами $D_{\text{мв}}$ і $d_{\text{зов}}$ при обмеженнях на $[b]$ і $[\tau]$.

Розв'яжемо тепер (3.13) відносно $[b]$:

$$[b] \geq d_{\text{ісія}} - \frac{P}{\pi L[\tau]}, \quad (3.14)$$

що також є розрахунковою моделлю, але вже для оптимізації функції $[b]$ за тими ж аргументам, але при обмеженнях на $d_{\text{мзоб}}$ і $[\tau]$.

Вирішуючи спільно задачі (3.8), (3.9) і (3.14) та маючи на увазі головну цільву функція оптимізації конструкції гумометалевого амортизатора (3.5), знайдемо такі $[\tau]$ і $d_{\text{мзоб}}$, які забезпечують мінімальне значення M , при цьому величина $[\tau]$ безпосередньо пов'язана зі складом гуми і технологією її вулканізації, а величина $d_{\text{мзоб}}$ – з конструкцією амортизатора, що надає проектувальнику широкі можливості оптимального проектування цих параметрів конструкції гумометалевого амортизатора.

Зазначимо, що в цьому випадку проглядає нерозривний зв'язок між технологічними (такими, що торкаються безпосередньо технології виготовлення) та конструктивними параметрами. Про використання такого зв'язку в САПР див. підрозділ 3.3.

Якщо задачу проектування трохи ускладнити і додати крім дотичних напружень між металом і гумою ще й нормальні (як у реального амортизатора), то отримаємо, з погляду розрахункових моделей, статично невизначену систему, яка, як відомо, має низку характерних особливостей [25].

Зокрема, для розрахунку статично невизначених систем необхідно попередньо задаватися геометричними характеристиками поперечних перерізів елементів, тобто фактично їх формою і розмірами, оскільки їх зміна призводить до зміни зусиль у зв'язках і нового розподілу зусиль у всіх елементах системи. Крім того, при розрахунку статично невизначених систем необхідно заздалегідь вибрати матеріал конструкції, оскільки для розрахунків необхідно знати його модулі пружності.

При оптимізації по M це ненабагато ускладнює розрахунки, оскільки в цьому випадку перераховані характеристики вже обрані в якості жорстких обмежень.

3.2 Оптимізація зв'язаних технологій в САПР-Т

Розв'язання задачі оптимізації технології виготовлення об'єктів із зв'язаними елементами в САПР-Т розглянемо на прикладі проектування процесу виготовлення амортизаторів гумометалевих типу АКСС (рис. 2.5). Розрахункова схема такого технологічного процесу наведена на рис. 3.3.

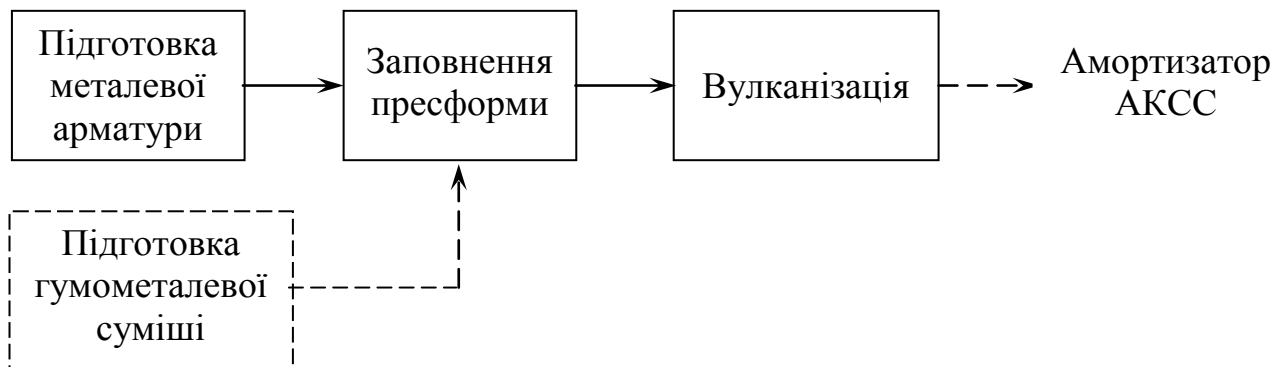


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема технології виробництва гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

Завдання на проектування в цьому випадку формулюється таким чином. Спроекувати технологію виготовлення амортизатора гумометалевого класу «Силовий композиційний елемент», в якій оптимізуєчим розрахункам піддаються етапи «Підготовка металеві арматури», «Заповнення прес-форми» та «Вулканізація».

Мета оптимізації – мінімізація відсотку бракованих виробів, а отже – стабілізація технологічного процесу.

Аргументи, які підлягають оптимізації: C_S – масовий вміст сірки в гумометалевій суміші; T – температура гумометалевої суміші; P – тиск на гумову суміш.

Обмеження: T_{\max} – гранично припустиме значення температури гумометалевої суміші; P_{\max} – гранично припустиме значення тиску на гумову суміш.

Відомо, що технологія виготовлення гумометалевих виробів як система складаються з багатьох підсистем. Виділимо в цій технології три підсистеми: підготовка металевого армування (параметри $R_{\text{арм}}$ – розміри та шорсткість поверхні елементів арматури), заповнення прес-форми гумовою сумішшю (параметр $P_{\text{заповн}}$ – тиск при литті гуми) та вулканізація (параметр $P_{\text{вулк}}$ – тиск при вулканізації гуми) і визначимо параметри проектування (оптимізуючи аргументи), які поєднують ці елементи жорсткими та нежорсткими зв'язками (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Елементи технології виготовлення амортизатора АКСС і зв'язки між ними, що враховуються в процесі оптимізації

Система	Технологія виготовлення амортизатор АКСС		
Підсистеми	Підготовка металеві арматури	Заповнення прес-форми	Вулканізація
Незв'язані аргументи	–	Параметри лиття	Параметри вулканізації
Слабозв'язані аргументи	Розміри та шорсткість поверхні елементів арматури	Тиск при литті гуми	Тиск при вулканізації
Сильнозв'язані аргументи	–	Розміри прес-форми	Розміри прес-форми

Як видно, навіть у найпростішому представленні технології виготовлення гумометалевих амортизаторів АКСС-10 М існують аргументи, що відносяться до всіх перерахованих вище множин зв'язності елементів підсистем технології, які відрізняються видом зв'язності.

Далі аналогічно визначимо параметри проектування, які поєднують елементи технології жорсткими і нежорсткими зв'язками (табл. 3.2).

Цільова функція оптимізації технології в цьому випадку буде виглядати наступним чином:

$$St = 100 \frac{n_{\text{годн}}}{n_{\text{заг}}}, \quad (3.15)$$

де St – стабільність технологічного процесу, %; $n_{\text{годн}}$ – кількість годних амортизаторів в партії; $n_{\text{заг}}$ – загальна кількість вироблених амортизаторів в партії.

Вважаючи всі складові, які не входять до (3.15) і не згадані в завданні на проектування, константами, запишемо в загальному вигляді:

$$St = f(n_{\text{годн}}, n_{\text{заг}}). \quad (3.16)$$

Зважаючи на те, що має місце залежність (визначається експериментально):

$$n_{\text{годн}} = \varphi(\mathbf{R}_{\text{арм}}, P_{\text{заповн}}, P_{\text{вулк}}) \quad (3.17)$$

трьохкритеріальна задача оптимізації, сформульована в (3.1) буде виглядати так:

$$\max_{St} \left\{ 100 \frac{\varphi(\mathbf{R}_{\text{арм}}, P_{\text{заповн}}, P_{\text{вулк}})}{n_{\text{заг}}} \right\}. \quad (3.18)$$

Виведемо з (3.18) у константи сильнозв'язані та незв'язані аргументи. В результаті отримаємо:

$$\max_{St} \left\{ 100 \frac{\varphi(P_{\text{заповн}}, P_{\text{вулк}})}{n_{\text{заг}}} \right\}. \quad (3.19)$$

Будь-який метод оптимізації задачі (3.19) повинен тепер враховувати нежорсткий зв'язок виду (3.3) між $P_{\text{заповн}}$ та $P_{\text{вулк}}$:

$$P_{\text{заповн}} - P_{\text{вулк}} \in [\mathbf{b}]. \quad (3.20)$$

Зі схеми технологічного процесу безпосередньо випливає, що $[\mathbf{b}]$ – гранично допустима різниця між тисками заповнення та вулканізації. З іншого боку, $[\mathbf{b}]$ – це область зв'язності, оскільки вона обмежує відстань між нежорстко зв'язаними параметрами $P_{\text{заповн}}$ та $P_{\text{вулк}}$.

Підкреслимо, що й тут мова йде не про допуск на параметри технології, а про область зв'язності оптимізуючих параметрів технологічного процесу, яка, як зазначено вище, визначає можливість більш глибокої оптимізації технології виготовлення амортизатора в цілому.

3.3 Багатокритеріальна комплексна оптимізація в САПР

Прикладом комплексної оптимізації систем «конструкція – технологія» в САПР може служити процес заповнення прес-форми гумовою сумішшю, в якому температури цієї суміші в окремих частинах гумової складової виробу пов'язані між собою спільною температурою струменя, але цей зв'язок не «жорсткий», – в різних частинах прес-форми температури можуть відрізнятися на деяку, обмежену умовами процесу, величину. До об'єктів того ж класу відносяться процеси багатониточного різьбошліфування [79], багатострумового неперервного лиття [105] та багато інших.

Проблеми в проектуванні таких процесів виникають тоді, коли необхідно обчислити значення деяких параметрів-аргументів, що надають максимум або

мінімум різним цільовим функціям, тобто при розв'язанні задач багатокритеріальної оптимізації [106]. Справа в тому, що через складність цільових функцій в системах «конструкція – технологія» аналітичні методи оптимізації до них незастосовні, а чисельні методи вимагають поітераційного варіювання значення аргументів, що вельми важко в умовах взаємного зв'язку функціонально далеких одна від одної характеристик, які відносяться до різних підсистем.

Останнім часом широкого поширення набув еволюційний метод оптимізації багатоекстремальних систем, названий генетичним алгоритмом (ГА) [107, 108]. Як відомо, основні обчислення в класичному ГА здійснюються на рівні так званих «хромосом» – символічних моделей, які несуть інформацію про аргументи цільової функції.

Якщо підсистеми в системі, яка оптимізується, незалежні – цільові функції в них різні, а множини значень аргументів цих функцій не перетинаються, то такі підсистеми з погляду розглянутої проблеми не зв'язані, і її постановка розпадається на кілька незалежних завдань класичної оптимізації.

Якщо ж множини значень аргументів цільових функцій в підсистемах перетинаються хоча б частково, завдання стає «жорстким», оскільки, варіюючи пов'язані аргументи в одній підсистемі, ми мимоволі змушені однаково варіювати їх і в іншій.

Розв'язувати такі завдання запропоновано за допомогою комплексного ГА, який породжує комплексні зіркоподібні хромосоми, що враховують жорсткі зв'язки [99, 100].

Як зазначено вище, останнім часом з'явилися роботи [83, 101], що вводять новий вид хромосом – з «м'яким» зв'язком аргументів, у яких пов'язані аргументи можуть все ж таки відрізнитися для двох підсистем, але не більше ніж на деяку величину δ . Таке обмеження суперечить основним властивостям ГА: вільному варіюванню аргументів при розв'язанні задачі оптимізації. Дійсно, кожна епоха еволюції ГА може бути відзначена появою хромосом нащадків, які не задовольняють вказаному обмеженню, що призводить до

аварійної зупинки програми алгоритму.

Поява таких нащадків у відносно великих кількостях (що й спостерігається на практиці) робить навіть комплексний ГА непридатним для оптимізаційних обчислень. Це вимагає створення альтернативного ГА, що містить у своєму складі метод схрещування хромосом, який адаптується до постійно виникаючих проблем з обмеженнями «м'якої» зв'язності.

Основною властивістю ГА є те, що в процесі оптимізації аргументи можуть брати будь-які значення з області, обмеженою їх мінімальними і максимальними допустимими значеннями, наприклад, для цільової функції N аргументів $y(x)$; $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ область існування хромосом (область оптимізації) обмежена виразами: $x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max}$;

$$x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}; \dots; x_{N\min} \leq x_N \leq x_{N\max}. \quad (3.21)$$

На рис. 3.4, *a* в якості прикладу показані дві двохпараметричні незв'язані хромосоми двох підсистем однієї системи, а також загальна (що збігається по всіх чотирьох аргументах) область допустимих значень $x_1 = \{x_{11}, x_{12}\}$ і $x_2 = \{x_{21}, x_{22}\}$ в процесі оптимізації функцій $y_1(x_{11}, x_{12})$ і $y_2(x_{21}, x_{22})$ за допомогою ГА.

На відміну від двох класичних, при «жорсткій» – математично суворій – зв'язності одна комплексна хромосома несе інформацію про три аргументи: x_{11} , x_{12} і x_2 , оскільки аргумент x_2 у них спільний. У той же час він зберігає основну властивість ГА: вільне варіювання в межах загальних обмежень (3.21).

При «м'якому» зв'язку до обмежень (3.21) додаються нові:

$$x_{ij} \in \{x_i; x_i + b_{\max}\} \quad (3.22)$$

для кожної групи зв'язаних аргументів, що складається, в загальному випадку, з 2, 3, ..., N елементів. У відповідній «м'якій» двопараметричній хромосомі, як у першому випадку, знову зберігаються чотири змінні: x_{11} , x_{12} , x_{21} , x_{22} , b , однак пам'ять такого ГА додатково містить значення b_{\max} для кожного «м'якого»

зв'язку.

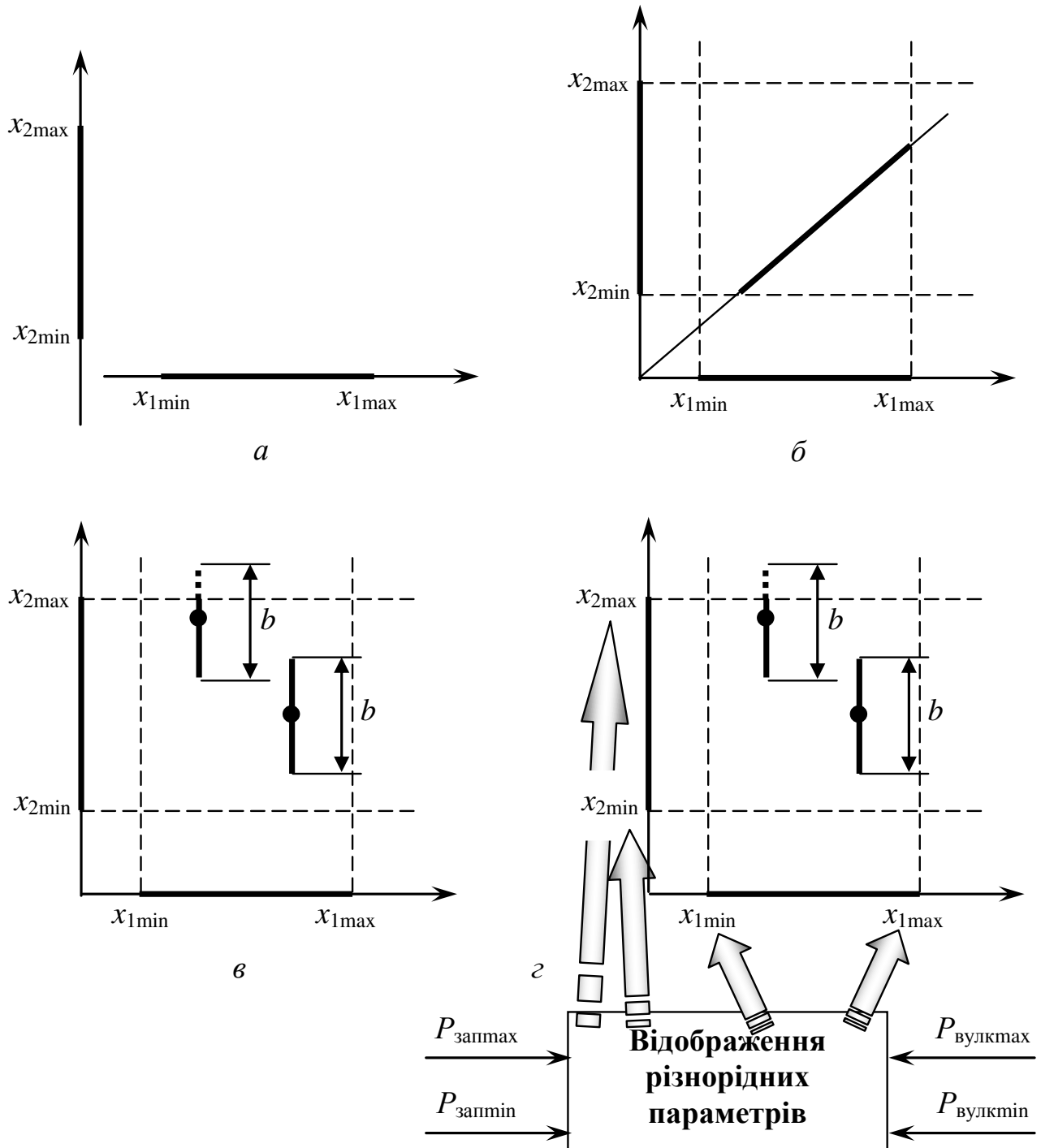


Рисунок 3.4 – Схеми побудови та області допустимих змін аргументів цільової функції (хромосом) при оптимізації за допомогою:

a – класичного ГА;

б – зв'язаного ГА з «жорстким» зв'язком;

в – зв'язаного ГА з «м'яким» зв'язком;

г – комплексного ГА

Структурні схеми незв'язаної, зв'язаних «жорстко» і «м'яко» хромосом, а також зв'язаної комплексної хромосоми для випадку двох аргументів, а також інформація, що міститься в них і в пам'яті відповідних генетичних алгоритмів, наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Схеми символічних моделей (хромосом) і інформація, яка в них зберігається, для двох двопараметричних підпроцесів

№ №	Хромосома		Інформація	
	Назва	Структурна схема	в ГА	В хромо- сомі
1	Незв'язана		$x_{1min}, x_{1max},$ x_{2min}, x_{2max}	$x_{11}, x_{12}, x_{21},$ x_{22}
2	Зв'язана жорстко		$x_{1min}, x_{1max},$ x_{2min}, x_{2max}	$x_{11}, x_{12},$ x_2
3	Зв'язана «м'яко»		$x_{1min}, x_{1max},$ $x_{2min}, x_{2max},$ b_{max}	$x_{11}, x_{12}, x_{21},$ x_{22}
4	Зв'язана «м'яко», комплексна		<i>Зв'язані конструктивні та технологічні параметри,</i> $x_{1min}, x_{1max},$ $x_{2min}, x_{2max},$ b_{max}	$x_{11}, x_{12}, x_{21},$ x_{22}

Адаптація алгоритму під оптимізацію об'єкта зі слабкозв'язаними підсистемами здійснювали на етапі схрещування ГА.

На відміну від класичного ГА, в якому найчастіше застосовується точкове, двохточкове та багатоточкове схрещування, в комплексному ГА з «м'якими» зв'язками застосовували рівномірне схрещування, яке інакше називають монолітним або одностадійним.

Таке схрещування виконується відповідно до випадково вибраних бітових ключів, що вказує, які гени повинні успадковуватися від першого, а які від другого батька.

Припустимо, що обраний еталон ААБАБББАБАББ, в якому А означає прийняття гена на відповідній позиції від першого батька, а Б – від другого. Таким чином, формується перший нащадок (рис. 3.5).

