

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ХУССАІН ВАЛІД ШЕР

УДК 004.942:004.021

**ДИСЕРТАЦІЯ**

«АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В АНТИКРИЗОВИХ  
ПОСТПРОЕКТНИХ САПР»

05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



Хуссаїн Валід Шер

Науковий керівник: ШВЕЦЬ ПАВЛО СТЕПАНОВИЧ,  
кандидат технічних наук, доцент

Одеса – 2017

## АНОТАЦІЯ

Хуссаїн Валід Шер. Аналіз об'єктів з метою підвищення ефективності автоматизованого проектування в антикризових постпроектних САПР. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». – Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2017.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності експлуатації пошкоджуваних ремонтпридатних складних технічних об'єктів, які працюють в умовах відриву від ресурсів їхнього базового проектування та виробництва, шляхом розробки та впровадження антикризових постпроектних САПР відновлення пошкоджених елементів цих об'єктів, яка відрізняється розширеними можливостями і високою швидкістю кризового проектування та підвищеним напрацюванням на відмову відновлених елементів.

Проаналізовані проблеми та методи підвищення ефективності автоматизованого проектування в антикризових постпроектних САПР. Запропоновано структуру проекту відновлення та головні особливості постпроектних САПР. Розроблені методи та моделі для антикризових постпроектних САПР, зокрема при автоматизованому проектуванні корпусних, опорних, а також плоских та багат шарових відновлюваних елементів.

Розроблена комплексна САПР «CADAC», що базується на запропонованих методах і моделях. Здійснено виробниче випробування комплексної САПР «CADAC» під час симуляції відновлення продукції гумотехнічного підприємства з позитивним технічним ефектом.

Ключові слова: пошкоджені елементи, відновлення, відрив від ресурсів, постпроектні САПР, гумотехнічні елементи.

## ABSTRACT

Hussain Walid Sher. The objects analysis in order to efficiency of automated design increase in anti-crisis post-project CAD. Qualification scientific work on the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences (PhD) in the specialty 05.13.12 "The design work automation system". – Odessa national Polytechnic University, Ministry of education and science of Ukraine, Odessa, 2017.

The dissertation is devoted to increase of complex technical objects damaged repairable operation efficiency, which operate in the conditions of separation from the resources of their basic design and production, by developing and introducing anti-crisis post-project CAD repair of these objects damaged elements, which is characterized by expanded capabilities and high speed of crisis designing and increased recovery time for refurbished items.

The Problems and methods of increasing the efficiency of automated design in anti-crisis post-project CAD systems are analyzed. The structure of the reconstruction project and the main features of post-project CAD are proposed. Developed methods and models for anti-crisis post-project CAD, in particular, in the automated design of case, support and flat and multilayer restorer elements.

Comprehensive CAD "CADAC", based on the proposed methods and models, was developed, A production test of a complex CAD "CADAC" was carried out during the production of a rubber engineering company restoration simulation with a positive technical effect.

Key words: damaged elements, restoration, separation from resources, postproject CAD, rubber elements.

## Список публікацій здобувача

1. О. С. Савельєва, К. І. Березовська, И. Хеблов, Х. Валід Шер, І. М. Гур'єв та С. В. Кошулян, «Віртуальна передислокація дискретного простору-часу в задачах планування проектної логістики», *Вісник НТУ «ХПІ»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 49 (1221), с. 56 – 62, 2016.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat, ResearchBib, Scientific Indexing Services, General Impact Factor, OAJI, CiteFactor.*

2. І. В. Прокопович, М. О. Духаніна, І. І. Становська, Х. Валід Шер, В. В. Добровольська та О. В. Торопенко, «Метрологічне забезпечення контролю щільності гетерогенних матеріалів», *Вісник НТУ «ХПІ»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 50 (1222). с. 22 – 28, 2016.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat, ResearchBib, Scientific Indexing Services, General Impact Factor, OAJI, CiteFactor.*

3. О. Л. Становський, І. І. Становська, Д. А. Монова, Х. Валід Шер, І. Хеблов та О. В. Торопенко, «Управління ризиками-сюрпризами в проектах реінжинірингу будівельних споруд», *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, № 7 (1229), с. 103 – 108, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз WorldCat, Google Scholar, Index Copernicus і включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*

4. O. Stanovskyi, P. Shvets, V. Bondarenko, I. Naumenko, Valid Hussain and V. Dobrovolska, «The systems "fuel electrical generator – electrical motor" optimization in CAD», *Международный научный журнал «Технологический аудит и резервы производства»*, № 2/1 (34), с. 46 – 50, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

5. Pavlo Shvets, Alla Toropenko, Ievgene Naumenko and Hussain Walid Sher, «Mathematical modeling in CAD elements vehicles food and chemical industry», *Ukrainian Journal of Food Science*, vol. 4, is. 2, с. 339 – 349, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, Index Copernicus, Directory of Research Journal Indexing (DRJI), Universal Impact Factor, Global Impact Factor, EBSCO, ULRICHSWEB, Cabi Full Text, ERIH PLUS, Directory of Open Access Scholarly Resources, Directory of Open Access Journals, CAS Source Index (CASSI).*

6. Х. Валід Шер, О. Ю. Лебедєва, Т. П. Становська, А. В. Торопенко та П. С. Швець, «Моделювання та оптимізація поліматеріальних об'єктів в САПР за допомогою метода віртуальної моделі», *Вісник НТУ «ХПИ»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 16 (1238), с. 61 – 67, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat, ResearchBib, Scientific Indexing Services, General Impact Factor, OAJ, CiteFactor.*

7. А. О. Становський, А. В. Торопенко, Г. В. Налева, С. В. Кошулян, Х. Валід та Т. М. Панова, «Віртуальні математичні моделі в інформаційному просторі», *Міжнародний науковий журнал «ScienceRise»*, № 5/2 (22), с. 70 – 76, 2016.

*Видання, яке входить до міжнародних наукометричних баз eLIBRARY, Index Copernicus, РИНЦ, WorldCat, Directory of Open Access Journals (DOAJ), EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory.*

8. О. К. Гаврилук, Абу Шена Осама Мохаммед Али, Хеблов Исмаил Абдусалам Ахмед и Хуссаин Валид Шер, «Розробка та дослідження моделей предметних областей для інформаційних систем», на *XX семінаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2012, с. 26 – 28.

9. А. Л. Становский, Абу Шена Осама Мохаммед Али, Хеблов Исмаил Абдусалам Ахмед и Хуссаин Валид Шер, «Оптимизация формы деталей в САПР», на *XX семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2012, с. 58 – 59.

10. С. А. Нестеренко, Ан. О. Становський, І. О. Дадерко, О. О. Оборотова та Хуссаїн Валид, «Віртуальні математичні моделі структури комп'ютерних мереж спеціального призначення», на *17-й міжнародній научно-практичеській конференції «Современные информационные и электронные технологии»*, Одеса, 2016, с. 26 – 27.

11. С. А. Нестеренко, Ан. О. Становський, І. О. Дадерко, О. О. Оборотова та Хуссаїн Валид, «Моделювання структури комп'ютерних мереж відповідального призначення», на *VII Всеукраїнськїй науково-практичньої конференції «Інформатика та системні науки»*, Полтава, 2016, с. 210 – 212.

12. О. Stanovskyi, P. Shvets, V. Bondarenko, O. Toropenko, Abu Shena Osama and Walid Hussain, «Mathematical modeling and optimization of complex systems on a global connection parameters in cad», on *IX Annual scientific conference «Information technology and automation 2016»*, Odessa, 2016, pp. 8 – 9.

13. О. Stanovskyi, P. Shvets, O. Toropenko, Abu Shena Osama and Walid Hussain, «The relationship as objective function of technical systems optimization», на *III Міжнародній науково-технічній internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами»*, Київ, 2016, с. 285 – 286.

14. Валид Шер Хусаїн, «Applications of communicative control system in 21<sup>st</sup> century», на *VI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційна освіта та професійно-комунікативні технології XXI століття»*, Одеса, 2013, с. 184 – 186.

15. П. С. Швець, О. В. Торопенко, В. Ш. Хуссаїн та О. М. А. Абу Шена, «Математичне моделювання та оптимізація в САПР поліматеріальних систем методом віртуальної моделі», на *V Українськїй-німецькїй конференції «Інформатика. Культура. Техніка»*, Одеса, 2017, с. 45 – 47.

16. П. С. Швець, О. В. Торопенко, В. Ш. Хуссаїн та О. М. А. Абу Шена, «Автоматизоване проектування поліматеріальних систем», на *XXV семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одеса, 2017, 22 – 28.

17. П. С. Швець, О. В. Торопенко, В. Ш. Хуссаїн и О. М. А. Абу Шена, «Віртуальні моделі в проектуванні поліматеріальних систем», на *XXV семінаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одеса, 2017, с.32 – 33.

