



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 004.942

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51213

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ГУМОВОМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

Становський Олександр Леонідович, доктор технічних наук, професор
Кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний
університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: stanovsky@mail.ru

Лебедева Олена Юріївна
Магістр, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний
політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: ozrti@rambler.ru

Абу Шена Осам Мохаммед Алі
Магістр, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний
політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: abu.shena@gmail.com

Красножон Олександр Миколайович
Магістр, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний
політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: krasnozhanan@gmail.com

Швец Павло Степанович, кандидат технічних наук
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, Одеський національний політехнічний
університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: pshvets@mail.ru

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. Розроблена САПР-Т лягла в основу підготовки виробництва гумовометалевих амортизаторів на Одеському заводі гумових виробів з позитивним техніко-економічним ефектом.

Ключові слова: САПР технологічного процесу, анізотропні матеріали, композиційні вироби, гумовометалеві амортизатори.

Рассмотрены вопросы автоматизированного проектирования технологии изготовления технических композиционных изделий, состоящих из существенно различных по механическим свойствам анизотропных материалов. Предложена структура САПР-Т, решающей задачи такого проектирования, и описаны принципы работы ее основных подсистем. Разработанная САПР-Т легла в основу подготовки производства резинометаллических амортизаторов на Одесском заводе резиновых изделий с положительным технико-экономическим эффектом.

Ключевые слова: САПР технологического процесса, анизотропные материалы, композиционные изделия, резинометаллические амортизаторы.

1. Вступ

В різних галузях промисловості, таких як кораблебудування, машинобудування, тощо, для га-

сіння вібрації та ударних хвиль використовують багатопарові амортизуючі системи, що складаються із пружних і непружних шарів, здатні гасити коливання і витримувати значне навантаження під

дією зовнішнього збурення. 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.

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.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

До найбільш поширених амортизуючих систем сьогодні можна віднести гумовометалеві вироби різноманітного призначення [1–3]. Фізично вироби такого типу являють собою анізотропну середу, поширення механічних взаємодій в якій залежить від напрямку і місця прикладання зовнішніх сил. Виходячи з цього, в САПР-К таких виробів ставиться та вирішується завдання оптимізації конструкції гумовометалевого виробу, що забезпечує, наприклад, найкращі умови загасання ударних хвиль [4].

При цьому іноді забувають, що гумовометалеві вироби відносяться до композиційних матеріалів [5, 6], споживчі властивості яких суттєво залежать не тільки від складу та конструкції відповідних деталей та вузлів, але й від технології їхнього виготовлення [7, 8]. Можна стверджувати, що в давньому спорі: що важливіше, конструкція або технологія, для композиційних об'єктів впевнено перемагає остання, а отже оптимізація конструкції за допомогою САПР-К не призводить до бажаних, найкращих в деякому сенсі результатів без відповідної оптимізації технології за допомогою САПР-Т [9, 10].

Це пов'язано із тим, що на етапі виготовлення майбутні гумовометалеві вироби із-за великої кількості *невраховуваних* технологією параметрів та навіть малих відхилень від номінального значення *враховуваних* часто виведуть себе нестабільно, — тобто демонструють іноді протилежні показники якості при, здавалося б, однаковому проекті технології.

В теорії динамічних систем, до яких, безумовно, відносяться гумовометалеві вироби на етапі їхнього виготовлення, така поведінка системи називається катастрофою [11], а такий стан системи, при якому навіть незначне відхилення може призвести до глобальних змін називається точкою біфуркації [12, 13]. Завдання САПР-Т спроектувати технологію таким чином, щоб провести траєкторію динамічної системи «гумовометалеві вироби

на етапі виготовлення» на найбільшій відстані від можливих точок біфуркації на її фазовому портреті для запобігання катастроф.

Для побудови такого портрету треба згадати, що середовище гумовометалевого виробу під час основних технологічних операцій (підготовка початкових сумішей, заповнення форм, хімічне перетворення) завжди анізотропне, тобто таке, макроскопічні властивості якого різні в різних напрямках, в протилежність ізотропному середовищу, де вони не залежать від напрямку [14].

