

7. Yang, H. Software Reuse in the Emerging Cloud Computing Era [Text] / H. Yang, X. Liu. – Information Science Reference, 2012. – 54 p. doi: 10.4018/978-1-4666-0897-9
8. Sells, C. Essential.NET: The common language runtime [Text] / C. Sells. – Addison-Wesley Professional, 2011.
9. Gael, F. Dino Esposito, Cutting Edge – Aspect-Oriented Programming, Interception and Unity 2.0 [Electronic resource] / F. Gael. – MSDN Magazine, 2013. – Available at: <https://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/gg490353.aspx>
10. Rossi, J. Introduction to AOP With Castle [Electronic resource] / J. Rossi. – Castle Project Blog, 2015. – Available at: <http://docs.castleproject.org/Default.aspx?Page=Introduction-to-AOP-With-Castle&NS=Windsor&AspxAutoDetectCookieSupport=1>
11. Win, B. Security through aspect-oriented programming [Text] / B. Win, B. Vanhoute, B. De Decker. – In Advances in Network and Distributed Systems Security, 2002. – P. 125–138. doi: 10.1007/0-306-46958-8_9
12. Kiczales, G. Aspect-oriented programming [Text] / G. Kiczales, J. Lamping, A. Mendhekar, C. Maeda, C. Lopes, J. M. Loingtier, J. Irwin // ECOOP'97. Proceedings of the 11th European Conference on Object-Oriented Programming, 1997. – P. 220–242. doi: 10.1007/BFb0053381
13. Fowler, M. Patterns of Enterprise Application Architectur [Text] / M. Fowler. – Addison Wesley, 2012.

Показано, що причиною високого відсотку бракованих гумометалевих виробів на виході технологічного процесу їхнього виготовлення є ігнорування на етапі проектування зв'язності параметрів підсистем окремо всередині конструкції і технології, а також між цими підсистемами. Побудована комплексна оптимізаційна модель конструкції та технології. Запропонована комплексна символічна модель для еволюційної оптимізації за допомогою генетичного алгоритму

Ключові слова: гумометалеві вироби, зв'язність параметрів, генетичні алгоритми, комплексні символічні моделі

Показано, что причиной большого процента бракованных резинометаллических изделий на выходе технологического процесса их изготовления является игнорирование на этапе проектирования связности параметров подсистем отдельно внутри конструкции и технологии, а также между этими подсистемами. Построена комплексная оптимизационная модель конструкции и технологии. Предложена комплексная символьная модель для эволюционной оптимизации с помощью генетического алгоритма

Ключевые слова: резинометаллические изделия, связность параметров, генетические алгоритмы, комплексные символьные модели

УДК 004.942:62-272.6

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65456

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ГУМОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

О. С. Савельєва

Доктор технічних наук, доцент*

E-mail: okssave@gmail.com

І. І. Становська

Кандидат технічних наук**

E-mail: iraidasweet07@rambler.ru

О. Ю. Лебедєва*

E-mail: ozrti@rambler.ru

А. В. Торопенко

Кандидат технічних наук*

E-mail: alla.androsyk@gmail.com

*Кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування***

Кафедра вищої математики та моделювання систем*

***Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

1. Вступ

При проектуванні конструкції і технології виготовлення окремо гумових або окремо металевих виробів, як правило, застосовуються різні методи оптимізації, що обумовлюється суттєво різними властивостями цих матеріалів та очевидними відмінностями в умовах їхнього виготовлення та експлуатації, а також в зовнішніх прихованих впливах

на виріб. Натомість, об'єднані гумометалеві вироби (механічні амортизатори, автомобільні покришки, корпуси підводних човнів, магнітна та електропровідна гуми, тощо) [1–4], хоча й складаються із суттєво різнорідних за властивостями елементів (металу та гуми), проектуються, виготовляються і працюють «як одна деталь», і отже вимагають при цьому деякого сумісного, комплексного підходу на усіх перелічених етапах свого життєвого циклу.