18. О. Л. Становський, І. М. Гур'єв та Хуссаїн Валід Шер, «Компетентне управління ризиками в проектах реінжинірингу будівельних споруд», на *XIV-й Международной научно-практической конференции «Управление проектами в развитии общества»*, Київ, с. 29 –33.

19. П. С. Швець, О. В. Торопенко та В. Ш. Хуссаїн, «Математичне моделювання та оптимізація в САПР методом віртуальної моделі», на *VI Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій»*, Херсон, 2017, с. 202 – 205.

## ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
АНОТАЦІЯ .....	2
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	10
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В АНТИКРИЗОВИХ ПОСТПРОЕКТНИХ САПР .....	19
1.1 Відмови елементів технічного обладнання під час експлуатації та пов'язані із цим кризові ситуації .....	19
1.2 Проблеми відновлення технічного обладнання .....	29
1.3 Зміна конструкції та властивостей елементів при відновленні ....	39
1.4 Висновки та постановка задач дослідження .....	46
РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРА ПРОЕКТУ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ГОЛОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОСТПРОЕКТНИХ САПР .....	49
2.1 Життєвий цикл відновлюваного об'єкта .....	49
2.2 Загальна структура процесів відновлення (реінжинірингу) .....	54
2.3 Формування технічного завдання для САПР відновлення (реінжинірингу) .....	57
2.4 Особливості САПР нових елементів, породжені спадкоємністю властивостей пошкодженого елемента .....	62
2.5 Загальна схема САПР відновлення (реінжинірингу) .....	69
2.5 Висновки .....	70



РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АНТИКРИЗОВИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ САПР .....	73
3.1 Автоматизоване проектування корпусних відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів .....	74
3.2 Автоматизоване проектування опорних відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів .....	81
3.3 Автоматизоване проектування плоских та багат шарових відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів .....	91
3.4 Автоматизоване проектування автономних відновлюваних елементів пошкоджуваних мережевих об'єктів .....	103
3.5 Висновки .....	104
РОЗДІЛ 4. СТРУКТУРА ТА ПРАКТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ АНТИКРИЗОВОЇ ПОСТПРОЕКТНОЇ САПР «САДАК» .....	107
4.1 Структура антикризової постпроектної САПР «САДАК» .....	107
4.2 Розв'язання проблеми вибору та постачання ресурсів для відновлення пошкоджених елементів гумометалевих амортизаторів САПР «САДАК».....	109
4.3 Практичні випробування САПР «САДАК» .....	118
4.4 Висновки .....	122
ВИСНОВКИ .....	125
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	128
ДОДАТКИ .....	148

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CALS (*Continuous Acquisition and Life-Cycle Support*) – Інформаційна підтримка життєвого циклу виробів;

БКМ – бездротові комп'ютерні мережі;

ЄСКД – Єдина система конструкторської документації;

ЄСТД – Єдина система технологічної документації;

ЄСТПВ – Єдина система технологічної підготовки виробництва;

ЄСККІ – Єдина система класифікації і кодування техніко-економічної інформації;

ЗІП – запасний інструмент та пристосування;

ПБКМ – пошкодзовані бездротові комп'ютерні мережі;

СТОІР – система технічного обслуговування і ремонту;

ТОРІМ – технічне обслуговування, ремонт і модернізація;

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Життєвий цикл складних об'єктів сучасного виробництва природно розподіляється на етапи формулювання технічного завдання (ТЗ), проектування, виробництва та експлуатації аж до списання. Але це тільки ідеалізована схема, – в реальному житті жоден з цих етапів не припиняється після його офіційного завершення.

Дійсно, будь-які недоліки ТЗ, проектування та виготовлення, а також неминучі пошкодження окремих елементів призводять до кризових ситуацій під час експлуатації об'єкта в цілому.

Негативний вплив таких ситуацій багаторазово підсилюється, якщо об'єкт працює *в умовах відриву від ресурсів* його базового (основного) проектування та виробництва. Такий відрив може бути як у просторі (умовно, дуже далеко, наприклад, якщо об'єкт – транспортна або розповсюджена система), так і у часі (умовно, дуже давно, наприклад, якщо об'єкт експлуатується на протязі періоду, коли підприємство-виробник вже не існує).

В цих умовах технічній компенсації пошкоджень не допоможуть ані запасні елементи, які входять до ЗІП (наприклад, коли вони давно закінчилися), ані покупні елементи (наприклад, коли вони давно не виробляються або їхнє придбання неможливе), і приходиться сподіватися тільки на *відновлення* пошкоджених елементів *власними силами* в тому місці і в той час, коли і де об'єкт застигла криза, а також, в умовах тотального дефіциту різноманітних ресурсів.

Таке відновлення, коли не вистачає всього: від технічного, методичного та програмного забезпечення спеціалізованих САПР, і до необхідних матеріалів та верстатів, за допомогою яких проект компенсації пошкоджень можна було б втілити у життя, може бути тільки *реінжинірингом*, – процесом, який не можна здійснити без нового проектування елементів конструкції та технологій, – своєрідного антикризисного постпроекування.

Для останнього потрібно все «починати с початку», – проаналізувати стан пошкодження, сформулювати нове ТЗ, виготовити елемент, який замінить пошкоджений та зробити цю заміну. Адже пошкодження неможливо передбачити наперед, з-за чого невідомо, що прийдеться відновлювати, – корпусні вузли: ємності, баки, фрагменти опор ЛЕП, багат шарові теплоізолюючі стінові панелі або гумометалеві амортизатори, механічно незв’язані мережеві системи, тощо. Для їхніх розрахунків необхідно заново розробити «свої» окремі моделі та методи, а для оптимізації в САПР – визначитися із її індивідуальною метою.

Ще однією проблемою такого проектування є час, відпущений на нього умовами експлуатації або, навіть, виживання об’єкта. Для розв’язання цієї проблеми необхідно мати САПР, побудовану на методах та моделях, призначених саме для пришвидшення проектування в невибагливих умовах.

Тому створення та впровадження ефективної системи підтримки прийняття оптимальних проектних рішень в процесі відновлення складних пошкоджуваних об’єктів під час їхнього виготовлення та експлуатації, робить цей шлях до якісного *постпроектного проектування* вельми **актуальним**.

#### **Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертація виконувалась відповідно до завдань НДР кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування ОНПУ:

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

– *держбюджетної* № 706-24 «Автоматизоване проектування надійності технічних об’єктів з навантаженим резервуванням» (номер держреєстрації 0115U000419).

**Метою роботи** є підвищення ефективності експлуатації пошкоджуваних ремонтпридатних складних технічних об’єктів, які працюють в умовах відриву від ресурсів їхнього базового проектування та виробництва, шляхом розробки та впровадження антикризових *постпроектних САПР* відновлення

пошкоджених елементів цих об'єктів, яка відрізняється розширеними можливостями і високою швидкістю кризового проектування та підвищеним напрацюванням на відмову знов проєктованих та відновлених елементів.

Для досягнення цієї мети в роботі **розв'язані наступні задачі:**

- проаналізовано проблеми та методи підвищення ефективності автоматизованого проектування в антикризових постпроектних САПР;
- запропоновано структуру проекту відновлення та головні особливості постпроектних САПР;
- розроблені методи та моделі для антикризових постпроектних САПР, зокрема при автоматизованого проектування корпусних, опорних, а також плоских та багат шарових відновлюваних елементів;
- розроблена комплексна САПР «CADAC», що базується на запропонованих методах і моделях і забезпечує постановку технічних завдань та підвищення ефективності процесів проектування для постпроектних САПР різного призначення;
- здійснено виробниче випробування комплексної САПР «CADAC» під час симуляції відновлення продукції машинобудівного гомотехнічного підприємства з позитивним технічним ефектом.

**Об'єктом дослідження** є процеси автоматизованого проектування відновлювання (реінжинірингу) пошкоджених елементів ремонтпридатних складних об'єктів в умовах відриву від ресурсів їхнього базового проектування та виробництва.

**Предметом дослідження** є моделі та методи, які використовуються в постановці технічного завдання, а також підтримці прийняття проектних рішень під час виготовлення, налагоджування та експлуатації відновлюваних елементів складних об'єктів.

**Методи дослідження.** В основу окремих підсистем постпроектної САПР покладено теорію аналізу технічних систем, методи формування ТЗ, теорію проектування слабкозв'язаних систем, теорію віртуальних моделей, теорію теплопровідності, теорію опору матеріалів та теорію електротехніки.

Для підтвердження висунутих наукових положень застосовували комп'ютерний експеримент – симуляцію пошкодження амортизуючих силових судових елементів в умовах віддаленого плавання та їхнє відновлення (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».