Анізотропія середовища може бути зумовлена кількома причинами: анізотропією частинок, що його утворює, анізотропним характером їхньої взаємодії, впорядкованим розташуванням частинок, дрібно-масштабними неоднорідностями. У той же час анізотропні або анізотропно взаємодіючі частинки можуть утворювати ізотропне середовище. Анізотропне середовище може утворитися під дією зовнішніх полів, що орієнтують або деформують частинки.

З анізотропією пов'язані різноманітні явища. Однорідне анізотропне середовище здійснює істотний вплив на властивості нормальних хвиль, які в ньому поширюються, визначаючи, зокрема, їх поляризацію і відмінність напрямків поширення хвильового (фазового) фронту і енергії хвиль. У неоднорідному анізотропному середовищі може відбуватися лінійна взаємодія поляризованих хвиль, що призводить до перерозподілу енергії між нормальними хвилями [15].

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є зменшення термінів підготовки виробництва і підвищення якості продукції промислових підприємств шляхом розробки та впровадження вдосконаленого методу оптимізації в САПР-Т гумовометалевих виробів, який базується на виявленні та обминанні можливих точок біфуркації на етапі автоматизованого проектування амортизаційного обладнання, яке представляє собою композиційну систему з істотно різними властивостями елементів композиту.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язувались наступні задачі:

- проводився аналіз існуючих проблем та методів автоматизованого проектування гумовометалевих виробів з істотно різними властивостями складових;
- будувалася САПР-Т, яка базується на розроблених фазових портретах і забезпечує оптимізацію параметрів технології виготовлення амортизаційного обладнання;
- проводилися комп'ютерні лабораторні випробування результатів дослідження та виробничі випробування САПР-Т з позитивним технічним ефектом.

Об'єкт дослідження: оптимізація параметрів процесів виготовлення композиційних систем з істотно різними властивостями елементів в САПР-Т.

4. Розробка та виробничі випробування системи автоматизованого проектування технології виготовлення композиційних виробів

4.1. Теоретична частина. 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.

На рис. 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 .

«Прямий» шлях від стану S_0 до бажаного стану S_3 , який відповідає прямій 1 на рисунку, є хибним, оскільки його траєкторія проходить близько до точки біфуркації B_3 .

«Непрямий» шлях 2 (рис. 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.

4.2. Структура та основні підсистеми САПР-Т. Розроблені методи та створені фазові портрети моделі дозволили запропонувати нові підсистеми та створити загальну САПР-Т «RUMET», призначену для автоматизованого проектування гумово-металевих виробів будь-яких видів та складів матеріалів, які входять до композиції (рис. 2), а також з урахуванням викладеної вище теорії запобігання катастроф в технології.

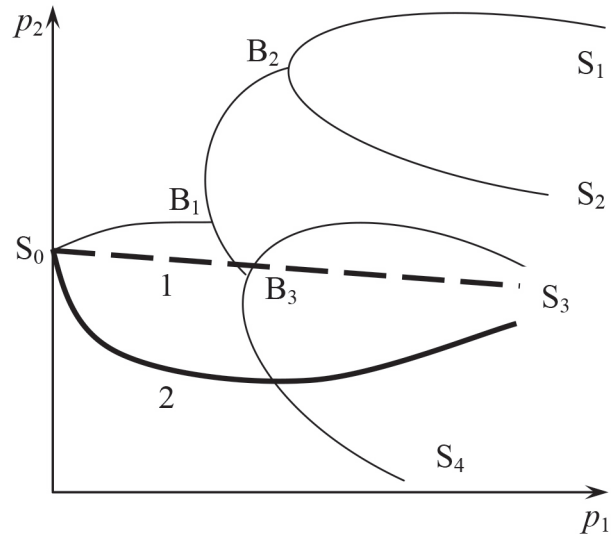


Рис. 1. Схема створення умов руху системи «гумометалеві вироби на етапі виготовлення» від початкового S_0 до бажаного стану S_3 , коли траєкторія «найшвидшого» руху (крива 1) на фазовому портреті проходить близько до точки біфуркації B_3

