

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛЕБЕДЄВА Олена Юріївна

УДК 004.942:62-272.6

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ
В КОМПЛЕСНИХ САПР ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

05.13.12 – Системи автоматизації проєктувальних робіт

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Становський Олександр Леонідович,
Одеський національний політехнічний
університет, завідувач кафедри нафтогазового
та хімічного машинобудування

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мещеряков Володимир Іванович,
Одеський державний екологічний університет;
завідувач кафедри інформатики

кандидат технічних наук, доцент
Носенко Тетяна Іванівна,
Київський університет ім. Бориса Грінченка;
доцент кафедри інформаційних технологій та
математичних дисциплін

Захист відбудеться _____ 2016 р. о 13.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради К 41.052.08 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400-А.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий ___ травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Р.О. Шапорін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 гумоме-

талевих 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 технологічних 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 гумометалевих виробів покладено теорію оптимізації слабкозв'язаних систем, а також те-

орію 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 прогностичних 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 прогностична 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 прогностична 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 запро-

понованих 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.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків. Об'єм дисертації – 160 стор., з них додатків – 10 стор. Дисертація містить 50 рисунків, 9 таблиць та посилання до 137 наукових джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність державним науковим програмам, вимогам МОН України, наукову новизну та практичне значення; визначені об'єкт і предмет дослідження, сформульовані його мета і задачі, особистий внесок автора в публікацію та апробацію матеріалів роботи.

У першому розділі проаналізовані матеріали літературних джерел з автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення гумових технічних виробів. Виявлені дефекти гумометалевих виробів та їхній зв'язок із недоліками проектування конструкції та технології їхнього виготовлення. Розглянуті існуючі динамічні моделі процесів виготовлення гумометалевих виробів та визначені головні підсистеми та параметри їхніх конструкцій та технологій, які впливають на якість продукції. Найважливішою з таких підсистем виявився процес вулканізації гумової складової гумометалевих виробів. Головною проблемою проектування такого об'єкта є нестабільність якості складних гетерогенних об'єктів із суттєво різними властивостями окремих компонентів при високій культурі виробництва, тобто при ретельному додержанні проєктованих параметрів процесів.

У другому розділі представлена класифікація об'єктів автоматизованого проектування та загальні проблеми та методи дослідження.

Класифікація об'єктів автоматизованого проектування гумометалевих виробів. Загальні засади поняття «гумометалевий виріб» складають наступне:

– 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, вулкані-

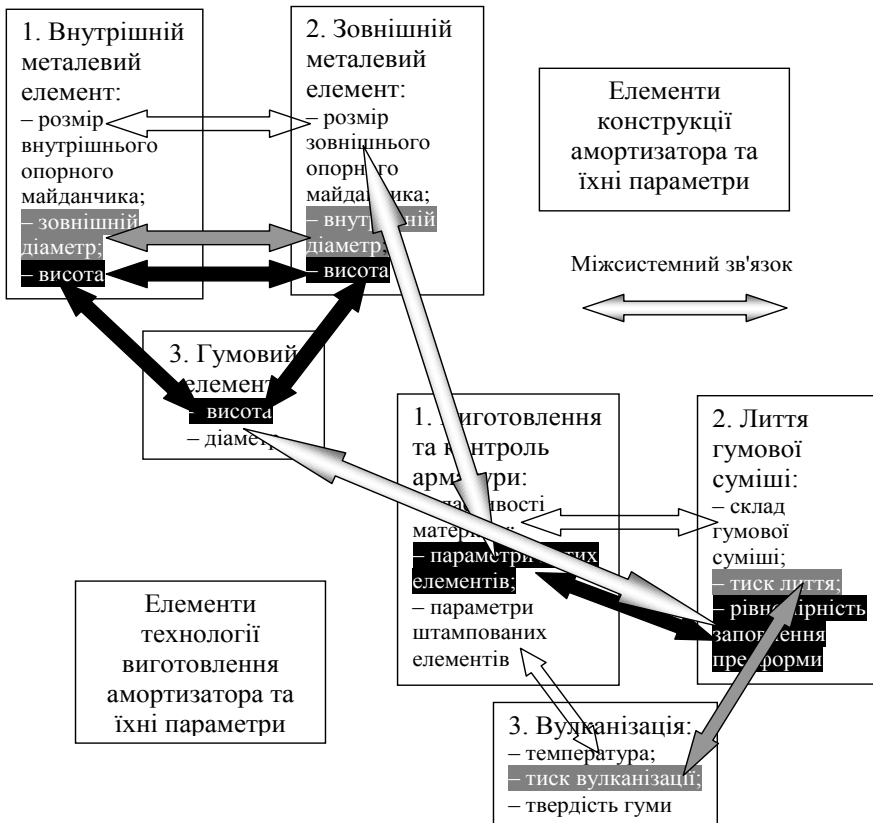


Рисунок 4 – Параметри елементів конструкції амортизатора та технології його виготовлення, які оптимізуються в комплексній САПР, та приклади видів системних та міжсистемних зв'язків між ними

Тут присутні три види зв'язності: відсутність зв'язності, слабка зв'язність та сильна зв'язність. Зрозуміло, що подібні зв'язності наведені умовно, адже в кожному випадку проектування їх необхідно встановлювати індивідуально. Поєднуючи ці схеми, отримуємо перелік параметрів елементів конструкції амортизатора і технології його виготовлення, які оптимізуються в комплексній САПР (рис. 4).

Відмітимо, що «міжсистемні» зв'язності не такі очевидні, як внутрішньо-системні. Наприклад, всередині механічної системи можна говорити про сильну зв'язність між швидкостями обертання двох шестерень, які знаходяться на одному валу. Технологічну систему можуть об'єднувати слабкі зв'язності по температурі всередині одного нагрівального пристрою.

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.

Структурна схема комплексної САПР із стабілізацією якості продукції. 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 із стабілізацією якості продукції за допомогою динамічної прогнозної моделі (рис. 5).

Технологічні:

- склад гумової суміші;
- параметри процесу заповнення гумовою сумішшю прес-форми;
- параметри процесу вулканізації гумової суміші.

Виділимо в конструктивній схемі амортизатора параметри, зв'язність між якими принципово відрізняється (рис. 4).

Виділимо, аналогічно, в технологічній схемі виготовлення амортизатора параметри, зв'язність між якими принципово відрізняється (рис. 4).