Зокрема, в проектуванні такий комплексний підхід повинен ґрунтуватися на нових інформаційних технологіях взаємодії не тільки окремо між параметрами конструкції та параметрами технології, що оптимізуються, але й на технології їхньої одночасної взаємодії, інакше конструкція часто виходить неоптимальною, а технологічний процес – нестабільним.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для гумометалевих виробів система автоматизованого проектування, як правило, суттєво ускладнюється за рахунок спроб врахувати більше зовнішніх та внутрішніх впливів на об'єкт [5, 6].

Адже будь-які приховані чинники, що залишаються за межами моделей, використовуваних в процесі проектування конструкції та технології, тут мова йде про стабільне отримання якісної кінцевої продукції [7].

Нестабільність, коли при суворому дотриманні 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 проєктуючих моделей [8]. Такий проєкт виявляється дуже чутливим до прихованих чинників, нездатним до «самостабілізації» [9].

Відомо, що головним завданням синтезу стабільних 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 [10]. У випадку проектування мова йде про пошук таких методів та моделей останнього, коли готовий продукт буде зберігати свою якість в заданих допустимих межах [11], незважаючи на наявність невизначеностей в проєктуючих методах та моделях.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення стабільності гумометалевого виробництва, а також підвищення якості продукції гумотехнічних підприємств на етапі комплексного автоматизованого проектування конструкції та технології виготовлення гумометалевих машинобудівних деталей шляхом розробки і впровадження нового комплексного підходу до оптимізації параметрів конструкції та технології.

Для досягнення цієї мети в роботі були вирішені наступні задачі:

- виділені та об'єднані підсистеми та їхні зв'язані параметри загальної системи комплексного проектування конструкції та технології виготовлення гумометалевих амортизаторів;
- розроблені символічні моделі (хромосоми) для багатокритеріальної багатоекстремальної еволюційної комплексної оптимізації.

4. Розробка інформаційної технології проектування гумометалевих виробів

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

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»;
- гумометалеві вироби класу «Силовий композиційний елемент»;
- гумометалеві вироби класу «Зосереджене (макро) армування»;
- гумометалеві вироби класу «Дисперсійне (мікро) армування».

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. Далі будемо розглядати гумометалеві вироби класу «Силовий композиційний елемент» на прикладі гумометалевих амортизаторів. Гумометалевий амортизатор – досить складна деталь, яка містить штамповані та литі елементи металевої арматури і гумовий прошарок, який працює в найважчих умовах механічного навантаження. Базова конструкція гумометалевого амортизатора типу АКСС-10М наведена на рис. 1.

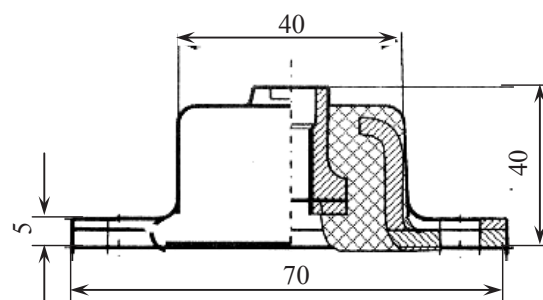


Рис. 1. Базова конструкція гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

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 металевої деталі та зовнішнім діаметром внутрішньої металевої деталі, сильний – між висотами усіх металевих та гумового елементів (рис. 2).

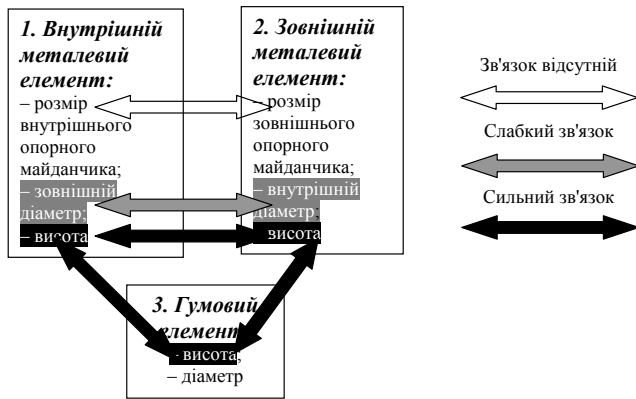


Рис. 2. Параметри елементів конструкції амортизатора, які підлягають оптимізації при проектуванні та приклади системних зв'язків між ними

Відмітимо, що зв'язані параметри з точки зору метрології відносяться до одного геометричного або фізичного явища: «діаметр – діаметр», «довжина – довжина», «площа – площа» і т. п.