Для створення програмного забезпечення кризових постпроектних САПР використовували мову програмування *Java*.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в створенні нових та в удосконаленні існуючих методів та моделей для підвищення ефективності постпроектних відновлюваних антикризових САПР:

– вперше встановлено, що автоматизоване проектування відновлюваних елементів та технологій для підтримки працездатності складних об'єктів на постпроектних етапах життєвого циклу (виготовлення, налаштування, експлуатація, ремонт, тощо) відрізняється нечіткою спадкоємністю параметрів нового елемента, збільшенням розмірності нового технічного завдання на проект та більш жорсткими обмеженнями на процес проектування, що дозволило запропонувати нові моделі і метод процесів відновлення пошкоджених об'єктів, які експлуатуються в умовах відриву від ресурсів їхнього базового проектування та виробництва;

– вперше запропоновано модель процесу відновлення пошкоджуваних об'єктів, які експлуатуються в умовах відриву від ресурсів їхнього базового проектування та виробництва, яка враховує ієрархічність пошкоджень елементів (кризових ситуацій в об'єктах), що дозволило побудувати відповідну структуру процесу проектування для відновлення (реінжинірингу) пошкоджених об'єктів;

– отримала подальший розвиток модель процесу проектування реінжинірингу пошкоджуваних об'єктів, який полягає в тому, що нова модель,

на відміну від існуючих, містить в собі етап постановки технічного завдання на проектування, що дозволило ставити такі завдання в кризових умовах та здійснювати відновлення пошкоджуваних об'єктів під час їхньої експлуатації;

– вперше запропоновано модель для автоматизованого проектування процесу відновлення елементів пошкоджуваних об'єктів із змінною областю проектування: при несумірних значеннях параметрів (маса, розмір, потужність, тощо) пошкодженого об'єкта та змінюваного елемента – це безпосередньо елемент та частина об'єкта, яка відповідає за з'єднання з елементом; при сумірних значеннях параметрів пошкодженого об'єкта та змінюваного елемента – це увесь пошкоджений об'єкт та змінюваний елемент, що дозволило підвищити ефективність антикризового проектування;

– отримав подальший розвиток метод віртуальної моделі розповсюдження зовнішньої дії (механічної, теплової, тощо), крізь багат шарові відновлювальні елементи, який полягає в тому, що під час розрахунків усі шари тимчасово представляються виконаними з матеріалів із однаковими властивостями (або просто з однакових матеріалів) із визначенням товщини шарів та наступним перерахунком їх до шарів із різних матеріалів, що дозволило значно підвищити швидкість автоматизованого проектування реінжинірингу об'єктів із заміною багат шарових елементів, наприклад, гумометалевих амортизаторів.

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

Розроблено постпроектну САПР конструкцій та процесів виготовлення гумометалевих виробів «CADAC», яка базується на запропонованих методах та віртуальних моделях.

В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування системи «CADAC» (*CAD anti crisis*). В якості об'єкта дослідження були обрані гумотехнічні амортизатори типу АДП-950. Легенда, закладена в прискорених стендових випробуваннях, виглядала наступним чином. Гумотехнічні амортизатори в кількості 100 штук виготовлені в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів».

При цьому виявлені недоліки основного проекту, який був модернізований за допомогою постпроектного САПР «CADAC». Далі, згідно з легендою, партія амортизаторів була встановлена на морському судні, на якому пропрацювала протягом 5 років.

За умовами роботи, при виході з ладу амортизатора в результаті зносу і вичерпання ЗІП, плавсклад судна не мав можливості придбати на підприємстві-виробнику оригінальні амортизатори і змушений був з урахуванням усіх умов експлуатації поставити нове технічне завдання та спроектувати за допомогою постпроектного САПР «CADAC» і виготовити нові амортизатори.

В результаті комп'ютерно-стендових випробувань встановлено, що застосування системи «CADAC» дозволило досягти наступні технічні результати.

Щодо технології автоматизованого проектування:

– швидкість «локального» проектування зросла, в середньому, в 1,22 рази;

– кількість «кризових» САПР на етапах виготовлення та налагодження знизилася на 18 %.

Щодо якості об'єкта проектування:

– напрацювання на відмову знов спроектованих амортизаторів зросло, в середньому, на 11,1 %.

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.** Особистий внесок здобувача полягає в розробці віртуальних моделей середовища, а також параметрів та структури об'єкта [1, 7, 10, 11, 19], методів контролю стану складних об'єктів під час експлуатації [2, 3, 14, 18], методів оптимізації зв'язаних об'єктів в САПР [4, 12, 13], моделей для САПР складних систем [5, 8], методів та моделей для оптимізації композиційних об'єктів в САПР [6, 9, 15, 16, 17]. Здобувач розробив алгоритми та комп'ютерні програми для практичної реалізації запропонованих методів, брав участь у випробуваннях результатів роботи і оцінці їхньої ефективності.

**Апробація результатів роботи.** Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на: XX та XXV семінарах «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях» (Одеса, 2012, 2017), XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» (Одеса, 2016), VII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформатика та системні науки» (Полтава, 2016), IX Annual scientific conference “Information technology and automation 2016” (Odessa, 2016), III Міжнародній науково-технічній internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Київ, 2016), VI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційна освіта та професійно-комунікативні технології XXI століття» (Одеса, 2013), V Українсько-німецькій конференції «Інформатика. Культура. Техніка» (Одеса, 2017), XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами в розвитку суспільства» (Київ, 2017), VI Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій» (Херсон, 2017), а також на розширеному засіданні наукового семінару кафедри «Нафтогазове та хімічне машинобудування» ОНПУ (Одеса, 2017).

**Публікації.** Результати дисертації викладені в 19 наукових публікаціях, серед них: 6 – в журналах із спеціального переліку МОН України, які входять до міжнародних наукометричних баз *BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, Worldcat, DOAJ, EBSCO, Freefullpdf*, 1 – в іншому журналі, який входить до міжнародних наукометричних баз *eLIBRARY, Index Copernicus, РИИЦ, WorldCat, Directory of Open Access Journals (DOAJ), EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory*, 12 – в збірниках матеріалів конференцій і семінарів.

## РОЗДІЛ 1

### ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В АНТИКРИЗОВИХ ПОСТПРОЕКТНИХ САПР

1.1 Відмови елементів технічного обладнання під час експлуатації та пов'язані із цим кризові ситуації

Криза експлуатації будь-якого об'єкта виникає (при збереженні зовнішніх умов експлуатації) при відмовах його внутрішніх елементів. Першою реакцією на відмову таких об'єктів (якщо тільки вони є ремонтпридатними) є спроба спланувати та здійснити його відновлення. Складність останнього цілком залежить не тільки від серйозності відмови, але й, у головній мірі, – від можливостей персоналу, який цей об'єкт експлуатує.

Адже об'єкт може бути таким що «давно покинув» організацію, де він був спроектований та підприємство, де він був виготовлений та укомплектований (у кращому випадку) невеликим ЗІП.

Як правило, відмова – це подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатності стану об'єкта, що настає при досягненні граничного стану який полягає в виходом вектору параметрів на границю області працездатних станів [20, 21].

Характеристики відмов.

1. За видом об'єкта, елементи якого відмовили, відмови можуть відноситися до:

- відмови в об'єктах будівництва [22 – 25];
- відмови в об'єктах транспорту [26 – 29];
- відмови в об'єктах легкої промисловості [30, 31];
- відмови в об'єктах зв'язку [32, 33];
- відмови в комп'ютерних системах [34].

2. За типом відмови поділяються на:

- відмови функціонування (виконання основних функцій об'єктом припиняється, наприклад, поломка зубів шестерні);
- відмови параметричні (певні параметри об'єкту змінюються в недопустимих межах, наприклад, втрата точності верстату).

3. За своєю природою відмови можуть бути:

- випадкові, обумовлені непередбаченими перевантаженнями, дефектами матеріалу, помилками персоналу або збоями системи керування тощо;
- систематичні, обумовлені закономірними і неминучими явищами, що викликають поступове накопичення ушкоджень: втома матеріалу, зношування, старіння, корозія тощо.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу  $p(t)$  за проміжок часу  $t$  можна розрахувати на основі показників надійності елементів, що складають даний виріб, або на основі статистичної обробки результатів випробувань великої кількості виробів даного типу. В цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи можна визначити за формулою:

$$p(t) \approx \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.1)$$

де  $N_0$  – кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу  $t$ ;

$N(t)$  – кількість працездатних за час випробування виробів;

$n(t)$  – кількість виробів, що відмовили за час  $t$ .