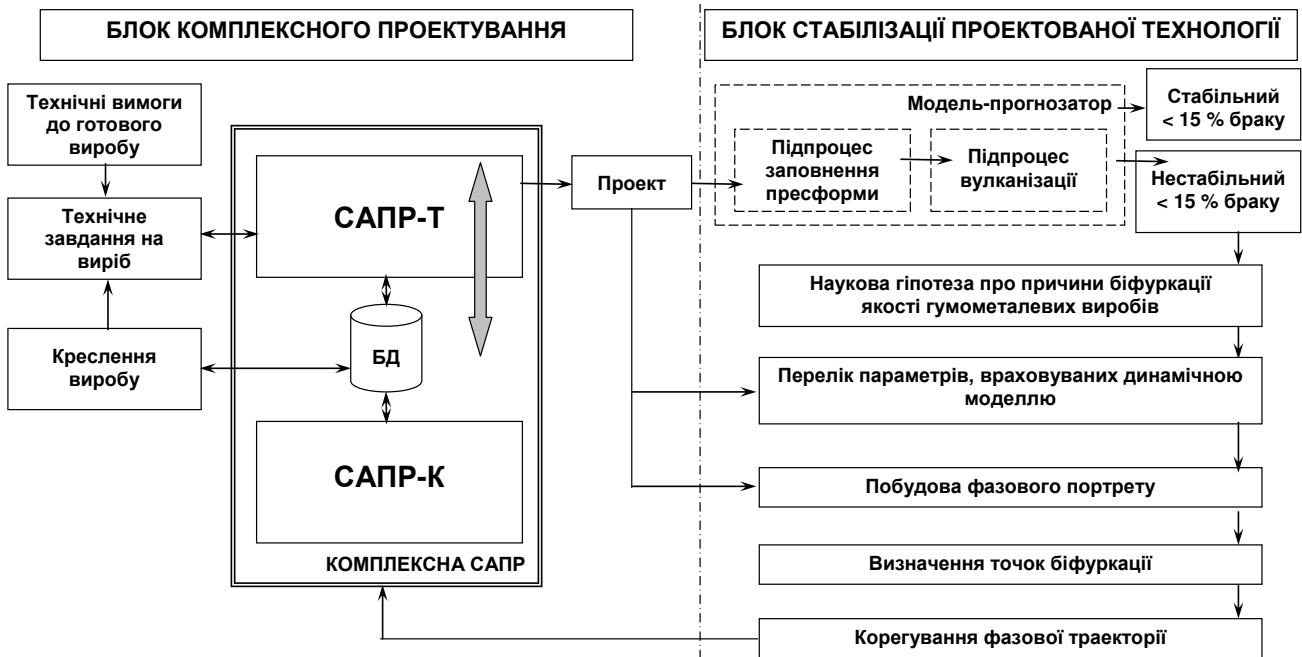


Рисунок 5 – Структурна схема комплексної САПР із стабілізацією якості продукції проєктованого об'єкта за допомогою динамічної прогнозної моделі

Контроль якості виробничої продукції. Випробування готових гумометалевих амортизаторів мають важливе значення не тільки в якості технічного контролю при прийомі готової продукції, але й для науково-дослідницьких робіт, зокрема в області розробок нових методів автоматизованого проєктування, оскільки результати таких випробувань є найголовнішими як під час вибору методів та побудови динамічних моделей в САПР, так і в оцінці ефективності результатів дисертаційних досліджень. Зокрема, до обов'язкових випробувань відносяться: огляд зовнішнього вигляду, розшарувань, пор і сторонніх включень, висота амортизатора, його виконавчі розміри, деформація уздовж осі при статичному стисненні, граничне статичне навантаження, фізико-механічні показники гуми, тощо. Для визначення робочих характеристик розроблено стенд для випробувань амортизаторів.

У третьому розділі представлені засади комплексної оптимізації системи «конструкція – технологія» гумометалевих виробів в САПР.

Оптимізація зв'язаних конструкцій в САПР-К. Завдання на проєктування формулюється таким чином. Спроєктувати гумометалевий амортизатор, конструктивно оформлений у вигляді трьох співвісних труб: метал – гума – метал (рис. 2), в якому амортизуюче зусилля P прикладається до внутрішньої металеві труби і далі, через гуму і зовнішню металеву трубу передається на опору. Мета оптимізації – мінімізація маси M амортизатора при збереженні заданих робочих режимів.

Відомо, що гумометалеві вироби як системи складаються, як мінімум, з двох підсистем – металеві та гумові, які знаходяться в тісній фізичній взаємодії. Виділимо в гумометалевому амортизаторі три підсистеми: внутрішній металевий елемент, гумовий елемент і зовнішній металевий елемент (рис. 2) і визначимо параметри проєктування (оптимізуючі аргументи), які поєднують ці елементи жорсткими і нежорсткими зв'язками (табл. 1).