Схема базового технологічного процесу виготовлення гумометалевого амортизатора класу «Силовий композиційний елемент» типу АКСС-10 М представлена на рис. 3.

Як видно з рисунку 3, технологічний процес містить такі основні елементи:

- обслуговування форм для вулканізації;
- виготовлення та контроль металеві частини гумометалевого виробу: арматури (зазначимо, що в амортизаторі АКСС-10 М частина арматури виготовляється штампуванням, а частина – литтям);
- лиття гумової суміші в форму для вулканізації;
- вулканізація;
- фінішна обробка, контроль якості, маркування та пакування готових амортизаторів.

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. 4).

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

Поєднуючи схеми, наведені на рис. 2, 4, отримуємо перелік параметрів елементів, як конструкції амортизатора, так і технології його виготовлення, які оптимізуються при комплексному проектуванні. Приклади видів системних та міжсистемних зв'язків між такими параметрами наведені на рис. 5.

Відмітимо, що «міжсистемні» зв'язки не такі очевидні, як внутрішньо-системні. Наприклад, для 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.

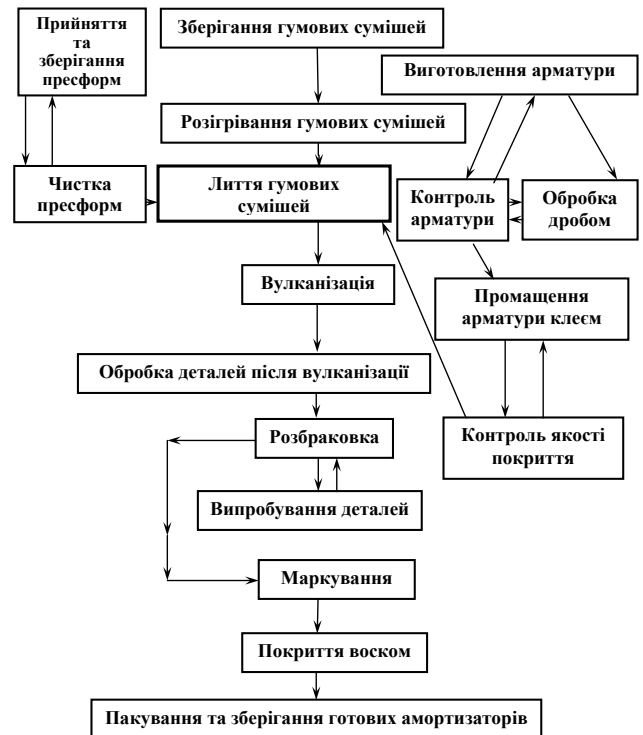


Рис. 3. Схема базового технологічного процесу виготовлення гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

В міжсистемному середовищі ознаки «пристрою» та «способу» можуть суттєво відрізнятись, 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.

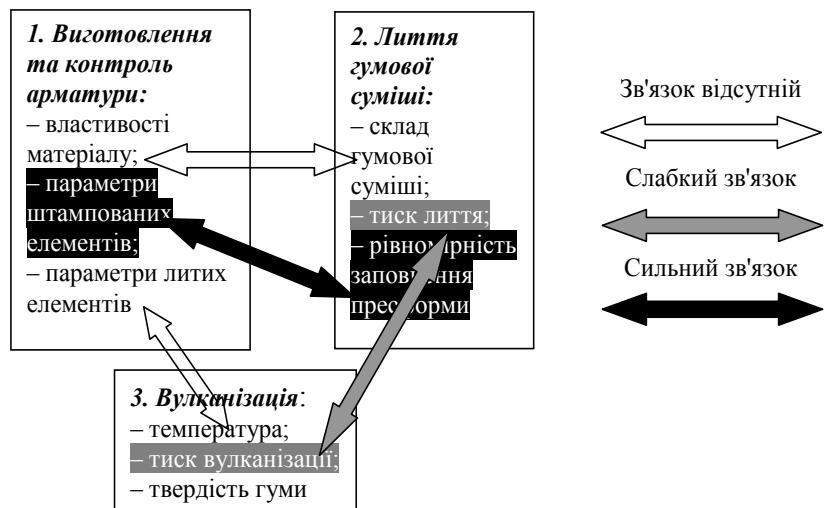


Рис. 4. Параметри елементів технологічної схеми виготовлення амортизатора, які оптимізуються при проектуванні, та приклади системних зв'язків між ними

Проектні процедури, відповідно, також ускладнюються, оскільки тепер вони повинні 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.