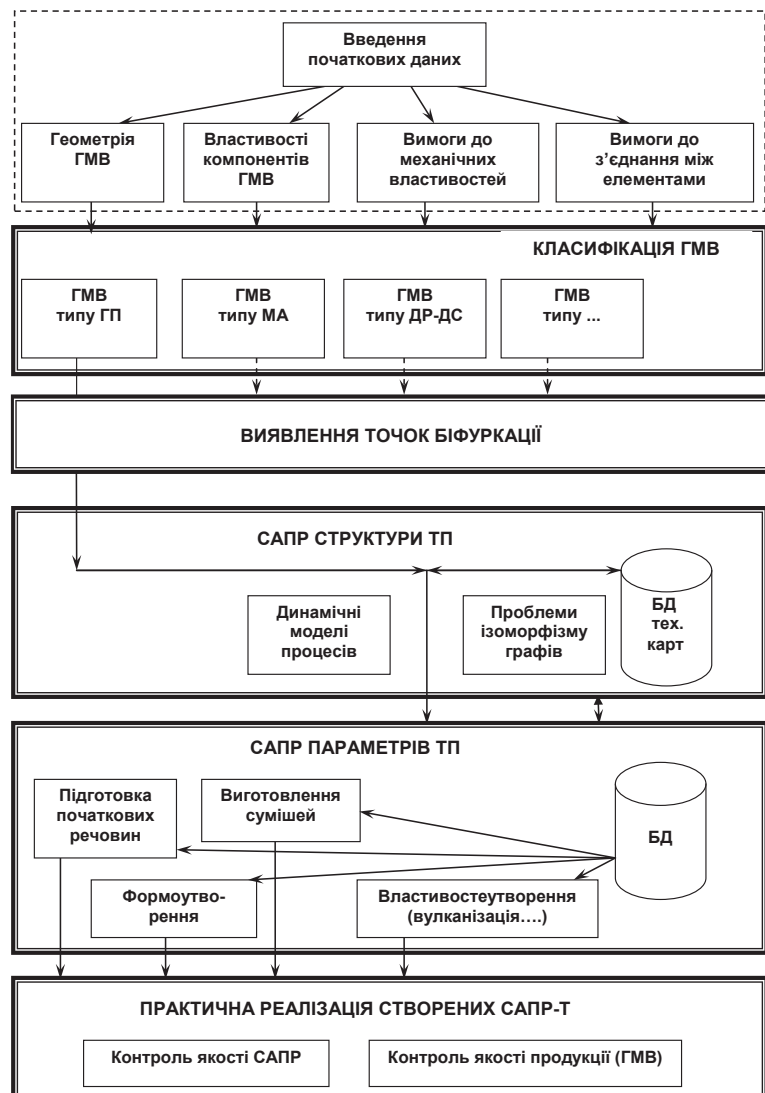


Рис. 2. Структура та головні підсистеми САПР-Т «RUMET»

САПР-Т «RUMET» складається з блоку класифікації гумовометалевих виробів по типах, блоку виявлення точок біфуркації та вибору технології виробництва, блоку підсистеми структурного проектування, блоку підсистеми параметричного проектування та блоку практичної реалізації із контролем якості роботи САПР та якості гумовометалевих виробів.

Природно, що етапи технології, а отже і побудова САПР-Т виготовлення гумовометалевих виробів, в першу чергу, суттєво залежить від типу такого виробу. Приклади типів гумовометалевих виробів, які були взяті за основу в роботі, наведені на **рис. 3, а-г**.

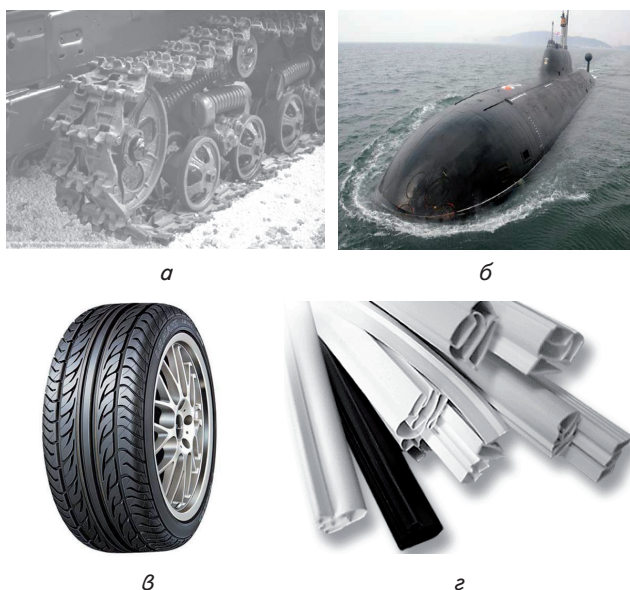


Рис. 3. Типи гумово-металевих виробів: *а, б* — гумове покриття металу: траки гусениць, корпуси підводних човнів; *в* — металеве армування гуми: автомобільні шини; *г* — дисперсна речовина (порошок магнітного заліза) — дисперсійне середовище (гума): ущільнювачі для гермокамер