Таблиця 1 – Елементи амортизатора і зв'язки між ними, що враховуються при 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	–	$S_{\text{МЗ}}$ – розміри зовнішнього опорного майданчику
Слабкозв'язані аргументи	$D_{\text{МВ}}$ – зовнішній діаметр внутрішнього металевого елемента	–	$d_{\text{МЗ}}$ – внутрішній діаметр зовнішнього металевого елемента
Сильнозв'язані аргументи	L – висота внутрішнього металевого елемента	L – висота гумового елемента	L – висота зовнішнього металевого елемента

Обмеження: $[\tau]$ – гранично допустиме значення дотичних напружень на межі метал – гума; $[\sigma]$ – гранично допустиме значення внутрішніх напружень у гумі. Як видно, навіть у найпростішому гумометалевому амортизаторі існують аргументи, які відносяться до усіх перерахованих вище множин елементів підсистем, які вирізняються видом зв'язності.

Цільова функція оптимізації буде виглядати наступним чином:

$$M = M_{\text{МВ}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{МЗ}} + M_{\text{доп}}, \quad (1)$$

де $M_{\text{МВ}}$ – маса внутрішнього металевого елемента; $M_{\text{Г}}$ – маса гуми; $M_{\text{МЗ}}$ – маса зовнішнього металевого елемента; $M_{\text{доп}}$ – маса допоміжних елементів, наприклад, опорних майданчиків. Вважаючи всі складові (1), не згадані в завданні на проектування, константами, запишемо в загальному вигляді:

$$M = f(D_{\text{МВ}}; d_{\text{МЗ}}; L), \quad (2)$$

тоді трьохкритеріальна задача оптимізації (1) буде виглядати таким чином:

$$\min_M \{M_{\text{МВ}}(D_{\text{МВ}}; d_{\text{МЗ}}), M_{\text{Г}}(D_{\text{МВ}}; d_{\text{МЗ}}), M_{\text{МЗ}}(D_{\text{МВ}}; d_{\text{МЗ}})\}, \quad D_{\text{МВ}}; d_{\text{МЗ}} \in Q. \quad (3)$$

Будь-який метод розв'язання задачі (3) повинен враховувати нежорсткий зв'язок між $D_{\text{МВ}}$ і $d_{\text{МЗ}}$. Для розв'язання задач оптимізації за багатовимірним сильнозв'язаним аргументом в САПР використовували відомий еволюційний комплексний генетичний алгоритм (КГА), призначений для постійного моніторингу рішення під час еволюції з метою недопущення порушення умов зв'язності. В ньому застосовуються комплексні символічні моделі генотипу об'єкта проектування, який містить по-різному зв'язані параметри елементів.

Оптимізація зв'язаних технологій в САПР-Т. Далі аналогічно визначимо параметри проектування, які поєднують елементи технології жорсткими і нежорсткими зв'язками (табл. 2). Обмеження: T_{max} – гранично допустиме значення температури гумометалевої суміші; P_{max} – гранично допустиме значення тиску на гумову суміш.

Комплексна оптимізація в САПР виконується згідно схемі (рис. 4) та за допомогою об'єднаного КГА (ОКГА), а метою (цільовою функцією) такої оптимізації є стабільність спроектованого процесу виготовлення амортизаторів.

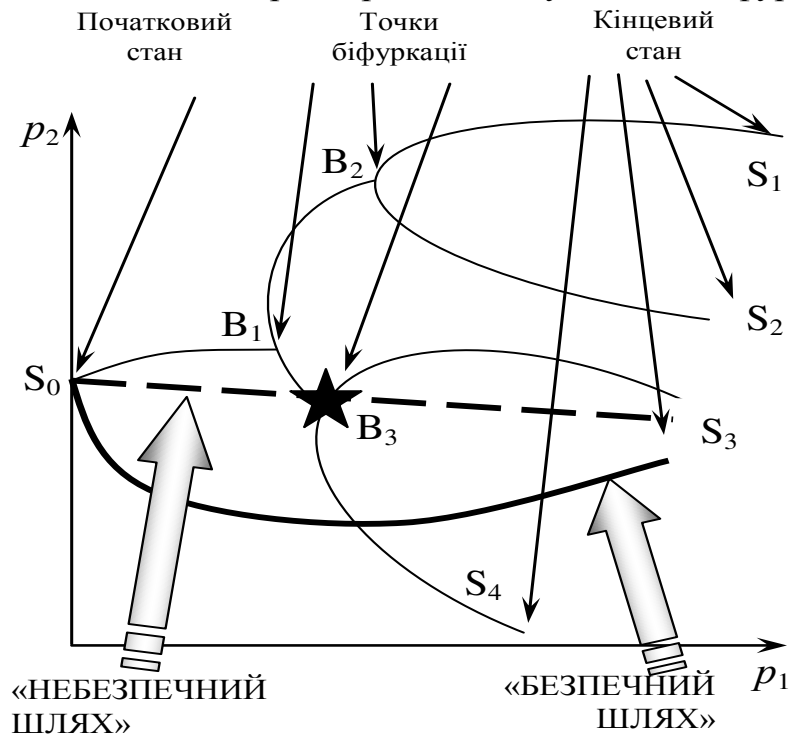
Таблиця 2 – Елементи технології виготовлення амортизатора АКСС і зв'язки між ними, що враховуються в процесі оптимізації