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. 6). Практичне здійснення такого відображення за допомо-

гою комп'ютерного експерименту на розробленій для цього моделі виконано на прикладі встановлення зв'язку між розміром гумової частини амортизатора (параметр конструкції) та реологічною характеристикою заповнення відповідної частини форми для вулканізації гумометалевою сумішшю (параметр технології).

Дійсно, найбільш відповідальним етапом технологічного процесу виготовлення виробів з композиційних матеріалів є заповнення формуючого оснащення: форми для вулканізації, опалубки, тощо. На цьому етапі закладаються основні показники якості готового виробу, визначається, чи буде він придатним до експлуатації, формуються його властивості, зовнішній вигляд.

Тому конструктивні характеристики виробу та параметри технології (характеристики початкових матеріалів, параметри, тощо), сумісно суттєво впливають на перераховані показники [12].

Після того, як параметри конструкції та технології, які треба спроектувати, визначені, зв'язки між ними встановлені, можна сформулювати задачу оптимізації. Для нашого прикладу вона мала наступний вигляд.



Рис. 5. Параметри елементів конструкції гумометалевого амортизатора та технології його виготовлення, які оптимізуються при комплексному проектуванні, та приклади системних та міжсистемних зв'язків між ними

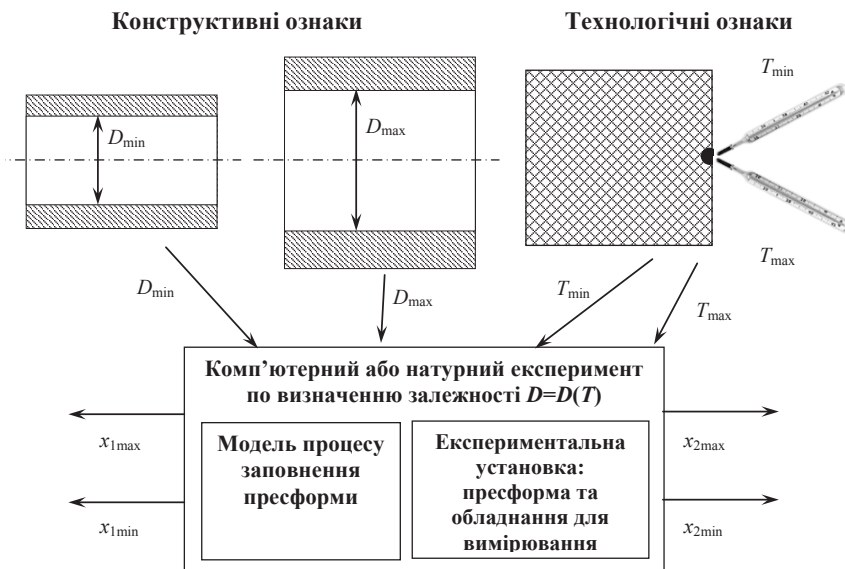


Рис. 6. Схема взаємного відображення зв'язаних параметрів, які відносяться до підсистем різної фізичної природи

Задача.

При параметрах елементів конструкції гумометалевого амортизатора та технології його виготовлення (рис. 5), які під час оптимізації вважаються константами:

- x_{11} – розмір внутрішнього опорного майданчика внутрішнього металевого елемента, м²;
 - x_{14} – розмір зовнішнього опорного майданчика зовнішнього металевого елемента, м²;
 - x_{16} – діаметр гумового елемента, м;
 - x_{21} – шорсткість матеріалу арматури, м·10⁻⁶;
 - x_{23} – дефектність робочої поверхні литих елементів арматури, бал;
 - x_{25} – тиск лиття, Па;
 - x_{27} – тиск вулканізації Па;
 - x_{28} – твердість гуми, одиниць по Шору, розраховувати такі значення аргументів (рис. 5):
 - x_{12} – зовнішній діаметр внутрішнього металевого елемента, $D_{вн}$, м;
 - x_{13} – висота елементів (сильний зв'язок), l , м;
 - x_{15} – внутрішній діаметр зовнішнього металевого елемента, $d_{зов}$, м;
 - x_{22} – рівномірність заповнення форми для вулканізації сіркою, ΔC_S ;
 - x_{24} – склад гумової суміші, мас. % сірки;
 - x_{26} – температура вулканізації, К;
- які доставляють максимум цільовим функціям:

$$M_{ам} = 6123l \left[(D_{зов}^2 - d_{зов}^2) + (D_{вн}^2 - d_{вн}^2) \right] + 1020,5l (d_{зов}^2 - D_{вн}^2), \tag{1}$$

$$C_{тп} = K T \Delta C_S, \tag{2}$$

де $M_{ам}$ – загальна маса амортизатора; $C_{тп}$ – концентрація тривимірного полімеру в гумі (показник якості, за яким бракують амортизатори під час технічного контролю); K – масштабний коефіцієнт.

при обмеженнях на слабкі зв'язки:
– в межах конструкції:

$$x_{12} = x_{15} \pm b_K; \tag{3}$$

– в межах технології:

$$x_{12} = x_{15} \pm b_T; \tag{4}$$

– комплексне обмеження:

$$x_{12} = x_{15} \pm b_{компл}; \tag{5}$$

де b_K ; b_T ; $b_{компл}$ – діапазони допустимих змін відповідних параметрів в межах слабого зв'язку для конструкційної, технологічної та комплексної підсистем.

Таким чином, маємо двокритеріальну (в загальному випадку – багатокритеріальну) задачу оптимізації, цільові функції якої мають кілька екстремумів, а їхні аргументи в певних межах зв'язані внутрісистемними та міжсистемними обмеженнями.

Розв'язання задачі виконували за допомогою еволюційного методу комплексного генетичного алгоритму, який додатково до «звичайного» генетичного алгоритму враховує слабкі зв'язки між оптимізуючими аргументами. Для цього була розв'язана наступна

задача даного дослідження: розробка символічних моделей (хромосом) для багатокритеріальної багатоекстремальної еволюційної комплексної оптимізації.

4. 2. Символьні моделі (хромосоми) для багатокритеріальної багатоекстремальної еволюційної комплексної оптимізації

Проблеми в проектуванні таких процесів 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 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) [13]. 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 [14].

Як зазначено вище, останнім часом з'явилися роботи [13], що вводять новий вид хромосом – з «м'яким» зв'язком аргументів, у яких пов'язані аргументи можуть все ж таки відрізнятись 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: $x_{1min} \leq x_1 \leq x_{1max}$;

$$x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}; x_{N\min} \leq x_N \leq x_{N\max}. \quad (6)$$

На рис. 7, а в якості прикладу показана 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 (6).

При «м'якому» зв'язку до обмежень (6) додаються нові:

$$x_{ij} \in \{x_i; x_i + b_{\max}\} \quad (7)$$

для кожної групи зв'язаних аргументів, яка складається, в загальному випадку, з 2, 3, ..., N елементів. У відповідній «м'якій» двопараметричній хромосомі зберігаються вже п'ять змінних: x_{11} , x_{12} , x_{21} , x_{22} , b , а пам'ять такого ГА додатково містить обмеження b_{\max} для кожного «м'якого» зв'язку.

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. 1.

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 і багатоточкове схрещування, в комплексному ГА з «м'якими» зв'язками застосовували рівномірне схрещування, яке інакше називають монолітним або одностадійним.

Всі отримані таким чином нащадки піддаються мутації та інверсії і далі проходять перевірку на виконання умови (7) і, якщо вона не виконується, відбувається повторне схрещування тих же батьків, але при іншому їх сполученні. 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.