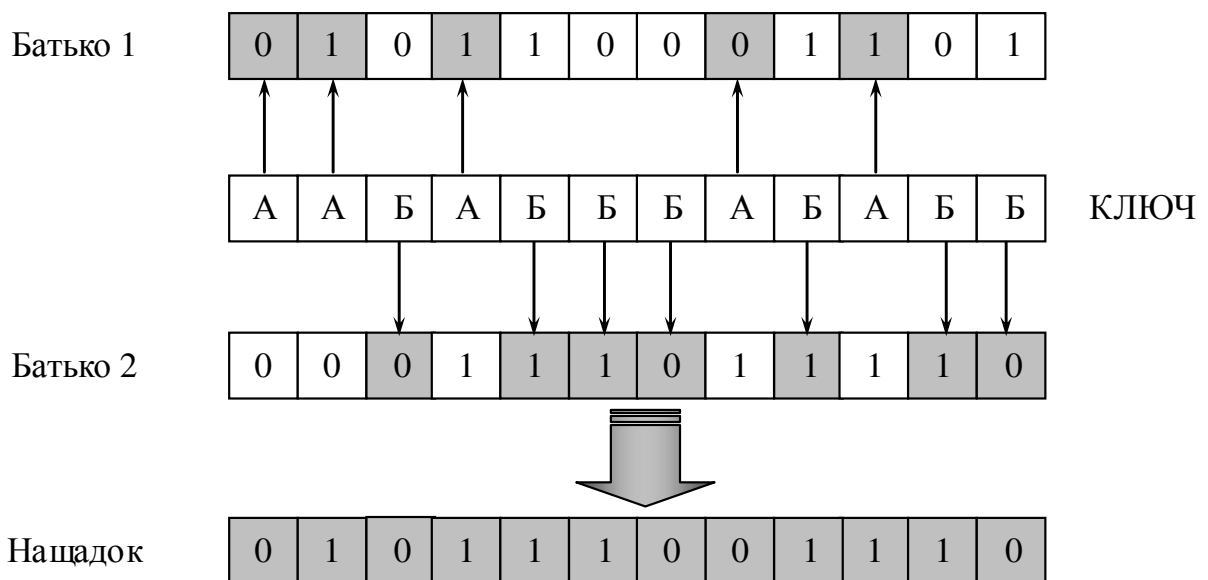


Рисунок 3.5 – Схема схрещування відповідно до випадкового бітового ключа

Всі отримані таким чином нащадки піддаються мутації та інверсії і далі проходять перевірку на виконання умови (3.22) і, якщо вона не виконується, відбувається повторне схрещування тих же батьків, але при іншому знову випадково обраному ключі.

Для другого нащадка зчитується інверсивний ключ: Б означає прийняття гена на відповідній позиції від першого батька, а А – від другого.

Експеримент показує, що «м'яких» операцій схрещування в поєднанні з «жорсткими» операціями мутації і інверсії достатньо для отримання в прийнятний час придатних для подальших розрахунків нащадків з дотриманням обмежень на зв'язність.

Якщо ж таким чином не вдається вирішити завдання, адаптивний підхід можна поширити також на мутацію з інверсією, що надасть користувачеві значно більше можливостей вибору варіантів хромосом для нащадків.

Схема комплексного адаптивного генетичного алгоритму наведена на рис. 3.6, вона містить блоки адаптації схрещування, які «стежать» за виконанням описаних вище обмежень на процес оптимізації.

Додатковим до відомого алгоритму КГА (рис. 3.1) є етап відображення аргументів, які належать системам різної фізичної природи – конструктивним та технологічним.

Роботу адаптивного генетичного алгоритму для «м'яких» еволюційних обчислень випробовували в рамках комплексної САПР конструкції та технологічного процесу виготовлення гумометалевого амортизатора.

Запропонований метод оптимізації параметрів об'єктів зі слабозв'язаними різнорідними (конструкція – технологія) підсистемами, який полягає в застосуванні розробленого адаптивного комплексного генетичного алгоритму для «м'яких» еволюційних обчислень, дозволив підвищити глибину оптимізації і конструкції, і технології та отримати в комп'ютерних та виробничих експериментах позитивний технічний ефект.

Встановлено, що використання підходу до проектування конструкцій та технології виготовлення гумометалевих виробів як до систем, що складається з підсистем з пов'язаними параметрами, дозволяє поліпшити показники якості таких систем за рахунок «заоптимальної» оптимізації їх конструктивних та технологічних характеристик.

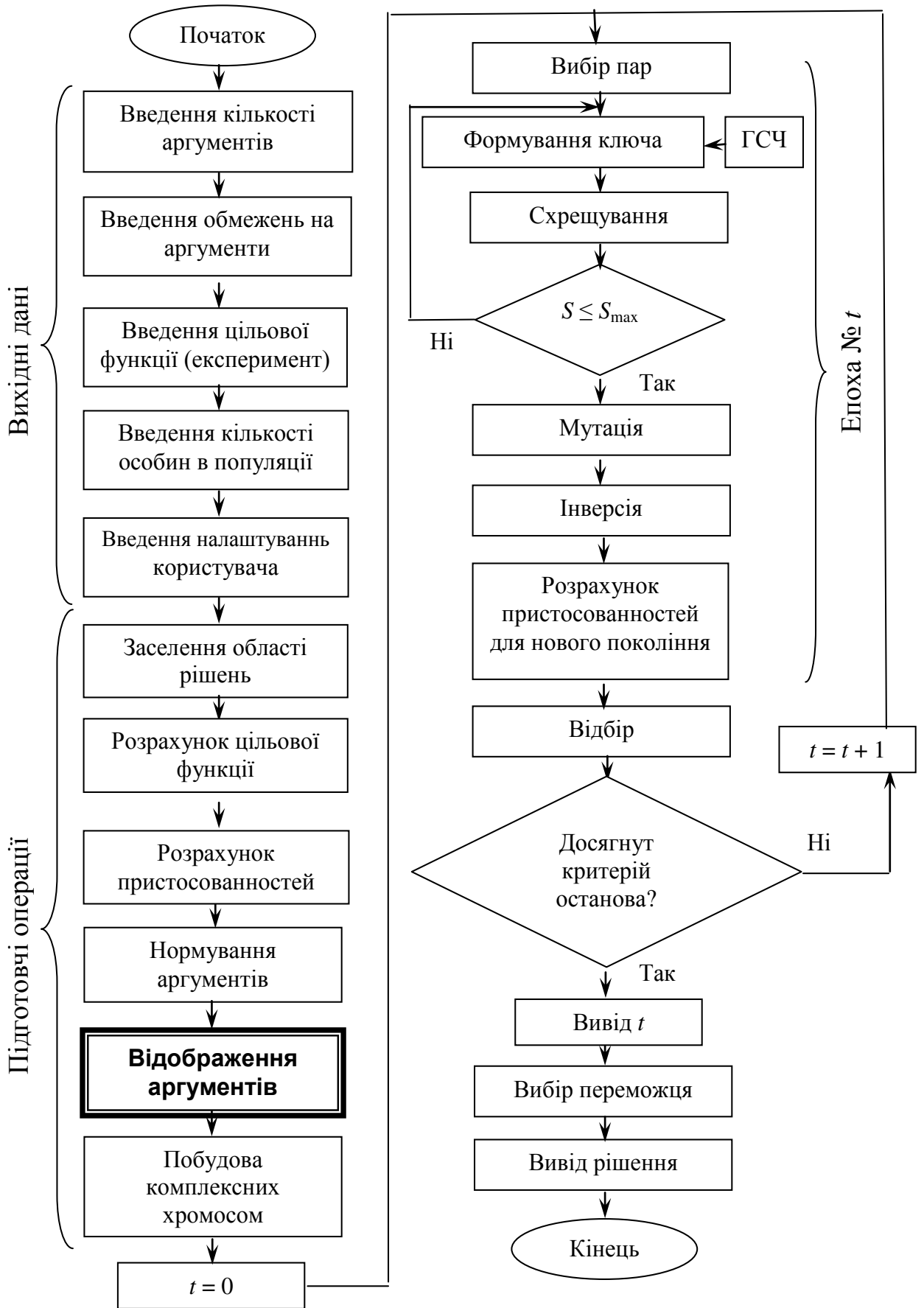


Рисунок 3.6 – Схема комплексного адаптивного генетичного алгоритму

3.4. Висновки

1. Проблеми в проектуванні гумометалевих амортизаторів та технології їхнього виготовлення виникають тоді, коли необхідно обчислити значення деяких параметрів-аргументів, що надають максимум або мінімум заданим цільовим функціям, тобто при розв'язанні задач оптимізації. Справа в тому, що через складність цільових функцій в системах «конструкція – технологія» аналітичні методи оптимізації до них незастосовні, а чисельні методи вимагають поітераційного варіювання значення аргументів, що досить важко в умовах взаємного зв'язку функціонально далеких одна від одної характеристик, які відносяться до різних підсистем.

2. Розглянуті питання автоматизованого проектування конструкцій технічних композиційних виробів, які складаються з суттєво різних за властивостями анізотропних матеріалів. Запропонована структура САПР-К, яка розв'язує завдання такого проектування, і описані принципи роботи її підсистем. Розв'язання задачі оптимізації конструкцій об'єктів із зв'язаними елементами в САПР-К розглянуто на прикладі проектування амортизаторів гумометалевих типу АКСС.

3. Розглянуті питання автоматизованого проектування технології виготовлення технічних композиційних виробів, які складаються з суттєво різних за властивостями анізотропних матеріалів. Запропонована структура САПР-Т, яка розв'язує завдання такого проектування, і описані принципи роботи її підсистем. Розв'язання задачі оптимізації технологічного процесу виготовлення об'єктів із зв'язаними елементами в САПР-Т розглянуто на прикладі проектування технології виробництва амортизаторів гумометалевих типу АКСС.

4. Запропоновані структурні схеми незв'язаної, зв'язаних «жорстко» і «м'яко» хромосом, а також зв'язаної комплексної хромосоми для випадку двох аргументів, а також наведена інформація, що міститься в них і в пам'яті відповідних генетичних алгоритмів.

5. Встановлено, що використання підходу до проектування конструкцій та технології виготовлення гумометалевих виробів як до систем, що складається з підсистем з пов'язаними параметрами, дозволяє поліпшити показники якості таких систем за рахунок «заоптимальної» оптимізації їх конструктивних та технологічних характеристик. Розроблена на цьому підґрунті САПР лягла в основу підготовки виробництва гумометалевих амортизаторів на Одеському заводі гумових технічних виробів з позитивним техніко-економічним ефектом.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА БЛОКА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ САПР «RUMET»

4.1 До виявлення причини нестабільності технологічного процесу виготовлення гумометалевих амортизаторів

В Розділі 1 йшла мова про стабільні (робастні) та нестабільні (неробастні) технологічні процеси, причини нестабільності яких неочевидні: при суворому дотриманні режимів однієї і тієї ж технології без уявної причини велика частина продукту технології виявляється бракованою.

З теорії динамічних процесів відомо (див Розділ 1), що така нестабільність викликається біфуркаціями, які відбуваються з фазовою траєкторією технологічного процесу як динамічної системи.

Дійсно, при проектуванні конструкції оптимізації підлягають такі параметри останньої, які забезпечують, наприклад, заданий розподіл деформації в композиційних системах, передачу імпульсу, розподіл звукової хвилі між елементами композиції або залежність шумності від їхніх властивостей, тощо.

Розробка технології передбачає методи та засоби одержання таких конструкцій, причому іноді «прямий» шлях до гумометалевого виробу виявляється хибним, оскільки результат такого виробництва є нестабільним, а велика кількість виробів – бракованою.

Для запобігання подібних катастроф пропонується до традиційних, існуючих систем проектування гумометалевих виробів (як автоматизованих, так і «ручних»), додавати підсистему аналізу фазових траєкторій технологій, виявлення можливих точок біфуркації на фазовому портреті такої технології та розрахунок таких параметрів останньої, які при існуючих можливостях

конкретного виробництва та при мінімальних втратах дозволяють обминати ці точки [33].

На рис. 4.1 в площині, утвореній значеннями двох параметрів технології: p_1 і p_2 , створено уявний фазовий портрет деякої динамічної системи, ускладнений трьома точками біфуркації B_1 , B_2 та B_3 , в яких при потраплянні туди фазової траєкторії системи її подальший розвиток може піти суттєво різними шляхами, завдяки чому система може, в кінці кінців, опинитися в одному з фінішних станів: S_1 , S_2 , S_3 або S_4 .

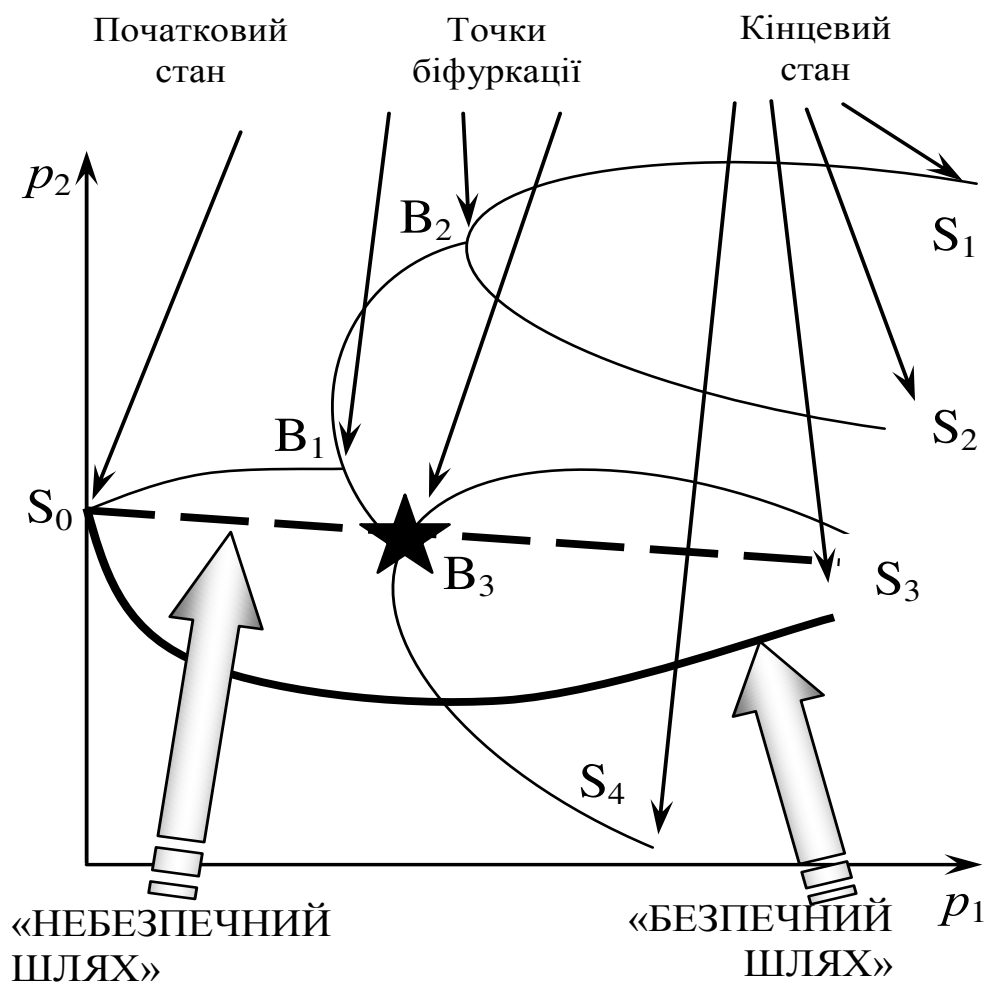


Рисунок 4.1 – Схема створення умов руху системи «гумометалеві вироби на етапі виготовлення» від початкового S_0 до бажаного стану S_3 , коли траєкторія «найшвидшого» руху (крива 1) на фазовому портреті проходить близько до точки біфуркації B_3

«Прямий» шлях від стану S_0 до бажаного стану S_3 , який відповідає прямій 1 на рисунку, є хибним або небезпечним, оскільки його траєкторія проходить близько до точки біфуркації B_3 . «Непрямий», безпечний шлях 2 (рис. 4.1) обминає точки біфуркації і дозволяє отримати стабільний результат. Його траєкторія визначається параметрами технології, які діють, починаючи від точки S_0 , та визначаються за допомогою САПР-Т.

Якщо розглядати повний життєвий цикл гумометалевого виробу, то можна виділити три його етапи, на якому проблема стабілізації за рахунок уникнення небажаних точок біфуркації постає особливо актуальною (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Етапи життєвого циклу гумометалевого виробу

В роботі побудовано тривимірний фазовий портрет блоку «Лиття резинових сумішей» САПР, в якому враховувалися такі параметри: температура суміші під час лиття $T_{л}$, °C ($50 \leq T_{л} \leq 60$); тиск на суміш під час лиття $P_{л}$, МПа ($11 \leq P_{л} \leq 13$); кількість сикативу (альтаксу) у суміші, α ($0,65 \leq \alpha \leq 0,7$).

Відповідно, фазовий портрет досліджуваного процесу виявився тривимірним і на ньому була знайдена точка біфуркації ($T_{л} = 53,2$ °C, $P_{л} = 12,7$ МПа, $\alpha = 0,67$ %), яка, як встановлено, виявилася відповідальною за низьку стабільність результату технологічного процесу і, як наслідок, зavelикий (більше 20) відсоток бракованих виробів.

Біфуркації в гумометалевих системах зв'язані із підпроцесом вулканізації гуми (рис. 4.3), як з однією зі складових загального технологічного процесу.

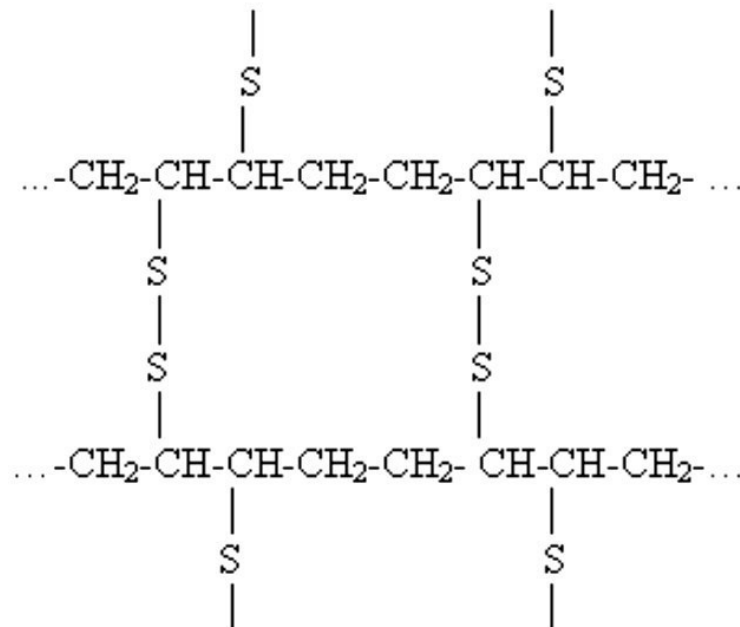


Рисунок 4.3 – Структурна схема молекули «ідеальної» гуми

Слід додати, що структура «ідеальної» гуми насправді тривимірна, адже при вулканізації каучуку (рис. 4.4) утворюється саме тривимірний полімер (ТП).