Система	Технологія виготовлення амортизатор АКСС		
Підсистеми	Підготовка металевої арматури	Заповнення пресформи	Вулканізація
Незв'язані аргументи	Параметри лиття	–	Параметри вулканізації
Слабкозв'язані аргументи	–	Тиск лиття гуми	Тиск вулканізації
Сильнозв'язані аргументи	–	Розміри пресформи	Розміри пресформи

У четвертому розділі представлена розробка блока стабілізації проектованої технології та виробничі випробування комплексної САПР конструкції та технології виготовлення гумометалевих виробів.

Технологічний процес виготовлення гумометалевих виробів як динамічна система. Як зазначено вище, головною проблемою технологічного процесу виготовлення гумометалевих виробів є низька стабільність кінцевого результату, під якою розуміли великий відсоток браку при незмінних параметрах спроектованої комплексної САПР та високій культурі виробництва.

Було висунуто наукову гіпотезу про те, що причиною такої нестабільності є проходження фазової траєкторії динамічного процесу виготовлення, побудованої в його параметрах, поблизу точки біфуркації, після чого процес під



впливом малих збурень неврахованих в САПР параметрів слідує за «невдалою» траєкторією (див. приклад для випадку двох параметрів p_1 та p_2 на фазовому портреті, наведеному на рис. 6), що призводить до утворення при вулканізації бракованих виробів.

Врахування цих обставин не може бути виконане в рамках САПР, оскільки вони проявляються вже за межами останньої – в процесі реалізації спроектованого техпроцесу. Для усунення цього протиріччя в роботі були створені прогноуючі моделі елементів технології.

Рисунок 6 – Схема створення умов руху системи «гумометалеві вироби на етапі виготовлення» від початкового S_0 до бажаного стану S_3 , коли траєкторія «найшорішого» руху (крива 1) на фазовому портреті проходить близько до точки біфуркації B_3

Прогнозуюче відображення параметрів проекту на життєвий цикл технологічного процесу виготовлення гумометалевих виробів за допомогою прогнозних моделей.

Модель заповнення пресформи. Процес заповнення пресформи гумовою сумішшю прогнозували за допомогою марковської моделі, в якій дискретизований простір каналів та порожнини пресформи був представлений множиною станів елементів суміші, а ймовірність переходів до іншого стану кожної ячейки цього простору була пов'язана із поточними реологічними властивостями суміші, які залежать від її складу та зовнішнього впливу на неї (температура, тиск).

Модель вулканізації гуми. Вулканізація – це процес, в якому еластичний каучук перетворюється в гуму. В результаті фіксується форма виробу і він набуває необхідної міцності, еластичності, твердості, опору розриву, втомленісної витривалості та інших експлуатаційних властивостей. З хімічної точки зору вулканізація – з'єднання гнучких макромолекул каучуку в тривимірну просторову сітку рідкісними поперечними хімічними зв'язками. Утворення сітки відбувається під дією спеціального хімічного агента або енергетичного фактора, наприклад високої температури. Поперечні зв'язки обмежують незворотні переміщення макромолекул при механічному навантаженні, але не змінюють їх здатності до високоеластичної деформації. Ступінь зшивання змінюється за часом і досягає деякої постійної величини (рис. 7). варіанту останніх передбачати відсоток тривимірного полімеру (рис. 7).