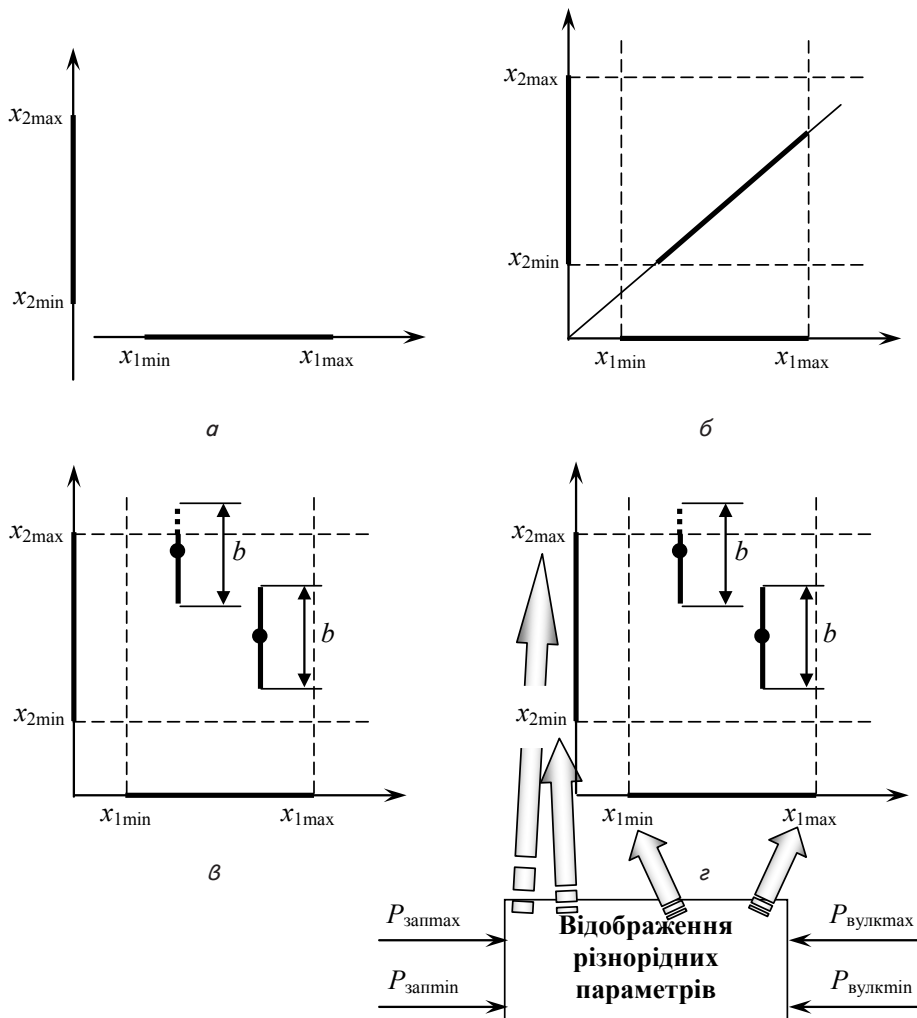
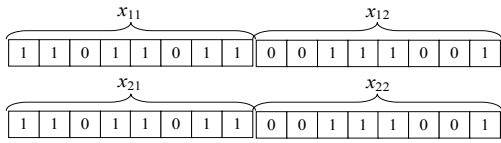
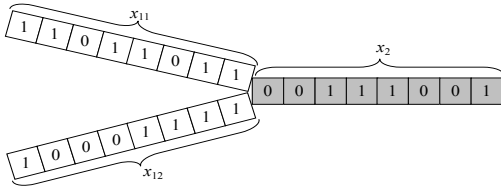
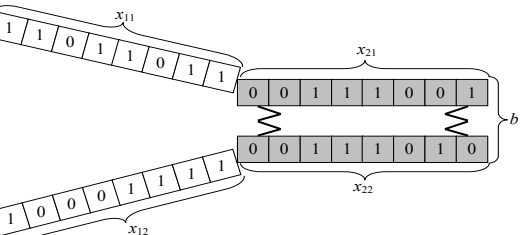
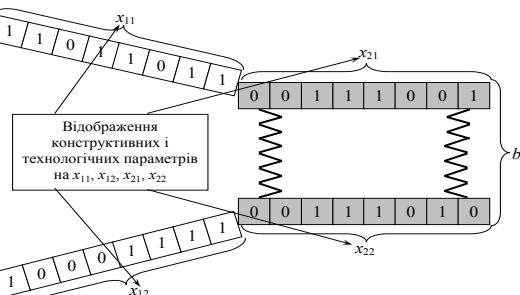