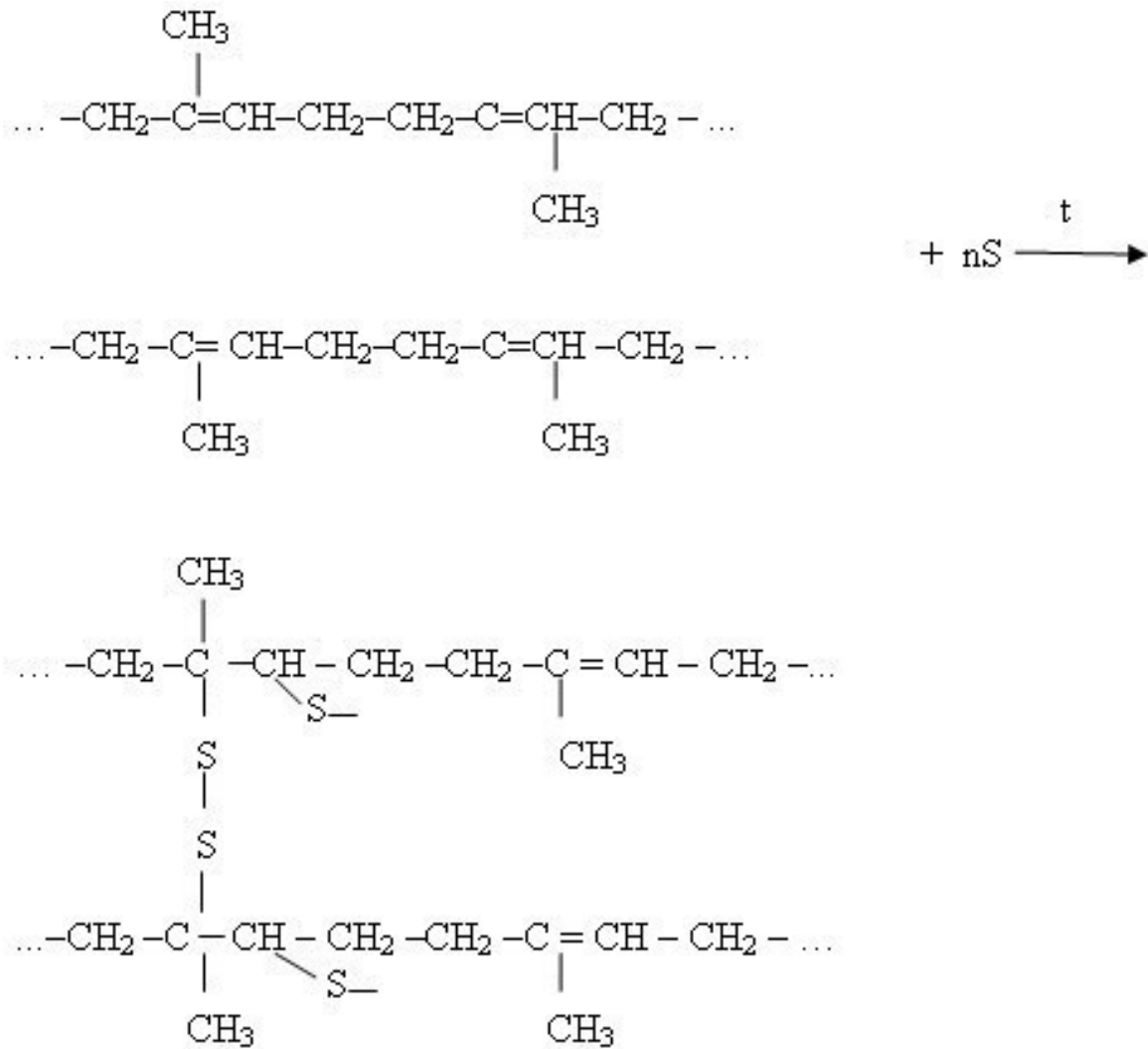


Рисунок 4.4 – Структурна схема хімічної реакції вулканізації каучуку

Гуму на рис. 4.3 назвали «ідеальною», оскільки уся сірка, що є всередині молекули, приймає участь у «зшиванні» молекул каучуку в молекулу гуми, Насправді, достатньо велика кількість сірки в реальній гумі не задіяна в зовнішньому «зшиванні» молекул каучуку, а витрачається на утворення внутрішніх з'єднань: прямих та кільцевих.

Саме ця сірка викликає більшість недоліків в кінцевій гумі (твердіння, старіння, тощо). Її відносна кількість та місця зчеплень з каучуком непередбачувані, – тією «третьою» силою і викликається нестабільність, якщо сам процес спроектовано як не робастний.

Під час проектування технологічного процесу виготовлення

гумометалевих амортизаторів, навіть автоматизованого – за допомогою САПР, як правило, не здійснюється прогноз розвитку динамічних систем, що не гарантує стабільність будь-якої технології.

4.2 Побудова прогнозної моделі процесу перетворення гумометалевої суміші в гумометалевий виріб (вулканізації гуми) в САПР

4.2.1 Враховувані в САПР технологічні методи впливу на параметри вулканізації гуми

Перетворення гумометалевої суміші в гумометалевий виріб відбувається в процесі вулканізації. Вулканізація – технологічний процес взаємодії каучуків з вулканизуючим агентом, при якому відбувається зшивання молекул каучуку в єдину просторову сітку з утворенням трьохмірного полімеру (ТП). При цьому підвищуються міцнісні характеристики каучуку, його твердість і еластичність, знижуються пластичні властивості, ступінь набухання і розчинність в органічних розчинниках. Вулканизуючими агентами можуть бути: сірка, пероксиди, оксиди металів, сполуки амінного типу та ін. Для підвищення швидкості вулканізації використовують різні каталізатори-прискорювачі.

В якості каталізаторів застосовують солі двовалентних металів. При цьому солі кобальту (II) є первинними (істинними) прискорювачами, а солі цинку (II) – допоміжними, або промоторами, які активізують первинні, хоча самостійного каталітичної дії не проявляють. Однією з актуальних завдань є пошук нових ефективних прискорювачів [3, 8, 29].

Серед таких сполук, на наш погляд, перспективними є комплекси перехідних металів з тіокарбамоілсульфенамідами (ТСА), що обумовлено особливостями їх будови: наявністю активних реакційних центрів (S і N) і високою лабільністю зв'язку SN. Отже, всебічне вивчення ТСА і комплексів на їх основі дозволить розширити спектр їх практичного застосування (тонкий

органічний синтез, гумова промисловість, сільське господарство, хімія високомолекулярних сполук та ін. [109 – 111]).

Відомо, що синтетичні полімери, зокрема олігобутадієни, володіють значною здатністю до окислювального структуруванню в тонких плівках киснем повітря, внаслідок чого вони можуть бути використані для отримання антикорозійних покриттів [11, 112]. У свою чергу, впровадження нових ефективних прискорювачів відкриє нові напрямки розвитку виробництва гумометалевих виробів типу ГП.

Таким чином, для створення умов стабілізації процесу вулканізації необхідно було отримати бромідні комплекси кобальту (II) і цинку (II), вивчити властивості координаційних сполук і визначити можливість їх використання в якості каталізаторів структурування олігобутадієна.

У роботі використовували CoBr_2 , отриманий зневодненням $\text{CoBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, цинкову пил, HBr , КІ кваліфікації «ч.д.а.», а також Br_2 , I_2 , N , N -діметилдітіокарбамат натрію, піперидин, морфолін, сірковуглець, гідроксид натрію кваліфікації «ч.». Бромід цинку отримували взаємодією цинкового пилу з HBr і Br_2 за методикою [113].

Органічні розчинники очищали стандартними способами [114]. Аміни і сірковуглець очищали перегонкою. Пентаметілен- і оксидіетілендітіокарбамати натрію отримували взаємодією еквімолярних кількостей відповідного аміну (піперидина, морфоліну), CS_2 і NaOH в охолодженому до $-5 - 0^\circ\text{C}$ водному розчині [115].

Синтез та ідентифікацію L здійснювали реакцією окисної конденсації відповідних дітіокарбаматів натрію і піперидину за методикою [116].

Комплекси кобальту (II) і цинку (II) з L отримували за такою методикою: до насичених розчинів безводних CoBr_2 в ацетоні або ZnBr_2 в діетиловому ефірі при кімнатній температурі доливали еквімолярну кількість L в діетиловому ефірі.

Осад, який утворюється відразу ж після зливання розчинів, промивали невеликою кількістю діетилового ефіру і висушували на повітрі. Виходи

становили 62 – 92 %.

Елементний аналіз осаду на вміст азоту проводили за методом Дюма [117], галогенів і сірки – Шенігера [117], кобальту (II) і цинку (II) – комплексонометричному [118] (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Результати елементарного аналізу комплексів

Сполука	Формула	Склад (знайдено/розраховано), %			
		N	S	Br	Co(Zn)
[CoL ₁ Br ₂]	C ₈ H ₁₆ N ₂ S ₂ Br ₂ Co	<u>6,81</u>	<u>15,23</u>	<u>37,85</u>	<u>13,97</u>
		6,62	15,16	37,77	13,93
[ZnL ₁ Br ₂]	C ₈ H ₁₆ N ₂ S ₂ Br ₂ Zn	<u>6,64</u>	<u>15,02</u>	<u>37,31</u>	<u>15,28</u>
		6,52	14,93	37,20	15,22
[CoL ₂ Br ₂]	C ₁₁ H ₂₀ N ₂ S ₂ Br ₂ Co	<u>6,18</u>	<u>13,94</u>	<u>34,62</u>	<u>12,79</u>
		6,05	13,85	34,50	12,72
[ZnL ₂ Br ₂]	C ₁₁ H ₂₀ N ₂ S ₂ Br ₂ Zn	<u>6,14</u>	<u>13,75</u>	<u>34,12</u>	<u>13,98</u>
		5,96	13,66	34,03	13,93
[CoL ₃ Br ₂]	C ₁₀ H ₁₈ N ₂ OS ₂ Br ₂ Co	<u>6,19</u>	<u>13,88</u>	<u>34,42</u>	<u>12,74</u>
		6,02	13,79	34,36	12,67
[ZnL ₃ Br ₂]	C ₁₀ H ₁₈ N ₂ OS ₂ Br ₂ Zn	<u>6,11</u>	<u>13,71</u>	<u>33,98</u>	<u>13,92</u>
		5,94	13,60	33,89	13,86

Дифрактограми з'єднань отримували на дифрактометрі «Дрон-3» з СоК-випромінюванням і Fe-фільтром.

Молярну електропровідність комплексів розраховували зі значень опорів їх 0.001 М розчинів в ацетонітрилі, виміряних на цифровому вимірнику LCR E7-8 в скляній комірці з платиновими електродами, покритими платиновою черню, при 25 °С.

Кінетику термоокислительного структурування олігобутадієна (ОБ) марки KRASOL LB-2000 (молекулярна маса 1960 г/моль; коефіцієнт полідисперсності 1,35; в'язкість при 25 °С – 4,1 Па·с; мікроструктура ланок: 1,4-

цис – 10 – 15 %, 1,4-транс – 20 – 25%, 1,2-(вініл) – 60 – 70 %) вивчали в тонких плівках в повітряному середовищі в присутності комплексів кобальту (II) і цинку (II) з N-заміщеними тіокарбамоіл-N'-пентаметіленсульфенамідами. Досліджувані комплекси вводили у вигляді розчинів в ацетоні в кількості 6,5 % комплексу по відношенню до ОБ.

Плівки отриманої композиції наносили на скляні пластини і спостерігали їх отвердіння в термошкафу за температури 150 °С протягом 0,5 – 5 годин, після чого визначали в них вміст тривимірного полімеру (ТП) екстракцією в гексані за методикою [119].

Методом окисної конденсації сумішей відповідних дитіокарбаматів натрію і піперидину синтезовані N-заміщені тіокарбамоіл-N'-пентаметіленсульфенаміди (L) загальної формули $RR'NC(=S)SN(CH_2)_5$, де R, R' = $CH_3(L1)$, $(CH_2)_5(L2)$, $(CH_2)_2O(CH_2)_2(L3)$ у вигляді порошків білого кольору [8].

При взаємодії бромідів кобальту (II) і цинку (II) з L отримані комплекси складу $[MLBr_2]$ (яскраво-сині та білі для сполуки кобальту (II) і цинку (II) відповідно), добре розчинні в ацетоні, ацетонітрилі, етанолі, ДМФА, ДМСО, гірше – в хлороформі і бензолі, практично нерозчинні у воді [3, 5].

Рентгенофазовий аналіз синтезованих комплексів показав, що кожен з них характеризується власним набором міжплощинних відстаней і відносних інтенсивностей. Це свідчить про їх хімічної індивідуальності і кристалічному характері.

В якості прикладу представлені штрих-рентгенограми для бромідних комплексів кобальту (II) з $L_1 - L_3$ (рис. 4.5).

Вимірювання молярної електропровідності (λ) комплексів в ацетонітрилі показало, що розглянуті сполуки є неелектролітами [120].

У комплексах реалізується бідентатно-циклічна координація молекул лігандів до атомів металів через тионив атомів сірки та сульфенаміднів атомів азоту з утворенням п'ятичленного металоцікла [121]:

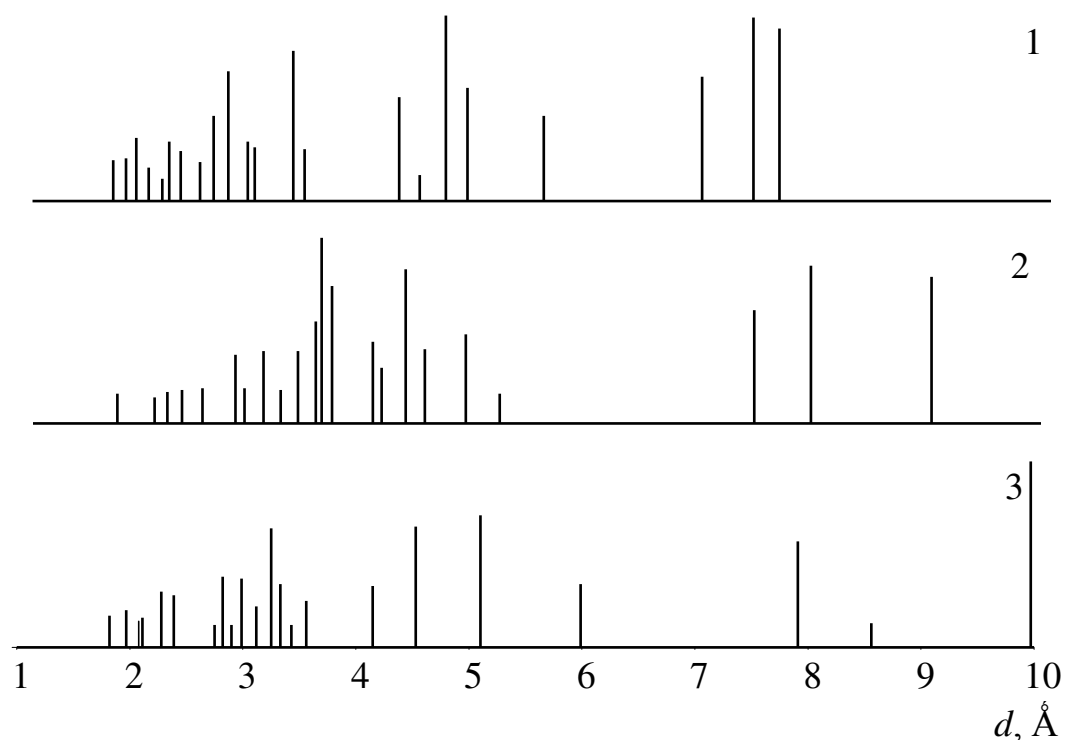
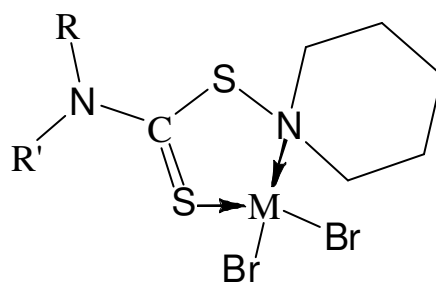


Рисунок 4.5 – Штрих-рентгенограми сполук $[\text{CoLBr}_2]$:

1 – $[\text{CoL}_1\text{Br}_2]$;

2 – $[\text{CoL}_2\text{Br}_2]$;

3 – $[\text{CoL}_3\text{Br}_2]$



Застосування розглянутих сполук у якості каталізаторів термоокисного структурування ОБ показало, що при $150\text{ }^\circ\text{C}$ відбувається отвердіння як плівки, що містить каталізатор, так і плівки без каталізатора. Різниця полягає в тривалості індукційного періоду та вмісті в плівках тривимірних полімерів. При отвердінні ОБ без домішок індукційний період становить 3 години (вміст тривимірних полімерів 70 %) при максимальному вмісті тривимірних полімерів

за 5 годин, рівному 85 %.

Найменш тривалий індукційний період досягається в присутності комплексів $[\text{CoLBr}_2]$. Вміст тривимірних полімерів при введенні $[\text{CoL}_2\text{Br}_2]$, $[\text{CoL}_3\text{Br}_2]$ за 30 хв становить 75 – 85 %; за 1:00 – 80 – 90 % і далі не змінюється, а при введенні $[\text{CoL}_1\text{Br}_2]$ – 70 % за 30 хв, 93 % за 1:00, 98 % за 3 год і далі не змінюється. При використанні комплексів $[\text{ZnL}_1\text{Br}_2]$, $[\text{ZnL}_2\text{Br}_2]$ і $[\text{ZnL}_3\text{Br}_2]$ індукційний період становить 2 год. Вміст ТП за 2 год при введенні $[\text{ZnL}_2\text{Br}_2]$, $[\text{ZnL}_3\text{Br}_2]$ досягає 72 – 82 % і далі практично не змінюється, а при введенні $[\text{ZnL}_1\text{Br}_2]$ – 60 % за 2 год і 72 % за 5 год.

За отриманими даними проведено розрахунок вмісту тривимірних полімерів в отверділих плівках для оцінки ступеня їх структуривання і побудовані графічні залежності вмісту ТП від часу структуривання (рис. 4.6, 4.7, 4.8).