Помилка розрахунку за формулою (1.1) тим менша, чим більша кількість виробів, що випробовуються.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу  $p(t)$  за проміжок часу  $t$  пов'язана з імовірністю відмов  $q(t)$  за той же проміжок часу співвідношенням:

$$p(t) + q(t) = 1. \quad (1.2)$$

Ймовірність того, що за час  $t$  виріб відмовить, за результатами статистичних випробувань, можна визначити за формулою:

$$q(t) \approx \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.3)$$

де  $n(t)$  – кількість виробів, що відмовили за час  $t$ ;

$N_0$  – кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу  $t$ .

В якості показника надійності невідновлюваних виробів використовується щільність розподілу наробітку до відмови  $f(t)$ .

Похідна ймовірності відмови  $q(t)$  за часом  $t$  характеризує щільність розподілу наробітку до відмови (часу безвідмовної роботи виробу), або швидкість «падіння» безвідмовності виробу:

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dp(t)}{d(t)}. \quad (1.4)$$

З урахуванням (1.3) маємо:

$$f(t) = \frac{dn(t)}{dt \cdot N_0} \approx \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N_0}. \quad (1.5)$$

Вираз (1.5) застосовується в тому випадку, коли всі вироби однотипні і випробовуються на відмову в однаковому режимі та в однакових умовах навантаження.

З іншого боку, найбільш розповсюдженим в практичній діяльності кількісним показником надійності виробів є інтенсивність відмов, яка представляє собою відношення щільності розподілу наробітку до відмови до ймовірності безвідмовної роботи виробу, взяті для одного і того ж моменту часу [35 – 37]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \quad (1.6)$$

Підставивши до (1.6) вирази (1.1) і (1.5), маємо:

$$\lambda(t) = \frac{dn(t)}{dt \cdot N(t)}. \quad (1.7)$$

Інтенсивність відмов, отримана за результатами статистичних випробувань, визначається як відношення кількості виробів, що відмовили на протязі розглянутого проміжку часу, до добутку кількості виробів, які працездатні до початку цього проміжку, і його тривалості:

$$\lambda(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t)}{(N_0 - n(t)) \cdot \Delta t}, \quad (1.8)$$

де  $\Delta t$  – розглянутий проміжок часу;

$\Delta n(t)$  – кількість виробів, що відмовили за проміжок часу  $\Delta t$ ;

$N(t)$  – кількість виробів, що залишилися справними до розглянутого проміжку часу;

$n(t)$  – кількість виробів, що відмовили з початку випробувань до розглянутого проміжку часу  $\Delta t$ ;

$N_0$  – кількість виробів, що випробовувалися.

Залежність інтенсивності відмов від часу, що представлена на рис. 1.1, має три періоди.

I період – період приробітку ( $0 - t_1$ ). Цей період характеризується високою інтенсивністю відмов, що обумовлено виходом з ладу виробів, що мають приховані дефекти, які не вдалося виявити при їх виготовленні. Тривалість періоду приробітку складає частку відсотка часу нормальної роботи виробу.

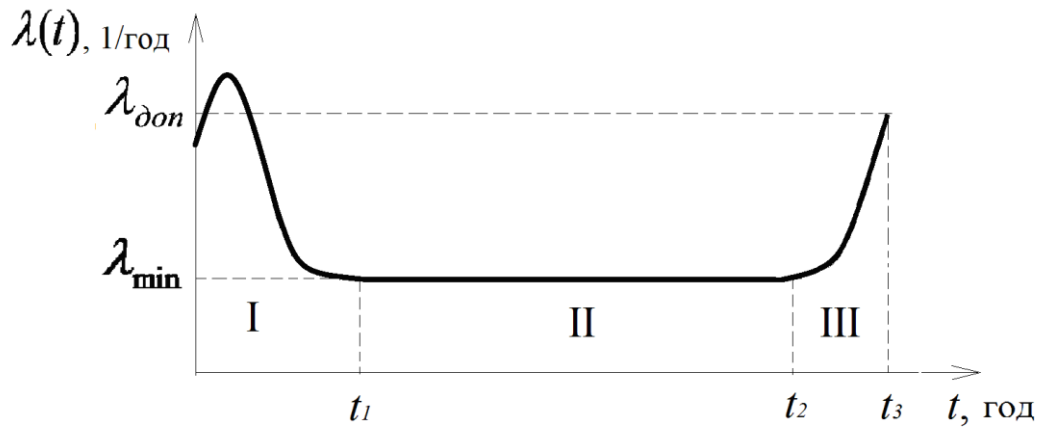


Рисунок 1.1 – Залежність інтенсивності відмов від часу

Період приробітку вважається завершеним, коли інтенсивність відмов наближується до  $\lambda_{\min}$ . Приробіточні відмови можуть бути наслідком конструктивних, технологічних та експлуатаційних помилок.

II період – період нормальної роботи ( $t_1 - t_2$ ). Цей період характеризується мінімальною і постійною інтенсивністю відмов. Величина  $\lambda_{\min}$  тим менша, а інтервал тим більший, чим досконаліша конструкція, вища якість її виготовлення і більш ретельно дотримані режими експлуатації. Цей період складає десятки тисяч годин.

III період – період зносу і старіння ( $t_2 - t_3$ ). Цей період характеризується різким зростанням інтенсивності відмов через появу зносу і старіння матеріалів.

Завершується період III, а разом з тим припиняється експлуатація виробу, коли інтенсивність відмов наближається до максимально допустимого значення  $\lambda_{\text{дон}}$ .

Останнім часом широкого поширення набувають проекти створення розповсюджених та віддалених об'єктів, які відрізняються розташуванням на значній території, що ускладнює, в першу чергу, проектну логістику, як планову, проектувану при початковому плануванні проекту, так і надзвичайну, викликану небажаними ризиковими подіями на об'єкті.

Проектування процесів та обладнання для створення великих

розповсюджених об'єктів, як і будь-яким інших стратегічних процесів, підлягає ретельному структурному плануванню, яке забезпечує ефективне виконання всіх передбачених проектом робіт в задані строки.

Таке планування передбачає і очікування різноманітних подій, які в експлуатації проєктованих об'єктів називаються ризиковими. Проєкт в цілому передбачає деякі дії з компенсації «планових» ризикових подій, для чого створює запаси коштів, матеріалів, часу, виходячи з ймовірності настання кожної такої події та прогнозних витрат на таку компенсацію.

На жаль, експлуатація, як правило, розвивається не за первинним планом, реагуючи таким чином на безліч ризикових подій, що виникають під впливом турбулентного навколишнього середовища [38]. Дійсно, обидва показники планового ризику (ймовірність настання, витрати на компенсацію) носять стохастичний характер, крім того, абсолютно стохастичні незаплановані ризики, найбільш небезпечні саме своєю несподіваністю. При цьому живучість об'єкта (ймовірність його працездатності у визначені терміни, при заданих ресурсах і заданій якості) знижується, аж до повної зупинки його роботи (див. рис. 1.1).

У зв'язку з цим менеджмент експлуатації повинен реагувати на будь-які ризикові події швидко, найчастіше, в форс-мажорних обставинах, які не залишають достатньо часу для ретельного аналізу обстановки і прийняття ефективних рішень щодо усунення наслідків прогнозованих і, особливо, несподіваних ризикових подій.

Найважливішою складовою такого реагування є вірогідний перерозподіл ресурсів об'єкта (фінансів, енергії, матеріалів, виконавців, інформації) між його елементами – відновлювальна логістика [39], для передбачених ризикових подій – планова, а для несподіваних – надзвичайна.

З цього випливає, що практичне реагування на ризики планових та надзвичайних етапів проєктів містить елементи, неможливі без логістики: закупівля, доставка та ін. передбачені відповідними стандартами [40]. На жаль, ці стандарти не дають інформацію про те, як вибудувати таку логістику, щоб



вона при мінімальних допустимих витратах встигла відновити об'єкт від наслідків ризикових подій.

Як відомо, логістика взагалі – це наука про управління та оптимізацію матеріальних, фінансових та інформаційних потоків, потоків послуг на основі застосування сучасних технологій і найбільш прогресивних економічних рішень, яка інтегрує внутрішні і зовнішні матеріалопотоки і направлена на досягнення місії та цілей безвідмовної експлуатації [41].

Оскільки ресурси і час експлуатації завжди обмежені, а аварійний перерозподіл, як правило, зачіпає інтереси ще й інших, не тільки постраждалих від ризикових подій, елементів об'єкта та його учасників, завдання неминуче зводиться до багатоцільовий багатовимірної оптимізації з великою кількістю обмежень [42 – 44].

Швидко і точно аналітичне рішення подібних задач оптимізації в умовах експлуатації неможливе через відсутність на момент ризикової події багатьох вихідних даних і адекватних математичних моделей, а існуючий когнітивний підхід, в якому пошук кращих рішень здійснюють на шляху досягнення критеріальної подібності між параметрами проектного та термодинамічного процесів [45], обмежений відсутністю адекватної формалізації проектного середовища, в якому ці процеси протікають.