Рис. 7. Схеми побудови та області допустимих змін аргументів цільової функції (хромосом) при оптимізації за допомогою: а – класичного ГА; б – зв'язаного ГА з «жорстким» зв'язком; в – зв'язаного ГА з «м'яким» зв'язком; г – комплексного ГА

Таблиця 1

Схеми символічних моделей (хромосом) і інформація, яка в них зберігається, при оптимізації двох двохпараметричних підсистем

№	Назва	Хромосома		Інформація	
		Назва	Структурна схема	в ГА	В хромосомі
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			Зв'язані конструктивні та технологічні параметри, $X_{1min}, X_{1max}, X_{2min}, X_{2max}, b_{max}$	$X_{11}, X_{12}, X_{21}, X_{22}$

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 містить блоки адаптації схрещування, які «стежать» за виконанням описаних вище обмежень на процес оптимізації. Додатковим до відомого алгоритму КГА є етап відображення аргументів, які належать системам різної фізичної природи – конструктивним та технологічним.

Запропонований метод оптимізації параметрів об'єктів зі слабкозв'язаними різнорідними (конструкція – технологія) підсистемами, який полягає в застосуванні розробленого адаптивного КГА для «м'яких» еволюційних обчислень, дозволив підвищити глибину оптимізації і конструкції, і технології та отримати в комп'ютерних та виробничих експериментах позитивний технічний ефект [13].

Встановлено, що використання підходу до проектування конструкцій та технології виготовлення гумометалевих виробів як до систем, що складається з підсистем із зв'язаними параметрами, дозволяє поліпшити показники якості таких систем за рахунок

ефективної оптимізації їх конструктивних та технологічних характеристик.

5. Обговорення проблеми та запропонованих методів її розв'язання

Аналізом існуючих методів проектування параметрів конструкції гумометалевих виробів та технології їхнього виготовлення встановлено, що такі виробництва відрізняються, як правило, нестабільністю і для автоматизованого проектування вимагають спеціальних методів та ускладнених моделей. Так, сучасне гумометалеве обладнання (механічні амортизатори, автомобільні покривки, 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 компонентів: металу та гуми.

Крім того, на різних етапах проектування оптимізаційні задачі мають різні цільові функції, в яких часто повністю (жорсткий зв'язок) або в межах деяких границь (слабкий зв'язок) співпадають аргументи. При

проведенні комплексної (конструкція плюс технологія) оптимізації необхідно враховувати подібні зв'язки не тільки в рамках окремих етапів, але й між етапами, що значно ускладнює розрахунки, оскільки задача оптимізації стає в цьому випадку багатокритеріальною та багатоекстремальною.

Для розв'язання цієї проблеми удосконалено метод, в якому для подібних розрахунків використовується еволюційна комплексна оптимізація за допомогою генетичного алгоритму, в якому використовуються нові символічні моделі – хромосоми, що враховують усі види поетапних та між етапних зв'язків.

Запропонований метод комплексного проектування використано в процесі інформаційної підтримки виробництва гумометалевих амортизаторів АКСС-10М в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» (Україна) із позитивним технічним ефектом.

6. Висновки

1. Аналіз особливостей створення інформаційних моделей гумометалевих виробів дозволив виділити та об'єднати підсистеми та зв'язані параметри підсистем загальної системи «конструкція – технологія» проектування амортизаторів. До підсистеми конструкції

віднесені внутрішній та зовнішній металеві елементи та гумовий елемент, до підсистем технології – процеси виготовлення та контролю арматури, лиття гумової суміші та вулканізація гуми. Запропоновані методи взаємного відображення зв'язаних параметрів, які відносяться до підсистем різної фізичної природи. Відображення може бути здійснене шляхом зведення розмірності будь-якого з параметрів до іншого або зведення обох параметрів до загального безрозмірного числа.