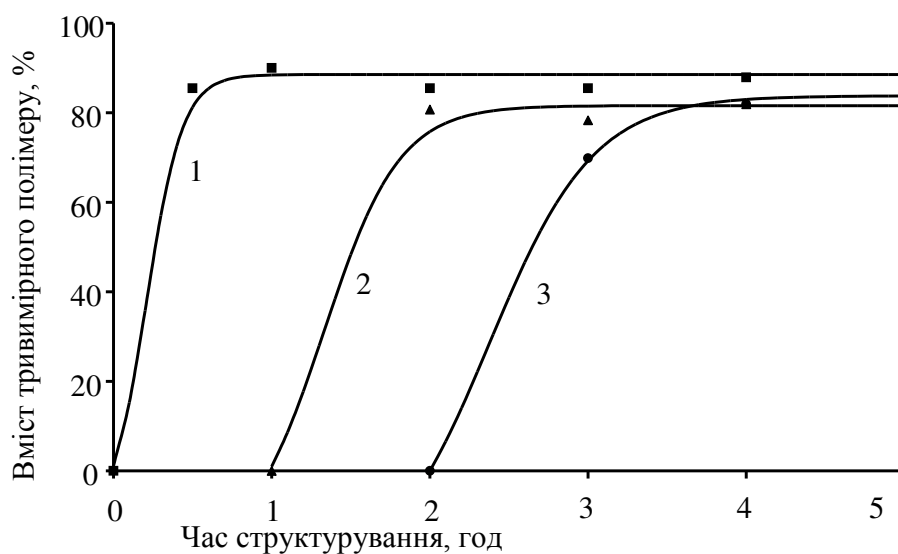


Рисунок 7 – Залежність вмісту тривимірного полімеру від часу структурирування при введенні $[ML_2Br_2]$: 1 – $[CoL_2Br_2]$; 2 – $[ZnL_2Br_2]$; 3 – KRASOL LB-2000 без каталізатора

В роботі запропоновані прогнозуючі моделі з'єднання молекул каучуку в тривимірний полімер в залежності від технологічних параметрів, які дозволяли для кожного спроектованого Дані, отримані на прогнозуючих моделях, були покладені в основу побудови фазових траєкторій технології, а також визначення точок біфуркації і прийняття рішення про відповідність даного варіанта поняттю «стабільний».

Прогнозні моделі процесу старіння ГМВ. 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.



Рисунок 8 – Тріщини, відшарування та інші ознаки старіння гумової частини ГМВ

В результаті старіння виникають відшарування гуми від металу, тріщини на поверхні гуми, корозія металу (рис. 8).

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.

Структура 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. Виходячи з необхідності комплексного проектування конструкції та технології амортизаторів та необхідності забезпечити *на етапі проектування* стабільність якості ГМВ, а також усвідомлюючи, що стабілізація саме на цьому етапі не може обійтися без прогнозування майбутнього перебігу технологічного процесу виготовлення фізико-хімічного процесу експлуатації ГМВ, запропонували наступну структурну схему комплексної САПР «RUMET» із стабілізацією якості продукції за допомогою динамічних прогнозних моделей, використовуваних при проектуванні майбутніх умов виготовлення та експлуатації ГМВ (рис. 9).

Виробничі випробування САПР. В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» було проведено випробування САПР процесу виготовлення гумометалевих 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 гумометалевих амортизаторів типу АКСС-10М.