Адже термодинамічні процеси протікають крізь простір послідовно, долаючи на своєму шляху усі проміжні елементи шляху, а процеси логістики можуть здійснюватися й безпосередньо між елементами, які розташовані один від одного на значній відстані!

Більш того, навіть поняття «відстань» у цьому випадку не має сталого визначеного сенсу, адже розбиття простору на елементи управління проектами є вельми умовним [46].

Відсутність скінченного і повного опису параметрів експлуатації, в рамках якого повинна починатися «битва за об'єкт», її елементів і властивостей, а також методів адаптації моделей середовища до реальних подій процесів проектування і пов'язаних з цим проектних ризиків, робить будь-який

метод оптимізації несуворими, а його результати неефективними.

Останнім часом все більшого поширення набувають роботи з реінжинірингу складних систем, наприклад, будівельних споруд [47, 48]. Це означає ремонт будівлі, але не простий ремонт із відбудовою початкових, закладених в проект будівлі елементів та їхніх сполучень, а часткову або повну заміну елементів, що вийшли з ладу або застаріли, на нові, які потребують спочатку додаткового нового проектування їх конструкцій та технологій виготовлення, а також конструкцій допоміжних вузлів для монтажу і технології саме перебудови об'єкта (рис. 1.2) [49, 50].

Такі роботи неможливо передбачити заздалегідь, – адже не відомо, що розкриється після того, як цей об'єкт розберуть, тобто не відомі (або частково відомі з деякою ймовірністю) ані елементи, які треба просто відновити (за існуючими кресленнями та технологіями), ані елементи, які потребують зовсім нового підходу до їхнього виготовлення та монтажу [51].

Такі ризики, які з'являються «несподівано», під час руйнівних досліджень об'єктів, називають «ризиками-сюрпризами» [52]. Якщо мова йде про експлуатацію будівель, це можуть бути пошкодження опорних елементів останніх (рис. 1.3), їхніх комунікацій (рис. 1.4), тощо.

Головна прикмета ризиків-«сюрпризів», яка відрізняє їх від інших внутрішніх та зовнішніх ризиків, – це те, що *«сюрпризні» ризикові події відбуваються раніше, ніж виявляються.*

Наприклад, непомітне ззовні внутрішнє руйнування опори будівлі (іржавіння арматури, тощо) може статися задовго до того, як ця будівля впаде. Такі сюрпризи будівельного реінжинірингу роблять відновлення більш складним та непередбачуваним, ніж це впливає із впливу оточуючого середовища [53].

В таких умовах навіть свята святих проекту – його мета може бути адаптивною, тобто змінюватись під час виконання проекту, пристосовуючись до невідомих раніше внутрішніх та зовнішніх обставин.



Рисунок 1.2 – Результат реінжинірингу – додавання нових елементів в конструкцію будівлі



Рисунок 1.3 – Приклади пошкодження опорних елементів



Рисунок 1.4 – Приклади пошкодження комунікацій

Виконання будь-яких робіт над складними системами починається з планування майбутньої діяльності та продовжується здійсненням такого плану під керівництвом компетентного проектувальника [54, 55].

Однією з форм такого планування є побудова мережевого графіку майбутніх робіт, його оптимізації з точки зору часу, фінансових та інших витрат. При цьому вважається, що якість відновлення гарантується лише суворим дотриманням усіх заданих параметрів елементів об'єкта, які входять до мережевого графіку.

Але вже з початку такої постановки зрозуміло, що, як би ретельно не



були побудовані мережеві плани, це не гарантує ані завершення відповідної роботи з відновлення об'єкта після пошкодження його елементів, ані її підсумкової вартості, ані якості її результатів.

Тому все частіше фахівці з САПР вдаються до створення нових методів проектування, яке враховує складні засади взаємодії будь-яких робіт із оточуючим середовищем, що неперервно та непередбачувано змінюється, – так званого проектування відновлення або постпроектного кризисного проектування.

Один з таких методів – це система підтримки прийняття проектних рішень в процесі реінжинірингу об'єктів, яка базується не на статичному мережевому графіку, а на динамічному креативному підході до проектування, який дозволяє оперативно (*on-line* із процесом експлуатації) реагувати на усі виклики внутрішнього та зовнішнього турбулентного середовища.

Проектувальник може в цих умовах спостерігати не тільки за розвитком технологічних робіт (заготівля, металообробка, зварювання, укладання бетону, складання, застосування, тощо), але й за ризиками та їхніми наслідками, що супроводжують процес відновлення по всіх функціональних областях реінжинірингу (строки, витрати, персонал, поставки, якість, інформація, тощо), корегуючи параметри цих областей і, навіть, зміст процесу відновлення в цілому, он-лайн.

Це значно збільшує можливості менеджменту проекту, який може краще підготуватися до таких викликів, а отже, своєчасно їх прогнозувати та попереджувати їхнє настання та ефективно протистояти техніко-економічним наслідкам від ризиків-«сюрпризів».

## 1.2 Проблеми відновлення технічного обладнання

В сучасних умовах при високому рівні механізації і автоматизації високотехнологічних процесів та обладнання продуктивність праці в

промисловості, транспорті, зв'язку, тощо, а також якість продукції та послуг великою мірою залежать від надійності технологічного, транспортного та іншого обладнання, а, отже, від організації і техніки його обслуговування, і якщо цього потребує кризова ситуація, і можливості часткового або повного його відновлення.

Технологічне обладнання у відповідності з принципами технічної системогенетики є системним створенням, яке розвивається та має велику кількість початкових компонентів і складну структуру. При цьому в процесі розвитку масового технологічного обладнання виникає деяка множина його виконань. Перетворення виконання технологічного обладнання (а також і будь-якого його компонента) проявляються в трьох формах: зміні; диференціації та інтеграції (рис. 1.5) [56].

Перетворення  $m$ -го виконання (компонента)  $v_m$  шляхом його зміни полягає в тому, що на певному такті розвитку технологічного обладнання воно або зберігається, або замінюється новим (рис. 1.5 а).

При перетвореннях у формі диференціації (поділу) або інтеграції (об'єднання) загальна кількість виконань (компонентів) технологічного обладнання змінюється, тобто відповідно збільшується (рис. 1.5 б) або зменшується (рис. 1.5 в) [57].

Тому під відновленням в роботі розуміли три види впливу на первинну конструкцію обладнання або технологію його виготовлення: апгрейд, ремонт або реінжиніринг

– апгрейд – поліпшення чогось шляхом заміни його частин або всього пристрою в цілому [58];

– ремонт – комплекс заходів з відновлення працездатного або справного стану будь-якого об'єкта та/або відновлення його ресурсу в рамках первинного проекту [59];

– реінжиніринг – діяльність з модернізації раніше реалізованих проектних та/або технологічних рішень на діючому об'єкті [60], яка поєднує апгрейд та ремонт [61, 62].

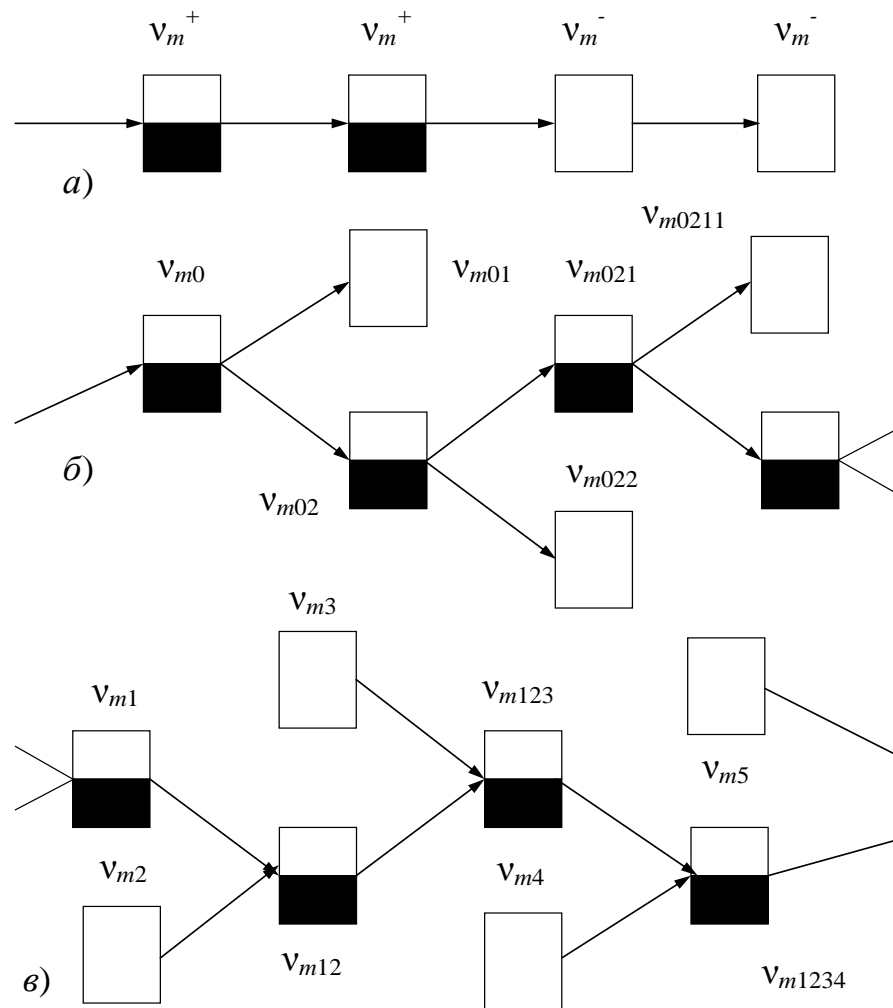


Рисунок 1.5 – Види перетворення виконання (компонента) технологічного устаткування в процесі його розвитку:

*a* – зміна;

*б* – диференціація;

*в* – інтеграція

Очевидно, що з перерахованих методів відновлення найбільш гостро проблема нового проектування (зміни початкового проекту) постає при реінжинірингу, оскільки в цьому випадку прийняття проектних рішень поширюється не тільки на технологію відновлення (при «простому» ремонті початковий проект не змінюється!), але й на фактично нову конструкцію об'єкта, від якості якої буде залежати вся подальша частина його життєвого циклу.

Скорочення тривалості відновлення технологічного устаткування досягається не тільки шляхом усунення причин, що порушують безперервність виконання ремонтних робіт, але і за рахунок підвищення продуктивності праці ремонтного персоналу. Основною умовою високої продуктивності праці є застосування ремонтним персоналом досконалих технологій і методів проведення ремонтних робіт, засобів технологічного оснащення, експлуатаційної, ремонтної та іншої конструкторсько-технологічної документації.

Для вирішення даної задачі на підприємствах проводиться конструкторсько-технологічна підготовка відновлення технологічного обладнання [57].

При існуючих на більшості підприємствах формах організації конструкторсько-технологічної підготовки та виконання відновлення технологічного обладнання вказівки про роботи, які повинні проводитися ремонтним персоналом, і застосовуваних технологічних прийомах і оснащенні зазвичай носять загальний характер.

Ремонтний робітник вирішує самостійно або із залученням майстра або механіка цеху, які саме операції слід зробити для конкретної одиниці технологічного обладнання. Вони ж встановлюють методи і послідовність виконання ремонтних операцій.

Ефективність такої організації відновлення технологічного обладнання залежить в основному від кваліфікації і досвіду ремонтного персоналу. Тому стабільність кадрів ремонтного персоналу в цехах підприємств, закріплення за ним технологічного обладнання за конструктивною ознакою і застосування оплати праці, стимулює підвищення якості його роботи, є основними умовами для її застосування [63].

Щоб зменшити вплив суб'єктивного фактора на якість відновлення технологічного обладнання, рекомендують регламентувати зміст цих робіт та їх нормативне закріплення у відповідній документації. Частина такої документації необхідно створювати своїми силами.



Відсутні документи, якщо їх не можна отримати ззовні, слід розробляти наявними конструкторськими силами за спеціальним планом конструкторсько-технологічної підготовки ремонтного виробництва в рамках діючої системи технічного обслуговування і ремонту (СТОІР) технологічного обладнання. Причому вони можуть бути створені в порядку технічної підготовки до конкретного планового ремонту або модернізації тієї чи іншої одиниці технологічного обладнання.

При цьому документи, пов'язані з технічною підготовкою ремонту (реінжинірингу) і конкретних ремонтів, необхідно за можливості розробляти на основі стандартів Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), Єдиної системи технологічної документації (ЄСТД) і Єдиної системи класифікації і кодування техніко-економічної інформації.

При використанні системи регламентованого технічного обслуговування технологічного обладнання через встановлені періоди часу його роботи виконуються певні, заздалегідь заплановані профілактичні операції [64]. Відомості з технічного обслуговування технологічного обладнання, його поточного ремонту, а також методи оцінок його технічного стану, при визначенні необхідності відправлення його в ремонт, як правило, містяться в керівництві з експлуатації або в спеціальних експлуатаційних інструкціях.

Ремонтні документи – це конструкторські документи, призначені для підготовки ремонтного виробництва, ремонту і контролю технологічного обладнання після ремонту.

Ремонтними кресленнями вважаються креслення, призначені для ремонту деталей, складальних одиниць, складання і контролю відремонтованого технологічного обладнання, знову виготовлених додаткових деталей з ремонтними розмірами.

Крім цих креслень, в комплект ремонтних документів технологічного обладнання входять: габаритне креслення, якщо в результаті ремонту складових частин технологічного обладнання змінюються графічно викладені

умови монтажу порівняно з умовами монтажних креслень, що входять в комплект конструкторських робочих документів; схеми, якщо в процесі ремонту в електричну, кінематичну та інші схеми технологічного обладнання повинні бути внесені зміни; специфікації; відомість специфікацій; відомість посилальних документів, якщо в перелічених документах є посилання на документи, які не входять до складу ремонтних документів технологічного обладнання; робочі креслення для виготовлення інструментів і приладів, якщо в результаті ремонту технологічного обладнання необхідно застосовувати інструменти і прилади із зміненими приєднувальними розмірами.

В комплект ремонтних креслень можуть включатися також дані аналізу розмірних і кінематичних ланцюгів, розрахунок відремонтованих деталей і складальних одиниць на міцність, інструкції по ремонту та ін.

При модернізації технологічного обладнання керуються проектами модернізації, розробленими на основі технічних завдань. Проект модернізації на підприємствах розробляють конструкторські підрозділи, які знаходяться у складі відділів головних механіків або відділів головних технологів. Іноді на великих підприємствах ці роботи виконують спеціальні бюро механізації та модернізації технологічного обладнання, підлеглі головному інженеру або його заступнику по підготовці виробництва.

У тих випадках, коли модернізація не обумовлена вирішенням конкретної технологічної задачі, а повинна забезпечити лише підвищення техніко-експлуатаційних параметрів і показників технологічного обладнання (апгрейд), для її виконання слід використовувати типові проекти. Ці проекти передбачають наближення техніко-експлуатаційних показників технологічного обладнання колишніх випусків до рівня, що відповідає моделям, що випускався пізніше.

Роботи з модернізації технологічного обладнання часто поєднують з капітальним ремонтом. Це дозволяє уникнути зайвих витрат, пов'язаних з розбірно-складальними роботами, крім того, вигідно тому, що деякі деталі або механізми, які довелося б замінити при капітальному ремонті через зношеність,

замінюються в даному випадку деталями або механізмами нової конструкції, передбаченої проектом модернізації [63]. Поєднання модернізації з капітальним ремонтом дозволяє не тільки заощадити частину витрат на модернізацію, але і використовувати документацію, яка застосовується при ремонті технологічного обладнання.

Як правило, проект модернізації включає:

- 1) робочі креслення технологічного обладнання;
- 2) експлуатаційні документи;
- 3) ремонтні документи;
- 4) технологічні проекти виготовлення нових вузлів і агрегатів технологічного устаткування.

Зміни в конструкції і технічних параметрах технологічного обладнання, зроблені при модернізації, необхідно вносити в його технічний паспорт і інвентарну картку. При великих змінах в конструкції і параметри, при зміні його технологічного призначення або спеціалізації слід скласти новий паспорт.

Таким чином, при проведенні робіт з відновлення технологічного обладнання застосовується великий обсяг конструкторсько-технологічної та ремонтно-експлуатаційної документації. Це обумовлює інтенсивну інформаційну взаємодію різних суб'єктів, що забезпечують необхідний рівень показників відновлення технологічного обладнання на всьому протязі терміну його експлуатації.

Причому постійне збільшення складності технологічного устаткування веде до зростання кількості суб'єктів, залучених у ці процеси, а також обсягів використовуваної при цьому інформації.

У зв'язку з цим, а також з урахуванням того, що при відновленні технологічного обладнання його властивості змінюються, виникає необхідність у створенні комплексної системи підтримки даної стадії життєвого циклу технологічного обладнання, що забезпечує систематизацію інформаційного взаємодії вказаних суб'єктів.

Сьогодні загальноприйнятою глобальною стратегією інформаційного супроводу процесів, виконуваних протягом життєвого циклу виробу, незалежно від його типу і призначення, технології виготовлення і експлуатації, є концепція CALS (*Continuous Acquisition and Life-Cycle Support* – Інформаційна підтримка життєвого циклу виробів), заснована на електронному обміні даними і стандартизації представлення даних на кожній стадії життєвого циклу [65].