До них, насамперед, відносяться: гумове покриття металу: траки гусениць, корпуси підводних човнів; металеве армування гуми: автомобільні шини; дисперсна речовина (порошок магнітного заліза) — дисперсійне середовище (гума): ущільнювачі для гермокамер та багато інших [16].

Для кожного типу властиві особисті проблеми при їхньому виготовленні: наприклад, гумове покриття повинне, у підсумку, мати потрібне зчеплення з металевою основою та задані механічні властивості, що у підсумку залежить від технології вулканізації гуми, параметри металевого армування гуми — від технології формуван-

ня, а властивості наповненої гуми від течії сирової гумової суміші каналами відповідного оснащення.

5. Практична реалізація САПР-Т технології виготовлення гумовометалевих амортизаторів

При практичній реалізації запропонованої САПР-Т «RUMET» було здійснено проектування технології виготовлення амортизаторів гумотехнічних АКСС (**рис. 4, а, б**) призначених для захисту від вібрації і ударних навантажень обладнання на судах, двигунів і коробок сільськогосподарських машин, танків, БТР, вентиляційних установок, установок кондиціонування та ін., призначені для роботи в повітряному середовищі в присутності парів масла і дизельного палива, а також при можливому попаданні масла, дизельного палива, прісної і морської води при температурі від -5°C до $+70^{\circ}\text{C}$, короткочасно (не більше 1 години та не частіше одного разу на місяць) від -10°C до $+100^{\circ}\text{C}$, а також при температурі до -40°C в неробочому стані в період добудови та холодного відстою суден під погашеним обладнанням [17].

Амортизатори призначені для роботи у вібраційному режимі з частотою до 50 Гц з амплітудами деформації гумового масиву в напрямку осей X, Y та Z до 0,2 мм. Амортизатори АКСС можуть застосовуватися для амортизації механізмів, приладів, агрегатів в інших галузях народного господарства.

Схема існуючого технологічного процесу виготовлення гумового амортизатора АКСС-10 М представлена на **рис. 5** [18].

В роботі побудовано фазовий портрет блоку «Лиття резинових сумішей» (див. **рис. 5**), в якому враховувалися такі параметри: температура суміші під час лиття $T_{\text{л}}$, $^{\circ}\text{C}$ ($50 \leq T_{\text{л}} \leq 60$); тиск на суміш під час лиття $P_{\text{л}}$, МПа ($11 \leq P_{\text{л}} \leq 13$); 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 ($T_{\text{л}} = 53,2^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{л}} = 12,7$ МПа, $\alpha = 0,67\%$), яка, як встановлено, виявилася відповідальною за низьку стабільність результату технологічного процесу і, як наслідок, за великий (більше 20) відсоток бракованих виробів.