Рисунок 9 – Структура та головні підсистеми САПР «RUMET»

В результаті випробувань встановлено, що використання процесу виготовлення гумометалевих виробів, спроектованого за допомогою САПР «RUMET», дозволило знизити відсоток браку в партії гумометалевих амортизаторів АКСС-10М на 34,75 % при збереженні початкових властивостей деталі.

ВИСНОВКИ

Дисертація містить нові науково обґрунтовані та практично підтверджені 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 запроєктованих 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 запроєктованих 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 проектних оптимізаційних розрахунків до неврахованих чинників *нестабільності*, дозволила на етапі проектування 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 проектних оптимізаційних розрахунків до неврахованих чинників *ненадійності*, дозволила на етапі проектування враховувати особливості майбутнього процесу старіння гуми і впливати таким чином на показники надійності гумометалевих виробів.

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

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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

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. Савельєва, О. С. Модель реології гетерогенних потоків / О.С. Савельєва, 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 тиокарбамойл-*N'*-пентаметилсульфенамидами 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. Швец, 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.

Видання входить до міжнародної наукометричної бази eLIBRARY.

6. Тонконогий, В.М. Испытание резинометаллических амортизаторов металлорежущих станков на деформацию / В.М. Тонконогий, Е.Ю. Лебедева, М.А. Духанина, Абу Шена Осам // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. Праць. – Харків, НТУ «ХП», 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.

Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, UL-RICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.

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.

Видання входить до міжнародної наукометричної бази eLIBRARY.

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.

Видання входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, BASE, UL-RICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.

Наукові праці апробаційного характеру

10. Становський, А. Л. Проблема распознавания изоморфизма графов и обратная задача структурной надежности / А.Л. Становський, 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 «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одеса: ОНПУ, 17 – 18 марта 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 сентября 2011. – С. 41 – 42.

13. Становський, А.Л. Управление синхронизацией составных событий в литейной форме / А.Л.Становський, Д.А. Желдубовський, Е.Ю. Лебедева // Матеріали XIX семінара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одеса: ОНПУ, 1 – 2 марта 2011. – С. 16 – 18.

14. Савельева, О. С. Информационная реологическая модель гетерогенной среды / О.С. Савельева, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева // Матеріали XIX се-

минара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 1 – 2 марта 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 Одинадцятій 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 процессу виготовлення 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. 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.

АНОТАЦІЯ

Лебедева О.Ю. Математичне моделювання та оптимізація в комплексних САПР гумометалевих виробів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2016.

Дисертація присвячена вдосконаленню призначених для САПР методів оптимізації гумометалевих конструкцій і стабілізації технологічних процесів їхнього виготовлення з метою адаптації їх до роботи з об'єктами, які містять матеріали із суттєво різними елементами.

Проаналізовані проблеми автоматизованого проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення. Виконана класифікація технічних гумометалевих виробів як об'єктів автоматизованого проектування. Розроблені головні засади системи автоматизованого «робастного» комплексного проектування конструкцій гумометалевих виробів та технологій їхнього виготовлення. Розроблена комплексна САПР «RUMET», яка забезпечує оптимізацію конструкції та стабілізацію технології виготовлення гумометалевих виробів.

Ключові слова: гумометалеві вироби, стабільність технологічних процесів, динамічні моделі, комплексна САПР «RUMET».

ANOTATION

Lebedeva O. Mathematical modeling and optimization of rubbermetal products integrated CAD. – Manuscript.

The dissertation seeking scientific degree of the candidate of technical science in specialty 05.13.12 – The systems of design works automation. – Odessa national polytechnic university, Odessa, 2016.

The thesis is devoted to improving methods designed to optimize CAD rubbermetal structures and stabilize their production processes in order to adapt them to work with objects that contain materials with significantly different elements

The problems of automated design of constructions rubbermetal products and technologies for their manufacturing. Made classification of technical objects rubbermetal products as Aided Design. Developed the main principles of automated "robust" design of complex structures rubbermetal products and their manufacturing technologies. An integrated CAD system «RUMET», which provides design optimization and stabilization rubbermetal manufacturing technology products.