2. Для розв'язання багатокритеріальних багатоекстремальних задач комплексної оптимізації за допомогою еволюційного методу створені нові атрибути генетичного алгоритму, зокрема розроблені нові зіркоподібні символічні моделі (хромосоми), із внутрішніми зв'язками між окремими батьками та гнучкими обмеженнями на варіювання останніх під час оптимізації. В результаті отримано парадоксальний висновок: існує додаткова можливість виконувати багатокритеріальну оптимізацію конструкції та технології виготовлення гумометалевих виробів глибше, ніж за Парето, оскільки оптимізація за Парето передбачає єдине значення аргументів для усіх ітерацій перебору цільових функцій під час еволюційної оптимізації, а при використанні запропонованого методу ці аргументи на кожній ітерації можуть відрізнятися на деяку, залежну від глибини зв'язку, величину.

Література

1. Гринберг, П. Б. Технология нанесения наноструктурированных металлопокрытий на резинотехнические изделия [Текст] / П. Б. Гринберг, К. Н. Полеценко, В. И. Суриков, Е. Е. Тарасов // Вестник Омского университета. – 2012. – № 2 (64). – С. 249–252.
2. Eggbeer, D. Evaluation of direct and indirect additive manufacture of maxillofacial prostheses [Text] / D. Eggbeer, R. J. Bibb, L. P. Evans, Lu Ji // Institution of Mechanical Engineers. – 2013. – Vol. 226, Issue 9. – P. 718–726.
3. Asano, E. Small and lightweight anti-vibration rubber products [Text] / E. Asano, T. Sugira, N. Kimura, T. Toyama, T. Taguchi // Technical Review. – 2014. – Vol. 79. – P. 47–50.
4. Rubber metal buffers [Electronic resource]. – Available at: <http://www.hokon-verschluss technik.de/userfiles/pdf/M-%20Gummipuffer/M-1-Rubber-metal-buffers.pdf>
5. Banića, M. Tribology Aspect of Rubber Shock Absorbers Development [Text] / M. Banića, D. Stamenković, M. Milošević, A. Miltenović // Tribology in Industry. – 2013. – Vol. 35, Issue 3. – P. 225–231.
6. Pinjarla, P. Design and analysis of a shock absorber [Text] / P. Pinjarla, K. T. Lakshmana // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2012. – Vol. 1, Issue 4. – P. 578–592. doi: 10.15623/ijret.2012.0104009
7. Shvets, P. S. The computer-aided design of rubber-metal products [Text] / P. S. Shvets, O. Yu. Lebedeva, V. V. Bondarenko // Праці Одеського національного політехнічного університету. – 2015. – С. 63–72.
8. Liu, B. Quality evaluation of rubber-to-metal bonded structures based on shearography [Text] / B. Liu, X. Guo, G. Qi, D. Zhang // Science China Physics, Mechanics & Astronomy. – 2015. – Vol. 58, Issue 7. – P. 1–8. doi: 10.1007/s11433-015-5658-7
9. Fan, X. H. Random vibration test simulation for a specimen with vibration-isolating rubber considering stiffness nonlinearity [Text] / X. H. Fan, S. Q. Hu, Z. X. Zhang // J Vib Shock. – 2009. – Vol. 28. – P. 174–176.
10. Yu, L. Optimal guaranteed cost control of singular systems with delayed state and parameter uncertainties [Text] / Y. Li, J.-M. Xu, Q.-L. Han // Proceedings of the 2004 American Control Conference. Central Queensland University Institutional Repository, 2004. – P. 4811–4816.
11. Васильев, Е. М. Робастная стабилизация многомерных объектов в системах с переменной структурой [Текст] / Е. М. Васильев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8, № 11.
12. Савельева, О. С. Модель реологии гетерогенных потоков [Текст]: сб. науч. праць / О. С. Савельева, А. В. Андросюк, Е. Ю. Лебедева // Високі технології в машинобудуванні. – 2011. – Вип. 1 (21). – С. 209–213.
13. Прокопович, И. В. Адаптивный генетический алгоритм для «мягких» эволюционных вычислений [Текст]: матер. XX міжн. конф. / И. В. Прокопович, П. С. Швеи, Е. Ю. Лебедева // Конференція з автоматичного управління «АВТОМАТИКА/АУТОМАТИКС – 2013». – Миколаїв, 2013. – С. 143–144.
14. Лебедева, Е. Ю. Метод контроля качества резино-металлических амортизаторов [Текст]: сб. мат. XXII семинара / Е. Ю. Лебедева, С. В. Кошулян, Абу Шена Усама // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – Одесса, 2014. – С. 60–62.