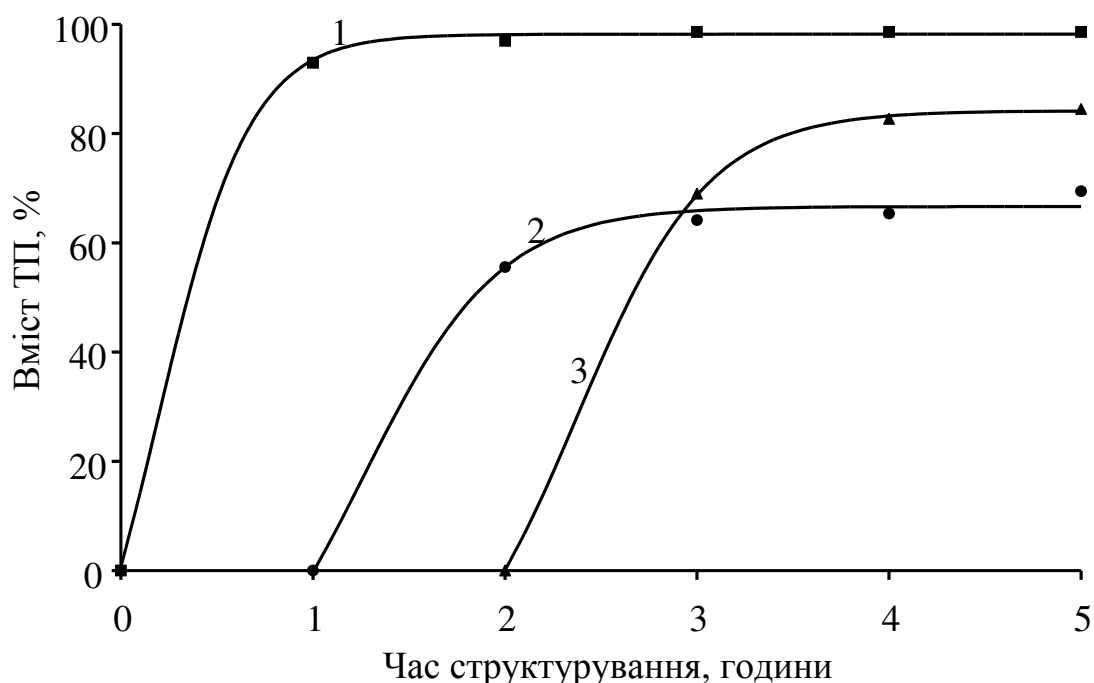


Рисунок 4.6 – Залежність вмісту ТП від часу структуривання ОБ при введенні $[\text{ML}_1\text{Br}_2]$:

1 – $[\text{CoL}_1\text{Br}_2]$;

2 – $[\text{ZnL}_1\text{Br}_2]$;

3 – KRASOL LB-2000 без каталізатора

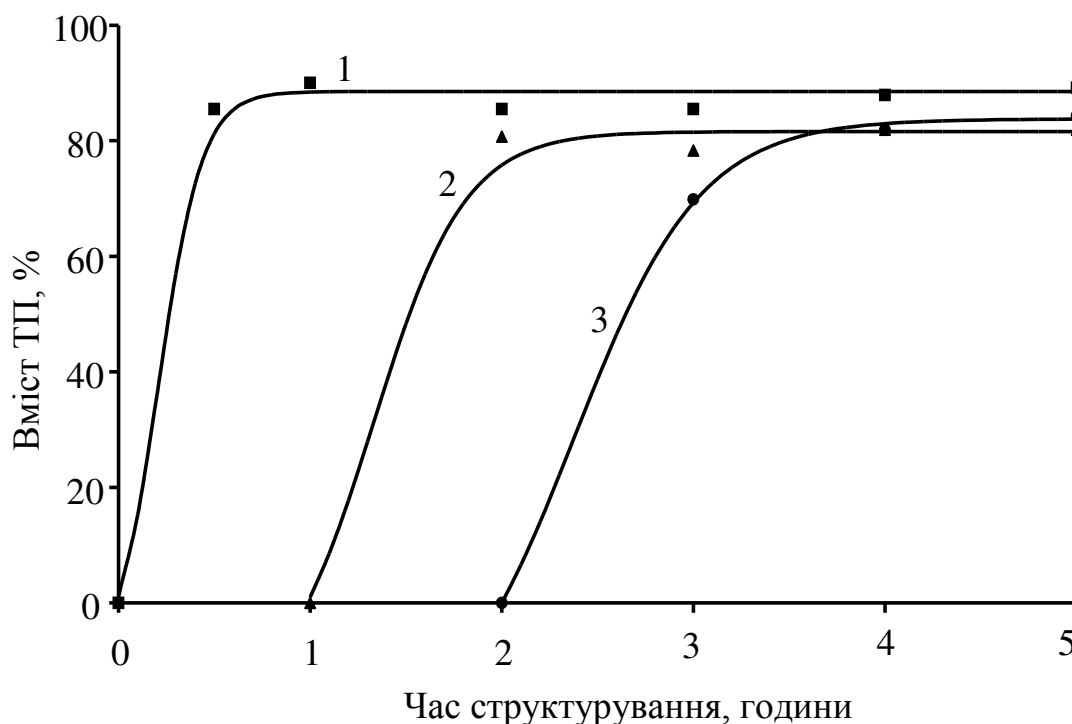


Рисунок 4.7 – Залежність вмісту ТП від часу структуривання ОБ при введенні $[ML_2Br_2]$:

1 – $[CoL_2Br_2]$;

2 – $[ZnL_2Br_2]$;

3 – KRASOL LB-2000 без каталізатора

Встановлено, що кобальтовмісні комплекси виявилися більш активними каталітичними добавками, ніж цинковмісні. Виявлено, що каталітична активність сполук збільшується в ряду $[CoL_3Br_2] < [CoL_2Br_2] < [CoL_1Br_2]$. Отже, композиції на основі олігобутадієну з доданням $[CoLBr_2]$ можуть бути ефективно використані для отримання гумових покриттів.

Таким чином, проведене дослідження відкриває перспективи для промислового застосування комплексів кобальту (II) і цинку (II) з N-заміщеними тіокарбамоіл-N'-пентаметіленсульфенамідами в якості сумішей як первинних ($[CoLBr_2]$), так і вторинних ($[ZnLBr_2]$) прискорювачів процесу вулканізації:

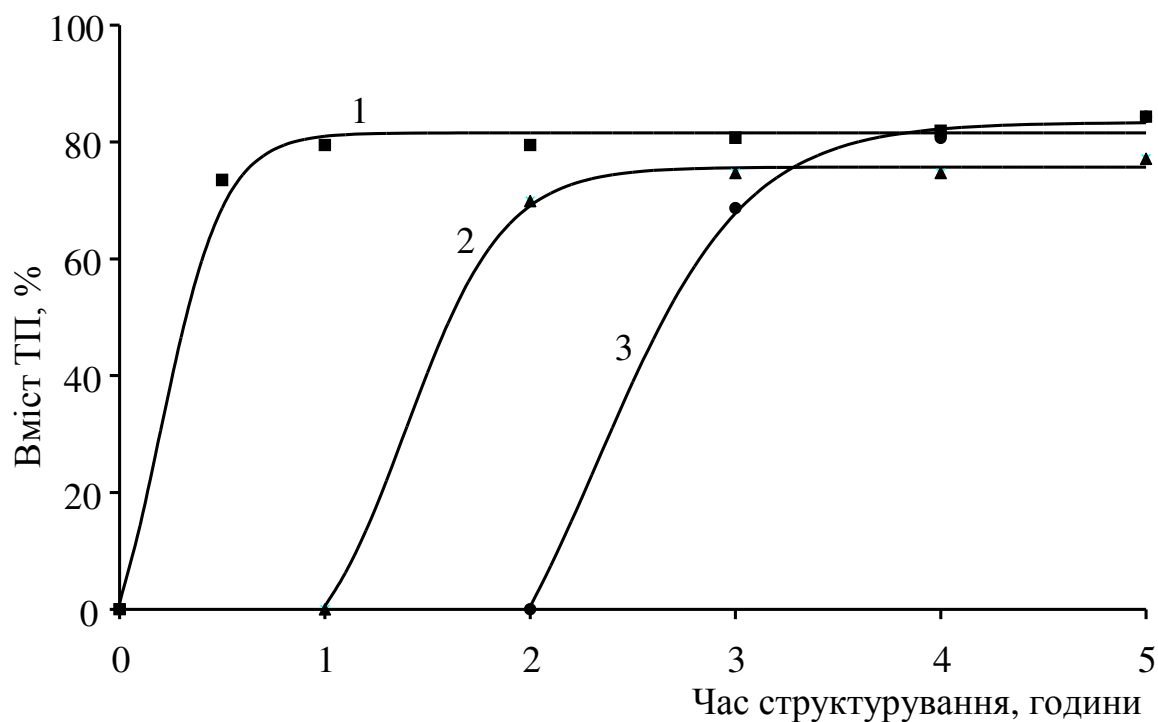
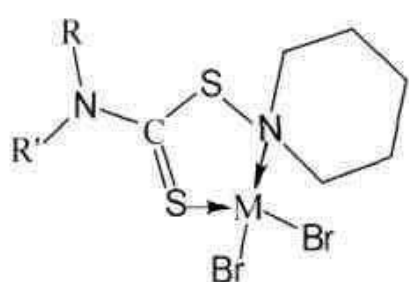


Рисунок 4.8 – Залежність вмісту ТП від часу структування ОБ при введенні $[ML_3Br_3]$:

1 – $[CoL_3Br_2]$;

2 – $[ZnL_3Br_2]$;

3 – KRASOL LB-2000 без каталізатора



де $M = Co, Zn$; $R = R' = (CH_2)_5$ (L_1)

$R = R' = (CH_2)_2O(CH_2)_2$ (L_2);

$R = R' = CH_3$ (L_3)

Досліджувані комплекси вводили у вигляді розчинів в ацетоні в кількості 6,5 % комплексу по відношенню до ОБ.

Плівки отриманої композиції наносили на скляні пластини та затверджували в термошафі при температурі 150 °C протягом 0,5 ÷ 5 годин, після чого визначали в них вміст трьохмірного полімеру (ТП) екстракцією в

гексані за методикою, викладеною в роботі [119].

Результатами дослідження показано, що найбільш ефективними для прискорення процесу структурування виявилися комплекси $[\text{CoL}_1\text{Br}_2]$, $[\text{CoL}_2\text{Br}_2]$ і $[\text{CoL}_3\text{Br}_2]$, які практично не мають індукційного періоду (вміст ТП при введенні $[\text{CoL}_1\text{Br}_2]$, $[\text{CoL}_2\text{Br}_2]$ за 30 хвилин дорівнює 75 – 85 %; за 1 годину – 80 – 90 %, і далі не змінюється; при введенні $[\text{CoL}_3\text{Br}_2]$ вміст ТП за 30 хвилин – 70 %, за 1 годину – 93 %, за 3 години – 98 %).

При використанні комплексів $[\text{ZnL}_1\text{Br}_2]$, $[\text{ZnL}_2\text{Br}_2]$ і $[\text{ZnL}_3\text{Br}_2]$ індукційний період складає 2 години, а максимальний вміст ТП за 5 годин дорівнює 72 – 82 %.

Для порівняння при затвердінні ОБ без $[\text{MLBr}_2]$ індукційний період складає 3 години (ТП 70 %), а максимальний вміст ТП за 5 годин – 85 %.

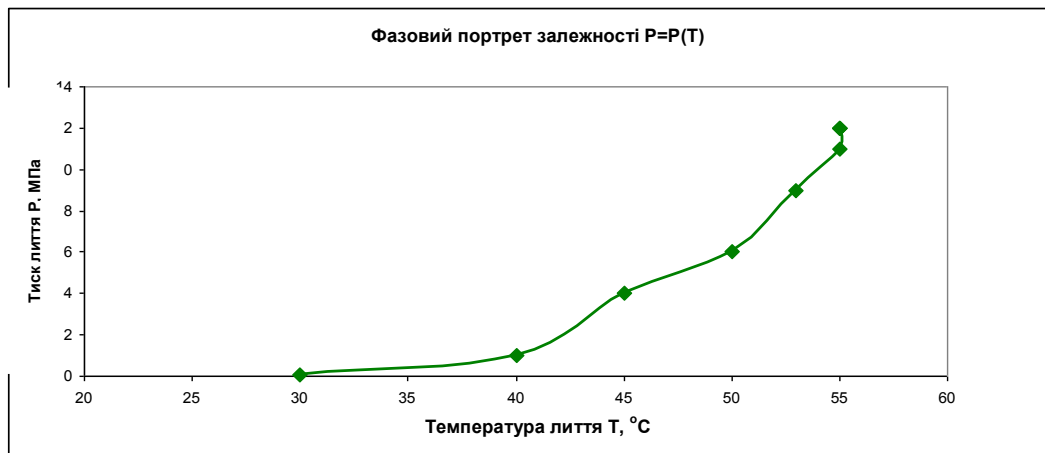
4.2.2 Проектування технології виготовлення гумометалевих амортизаторів із врахуванням біфуркацій її фазової траєкторії

Побудова та аналіз фазових траєкторій головних процесів виготовлення та експлуатації гумометалевих виробів дозволяє в деяких випадках виявити причину виникнення нестабільності в якості продукції гумометалевого виробництва, а саме точки біфуркації відповідних динамічних систем, після проходження яких останні з малих зовнішніх впливів можуть рухатися або до зони якості, або до зони браку.

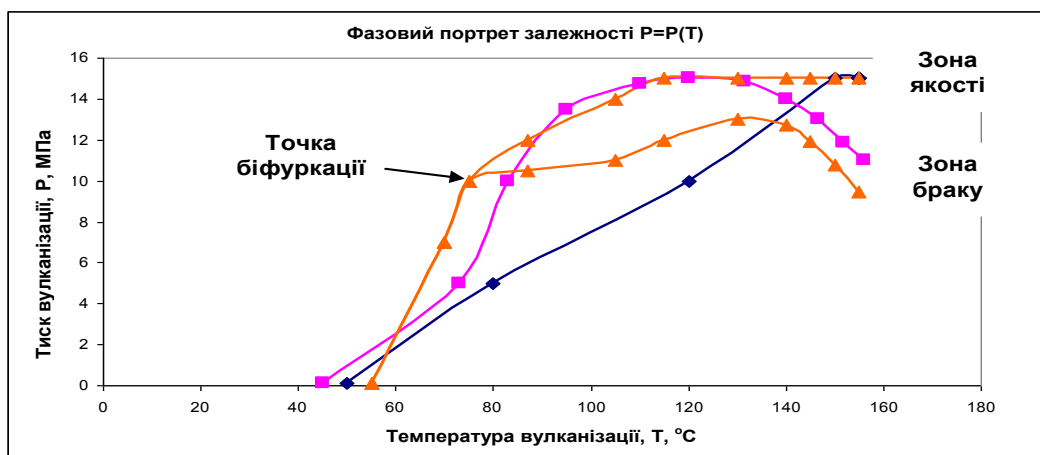
При аналізі динамічних систем «Заповнення прес-форми» та «Старіння гуми» такі точки не спостерігали (рис. 4.9, а, в).

Біфуркація в системах, подібних системі «Вулканізація гуми» виникає, найшвидше, тоді, коли в ній відбувається співпадіння за часом (синхронізація) деяких подій в різних підсистемах (рис. 4.9, б) [122].

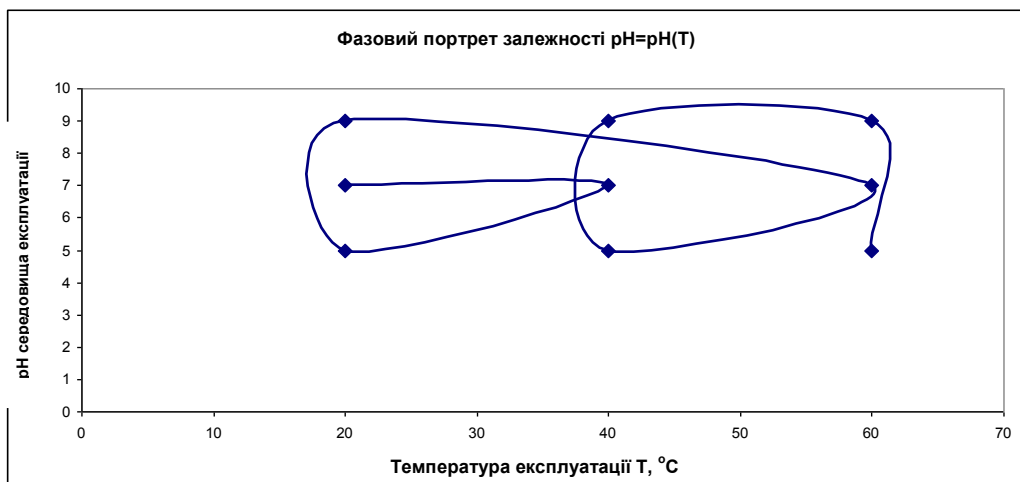
Тоді боротьба з такою біфуркацією полягає в недопущенні конструктивними або технологічними методами саме цього співпадіння [123 – 127].



а)



б)



в)

Рисунок 4.9 – Фазові портрети динамічних систем:

а – фазовий портрет динамічної системи № 1 – заповнення прес-форми;

б – фазовий портрет динамічної системи № 2 – вулканізація;

в – фазовий портрет динамічної системи № 3 – старіння

4.2.3 Проектування технології виготовлення гумометалевих амортизаторів із врахуванням запізнювання подій в фазових параметрах системи

При побудові системи управління процесом вулканізації гуми в пресформі періоди часу між попередніми і основними подіями розглядали як запізнювання реальним станом об'єкта від результату його комп'ютерного прогнозування [128].

Наявність запізнювань в контурах управління веде до зростання фазового зсуву, який може викликати порушення стійкості замкнутої системи управління навіть при невеликих значеннях підсилення регулятора, тому керуючі впливу доводиться обмежувати. На практиці це призводить до зниження швидкості управління.

Нехай поточний стан системи «гума під час вулканізації» характеризується вектором $\mathbf{x}(t)$. Компонентами цього вектора можуть бути температура гумової суміші T і концентрація в ній залишкової після реакції вулканізації сірки C_S [31].

Виходом системи $\mathbf{y}(t)$ можуть бути параметри стану динамічної системи, наприклад, інтервал десинхронізації, безпосередньо пов'язаний з показниками якості гумометалевого виробу: наявністю дефектів, концентрацією сірки та вуглецю, тощо.

Управління системою характеризується вектором $\mathbf{u}(t)$, компонентами якого можуть бути, наприклад, температура пресування, параметри ущільнення гумометалевої суміші, тощо.

Запізнювання у відповідних ланцюгах системи управління, описуються гіперболічним рівнянням першого порядку:

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{f}[\mathbf{x}(t), \mathbf{x}(t - \alpha), \mathbf{x}(t - \beta), \mathbf{u}(t), \mathbf{u}(t - \alpha), u(t - \beta)], \quad (4.1)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}[\mathbf{x}(t), \mathbf{x}(t - \alpha), \mathbf{x}(t - \beta)] \quad (4.2)$$

з початковими умовами:

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0; \quad (4.3)$$

де t – час; \mathbf{h} – передавальна функція пристрою, який оцінює якість синхронізації на виході системи.

Для таких систем управління існують різні методи компенсації запізнювань, всі вони ґрунтуються на створенні деякого аналітичного прогнозуючого блоку в контурі управління [128].

Можливість реального управління якістю гумометалевого виробу шляхом впливу на процеси синхронізації в системі «гума, що вулканізується» підтверджує збіг результатів комп'ютерних експериментів, отриманих на запропонованих моделях і в результаті натурного експерименту [13].

Натурний експеримент проходив в умовах, коли в окремих частинах гумової вставки в гумометалевий виріб створювалися різні умови впливу на гуму, яка вулканізується [129].

У розрахунках спочатку розглядалася динамічна модель системи «каучукова суміш» в координатах «температура гуми – відсоток вулканізованої гуми» [9].

Подіями в термічній підсистемі вважали досягнення температурою гумової суміші значення T^* , а в концентраційній – зниження концентрації вільної сірки до C_S^* . Кожна з цих подій безпосередньо та окремо не позначається на якості гумометалевого виробу. Їхнє же співпадіння у часі є руйнівним для багатьох майбутніх амортизаторів.

Остаточний розрахунок підтвердив, що опис системи з урахуванням складових подій в ній дозволяє побудувати адекватну математичну модель виникнення основних дефектів гумометалевих амортизаторів, незамінну як при проектуванні технології виготовлення амортизаторів в САПР, так і при побудові АСУ ТП.

4.3 Побудова прогнозних моделей процесу «старіння» гумометалевих виробів

Найважливішою характеристикою гумометалевих виробів є надійність їхньої експлуатації, особливо, коли мова йде про ГМВ, які працюють в таких місцях машин та транспортних засобів, де їх трудно контролювати та демонтувати для заміни.

Головним чинником виходу з ладу ГМВ під час їхньої експлуатації є так зване «старіння» гуми. Старіння відбувається під впливом сонячного випромінювання, кисню повітря, потрапляння на поверхню гуми солоної води, дії механічних перевантажень.

В результаті старіння виникають відшарування гуми від металу, тріщини на поверхні гуми, корозія металу.

Основною причиною старіння є взаємодія гуми з киснем, що призводить до приєднання останнього за місцем подвійних зв'язків в просторовій трьохвимірній сітці гуми, в результаті чого молекули гуми розриваються і стають коротше.