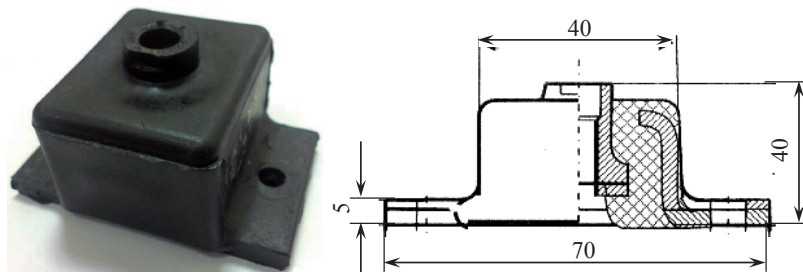


Рис. 4. Загальний вигляд та переріз гумовометалевого амортизатора АКСС-10 М

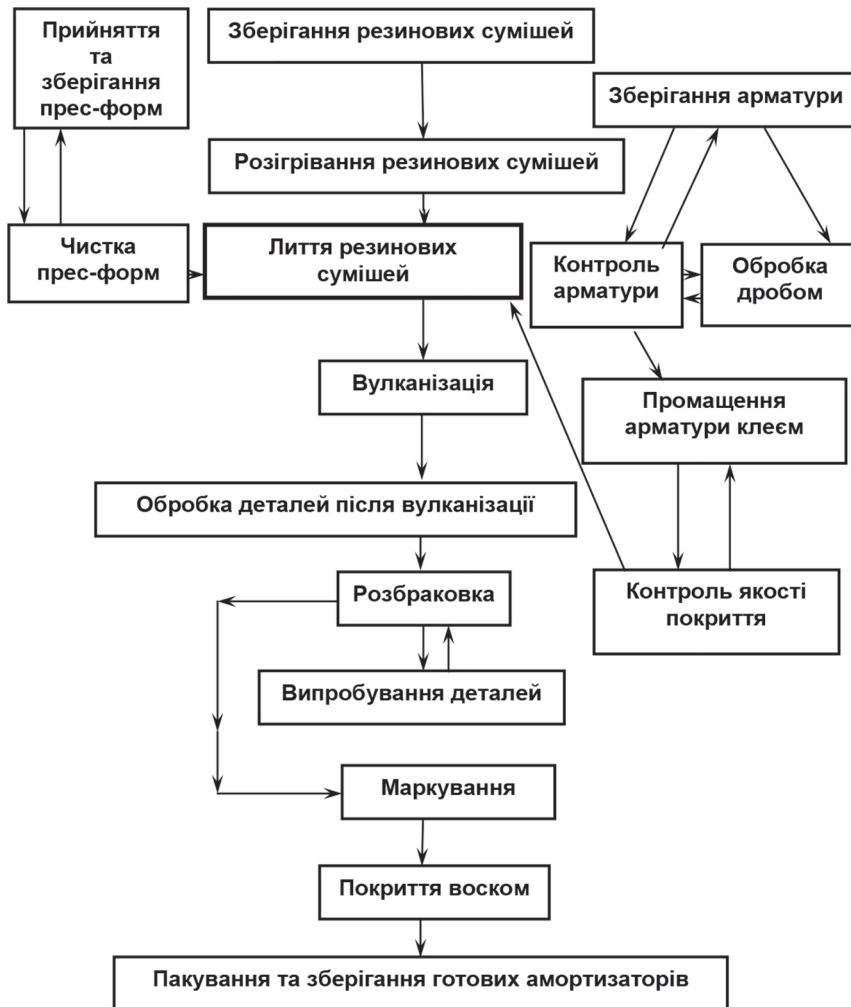


Рис. 5. Схема технологічного процесу виготовлення гумовометалевого амортизатора АКСС-10 М

За допомогою САПР-Т «RUMET» були розраховані зміни до параметрів блоку «Лиття резинових сумішей», а саме до температури лиття та швидкості заповнення прес-форми, що дозволило знизити відсоток бракованих виробів до 4,75.

6. Значення та перспективи запропонованого методу оптимізації в САПР-Т гумовометалевих виробів

Таким чином, можна стверджувати, що представлені матеріали дозволяють на етапі автоматизо-

ваного проектування технології виготовлення гумовометалевих виробів знаходити такі параметри останньої, які, виключно завдяки аналізу фазового портрету системи, обминати «небезпечні» з точки зору різких змін від малих відхилень стани цієї системи, а отже, стабілізувати як сам процес, так і результати його здійснення.

Цей концептуальний підхід є загально застосовним в багатьох різновидах САПР-Т, і його практичне використання для якнайширших композиційних об'єктів є запорукою майбутніх ефективних досліджень в цій галузі.

7. Висновки

Встановлено, що використання підходу до проектування технологічних процесів виготовлення гумовометалевих виробів як до динамічних систем дозволяє покращити показники стабільності таких систем за рахунок вчасного виявлення та запобігання перетину точок біфуркації фазовою траєкторією відповідної системи.

Для цього була запропонована САПР-Т «RUMET», головним призначенням якої є проектування структури та параметрів, захищених від катастроф технологічних процесів. САПР-Т «RUMET» побудована на базі методу виявлення точок біфуркації на фазовому портреті відповідного технологічного процесу та запобігання перетину фазової траєкторії з точками біфуркації.

САПР-Т «RUMET» випробувана при проектуванні та підтримці технологічного процесу виготовлення гумовометалевих амортизаторів на Одеському заводі гумових виробів із позитивним техніко-економічним ефектом.