Однак для впровадження CALS-технологій в ремонтних службах підприємств необхідно вирішити ряд проблем, пов'язаних в основному з інтеграцією великого обсягу різнотипних даних, що містяться у відповідній конструкторсько-технологічній та ремонтно-експлуатаційній документації. Причому, як було показано вище, склад цієї документації при реалізації підпроцесів технічного обслуговування, ремонту і модернізації технологічного обладнання в ремонтній службі є досить загальним і тому її пропонується об'єднувати в інформаційний об'єкт – проект технічного обслуговування, ремонту і модернізації технологічного обладнання (ремонтний проект) [57].

Проміжним етапом між проектуванням нового об'єкта та його відновленням є створення індивідуальних проектів «під замовлення» [66]. Але такі проекти не бувають кризовими, – їх виконують, а потім і втілюють в «стаціонарних» умовах із використанням усіх, доступних у цих умовах, засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення в САПР, а також матеріалів, комплектуючих та техніки – у виробництві.

Натомість, при екстреному, антикризовому проектуванні «під рукою» у групи, яка здійснює відновлення, може не опинитися ані першого, ані другого (рис. 1.6). Адже при будь-якому проектуванні, згідно стандартів, завжди існує технологічний контроль, представникові якого доводиться давати відповіді на питання: *де* взяти необхідний матеріал та *як* зробити ту або іншу деталь або вузол. При такому відновленні будь-який ремонт стає реінжинірингом, а оскільки до останнього можна віднести і будь-який апгрейд, стає очевидним, що у випадку антикризових заходів поняття «відновлення» та «реінжиніринг» стають синонімами (рис. 1.7).

№ з/п	Планові САПР	Антикризові САПР
1	«Необмежений» час	Обмежений час
2	«Необмежені» кошти	–
3	«Необмежені» матеріали	Підручні матеріали
4	«Необмежені» комплектуючі	ЗІП
5	Можливість повернення до попередніх етапів	Відсутня можливість повернення до попередніх етапів
6	Наявність сучасної обчислювальної техніки	Обмежений доступ до обчислювальної техніки
7	Наявність спеціалізованих САПР	Наявність загального програмного забезпечення
8	Наявність конструкторів та технологів широкого профілю	Відсутність конструкторів та технологів широкого профілю, необхідної кількості та досвіду
9	«Необмежені» можливості пошуку та консультації у світових мережах	Обмежені можливості пошуку та консультації у світових мережах
10		Відсутність необхідного обладнання, інструментів та засобів вимірювання

Рисунок 1.6 – Можливості планових та антикризових САПР

Зважаючи на те, що реінжиніринг, за визначенням, завжди має в своєму життєвому циклі етап проектування, можна стверджувати, що сучасний реінжиніринг потребує використання САПР [61, 62].

З іншого боку, враховуючи перелічені обставини, можна стверджувати, що САПР відновлення (реінжинірингу) в умовах кризи набуває нових, відмінних від «планових» САПР властивостей, які потребують нового підходу до її структури та змісту (рис. 1.8).

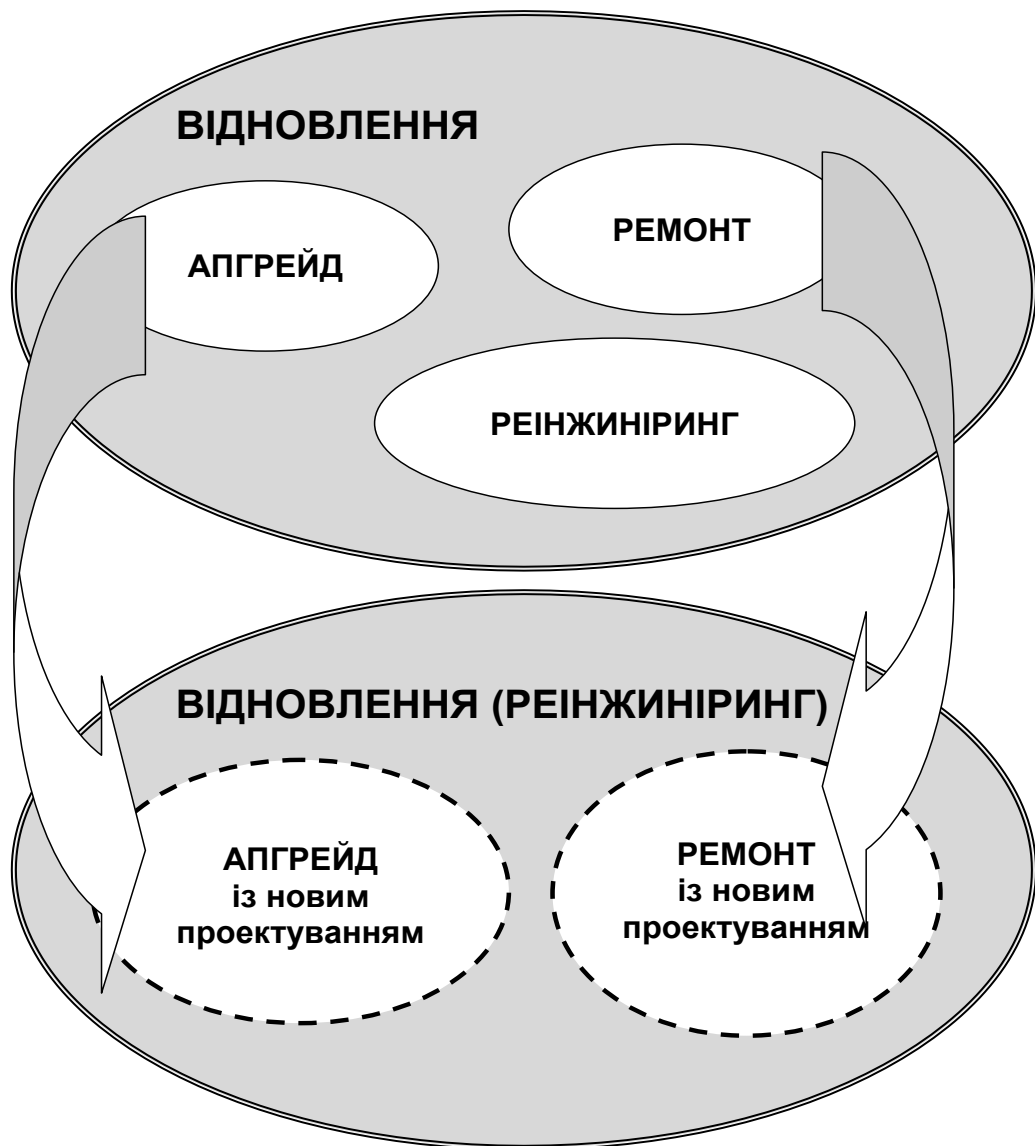


Рисунок 1.7 – Поглинання реінжинірингом усіх видів відновлення у випадку антикризових впливів на об’єкт

В умовах реінжинірингу «на ходу» змінюють також засоби вимірювання властивостей як старих так и нових елементів.

До ряду таких засобів, в першу чергу, слід віднести методи та прибори для вимірювання теплофізичних характеристик композиційних виробів [67 – 69], властивостей перенесення тепла [70 – 75] та вологи [76, 77]. Важливу роль відіграють методи вимірювання механічних характеристик [78 – 81] та надійності об’єктів після відновлення взагалі [82 – 86].