Аналізом існуючих літературних даних та результатів власного дослідження процесів старіння ГМВ отримані математичні моделі, в яких відбито зв'язок між параметрами, отриманими під час проектування, та кінетикою хімічних та фізичних процесів, які, власне, й призводять до старіння. Це дозволило «замкнути» на комплексну САПР повний життєвий цикл ГМВ – від завдання на проектування до їхньої утилізації.

4.3.1 Проектування параметрів структурної надійності в підсистемі експлуатації гумометалевих амортизаторів

Параметри структурної надійності обов'язково присутні в переліку характеристик, які входять в технічне завдання на створення та експлуатацію складних об'єктів відповідального призначення із системами захисту та

резервування. Тому проблема інформаційного моделювання структурної надійності складних технічних систем (СТС) є однією з актуальних, коли інформаційна модель (ІМ) стає єдиним джерелом відомостей про особливості реакції об'єкта, на майбутні та поточні умови експлуатації [17, 18].

Дійсно, спеціалісту з САПР в процесі роботи необхідно постійно та багаторазово в *on-line* режимі за лічені хвилини, а то й секунди, прогнозувати параметри структурної надійності резервованих СТС, що складаються з багатьох елементів, надійність яких невідома та не рівна між собою, вклад стану кожного елемента в стан всієї СТС також стохастичний та нерівний, послідовність виходу з ладу окремих елементів складно передбачувана.

Наразі такі задачі розв'язуються або експериментально на виробництві, або за допомогою комп'ютерних пакетів програм «стан – якість», які входять до відповідних предметних САПР.

Згадаємо також, що для отримання репрезентативної інформації про структурну надійність реальні об'єкти необхідно створювати та «ганяти на полігоні» в статистично обґрунтованій кількості, а пошкодження в модель об'єкта в САПР вносити десятками тисяч вручну!

Зайве стверджувати, що ці методи з-за своєї природної граничної повільності неприйнятні для отримання інформації ані в сучасному проектуванні, ані в сучасному управлінні, оскільки різко звужують можливість перегляду варіантів конструкцій, технологій виготовлення та режимів експлуатації СТС.

З ускладненням технічної системи та умов її експлуатації, зростанням вартості проекту різко зменшуються також сподівання на експертну оцінку – «прямий розсуд» досвідченого фахівця (або групи фахівців), адже нові системи не мають відображення в їхньому досвіді, та занадто великою може виявитися технічна, економічна та екологічна відповідальність за прийняття хибного рішення!

Таким чином, можна стверджувати, що сучасні САПР нагально потребують створення методів деякої експрес-оцінки структурної надійності,

які могли б підтримувати рішення в САПР або в АСУ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації від об'єкта.

З іншого боку, останнім часом з'явилися нові, інформаційні методи та моделі, які здатні підтримувати проектні рішення в умовах браку інформації на вході, наприклад, нейронні мережі. Але недоліком таких систем є необхідність їхнього навчання, що, знову ж таки, потребує недоступної в експрес-режимі первинної інформації, і т.д. замкненим колом. Цей недолік впливає з необхідності підтримувати єдність об'єкта та його моделі на рівні «параметри об'єкта – інформація на вході нейронної мережі».

Але нейроподібні структури можна «навантажувати» інформацією про об'єкт не тільки крізь числа на вході. Значний інтерес представляє інший підхід, коли інформаційна єдність між об'єктом та його моделлю досягається на морфологічному рівні, завдяки їхній структурній єдності. Наразі, запропоновані теоретичні основи експериментально-статистичного методу експрес-оцінювання параметрів структурної надійності складних об'єктів [20].

Розглянемо будь-який об'єкт фізичного світу у вигляді чорного ящика: деякого перетворювача «вхід \rightarrow вихід», який має власну внутрішню структуру **S** у вигляді зв'язаних певним чином елементів, а також параметрів останніх **P**. Побудуємо ММ такого перетворення. Для цього розглянемо об'єкт, що проектується у вигляді операторного рівняння, яке перетворює вектор вхідних змінних **X** (конструкція об'єкта + умови його експлуатації) в вектор вихідних **Y** (технічний стан: працездатність об'єкта) за допомогою структурованого оператора Ω :

$$Y \rightarrow \Omega(X, S_0, P_0). \quad (4.4)$$

Нехай значення **X** за допомогою початкового оператора $\Omega(X, S_0, P_0)$ перетворюється в Y_0 , що належить до множини працездатних елементів **M**. Нехай тепер структура **S**, яка входить до початкового оператора Ω_0 , змінена (пошкоджена) шляхом видалення окремих елементів або зв'язків так, що

оператор Ω_0 перетворюється в оператор Ω_1 (рис. 1). При цьому результат операторного перетворення Y_1 , як показано на рис. 2, залишається в множині M . Можна стверджувати, що у міру подальшого дискретного пошкодження початкового оператора Ω_0 до рівня Ω^* вектор Y буде рухатися в множині M і за декілька ітерацій пошкоджень вийде за межі цієї множини, – об'єкт з властивостями Y^* стане непрацездатним.

Як впливає з класичної теорії ймовірності, для СС із резервуванням, обмеженням по навантаженню окремих елементів та n рівнозначущими з точки зору надійності елементами $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ головною характеристикою надійності є функція імовірності безвідмовної роботи (ІБР), яка визначається за допомогою біноміального розподілу:

$$P(t) = \sum_{i=0}^m C_n^{m-i} \cdot P_e^{n-i}(t) \cdot [1 - P_e(t)]^i, \quad (4.5)$$

де $P_e(t)$ – ІБР кожного з рівнозначущих елементів системи, m – кількість резервних елементів.

З (4.5) випливає необхідність рівності ІБР усіх окремих елементів $P_{e_j}(t); j = \overline{1; m}$, а також індивідуальних вкладів окремих елементів в структурну надійність об'єкта в цілому $P(t)$. Відсутність такої рівності (а в реальних СС вона спостерігається майже завжди) робить вираз (4.5) набагато складнішим:

$$P(t) = \sum_{i=0}^m \left\{ C_n^{m-i} \cdot \prod_{j=1}^{n-i} P_{e_j}(t) \cdot \left[1 - \prod_{j=1}^{n-i} P_{e_j}(t) \right]^i \right\}, \quad (4.6)$$

а навіть оцінні розрахунки $P(t)$ за (4.6) нездійсненними в реальному часі ані проектування, ані управління.

Дійсно, із структури формул (4.5) та (4.6) безпосередньо випливає, що оцінка ІБР СТС із резервуванням для будь якого моменту часу t потребує

послідовного визначення (розрахунку) ІБР початкової СТС, ІБР СТС з 1 видаленим елементом, ІБР СТС з 2 видаленими елементами і т.д. аж до ІБР СТС з m видалених елементів, після чого резерв вичерпується і кожне наступне пошкодження призводить до відмови СТС в цілому. Якщо треба розрахувати ІБР для декількох моментів часу, кількість обчислень відповідно зростає. Зрозуміло, що натурний експеримент для цього не підходить, оскільки треба виготовити велику кількість складних об'єктів та довгий час «руйнувати» їх в умовах експлуатації.

Для комп'ютерного експерименту можна створити образ складного об'єкта в САПР ANSYS, але й в цьому випадку така модель незастосовна, оскільки ані можливості врахування умов експлуатації, ані можливості швидкого видалення елементів з моделі ANSYS не надає.

Інтелектуальні мережеві моделі (наприклад, нейронні мережі «прямої дії», коли на вхід подаються відомості про технічний стан об'єкта, а на виході отримується його ІБР) для таких потреб також не підходять, оскільки після видалення кожного елементу об'єкта такі моделі треба повторно навчати, а для цього необхідні навчальні вибірки, отримати які можна знов таки на полігоні або в існуючих САПР.

Експериментальні комп'ютерні розрахунки за (3) призводять до отримання багаточисельних оцінок ІБР при різному ступені пошкоджень, а їхня обробка дозволяє застосовувати ентропійний вираз:

$$K_2 = - \sum_{i=R_1+1}^{R_2-1} \left\{ 2 A'D \log_2 \left(\frac{2 A'D}{2 A'D + (1-2 A'D)} \right) + (1-2 A'D) \log_2 (1-2 A'D) \right\} \quad (4.7)$$

Ентропійний показник K використовується далі в якості параметра управління складною системою.

Розглянемо дві СС із резервуванням. Хай перша з них – об'єкт дослідження, безпосередні експерименти на відмовостійкість з яким нездійсненні (наприклад, на етапі проектування, коли об'єкт ще не існує), а

друга – деяка модель, доступна для експериментування в цьому ж сенсі.

Розрахунок надійності – це процедура визначення значень показників надійності із використанням методів, заснованих на їх обчисленні за довідковими даними про надійність елементів системи. Спробуємо *без розрахунку будь-яких значень*, спираючись на теорію подібності, відповісти на питання: яке необхідне та достатнє співвідношення між властивостями обох СТС повинне мати місце, аби одна система була адекватною моделлю надійності іншої?

Доказ адекватності, природно, повинен спиратися на деякі критерії подібності різних фізичних явищ. Але в нашому випадку йдеться про ***інформаційну подібність*** двох об'єктів! Зважаючи на це, а також виходячи з високої складності (4.5), введемо критерій подібності, який дорівнює 1, звідки безпосередньо випливає необхідність додержання умов рівності структурних параметрів:

$$n_{об} = n_M; \quad m_{об} = m_M, \quad (4.8)$$

а отже *морфологічної подібності (ізоморфізму)* порівнюваних СС на протязі їхнього життєвого циклу.

Це означає, що вибуття елемента $e_{обi}$ однієї СС (об'єкта) повинно супроводжуватися негайним вибуттям відповідного елемента e_{Mi} його моделі. Необхідно також виконання ще однієї умови:

$$P_{iáe}(t) = P_{1e}(t). \quad (4.9)$$

яке потребує узгодженості деяких конкретних характеристик елементів об'єкта та його моделі на фізичному рівні.

Виконання умов (4.8) та (4.9) на фізичному рівні вкрай складне. Розв'язати цю проблему може деяка ***інформаційна модель*** пошкодження об'єкта в умовах експлуатації, яка могла б, з одного боку, з прийнятною

швидкістю відтворювати поітераційно стан об'єкта з точки зору видалення елементів, що відмовили під час експлуатації

4.3.2 Прогнозування процесу «старіння» ГМВ на основі ізоморфних графів молекулярних структур

Описана модель дозволяє визначати ізоморфізм графів, що необхідно при моделюванні структурних змін на молекулярному рівні у гумі, що старіє під час експлуатації [10, 19].

Як відомо, ізоморфізм – наявність структурної подібності в різних об'єктів. Ізоморфізм завжди задає відношення еквівалентності на класі множин зі структурою. Багато практичних завдань – від конструювання нових машин на макрорівні до створення нових молекул на мікро – призводять до необхідності розпізнавання ізоморфізму і ізоморфного вкладення складних структур, заданих у вигляді графів.

Якщо абстрактний граф ідентичний, або, як кажуть математики, ізоморфний деякому геометричному графу, при зображенні геометричних графів є велика свобода в розміщенні вершин і у виборі форми поєднання їх ребер. Тому може виявитися, що один і той же граф представляється різними кресленнями, розглядаючи які далеко не відразу можна усвідомити, що вони є зображеннями одного і того ж графа.

Питання про те, ізоморфні чи ні два дані графа, в загальному випадку виявляється дуже складним [130]. З точки зору змісту ізоморфізм структур графів означає тотожність функціонування самих структур, що допускає в деяких випадках заміну однієї структури іншою, їй ізоморфною.

Проблема встановлення ізоморфізму полягає в знаходженні найбільш ефективного алгоритму, який розпізнає, ізоморфні або ні графи, які розглядаються. Але, на жаль, досі навіть не встановлено, належить вона до класу P проблем, для яких існує алгоритм поліноміальної складності, або є NP-повною проблемою.

Тому, для того щоб з'ясувати, ізоморфні чи ні два графа, які мають n вершин, в загальному випадку доводиться виконувати $n!$ попарних порівнянь, а для розпізнавання ізоморфного вкладення графа H , що має m вершин, в граф G , у якого n вершин, необхідно провести C_m^{mn} порівнянь. Вже при відносно невеликій кількості елементів у графах рішення задачі ізоморфізму таким методом повного перебору стає недосяжним: уже при $n = 20$ для перебіру всіх $n!$ варіантів необхідно було би 40 років машинного часу.

Подібна ситуація направила дослідників на шлях пошуку такого інваріанта (числа або системи чисел), який би, з одного боку, легко обчислювався по заданому графу, а з іншого – мав властивість повноти, тобто визначав граф однозначно з точністю до ізоморфізму. На жаль, уявна простота такого підходу стикається з проблемами визначення як самих інваріантів (пошук обов'язково повинен містити доказ адекватності), так і методів їх відносно швидкого обчислення, яке можливо виконати лише для графів певних типів з дотриманням відповідних обмежень.

Нехай f – функція, відносить кожному графу G деякий елемент $f(G)$ з множини M довільної природи. Цю функцію називають інваріантом, якщо на ізоморфних графах її значення збігаються, тобто для будь-яких G і G' з ізоморфності графів G і G' випливає, що $f(G) = f(G')$.

Розглянемо декілька найбільш важливих інваріантів графа [131]. Насамперед, це кількість вершин $n(G)$ і ребер $m(G)$, вектор ступенів вершин $s(G) = (s_1, s_2, \dots, s_n)$, а також щільність $k(G)$ – кількість вершин кліки графа G , нещільність $e(G)$ – найбільша кількість попарно несуміжних вершин графа, хроматичне число $g(G)$; кількість компонентів зв'язності $K(G)$, число Хадвігера $h(G)$. Будь-яка функція від елементів a_{ij} матриці, що не міняється при будь-яких перестановках рядів матриці суміжності, є інваріантом графа G .

Відомо, що графи ізоморфні тоді і тільки тоді, коли їх матриці суміжностей виходять одна з одної однаковими перестановками рядків і стовпців або коли їх матриці інцидентності виходять одна з одної довільними перестановками рядків і стовпців [132].

Однак, на жаль, матриця суміжностей не є інваріантом графа: при переході від однієї нумерації його вершин до іншої вона зазнає перестановку рядків, що складається з деякої перестановки рядків і точно такої ж перестановки стовпців.

Інваріант f називається повним, якщо для будь-яких графів G і G' з рівності $f(G) = f(G')$ слідує ізоморфізм графів G і G' . На жаль, з перерахованих інваріантів жоден не є повним.

У процесі розвитку теорії графів не було браку в гіпотезах повноти інваріанта, використовували навіть евристичні методи [133], але всі ці гіпотези рано чи пізно спростовувалися конкретними прикладами.

Еволюція методів пошуку легко обчислювальних інваріантів привела до алгоритму з відновленням або вилученням елементів графа.

Послідовно відтворюючи [134] або руйнуючи [135] порівнювані графи, в деяких випадках вдається розпізнати шуканий ізоморфізм, однак і тут спроби отримати детемінований інваріант обмежені доказовою базою і обсягом машинного часу.

Оримані таким чином моделі старіння гумової частини гумометалевих виробів пройшли перевірку на адекватність за допомогою експерименту, який містить прискорене старіння виробів в спеціальному термостаті із регульованою температурою та рН середовища. Результати перевірки наведені на рис. 4.10.

Для знаходження інваріанта запропонований наступний підхід. Нехай є два графа G_1 і G_2 , ізоморфність яких потрібно встановити, не порівнюючи його елементів безпосередньо.

Побудуємо інтелектуальну морфологічну комп'ютерну модель (ІММ) структурної надійності (СН) деякої складної системи з резервуванням (ССР), ізоморфну почергово порівнюваним графам, можливості якої дозволяли б піддавати ССР випробуванням на СН [136] відповідно до наведеної до нерівнозначних елементів стандартної формулою «з вибуванням» для обчислення імовірності безвідмовної роботи (ІБР) таких систем.

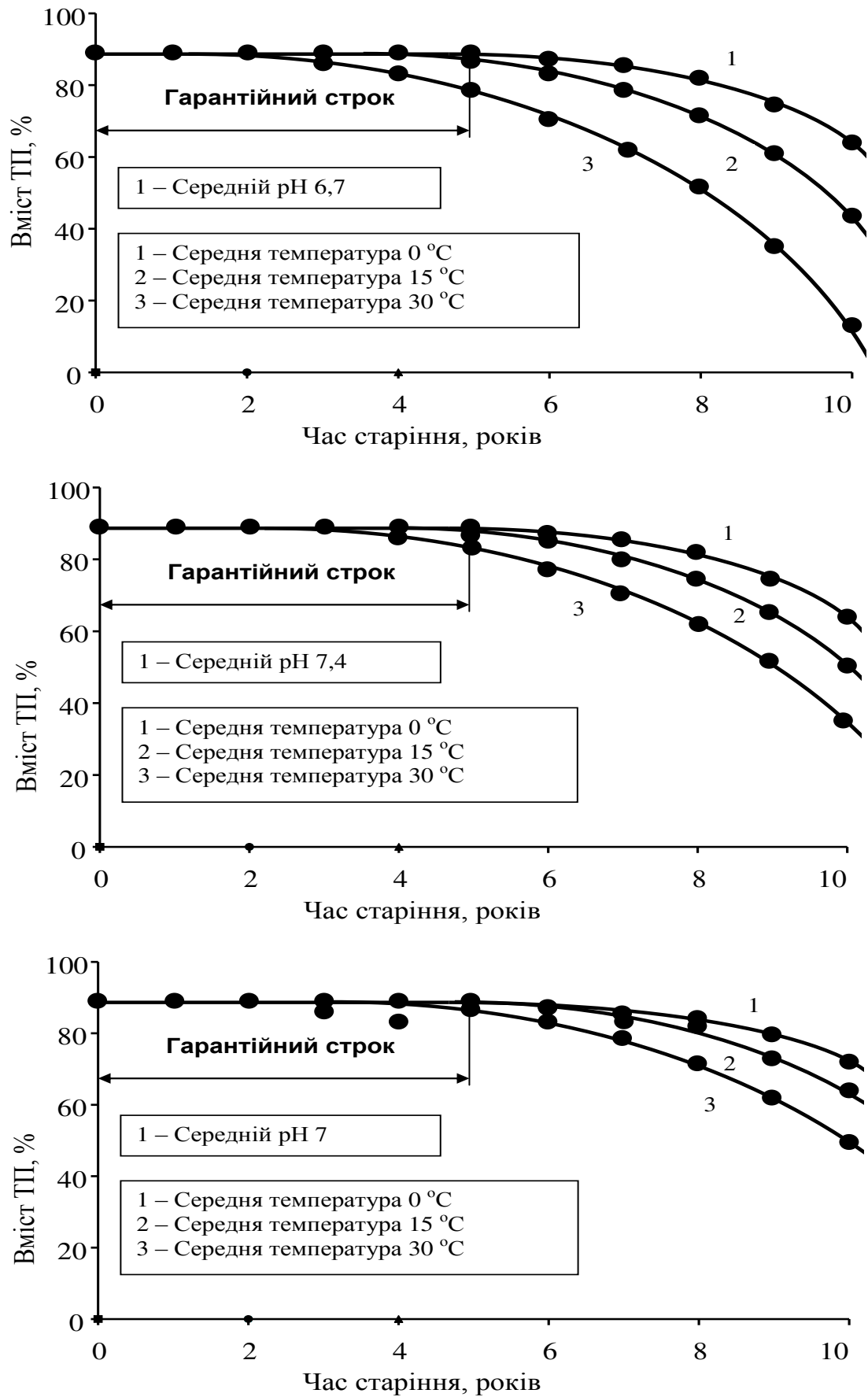


Рисунок 4.10 – Експериментальне підтвердження адекватності моделі старіння гуми

Дійсно, оцінка ІБР ССР для будь-якого моменту часу t вимагає послідовного визначення (розрахунку) ІБР вихідної системи, ІБР системи з одним несправним елементом, ІБР системи з двома елементами, що відмовили і т.д. аж до ІБР системи з m елементами з n , що відмовили, після чого система вважається непрацездатною в цілому. Звідси випливають необхідні властивості ІММ: вона повинна, з одного боку, «сама себе пошкоджувати», відтворюючи поітераційно в режимі реального часу стан об'єкта з погляду видалення елементів, які відмовили, а з іншого, – також швидко розраховувати ІБР об'єкта на кожній ітерації. Така модель спирається на наступну наукову гіпотезу.