Key words: rubbermetal products, stability of processes, dynamic models, complex CAD «RUMET».

АННОТАЦИЯ

Лебедева Е.Ю. Математическое моделирование и оптимизация в комплексных САПР резинометаллических изделий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектных работ. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2016.

Диссертация посвящена совершенствованию предназначенных для САПР методов оптимизации резинометаллических конструкций и стабилизации технологических процессов их изготовления с целью адаптации их к работе с гетерогенными объектами, содержащими материалы с существенно различными элементами.

Проанализированы проблемы автоматизированного проектирования конструкций резинометаллических изделий и технологий их изготовления. Выполнена классификация технических резинометаллических изделий как объектов автоматизированного проектирования.

Разработаны основные принципы системы автоматизированного «робастного» комплексного проектирования конструкций резинометаллических изделий и технологий их изготовления. Разработана комплексная САПР, которая обеспечивает оптимизацию конструкции и стабилизацию технологии изготовления резинометаллических изделий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в усовершенствовании методов оптимизации параметров технологического процесса изготовления композиционных гетерогенных систем с существенно различными свойствами элементов композиции и в создании динамических моделей, предназначенных для повышения эффективности комплексной САПР за счет обеспечения робастности конструкций и технологических процессов в отношении качества конечного продукта.

Впервые предложена комплексная модель конструкции и технологического процесса изготовления резинометаллических изделий как динамической системы, которая представляет собой отражение учитываемых прогнозных параметров конструкции и процесса на фазовое пространство параметров качества, что позволило выявлять и предупреждать попадание фазовой траектории отображения в окрестности точек бифуркации, а следовательно, предотвращать нестабильности результатов проектирования.

Получила дальнейшее развитие прогнозная структурная модель химического процесса вулканизации каучука с образованием резины, основанная на морфологическом методе определения изоморфизма графов, что позволило на этапе проектирования управлять будущими процессами структурирования резиновой смеси.

Получил дальнейшее развитие метод проектирования резинометаллических изделий, заключающийся в учете связности параметров резины и металла с параметрами технологического процесса, что позволило построить комплексную САПР конструктивных параметров и технологий производства гетерогенных резиновых амортизаторов.

Получила дальнейшее развитие марковская модель процесса заполнения оснастки резиновой смесью, которая заключается в отображении сырой гетерогенной смеси на дискретное пространство с различными свойствами элементов с учетом зависимостей между химическим составом компонентов смеси и параметрами химической технологии их вулканизации и потребительскими свойствами резинометаллических изделий, что позволило использовать такие модели в САПР параметров робастного технологического процесса.

Теоретически доказана и практически с помощью компьютерного эксперимента и производственных испытаний подтверждена возможность повышения скорости проектирования, стабильности производства и качества продукции резинотехнических производств за счет использования комплексной САПР, обеспечивающей эффективную оптимизацию параметров конструкции резинометаллических изделий и технологического процесса их изготовления с помощью динамических моделей объекта проектирования.

В ПАО «Одесский завод резиновых технических изделий» проведены испытания комплексной САПР «RUMET». В качестве объекта автоматизированного проектирования использовали конструкцию и технологический процесс литья под давлением резиновой смеси при производстве резинометаллических амортизаторов типа АКСС-10М.

В результате испытаний установлено, что использование робастного процесса изготовления резинометаллических изделий, спроектированного с помощью комплексной САПР «RUMET», позволило снизить процент брака в партии резинометаллических амортизаторов на 34,75 % при удовлетворении технических требований к готовым деталям.

Предложенные методы и модели, а также алгоритмы и программы, разработанные для их реализации, внедрены в учебный процесс в Одесском национальном политехническом университете и используются в дисциплинах, изучающих методы автоматизированного проектирования технологий изготовления и конструкций композиционных объектов, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Ключевые слова: резинометаллические изделия, стабильность технологических процессов, динамические модели, комплексная САПР «RUMET».