Література

1. Армирование резин. Справочник химика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chem21.info/info/1483333/> – 12.06.2015.
2. Магнитная резина. Большая Энциклопедия Нефти Газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id393832p1.html/> – 02.07.2015.
3. Kenny, J. C. Carbonblack filled natural rubber. Structural investigations [Text] / J. C. Kenny, V. J. McBrierty, Z. Rigbi, D. C. Douglass // Macromolecules. – 1991. – Vol. 24, Issue 2. – P. 436–443. doi: 10.1021/ma00002a015
4. Лебедева, Е. Ю. Метод проектирования систем с существенно различными свойствами материалов элементов [Текст]: матер. XXII семинара / Е. Ю. лебедева, А. Н. Красножон, Ан. А. Становский // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – Одесса: ОНПУ, 2014. – С. 57–58.

5. Shaffer, G. D. An Archaeomagnetic Study of a Wattle and Daub Building Collapse [Text] / G. D. Shaffer // Journal of Field Archaeology. — 1993. — Vol. 20, Issue 1. — P. 59–75. doi: 10.2307/530354
6. Matthews, F. L., Rawlings, R. D. Composite Materials: Engineering and Science [Text] / F. L. Matthews, R. D. Rawlings. — Boca Raton, 1999. — 470 p.
7. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии [Текст] / М. Л. Кербер. — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.
8. Autar, K. K. Mechanics of Composite Materials. 2nd edition [Text] / K. K. Autar. — CRC Press, 2005. — 490 p.
9. Кондаков, А. И. САПР технологических процессов [Текст] / А. И. Кондаков. — М.: Издательский центр Академия, 2007. — 272 с.
10. Смирнов, В. В. САПР технологических процессов [Текст] / В. В. Смирнов. — Бийск: Алт. гос. техн. ун-т, 2007. — 93 с.
11. Castrigiano, D. P. L. A Catastrophe Theory, 2nd ed. [Text] / P. L. D. Castrigiano, S. Hayes. — Boulder: Westview, 2004. — 264 p.
12. Hirsch, W. Differential Equations, dynamical systems, and an introduction to chaos [Text] / M. W. Hirsch, S. Smale, R. Devaney. — Academic Press, 2003. — 425 p.
13. Баутин, Н. Н. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости [Текст] / Н. Н. Баутин, Е. А. Леонтович. — М.: Наука, 1990. — 488 с.
14. Анизотропная среда [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://femto.com.ua/articles/part_1/0139.html
15. 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.
16. ОАО «Научно-исследовательский институт резиновых покрытий и изделий» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://niirpi.com/amort.html> — 16.11.2014.
17. Тонконогий, В. М. Испытание резинометаллических амортизаторов металлорежущих станков на деформацию [Текст] / В. М. Тонконогий, Е. Ю. Лебедева, М. А. Духанина, Абу Шена Осам // Високи технології в машинобудуванні. — 2015. — Вип. 1(25). — С. 197–203.
18. Становский, А. Л. Технологический процесс изготовления резино-металлических амортизаторов [Текст]: матер. XXIII семинара / А. Л. Становский, Е. Ю. Лебедева, Д. А. Монова // Моделирование в прикладных научных исследованиях, 2015. — С. 22–24.

Abstract. The study deals with the problems of a computer-aided design technology for the production of technical composite articles consisting of anisotropic materials with significantly different mechanical properties. The study is aimed at reducing the pre-production stage and increasing the quality of industrial products through the development and implementation of an improved method of optimizing CAD-T for rubber and metal products. The method is based on identifying and avoiding possible bifurcation points at the stage of computer-aided design of shock absorption equipment, which is a composite system of elements with significantly different properties.

We have analyzed the existing problems and methods of computer-aided design of rubber and metal composite products whose components have different properties. The devised CAD-T that is based on the phase portraits of the studied processes optimizes the technology parameters of the production of shock absorption equipment. Our computer-aided laboratory tests of the findings and production tests of the CAD-T gave positive technical effects.

The devised CAD-T has laid the basis for technically and economically beneficial pre-production of rubber and metal shock absorbers at the Odessa Rubber Factory.

Keywords: CAD-T process, anisotropic materials, composite products, rubber and metal shock absorbers.