Гіпотеза: експеримент над інформаційною морфологічної моделлю ССР, алгоритм якого відповідає формулі обчислення ІБР цієї системи по (4.10), є адекватним з точки зору прогнозу ІБР реальної ССР, а інваріанти моделі і об'єкта у вигляді значень ІБР, отриманих в результаті їх випробувань, відрізняються ε -нерозрізненістю і мають Δ -інваріантність.

Якщо ця гіпотеза вірна, то має місце такий зворотний наслідок.

Наслідок: якщо межу двома вихідними станами ССР існує ізоморфізм, що свідчить про інваріантність їх графів, то при руйнуванні цих об'єктів буде спостерігатися подібність між статистичними оцінками їх працездатності, незалежно від фізичного типу об'єктів і завдань, які ці об'єкти вирішують, і навпаки, – якщо статистичні оцінки їх працездатності ε -нерозрізні і Δ -інваріантні, то це свідчить про інваріантність їх початкових графів з точністю до ймовірності оцінок ВБР систем.

Таким чином, в якості інваріанта графів, про який йшла мова вище, пропонується розраховане за допомогою ІММ чисельне значення ІБР. Для цього була запропонована ентропійна формула, значення ймовірностей P_i для яких визначаються експериментами на ІММ:

$$\text{ІБР} = - \sum_{i=R_1+1}^{R_2-1} \left\{ P_i \log_2 P_i + (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i) \right\}, \quad (4.10)$$

де R_1 – кількість елементів, що відмовили, при яких ІБР випробуваної системи ще дорівнює 1 (повний детермінізм), R_2 – кількість відмовили елементів, при яких ІБР ССР вже дорівнює 0,5 (повний хаос).

Прикладом практичного застосування такого інваріанта є використання його в якості дескриптора хімічної структури, – числа, яке однозначно характеризує структуру органічного з'єднання (наприклад, ліків) з погляду деякої важливої властивості [137].

В даний час вибір дескриптора – довга і складна задача: спочатку групу сполук з відомою структурою і відомими значеннями фізіологічної активності, отриманими експериментально, ділять на дві частини – тренувальний і тестовий набори.

У цих наборах числа, що характеризують активність, вже зіставлені до конкретної структури.

Далі вибирають дескриптори (зазвичай, їх сотні!) і будують математичну модель активності для з'єднань з тренувального набору. Правильність отриманої математичної моделі перевіряють на тестовому наборі структур.

Спочатку обчислюють інваріанти для кожної з тест-структур, за допомогою моделі розраховують значення активності і порівнюють їх з уже відомими експериментальними значеннями.

Застосування запропонованого методу і розробленої для нього ІММ дозволило в 7 – 10 разів скоротити час, який витрачається на виявлення ізоморфних структур в медичній хімії.

Таким чином, рішення завдання, зворотного визначенню структурної надійності складного об'єкта з резервуванням за допомогою інформаційної морфологічної моделі, породжує інваріант, який з високим ступенем імовірності визначає граф з точністю до ізоморфізму. Використання такого інваріанта при моделюванні перетворень органічних молекул в медичній хімії дозволило значно скоротити час, який витрачається на виявлення ізоморфних структур.

4.4 Структура та виробничі випробування комплексної САПР «RUMET»

Розроблені методи та моделі дозволили запропонувати нові підсистеми та створити загальну САПР «RUMET», призначену для автоматизованого проектування гумометалевих виробів будь-яких видів та складів матеріалів, які входять до композиції та технології їхнього виготовлення [7, 30].

В основі нової структури САПР – оновлена структура технологічного процесу виготовлення гумометалевих виробів (рис. 4.11). Техпроцес містить елементи, відповідальні за підтримання його стабільності, а також системи, які дозволяють контролювати перебіг його виконання та вчасно корегувати параметри за допомогою загальної САПР.

Виходячи з необхідності комплексного проектування конструкції та технології амортизаторів та необхідності забезпечити *на етапі проектування* стабільність останньої, а також усвідомлюючи, що стабілізація саме на цьому етапі не може обійтися без прогнозування майбутнього перебігу технологічного процесу, запропонували наступну структурну схему комплексної САПР «RUMET» із стабілізацією якості продукції за допомогою динамічної прогнозної моделі (рис. 4.12).

САПР «RUMET» містить загальні блоки «Введення початкових даних» та «Класифікація гумометалевого виробу», а також блоки власне автоматизованого проектування: «КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ «КОНСТРУКЦІЯ – ТЕХНОЛОГІЯ» та «СТАБІЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ».

В першому з блоків проектування розв'язуються задачі виділення підсистем, елементів та зв'язаних параметрів системи «конструкція – технологія» гумометалевого амортизатора, взаємного відображення зв'язаних параметрів, які відносяться до підсистем різної фізичної природи.

Виконується багатокритеріальна оптимізація зв'язаних конструкцій та технологій в САПР-К та САПР-Т, а також багатокритеріальна комплексна оптимізація зв'язаних об'єктів конструкція + технологія.

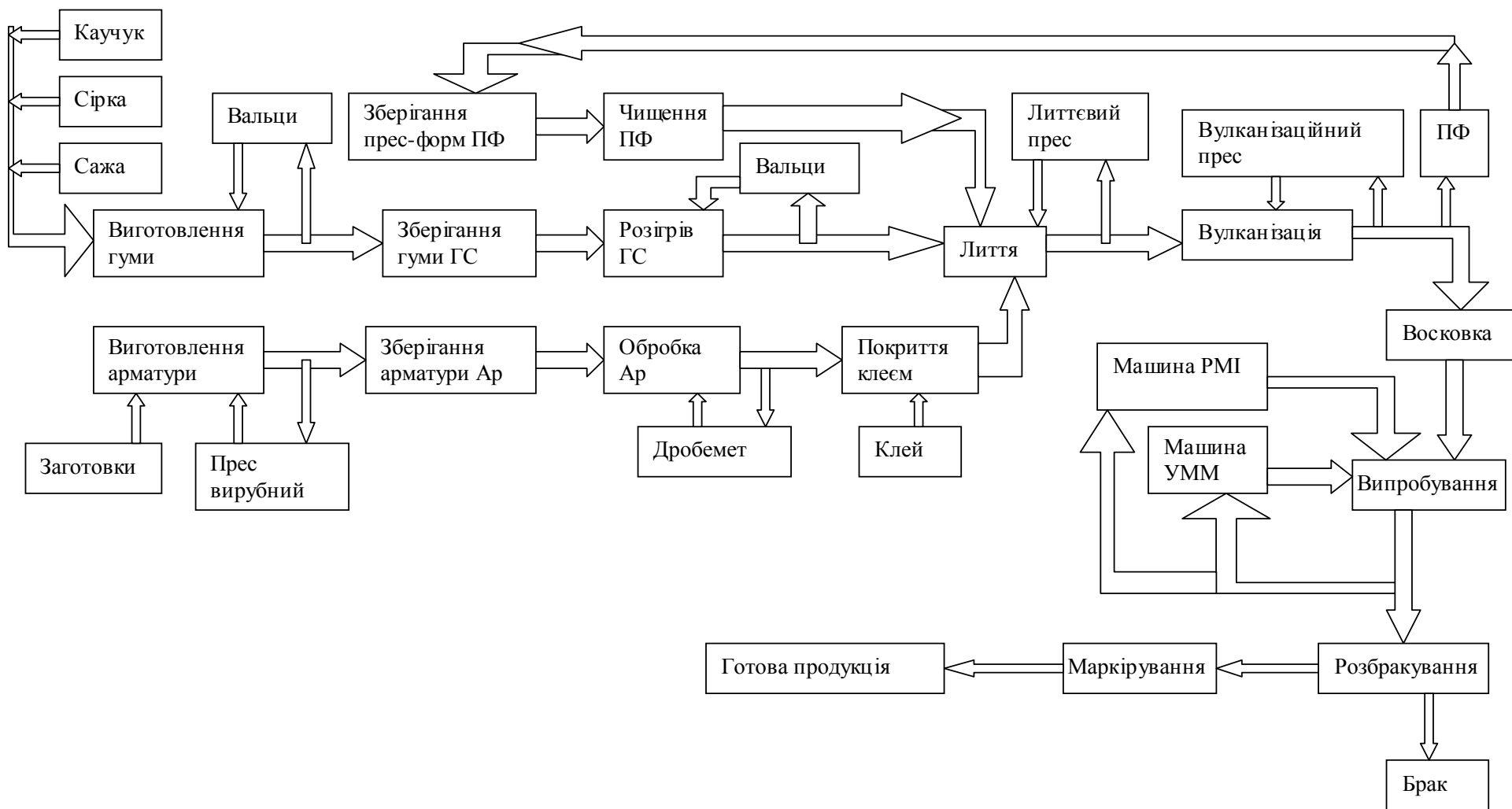


Рисунок 4.11 – Головна технологічна схема процесу виготовлення гумометалевих виробів класу «Силовий композиційний елемент»



Рисунок 4.12 – Структура та головні підсистеми САПР «RUMET»

В другому з блоків проектування розв'язуються задачі підтвердження або заперечування гіпотези про причини нестабільності технологічного процесу виготовлення гумометалевих амортизаторів, побудова прогнозної моделі процесу перетворення гумометалевої суміші в гумометалевий виріб та побудова прогнозної моделі процесу «старіння» ГМВ.

Загальна структура САПР «RUMET» передбачає також блок сприяння практичному випробуванню результатів комплексного проектування гумометалевих виробів.

В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» проведено випробування комплексної САПР «RUMET». В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували конструкцію та технологічний процес лиття під тиском гумової суміші при виробництві гумометалевих амортизаторів типу АКСС-10М.

В результаті випробувань встановлено, що використання робастного процесу виготовлення гумометалевих виробів, спроектованого за допомогою комплексної САПР «RUMET», дозволило знизити відсоток браку в партії гумометалевих амортизаторів АКСС-10М на 34,75 % при задовільненні технічних вимог до готових деталей.

4.5 Висновки

1. При проектуванні конструкції оптимізації підлягають такі параметри останньої, які забезпечують заданий розподіл деформації в композиційних системах, передачу імпульсу, розподіл звукової хвилі між елементами композиції або залежність шумності від їхніх властивостей, тощо. Розробка технології передбачає методи та засоби одержання таких конструкцій, причому іноді «прямий» шлях до гумометалевого виробу виявляється хибним, оскільки результат такого виробництва є нестабільним, а велика кількість виробів – бракованою. Для запобігання подібних катастроф пропонується до

традиційних, існуючих систем проектування гумометалевих виробів (як автоматизованих, так і «ручних»), додавати підсистему аналізу фазових траєкторій технологій, виявлення можливих точок біфуркації на фазовому портреті такої технології та розрахунок таких параметрів останньої, які при існуючих можливостях конкретного виробництва та при мінімальних втратах дозволяють обминати ці точки.

2. Перетворення гумометалевої суміші в гумометалевий виріб відбувається в процесі вулканізації. Вулканізація – технологічний процес взаємодії каучуків з вулканизуючим агентом, при якому відбувається зшивання молекул каучуку в єдину просторову сітку з утворенням трьохмірного полімеру (ТП). При цьому підвищуються міцнісні характеристики каучуку, його твердість і еластичність, знижуються пластичні властивості, ступінь набухання і розчинність в органічних розчинниках. Вулканизуючими агентами можуть бути: сірка, пероксиди, оксиди металів, сполуки амінного типу та ін. Для підвищення швидкості вулканізації використовують різні каталізатори-прискорювачі.

3. Біфуркація в системах, подібних системі «гума, яка вулканізується» виникає, найшвидше, тоді коли в ній відбувається співпадіння за часом (синхронізація) деяких подій в різних підсистемах. В якості прикладу представлені події в концентраційній підсистемі (це, коли концентрація «вільної» сірки опускається до деякого рівня C_S^*) та в термічній підсистемі (коли температура гумової суміші сягне T^*). Тоді боротьба з такою біфуркацією полягає в недопущенні конструктивними або технологічними методами саме цього співпадіння

4. При побудові системи управління процесом вулканізації гуми в пресформі періоди часу між попередніми і основними подіями розглядали як запізнювання реальним станом об'єкта від результату його комп'ютерного прогнозування. Наявність запізнювань в контурах управління веде до зростання фазового зсуву, який може викликати порушення стійкості замкнутої системи управління навіть при невеликих значеннях підсилення регулятора, тому

керуючі впливу доводиться обмежувати. На практиці це призводить до зниження швидкості управління.

5. Параметри структурної надійності обов'язково присутні в переліку характеристик, які входять в технічне завдання на створення та експлуатацію складних об'єктів відповідального призначення із системами захисту та резервування. Тому проблема інформаційного моделювання структурної надійності складних технічних систем є однією з актуальних, коли інформаційна модель стає єдиним джерелом відомостей про особливості реакції об'єкта, на майбутні та поточні умови експлуатації.

6. Описана модель дозволяє визначати ізоморфізм графів, що конче необхідно при моделюванні структурних змін на молекулярному рівні у гумі, що вулканізується. Як відомо, ізоморфізм – наявність структурного подібності в різних об'єктів. Ізоморфізм завжди задає відношення еквівалентності на класі множин зі структурою. Багато практичні завдання – від конструювання нових машин на макрорівні до створення нових молекул на мікро – призводять до необхідності розпізнавання ізоморфізму і ізоморфного вкладення складних структур, заданих у вигляді графів.

7. Розробленні методи та моделі дозволили запропонувати нові підсистеми та створити загальну САПР «RUMET», призначену для автоматизованого проектування гумометалевих виробів будь-яких видів та складів матеріалів, які входять до композиції та технології їхнього виготовлення. В основі нової структури САПР – оновлена структура технологічного процесу виготовлення гумометалевих виробів. Техпроцес містить елементи, відповідальні за підтримання його стабільності, а також системи, які дозволяють контролювати перебіг його виконання та вчасно корегувати параметри за допомогою загальної САПР.

8. В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» проведено випробування комплексної САПР «RUMET». В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували конструкцію та технологічний процес лиття під тиском гумової суміші при виробництві

гумометалевих амортизаторів типу АКСС-10М. В результаті випробувань встановлено, що використання робастного процесу виготовлення гумометалевих виробів, спроектованого за допомогою комплексної САПР «RUMET», дозволило знизити відсоток браку в партії гумометалевих амортизаторів АКСС-10М на 34,75 % при задовільненні технічних вимог до готових деталей.

ВИСНОВКИ

Дисертація містить нові науково обґрунтовані та практично підтвержені результати проведених здобувачем досліджень, які розв'язують важливу наукову задачу підвищення ефективності математичного моделювання та оптимізації в комплексних САПР гумометалевих виробів, що має істотне значення для теорії та практики підвищення ефективності систем автоматизації проектувальних робіт.

1. Сучасне гумометалеве обладнання складається з елементів, спроба сумісної оптимізації яких при проектуванні конструкцій та технологій стикається із серйозними проблемами саме із-за необхідності постійно враховувати суттєво різні властивості гетерогенних компонентів: металу та гуми. Аналізом існуючих методів математичного моделювання та оптимізації в САПР гумометалевих виробів та технології їхнього виготовлення встановлено, що такі виробництва відрізняються, як правило, нестабільністю і для автоматизованого проектування вимагають спеціальних методів та ускладнених моделей.

2. Нестабільність, коли при суворому дотриманні однакових запроектованих режимів і властивостей матеріалів на виході отримують велику кількість бракованої продукції, є, безумовно, найгіршою характеристикою будь-якого проекту, отриманого за допомогою САПР, який виявляється дуже чутливим до прихованих чинників, нездатним до «самостабілізації», або *не робастним*. В цих умовах головним завданням є передбачення можливих причин нестабільності майбутнього виробництва і створення таких проектів, які мало залежать від прихованих чинників об'єктів проектування.

3. Аналізом комплексної динамічної системи «конструкція гумометалевого амортизатора – технологія виготовлення останнього» встановлено, що нестабільність якості кінцевого продукту виникає на етапі проектування цієї системи з тих причин, що існуючі САПР розглядають створення проектів конструкції та технології окремо (САПР-К плюс САПР-Т), із-за чого за межами оптимізуючих

моделей залишаються «прихованими» важливі, найчастіше по-різному зв'язані параметри, що в цілому знижує робастність технологічних процесів, робить їх нестабільними і суттєво залежними від малих збурень прихованих чинників.

4. Для визначення впливу параметрів пресування гумової суміші на стабільність якості гумометалевих виробів, пов'язану із рівномірністю руху суміші каналами та розподілу компонентів по її об'єму, використана марковська модель реології гетерогенних потоків, яка враховує взаємодії елементів потоку, а також адгезію між останніми.

5. Побудова тривимірних структурних моделей процесу вулканізації каучуку в присутності сірки та сажі у вигляді графів дозволила залучити до САПР гумометалевих виробів статистичні морфологічні моделі та побудовану на них теорію ізоморфізму графів до прогнозування параметрів процесу вулканізації і тим самим здійснювати відображення проєктованих початкових параметрів процесу вулканізації на взаємне розташування точок біфуркації та прогнозованої фазової траєкторії стану гуми, а отже оцінювати стабільність результату технологічних процесів виготовлення гумометалевих виробів.

6. Розробка прогнозної структурної моделі хімічного процесу вулканізації каучуку з утворенням гуми, заснованої на адаптації проєктних оптимізаційних розрахунків до неврахованих чинників *нестабільності*, дозволила на етапі проєктування враховувати особливості майбутнього процесу вулканізації і досягати таким чином підвищення стабільності останнього. В той же час, прогнозна структурна модель хімічного процесу старіння гуми з утворенням макротріщин і втратою еластичності, заснована на адаптації проєктних оптимізаційних розрахунків до неврахованих чинників *ненадійності*, дозволила на етапі проєктування враховувати особливості майбутнього процесу старіння гуми і впливати таким чином на показники надійності гумометалевих виробів.

7. Розробленні методи та моделі дозволили створити загальну САПР «RUMET», призначену для автоматизованого проєктування гумометалевих виробів будь-яких видів та складів матеріалів, що входять до композиції, та технології їхнього виготовлення. В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виро-

бів» проведено випробування комплексної САПР «RUMET». В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували конструкцію та технологічний процес лиття під тиском гумової суміші при виробництві гумометалевих амортизаторів.

8. В результаті випробувань встановлено, що використання робастного процесу виготовлення гумометалевих виробів, спроектованого за допомогою комплексної САПР «RUMET», дозволило знизити відсоток браку в партії гумометалевих амортизаторів АКСС-10М на 34,75 % при задовільненні технічних вимог до готових деталей.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Панова, Т. Н. Моделирование процесса заполнения оснастки гетерогенным материалом / Т.Н. Панова, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – № 2(36). – С. 33 – 35.

2. Савельева, О. С. Модель реологии гетерогенних потоків / О.С. Савельева, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева // Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 1(21). – С. 209 – 213.

3. Хитрич, Г. Н. Влияние бромидных комплексов кобальта(II) и цинка(II) с *N*-замещенными тиокарбомоил-*N*²-пентаметиленсульфенамидами на термоокислительное структурирование олигобутадиена / Г.Н. Хитрич, Е.Ю. Лебедева, И.И. Сейфуллина, Ю.Н. Пушкарев // Вісник Одеського національного університету. – 2009. – Том 14. – Випуск 3 – 4. – С. 57 – 63.

4. Духанина, М. А. Эволюционная оптимизация слабосвязанных систем / М.А. Духанина, Е.Ю. Лебедева, П.С. Швець, Л.А. Одукалец // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова. – Київ, 2013. – № 67 – С. 74 – 81.

5. Savelyeva, O. S. Using the structural fault-tolerance index in project designing / O.S. Savelyeva, O.M. Krasnozhon, O.U. Lebedeva // Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб. – Одеса: ОНПУ, 2014. – Вип. 2 (44). – С. 130 – 135.

6. Тонконогий, В. М. Испытание резинометаллических амортизаторов металлорежущих станков на деформацию / В.М. Тонконогий, Е.Ю. Лебедева, М.А. Духанина, Абу Шена Осама // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. Праць. – Харків, НТУ «ХПІ», 2015. – Вип. 1 (25). – С. 197 – 203.

7. Становський, О. Л. Автоматизоване проектування технології виготовлення гумовометалевих виробів / О.Л. Становський, Е.Ю. Лебедева, О.М.А. Абу Шена, А.Н. Красножон. // Восточно-европейский журнал

передовых технологий. Процессы управления. – Харьков, 2015. – № 5/1 (77). – С. 23 – 28.

8. Shvets, P. S. The computer-aided design of rubber-metal products / P. S. Shvets, O. Yu. Lebedeva, V. V. Bondarenko // Праці Одеського національного політехнічного університету. – Одеса: ОНПУ, 2015. – С. 63 – 72.

9. Становський, О. Л. Аналіз динамічних моделей процесу управління проектами / О. Л. Становський, К. В. Колеснікова, О. Ю. Лебедева, Ісмаїл Хеблов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2015. – № 6/3 (78). – С. 46 – 52.

10. Становский, А. Л. Проблема распознавания изоморфизма графов и обратная задача структурной надежности / А.Л. Становский, О.С. Савельева, М.Л. Герганов, Е.Ю. Лебедева // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. – Херсон, 2012. – Вип. 1(1). – С. 56 – 59.

11. Лебедева, О. Ю. Управління процесами нанесення лакофарбових покриттів / О.Ю. Лебедева // Матеріали XVIII семінара «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях». – Одеса: ОНПУ, 17 – 18 березня 2010. – С. 82 – 83.

12. Савельева, О. С. Информационное моделирование гетерогенных потоков / О.С. Савельева, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та освіті – 2011». – Севастополь: СНТУ, 5 – 10 вересня 2011. – С. 41 – 42.

13. Становский, А. Л. Управление синхронизацией составных событий в литейной форме / А.Л.Становский, Д.А. Желдубовский, Е.Ю. Лебедева // Матеріали XIX семінара «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях». – Одеса: ОНПУ, 1 – 2 березня 2011. – С. 16 – 18.

14. Савельева, О. С. Информационная реологическая модель гетерогенной среды / О.С. Савельева, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева // Матеріали XIX семінара «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях». – Одеса: ОНПУ, 1 – 2 березня 2011. – С. 20 – 23.

15. Савельева, О. С. Моделирование гетерогенных потоков / О.С. Савельева, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева // Матеріали Десятої всеукраїнської науково-технічної конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології». – Одеса: ОДАХ, 23 – 25 листопада 2011. – С. 49 – 50.

16. Панова, Т. Н. Компьютерное моделирование процесса формирования композиционных изделий «металл – литая резина» / Т.Н. Панова, А.В. Торопенко, Е.Ю. Лебедева // Материалы Международной научно-практической конференции-выставки «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология». – Киев: ФТИМС НАН Украины, 12 – 14 декабря 2011. – С. 215 – 218.

17. Савельева, О. С. Управління складним об'єктом за експрес-критерієм його структурної надійності / О.С. Савельева, А.В. Торопенко, О.Ю. Лебедева // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса: ОНПУ, 4 – 8 июня 2012. – С. 38.

18. Савельева, О. С. Управління складним об'єктом за експрес-критерієм його структурної надійності / О.С. Савельева, А.В. Торопенко, О.Ю. Лебедева // Материалы 19-й Международной конференции «Автоматика – 2012». – Киев: УНУХТ, 27 – 30 сентября 2012. – С. 253 – 254.

19. Герганов, М. Л. К решению задачи изоморфизма графов / М.Л. Герганов, Е.Ю. Лебедева, А.В. Торопенко // Матеріали Одинадцятої всеукраїнської науково-технічної конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології». – Одеса: ОНАХТ, 21 – 23 листопада 2012. – С. 24 – 25.

20. Савельева, О. С. Управління складним об'єктом за експрес-критерієм його структурної надійності / О.С. Савельева, А.В. Торопенко, О.Ю. Лебедева // Материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». – Севастополь: СНТУ, 3 – 7 вересня, 2012. – С. 115 – 117.

21. Монова, Д. А. Адаптивный генетический алгоритм для «мягких»

эволюционных вычислений / Д.А. Монова, П.С. Швец, Е.Ю. Лебедева // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «Инфотех – 2013»». – Севастополь: СНТУ, 9 – 13 сентября 2013. – С. 51 – 53.

22. Прокопович, И. В. Моделирование гетерогенных потоков при формировании машиностроительных деталей / И.В. Прокопович, Е.Ю. Лебедева, М.Л. Герганов // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современные технологии проектирования управляющих и мехатронных систем» под эгидой Black Sea Universities Network. – Севастополь, 16-19 апреля 2013. – С. 161 – 164.

23. Савельева, О. С. Стенды для измерения характеристик армированных резиновых амортизаторов / О.С. Савельева, Е.Ю. Лебедева, Д.А. Монова // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22-23 января 2013. – С. 103 – 107.

24. Прокопович, И.В. Адаптивный генетический алгоритм для «мягких» эволюционных вычислений / И.В. Прокопович, П.С. Швец, Е.Ю. Лебедева // Матеріали ХХ міжнародної конференції з автоматичного управління, присвяченої 100-річчю з дня народження академіка НАНУ О.Г. Івахненка «АВТОМАТИКА – 2013». – Миколаїв, 25 – 27 вересня 2013. – С. 143 – 144.

25. Лебедева, Е. Ю. Автоматизированное проектирование конструкций, армированных резиновых амортизаторов // Е.Ю. Лебедева, А.Н. Красножон, С.В. Кошулян // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22 – 23 января 2013. – С. 107 – 109.

26. Лебедева, Е. Ю. Метод контроля качества резино-металлических амортизаторов / Е.Ю. Лебедева, С.В. Кошулян, Абу Шена Усама // Материалы XXII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 4-5 марта 2014. – С. 60 – 62.

27. Лебедева, Е. Ю. Метод проектирования систем с существенно различными свойствами материалов элементов / Е.Ю. Лебедева, А.Н.

Красножон, Ан.А. Становский // Материалы XXII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 4 – 5 марта 2014. – С. 63 – 64.

28. Становский, А. Л. Технологический процесс изготовления резино-металлических амортизаторов / А.Л. Становский, Е.Ю. Лебедева, Д.А. Монова // Материалы XXIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 10 – 12 марта 2015. – С. 59 – 62.

29. Лебедева, Е. Ю. вулканизация резино-металлических амортизаторов / Е.Ю. Лебедева, И.А. Саух, Е.А. Оборотова // Материалы XXIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 10 – 12 марта 2015. – С. 63 – 67.

30. Лебедева, О. Ю. Автоматизация проектирования технологического процесса изготовления гумовометалевих виробів / О.Ю. Лебедева, О.Абу Шена, В.В. Бондаренко, О.М. Красножон // Матеріали 2-ої Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015». – Івано-Франківськ, 6 – 9 жовтня 2015. – С. 59 – 60.

31. Савельева, О. С. Моделювання та аналіз процесів тепломасообміну між компонентами гетерогенних середовищ / Савельева О.С., Торопенко А.В., Лебедева О.Ю., Торопенко О.В. // Матеріали 2-ої Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015». – Івано-Франківськ, 6 – 9 жовтня 2015. – С. 216 – 217.

32. Становський, О. Л. Керування процесами тепломасообміну між компонентами гетерогенних середовищ / Становський О.Л., Торопенко А.В., Лебедева О.Ю., Абу Шена О. // Матеріали I Міжнародної конференції Infocom Advanced Solutions 2015 – Київ, 24 – 25 листопада 2015. – С. 74 – 75.

33. Становський, О. Л. Фазовий портрет технологічного процесу виготовлення гумовометалевих виробів / О.Л. Становський, О.Ю. Лебедева, О. Абу Шена, В.В. Бондаренко // II Міжнародна науково-технічна internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними

комплексами». – Київ: НУХТ, 25 листопада 2015. – С. 87.

34. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии / М.Л. Кербер // СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

35. Autar, K. K. Mechanics of Composite Materials. 2nd edition / К.К. Autar // CRC Press, 2005. – 490 p.

36. Hirsch, W. Differential Equations, dynamical systems, and an introduction to chaos / M.W. Hirsch, S. Smale, R. Devaney // Academic Press, 2003. – 425 p.

37. Баутин, Н. Н. Методы и приёмы качественного исследования динамических систем на плоскости / Н.Н. Баутин, Е.А. Леонтович // М.: Наука, 1990. – 488 с.

38. Теория бифуркаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1338095>.

39. Андронов, А. А. Теория бифуркаций динамических систем на плоскости / А.А. Андронов, Е.А. Леонтович, И.М. Гордон, А.Г. Майер // М.: Наука, 1967. – 488 с.

40. Баутин, Н. Н. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости // Н.Н. Баутин, Е.А. Леонтович // М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 488 с.

41. Четаев, Н. Г. Устойчивость движения / Н.Г. Четаев // М.: Наука. – 1955. – 176 с.

42. Теория катастроф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/136396>.

43. Castrigiano, D. P. L. A Catastrophe Theory, 2nd ed. / D.P.L. Castrigiano, S. Hayes // Boulder: Westview, 2004. – 264 p.

44. Арнольд, В. И. Особенности дифференцируемых отображений / В.И. Арнольд, А.Н. Варченко, С.М. Гусейн-Заде // М.: МЦНМО, 2009. — 672 с.

45. Арнольд, В. И. Особенности каустик и волновых фронтов / В.И. Арнольд // М.: Фазис, 1996. – 334 с.

46. Брёкер, Т. Дифференцируемые ростки и катастрофы / Т. Брёкер, Л. Ландер // М.: Мир, 1977. – 208 с.

47. Голубицкий, М. Устойчивые отображения и их особенности / М. Голубицкий, В. Гийемин // М.: Мир, 1980. – 296 с.
48. Постон, Т. Теория катастроф и ее приложения / Т. Постон, И. Стюарт // М.: Мир, 1980. – 607 с.
49. Том Р. Структурная устойчивость и морфогенез / Р. Том // М.: Логос, 2002. – 280 с.
50. Брус, Дж. Кривые и особенности: Геометрическое введение в теорию особенностей / Дж. Брус, П. Джиблин // М.: Мир, 1988. – 264 с.
51. Arnold, V. I. Catastrophe Theory, 3rd ed / V.I. Arnold // Berlin: Springer-Verlag, 1992. – 79 p.
52. Gilmore, R. Catastrophe Theory for Scientists and Engineers / R. Gilmore // New-York: Dover, 1993. – 665 p.
53. Postle, D. Catastrophe Theory – Predict and avoid personal disasters / D. Postle // Fontana Paperbacks, 1980. – 218 p.
54. Poston, T. Catastrophe: Theory and its Applications / T. Poston, I. Stewart // London, San Francisco, Melbourne: Pitman, 1978. – 512 p.
55. Lillian, D. Spectral Graph Theory and its Applications, 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://web.mit.edu/6.454/www/www_fall_2004/lldai/slides.pdf. – 11.01.2015.
56. Sanns, W. Catastrophe Theory with Mathematica: A Geometric Approach / W. Sanns // Germany: DAV, 2000. – 3242 p.
57. Saunders, P. T. An Introduction to Catastrophe Theory / P.T. Saunders // Cambridge, England: Cambridge University Press, 1980. – 144 p.
58. Thom, R. Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models / R. Thom // Reading, MA: Addison-Wesley, 1989. ISBN 0-201-09419-3. – 400 p.
59. Thompson, J. Instabilities and Catastrophes in Science and Engineering / J. Thompson, T. Michael // New-York: Wiley, 1982. – 226 p.
60. Woodcock, A. E. R. Catastrophe Theory // A.E.R. Woodcock, Devis // New-York: E. P. Dutton, 1978. – 176 p.

61. Zeeman, E. C. Catastrophe Theory / E.C. Zeeman // Selected Papers 1972 – 1977. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977. – 276 p.
62. Гофман, В. Вулканизация и вулканизирующие агенты / В. Гофман // Л., 1968. – 464 с.
63. Блох, Г. А. Органические ускорители вулканизации и вулканизирующие системы для эластомеров // Г.А. Блох // Л., 1978. – 239 с.
64. Донцов, А. А. Процессы структурирования эластомеров // А.А. Донцов // М., 1978. – 288 с.
65. Догадкин, Б. А. Химия эластомеров / Б.А. Догадкин, А.А. Донцов, В.А. Шершнева // М., 1981. – 376 с.
66. Черняев, Н. Оценка стабильности технологического процесса / Н. Черняев // Комбикорма. – 2012. – № 3. – С. 51 – 53.
67. Панфилов, В. А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств / В. А. Панфилов // М: Агропромиздат, 1986. – 800 с.
68. Стабильность – технологический процесс // Большая Энциклопедия Нефти и Газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.ngpedia.ru/id474807p1.html>. – 11.01.2015.
69. Армирование резин. Справочник химика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chem21.info/info/1483333/> – 12.06.2015.
70. Магнитная резина. Большая Энциклопедия Нефти Газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id393832p1.html/> – 02.07.2015.
71. Kenny, J. C. Carbonblack filled natural rubber. Structural investigations / J.C. Kenny, V.J. McBrierty, Z. Rigbi, D.C. Douglass // Macromolecules. – 1991. – Vol. 24, Issue 2. – P. 436–443. doi: 10.1021/ma00002a015
72. Shaffer, G. D. An Archaeomagnetic Study of a Wattle and Daub Building Collapse / G.D. Shaffer // Journal of Field Archaeology. – 1993. – Vol. 20, Issue 1. – P. 59–75. doi: 10.2307/530354
73. Matthews, F. L. Composite Materials: Engineering and Science / F. L. Matthews, R. D. Rawlings // Boca Raton, 1999. – 470 p.

74. Kardar, M. Statistical Physics of Particles [Electronic resource] / M. Kardar. – 2007 – Available at: <http://www.cambridge.org/us/academic/subjects/physics/statistical-physics/statistical-physics-particles> – 16.10.2015.

75. Зуховицкий, С. И. Линейное и выпуклое программирование / С.И. Зуховицкий, Л.И. Авдеева // М.: Наука. – 1994. – 288 с.

76. Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа // М.: Радио и связь. – 1981. – 560 с.

77. Многокритериальная оптимизация. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Многокритериальная_оптимизация>. – 26.10.2013.

78. Тонконогий, В. М. Разработка САПР многониточного резьбошлифования / В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, А.А. Березовский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 41. – С. 212 – 216.

79. Тонконогий, В. М. Многоцелевая оптимизация методом комплексного генетического алгоритма / В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, Д.А. Монова // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 6. – С. 276 – 281.

80. Становский, А. Л. Эволюционная оптимизация электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами / А.Л. Становский, П.С. Швец, А.В. Торопенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – 2013. – № 4/3 (64). – С. 36 – 40.

81. Тонконогий, В. М. Многопараметрическая оптимизация методом комплексного генетического алгоритма / В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, Д.А. Монова // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании – 2011». – 2011. – С. 56 – 57.

82. Швец, П. С. САПР электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. – Одеса: АО Бахва, 2013 – Вип. 3(4). –

С. 80 – 88.

83. Становский, А. Л. Оптимизация слабосвязанных систем в автоматизированном проектировании и управлении / А.Л. Становский, П.С. Швец, И.Н. Щедров // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХП», 2011. – Вип. 6. – С. 129 – 134.

84. Прокопович, И. В. Адаптивный генетический алгоритм для «мягких» эволюционных вычислений / И.В. Прокопович, П.С. Швец, И.И. Становская, М.А. Духанина // Праці Одеського політехнічного університету. – 2012. – Вип. 2(39). – С. 218 – 224.

85. Резинометаллические формовые изделия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.domrezin.ru/articles_6.html. – 16.10.2015.

86. ОАО «Научно-исследовательский институт резиновых покрытий и изделий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://niirpi.com/amort.html>. – 16.10.2015.

87. Кондаков, А. И. САПР технологических процессов / А.И. Кондаков // М.: Издательский центр Академия, 2007. – 272 с.

88. Смирнов, В. В. САПР технологических процессов / В.В. Смирнов // Бийск: Алт. гос. техн. ун-т, 2007. – 93 с.

89. Дульнев, Г. Н. Процессы переноса в неоднородных средах / Г.Н. Дульнев, В.В. Новиков // Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 248 с.

90. Дульнев, Г. Н. Теплопроводность смесей композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк // Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

91. Становский, А. Л. Схемотехническое моделирование переноса в анизотропных средах / А.Л. Становский, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко // Материалы 4-й Укр. Конф. По автоматическому управлению «Автоматика – 1997». – Черкассы: ЧИТИ, 1997. – С. 73.

92. Кострова, Г. В. Схемотехнічне проектування у машинобудуванні / Г.В. Кострова, Т.В. Лисенко, О.Л. Становський // Одеса: ОДПУ, 1994. – 147 с.

93. Орнатский, Н. В. Механика грунтов / Н.В. Орнатский // М.: МГУ, 1950. – 420 с.

94. Николаевский, В. Н. Механика насыщенных пористых сред / В.Н. Николаевский, К.С. Басниев, А.Т. Горбунов // М.: Недра, 1970. – 339 с.
95. Кельберт, М. Я. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т.П: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения / М.Я. Кельберт, Ю.М. Сухов // М.: МЦНМО, 2009. – 588 с.
96. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен // М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
97. Анизотропная среда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://femto.com.ua/articles/part_1/0139.html.
98. Ландау, Л. Д. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // М., 1976. – 435 с.
99. Монова, Д. А. Комплексный генетический алгоритм / Д.А. Монова, А.А. Перпери, П.С. Швец // Праці Одеського політехнічного університету: науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2011. – Вип.1(35). – С. 176 – 180.
100. Перпері, А. О. Модернізація математичного методу генетичного алгоритму для оптимізації взаємозалежних технологічних процесів / А.О. Перпері, Л.А. Одукалець, Д.А. Монова, П.С. Швець // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Н. Пухова НАН України. Моделювання та інформаційні технології. – Київ, 2011. – Вип. 60. – С. 90 – 94.
101. Становский, А. Л. Эволюционная оптимизация слабосвязанных технических систем в САПР / А.Л. Становский, П.С. Швец, Д.А. Желдубовский // Праці Одеського політехнічного університету: науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2011. – Вип.2(36). – С. 234 – 238.
102. Становский, А. Л. САПР электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами / А.Л. Становский, П.С. Швец, А.В. Торопенко // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 8. – Харків, НТУ «ХП». – С. 133 – 143.
103. Шоробура, Н. Н. Решение задач многокритериальной оптимизации

сложных объектов и систем. – ДонНТУ. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/publ2004/kita/kita_shorobura.pdf>. –

11.07.2010.

104. Построение эпюр в статически неопределимых системах. Методы расчета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.soprotmat.ru/sila.htm>. – 11.07.2014.

105. Прокопович, О. В. Температура поверхности катанки как косвенный параметр управления качеством / О.В. Прокопович, И.В. Прокопович, В.Д. Гогунский // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2003. – Выпуск 2(20). – С. 128 – 130.

106. Тупицын, М. А. Совершенствование конструкции и технологии изготовления резиноармированных манжет для работы в условиях динамического нагружения. – Дис. ... канд. техн. наук : 05.17.06 М., 1998.

107. Ротштейн, А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн // Винница, Универсум-Винница, 1999. – 320 с.

108. Скурихин, А. Н. Генетические алгоритмы / А.Н. Скорухин // Новости искусственного интеллекта. – 1995. – №4. – С. 6 – 46.

109. Коваль, И. В. Синтез и применение сульфенамидов / И.В. Коваль // Успехи химии – 1996. – Т. 64, № 5. – С. 452 – 472.

110. Блох, Г. А. Органические ускорители вулканизации каучуков / Г.А. Блох // Л.: Химия, 1972. – 560 с.

111. Игнатов, В. А. Химия производных сульфеновых кислот. Номенклатура, синтез, физические и химические свойства амидов сульфеновых кислот / В.А. Игнатов, П.А. Пирогов, Н.В. Жоркин, Р.А. Акчурина // М.: НИИТЭХИМ, 1970. – 75 с.

112. Могилевич, М. М. Жидкие углеродные каучуки / М.М. Могилевич, Б.С. Туров, Ю.Л. Морозов, Б.Ф. Уставщиков // М.: Химия, 1983. – 75 с.

113. Руководство по неорганическому синтезу: В 6-ти т. Т. 4: Пер. с нем. // Под ред. Г. Брауэра. М.: Мир, 1985. 447 с.

114. Вайсбергер, А. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки / А. Вайсбергер, Э. Проскауэр, Дж. Риддик, Э. Тупс // М.: Изд-во иностр. литер., 1958. – 519 с.
115. Бырько, В. М. Дитиокарбаматы / В.М. Бырько // М.: Наука, 1984. – 342 с.
116. Хитрич, Г. Н. Нові ініціюючі системи для полімеризації вінілових мономерів третинні гидропероксиди – комплекс хлориду міді(II) з піперидин-1-іл піперидин-1-карбодітіоатом / Сейфуллина И.И., Хитрич Н.В. // Вісник Одеського національного університету. Хімія. 2007. Т. 12. № 1. С. 78.
117. Климова, В. А. Основные микрометоды анализа органических соединений. Изд. 2-е доп. / В.А. Климова // М.: Химия, 1975. – С. 224.
118. Шварценбах, Г. Комплексометрическое титрование / Г. Шварценбах, Г. Флашка // М.: Химия, 1970. – 360 с.
119. Коваль, С. М. Термоокиснювальне структурування олігобутадієнів у присутності ацетилацетонатів металів / С.М.Коваль, Ю.М. Пушкарьов // Укр. хім. журн., 2007. – Т. 73. – №7. – С. 61 – 64.
120. Geary W. J. The use of conductivity measurements in organic solvents for the characterisation of coordination compounds / W.J. Geary // Coord. Chem. Rev. – 1971. – V. 7, No. 1. – P. 81 – 122.
121. Хитрич, Г. Н. Синтез, строение и свойства координационных соединений Co(II), Cu(II) и Zn(II) с тиокарбамоилсульфенамидами / Г.Н. Хитрич // Тез. докл. XI конференции молодых ученых и студентов-химиков Южного региона Украины. – Одесса, 2008. – С. 35.
122. Бабилунга, А. В. Повышение качества отливок очисткой контактной поверхности расплава в форме: Дис... канд. техн. наук: 05.16.04 / А.В. Бабилунга // Одесский гос. политехнический ун-т. – Одесса, 1996. – 159 с.
123. Осипов, Ю. Р. Процессы термической обработки гуммированных объектов и разработка методов их расчета: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 / Ю.Р. Осипов // Вологда, 1997. – 250 с.
124. Бондарь, А. А. Метод виртуального объекта при моделировании

жизненного цикла динамических систем / А.А. Бондарь, Ю.М. Дудзинский, А.А. Коряченко, А.Л. Становский // Високі технології в машинобудуванні. – 2010. – Вип. 1(20). – С. 29 – 34.

125. Кострова, Г. В. Автоматизированное проектирование в управлении процессами в песчаных литейных формах после заливки / Г.В. Кострова, А.А. Бондарь, Т.И. Носенко // Теорія і практика процесів. Подрібнення, розділення, змішування і ущільнення. – 2009. – Вип. 14. – С. 66 – 72.

126. Бондарь, А. А. Методы самосинхронизации динамических процессов в САПР литейного производства / А.А. Бондарь, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко // Труды Одесского национального политехнического университета. – 2009. – Вып. 2(32). – С. 7 – 10.

127. Лысенко, Т. В. Адаптивное синхронизирующее управление системой «отливка – форма» / Т.В. Лысенко, Т.И. Носенко, А.Л. Становский, А.А. Бондарь // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – №1. – С. 45– 46.

128. Рей У. Методы управления технологическими процессами / У Рей // М.: Мир, 1983. – 368 с.

129. Становский, А. Л. Получение отливок с качественной поверхностью при литье черных металлов в формы на термореактивных связующих / Дисс. канд. техн. наук: 05.16.04. – Одеса: ОПИ, 1980. – 166 с.

130. Земляченко, В. Н. Проблема изоморфизма графов / В.Н. Земляченко, Н.М. Корнеенко, Р.И. Тышкевич // Теория сложности вычислений, I. Записки научных семинаров ЛОМИ. – 1982. – Т. 118. – С. 83 – 158.

131. Зыков, А. А. Основы теории графов / А.А Зыков // М.: Наука, 1987. – 384 с.

132. Емеличев, В. А. Лекции по теории графов / В.А. Емеличев, О.И. Мельников, В.И. Сарванов, Р.И. Тышкевич // М.: Наука, 1990. – 384 с.

133. Гудман, С. Введение в разработку и анализ алгоритмов / С. Гудман, С. Хидетниemi // М.: Мир, 1981. – 368 с.

134. Рейнгольд, Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э.

Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део // М.: Мир, 1980. – 476 с.

135. Татт, У. Теория графов / У.Татт // М.: Мир,1988. – 424 с.

136. Становський, О .Л. Критерії відмовостійкості складних технічних систем / О.Л. Становський, О.С. Савельєва // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія. – Івано-Франківськ, 2007. – №1(11). – С. 104 – 107.

137. Земфи́ров, Н. С. Рациональный дизайн лекарств / Н.С. Земфи́ров, О.Н. Земфи́рова // Химия и жизнь, 2004. – № 11. – С. 6 – 9.

ДОДАТКИ

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
ГУМОМЕТАЛЕВИХ АМОРТИЗАТОРІВ АКСС-10М

Гумова суміш: 1-10945 ТУ 38 105 1402-80

по ТУ/ГОСТ: ГОСТ 17053.1-80

Розбравка по зовнішньому вигляду: по ГОСТ 17053.1-80

РЕЖИМ РОЗІГРІВА СУМІШІ

Тип вальцов: ПД 630 315/315

Завантаження в кг: 10±2 час: 5±2 мин проміжок: 8±1 мм

НАПІВФАБРИКАТИ

Гумова суміш		Клей		Арматура	
Шифр суміші	Питома вага, г/см ³	Марка	Витрата, г/шт.	Матеріал	Назва
Основна 1-10945	1,2	Хемосил 211	2,0	Ст3	Планка несуща
Запасна	–	Хемосил 222	3,0	Ст3	Планка опорна
				Ст3	Скоба

ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

Тип обладнання: ПЛ-100-Р

Форма та розміри заготівлі, мм	Загальна вага, г	В тому числі			Кількість відходів, %	
		Гума	Арматура		Зворотні	Незворотні
Рулон	195	62	Вага, г	Площа, дм ²	-	6,9
Довжина 320±20						
Ø110±10 мм			133	146		

Спосіб виготовлення: розігріта на вальцях гумова суміш зрізається рулоном ≈ 2 кг і подається в напірну камеру преса. Прес-форма, заправлена арматурою, по транспортеру подається на стіл преса і заповнюється гумою сумішшю під тиском 12 МПа. Потім прес-форма на пересувному столі подається в гідравлічний вулканізаційний прес з електричним обігрівом. Температура в напірній камері 55 ± 5 °C [90].

Обробка арматури:

- доробеструй 20 хв.,
- Знежирення розчинником,
- Покриття шаром клею,
- Сушка 40-60 хв.,
- Покриття другим шаром клею,
- Сушка 40-60 хв.

ОСНАЩЕННЯ

Прес-форма		Шайба	Дорн		Інші види оснащення
Розміри, мм	Кількість гнізд	мм	Діаметр	Довжина	
75/90x280x290	6				

Вага прес-форми: 30 кг

Конструкція прес-форми збірна

Кількість прес-форм на плиту преса 4

ВУЛКАНІЗАЦІЯ

Обладнання: прес вулканізуючий гідравлічний 250-600-4Е

Режим основний: температура 155 ± 10 °С, час 20 хв, тиск 15 ± 1 МПа

Режим додатковий:

Особливості:

2 підпресування

Методи перезарядки прес-форми:

Спосіб відкривання:

вручну

Спосіб закладання заготовок:

лиття під тиском

Спосіб вилучення деталей:

пневмовиталкувач

Додаткові прийоми:

огляд деталі, очищення прес-форм від облоя

ОБРОБКА ДЕТАЛІ

Обрізка вручну ножицями, видалення заплівів на різьблення на свердлильному верстаті з пристосуванням, воскування.

Зберігання гумових сумішей. Гумові суміші із заводу-виготовлювача надходять на склад, де перевіряються вхідним контролем ОТК. Гумові суміші повинні відповідати вимогам ТУ 38 1051402-80 і випускатися у вигляді вальцьованих листів, товщина яких не повинна перевищувати 10 мм, масою не більше 10 кг. Не допускається пропудріваніє тальком та іншими речовинами. На кожному аркуші гумової суміші спеціальним маркувальним олівцем повинно бути нанесено маркування із зазначенням марки гуми, номери заправки, дати виготовлення, результатів випробування, дати випробування. Розпорядження на видачу гумової суміші видає ОТК матеріального складу на підставі паспорта ЦЗЛ, який повинен виписуватися в трьох примірниках: ЦЗЛ, ВТК, цеху. Зі складу гумові суміші надходять в цех в супроводі паспорта із зазначенням: шифру гумової суміші, номери заправки, дати виготовлення, штампа ВТК про придатність, показника прискореного контролю.

Зберігають гумові суміші на стелажах або піддонах, перекладеними поліетиленовою плівкою в умовах, що виключають забруднення. Кожна марка гумової суміші зберігається на окремому стелажі. Гумові суміші повинні бути захищені від потрапляння прямих сонячних променів і перебувати на відстань не менше одного метра від опалювальних приладів.

Термін зберігання гумових сумішей повинен відповідати гарантійному строку придатності відповідно до ТУ 38 1051402-80.

Розігрів гумових сумішей. Розігрів гумових сумішей проводять на підігрівальні вальцях, для чого листи гумової суміші пропускають через зазор між валками. Одноразова завантаження гумової суміші не більше 10 кг. Для кращого перемішування суміш безперервно підрізають і знову пропускають через зазор між валками. Технологічні режими розігріву і завантаження гумових сумішей на вальці вказані в розділі 6 цього регламенту. Розігріту гумову суміш зрізають з вальців по центру робочої частини переднього валка у вигляді рулонів і подають до литтєвий пресу.

Зберігання арматури. Партії металевої арматури, укомплектовані дисками з матеріалу відповідно до ГОСТ 209-75, надходять від підприємства-виробника в супроводі паспорта, згідно з ГОСТ 17053.2-80.

Зберігається арматура на складі в ящиках роздільно за типорозмірами та партіям. Приміщення складу повинно бути сухим, що виключає можливість забруднення арматури.

Арматура повинна надходити без покриття консервуючими мастилами. Термін зберігання арматури, обробленої дробом і з наступною консервацією за варіантом ВЗ-14 інгібірованою папером, згідно з ГОСТ 9.014-78, не повинен перевищувати одного року.

Контроль арматури. Вхідний контроль арматури за зовнішнім виглядом і основним розмірам проводиться відповідно до ГОСТ 17053.2-80 і ГОСТ ВД 17053.2-80 і узгодженим в установленому порядку кресленнями.

Контроль кріплення гуми до металу проводиться на металевих дисках з металу арматури. Після позитивного висновку ЦЗЛ на диски, партія надходить у виробництво. Норма кріплення гуми до металу вказані в таблиці 6 розділу 6 цього технологічного регламенту.

Прийнята ОТК арматура перевозиться за допомогою електронавантажувача в приміщення дробеструйної обробки, де ящики з арматурою розпаковують і піддають арматуру відповідній обробці.

Дробоструйна обробка арматури. Металева арматура, призначена для виготовлення амортизаторів АКСС-М і АКСС-І за ГОСТ 17053-80, повинна оброблятися на дробоструминними апараті. Ця операція призначена для забезпечення необхідної міцності зв'язку гуми з металом за рахунок очищення поверхні арматури від окислів, легкої іржі, забруднень, створення більш розвинутої поверхні металу.

Обробка арматури проводиться чавунної колотим дробом ДЧК 05 ... 08 в дробеметной очисної камері періодичної дії. Завантаження системи

дробеоброблення проводиться через завантажувальний отвір камери при працюючому шнеку, елеваторі, вентиляції, повністю закритому затворі сепаратора. Заповнення видаткового бункера і бункера запасу виробляється до загорання сигнальної лампочки на пульті «Верхній рівень дробу». Маса первинного завантаження становить не менше 2500 кг.

Арматура подається у дзвін дробильноструменевого апарату партіями одного типорозміру. У зимовий час арматура перед дробеструйною обробкою доводиться до температури $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, шляхом витримки її в приміщенні протягом доби.

Додавання дробу в апарат проводиться у міру її витрачання.

Проводиться настройка факела дробу. Завантаження дробеметного апарату виробляється за показниками амперметра. Сила струму при номінальній продуктивності повинна бути 30 ± 5 А. Дріб з витратного бункера через затвори самопливом надходить в Дробеметная апарат, який кидає її в очищаються деталі. Режим роботи дробеметного апарату вказаний в розділі 6 цього регламенту.

Обробку арматури виробляти до отримання шорсткої поверхні (з металевим блиском) ділянок. Особливу увагу звертати на рівномірну і якісну обробку несучих планок.

У разі виявлення дефектів арматуру піддають додатковій обробці, яка може бути неодноразовою.

Після обробки на дробеметному апараті арматура повинна бути очищена від дробу сухим і чистим стисненим повітрям.

Еталоном хорошої якості ошорохованія є арматура, поверхня якої добре розвинена сіро-матова за кольором. Після обробки та стовідсоткової перевірки за зовнішнім виглядом, арматуру складають у спеціальні контейнери з кришками і в супроводі маршрутного листа за допомогою електронавантажувача перевозять на ділянку намазки арматури клеєм.

Відпрацьована дріб і відходи очищення через гратчастий настил прокидаються в бункер і шнеком транспортуються в елеватор. Елеватор

піднімає наверх суміш, яка через короб потрапляє в сепаратор, де відбувається очищення дробу. Відходи по гумовотканинним бункерах відводяться в спеціальну тару. Очищена дріб прокидається в видатковий бункер, з якого відбувається живлення дробеметного апарату, надлишки дробу надходять в бункер запасу.

Після закінчення роботи всю циркулюючу дріб рекомендується зібрати в бункера запасу з метою зменшення пускових навантажень системи.

Промазка арматури клеєм. Після дробеструйної обробки арматура в спеціальній тарі перевозиться на ділянку покриття арматури клеєм.

Для досягнення оптимальної міцності зв'язку гума-метал застосовується двошарова система нанесення клею Хемосил.

Покриття арматури клеєм може проводитися неразбавлено пензликом, або ж розбавлене, методом розпилення або мочання.

На попередньо знежирену арматуру наносять шар клею Хемосил 211 в якості ґрунтовки, потім після сушки протягом мінімум 30 хвилин при кімнатній температурі, наноситься другий шар клею Хемосил 222.

Покрита клеєм і просушена арматура укладається в ящики і транспортується на ділянку вулканізації.

Слід уникати механічних пошкоджень плівки Хемосил, попадання пилу і вологи, а також не чіпати плівку вологими руками.

Приймання та зберігання прес-форм. Нові прес-форми очищають від мастила, протерши ганчіркою. Приймання прес-форм проводять згідно з «Положення про порядок організації прес-фірмового господарства» відповідно до узгоджених у встановленому порядку кресленнями.

Прес-форми зберігаються на стелажах за типорозмірами в умовах, що охороняють їх від пошкодження і корозії. При тривалому зберіганні прес-форми покривають захисним шаром мастила.

Чистка прес-форм. Забруднені в процесі експлуатації прес-форми очищають обробкою в розчині їдкого натру і ОП-7 (ОП-10) з наступним ретельним промиванням водою, протиранням дрантям і просушуванням. Забруднені прес-форми за допомогою візків перевозяться в прес-формове відділення цеху, де встановлена ванна для чищення прес-форм.

Час обробки в лужному розчині може бути скориговано в залежності від ступеня забруднення технологічної оснастки.

Лиття гумової суміші під тиском. Заготовлений рулон гумової суміші закладається в підігріту напірну камеру литтєвого преса. Закриті прес-форми, в які попередньо закладена підготовлена арматура, за допомогою пластинчастого транспортера подаються до литтєвий пресу. Кожна прес-форма встановлюється строго по центру стола литтєвого преса. Заповнення прес-форми гумовою сумішшю виробляється до виходу її з контрольних отворів. Заповнені гумовою сумішшю прес-форми за допомогою пересувного підйомного столика переміщуються до вулканізаційних пресів. При заміні марок гумових сумішей і по закінченню роботи камеру литтєвого преса необхідно очистити від залишків гуми. Для цього слід використовувати спеціальне пристосування, у вигляді порожнього циліндра з двома ручками.



ПАО «Одесский завод резиновых технических изделий»

65013, г. Одесса, Николаевская дорога, 124
 тел/ fax (048) 7161251, 7161380
 Р/с 26003196102 в ПАО «Райффайзен Банк АВАЛЬ» г. Киев,
 МФО 380805, код ЕГРПОУ 00152276
 E-mail: ozrti@optima.com.ua
www.ozrti.com.ua

«25» сентября 2015 г.
 № 331/09

«Затверджую»
 голова Правління
 ПАТ «Одеський завод гумових
 технічних виробів»



Полікарпов О.М.

25 вересня 2015 р.

Акт

Ми, такі що підписалися нижче: від ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» керівник ВТВ Чернова І. В. та від ОНПУ: завідувач кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, доктор технічних наук, професор Становський О. Л., професор кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, доктор технічних наук, доцент Савельєва О. С. та аспірантка кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування Лебедева О. Ю. склали цей акт в тому, що з 20 липня по 21 вересня 2015 в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» було проведено випробування розробленої в ОНПУ асп. Лебедевою О. Ю. САПР процесу виготовлення гумовометалевих виробів «RUMET», яка базується на запропонованому методі врахування малих збурень на технологічний процес.

В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували технологічний процес лиття під тиском гумової суміші при виробництві гумовометалевих амортизаторів типу АКСС-10М. В результаті випробувань встановлено, що використання процесу виготовлення гумовометалевих виробів, спроектованого за допомогою САПР «RUMET», дозволило знизити відсоток браку в партії гумовометалевих амортизаторів АКСС-10М на 4,75 % при збереженні початкових властивостей деталі.

Від ПАТ «Одеський завод
 гумових технічних виробів»

 І.В. Чернова

Від ОНПУ:

 О.Л. Становський

 О.С. Савельєва

 О.Ю. Лебедева