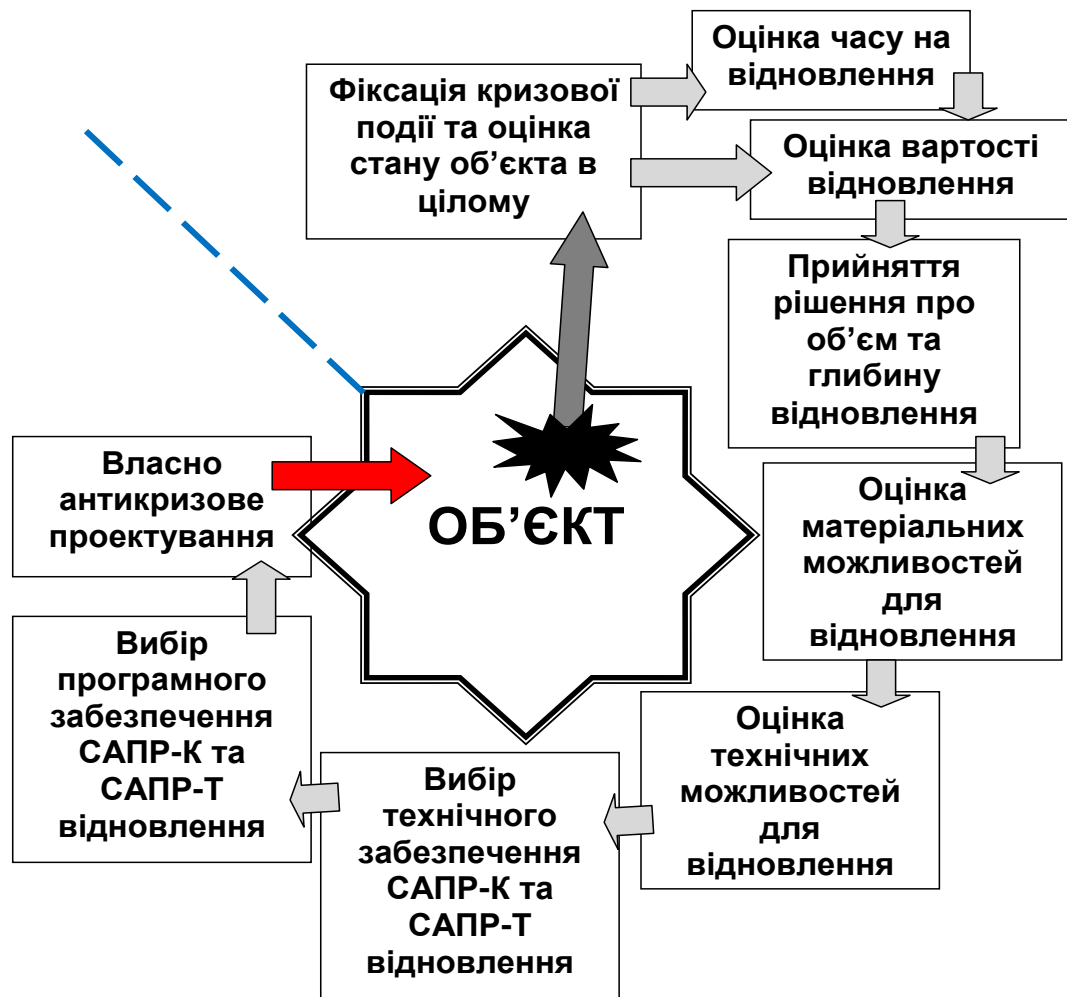


Рисунок 1.8 – Головні відмінності антикризових САПР від планових систем

### 1.3 Зміна конструкції та властивостей елементів при відновленні

Як було зазначено вище, відновлення елемента об'єкта, який відмовив, може відбуватися із збереженням конструкції останнього, а може супроводжуватися вимушеною її зміною, як в частині конфігурації, так і в частині використовуваних матеріалів.

Приводом для такої зміни можуть бути такі обставини:

- бажання підвищити надійність елемента;

– відсутність можливостей (матеріали обладнання) для відтворення такого елемента «один до одного».

Як показує досвід, значна частка відносно ненадійних (схильних до відмови) елементів об'єктів експлуатації буває вже в оригіналі виконана з гетерогенних (композиційних на мікрорівні) або гетерогенних (композиційних на макрорівні) матеріалів. Це, наприклад, будівельні матеріали [87 – 89], вузли літаків [27], ракет [90 – 92], кораблів [93, 94], антен [95], одягу [96, 97], комп'ютерні елементи [98], тощо.

Такі елементи, зазвичай, або складені із різних за властивостями матеріалів, або, навіть із матеріалів, що нелінійно змінюють свої властивості в просторі або часі (анізотропні та такі, що регулюються) [26, 99]. Зрозуміло, що до проектування таких елементів, особливо автоматизованого, пред'являються значно суворіші умови з точки зору використання сучасних методів та адекватності оптимізаційних моделей. Адже досягнення синергетичного ефекту від використання в одній деталі багатьох різних за властивостями матеріалів потребує нових підходів до розв'язання задач оптимізації в САПР, безумовно, оптимізації багатоцільової, багатовимірної та багатоекстремальної.

Існує клас деталей та вузлів машин, приладів, апаратів, тощо, в яких поліматеріальність створюється навмисне при проектуванні або отримується мимовільно – як продукт оптимізації за зовсім іншими цільовими функціями виробу в цілому. До першого типу можна віднести електромеханічні фільтри та гумометалеві амортизатори, в яких на етапі проектування закладається максимальна спроможність поглинати ударні хвилі певних частот [100 – 102], а до другого – «штучний» механічний фільтр, який виникає поза спеціальними розрахунками та діє в транспортному засобі між дорогою та тілом людини [103, 104].

Оскільки усі розрахункові задачі в САПР, як правило, обернені, – в них по заданих наслідках розраховують причини їхнього виникнення, – вони відрізняються некоректністю: прийнятного рішення може не бути взагалі, або таких рішень може бути кілька [105].



Ще одним недоліком методів оптимізації полі матеріальних об'єктів є те, що такі задачі не можна розв'язувати аналітичним або чисельним методами, оскільки вони, як правило, мають велику комп'ютерну складність.

В той же час існують сучасні методи розв'язання подібних задач, в яких проектувальники вдаються до створення проміжних моделей об'єкта проектування із нездійсненними властивостями, – віртуальних об'єктів [106].

Віртуальність моделей таких об'єктів може торкатися конфігурації моделюємого об'єкта, нездійсненої в реальному житті [107], виконання об'єкта або його окремих частин із неіснуючих матеріалів [108], одночасного прикладання до однієї «точки» об'єкта зовнішніх сил, які мають різне значення [106], тощо.

Але, на жаль, для багаточарових об'єктів методи віртуального моделювання не існують і потребують додаткової розробки.

Значна кількість продукції сучасних підприємств отримується затвердінням із рідкого (пластмаси) або псевдо рідкого (ливарні форми, бетонні вироби, сінтегран) стану. Основним етапом таких технологій є заповнення формоутворюючої оснастки відповідною сумішшю. На цьому етапі створюється не тільки конфігурація та властивості майбутнього виробу, але й закладаються передумови майбутньої якості останнього: щільність, рівномірність розподілу компонентів, наявність або відсутність раковин або макропорожнин і т.п., що потребує від технолога постійного моніторингу за плином заповнення [109, 110].

Особливо актуальним виглядає такий моніторинг, коли в тілі виробу наявна будь-яка металева арматура: прутки, пластини, решітки, тощо. Адже вони встановлюються в оснастку до заливання і суттєво йому перешкоджають.

Контролювати процес заливання в цьому випадку особливо важко [61, 62]. Безпосереднє вимірювання щільності під час обертання важко здійснювати навіть сучасними методами [111, 112]. Це пов'язано також із тим, що в початковій суміші може бути присутня вода – електричний провідник, яка може суттєво і непередбачувано впливати на показання приладу, який вимірює

електричні характеристики [113].

Найбільш перспективним на перший погляд виглядає ємнісний метод вимірювання, заснований на однозначній відповідності між щільністю матеріалу та його ємністю [114].

*Плоскі елементи відновлюваних об'єктів.* Однією з найважливіших технічних характеристик машин і апаратів є їхня маса. При розробці нових і вдосконаленні існуючих елементів конструкцій проектувальники завжди прагнуть знизити витрати матеріалів і зменшити масу виробів. Найбільш відомі технічні рішення та рекомендації для проектування одновимірних деталей конструкцій – стрижнів.

Балки – стрижні, що працюють на вигин – виготовляють зі стандартних прокатних профілів (двотаври, швелери, рейки й ін.), у яких матеріал в значній мірі віддаляється від нейтральної осі, чим забезпечується багаторазове підвищення осьового моменту інерції, міцності й жорсткості.

Вали – стрижні, що працюють на кручення – у багатьох випадках мають форму труби й у порівнянні із суцільним перетином тієї ж площі їх характеристики міцності та жорсткості збільшуються в кілька раз.

Аналогічні переваги по масі досягаються й у дископодібних деталей. Зубчасті колеса, шківни, маховики, колеса транспортних засобів у середній частині мають тонкий диск, часто полегшений отворами, або просто спиці (колесо велосипеда).

Такі конструкції мають меншу масу, а, отже, і більш низьку вартість, високу конкурентоспроможність.

Розробка машин, апаратів і їх деталей з мінімальною масою є більш складним завданням для конструктора, тому що вимагає безумовного забезпечення міцності при зростанні складності розрахункових схем таких суттєво неоднорідних виробів.

Якість машин однакового призначення оцінюють показником питомої маси, обумовленої як частка від ділення маси  $G$  на основний параметр. Наприклад, для енергетичних та ін. машин таким показником є величина

$$g = \frac{G}{N} \quad (1.9)$$

де  $N$  – потужність агрегату.

Це комплексний показник, що враховує конструктивну досконалість і ступінь застосування легких сплавів і неметалевих матеріалів.

У транспортному машинобудуванні якість оцінюють безрозмірним відношенням  $g_1$  маси конструкції до маси корисного вантажу. Для морського транспорту  $g_1 = 20 - 30$ , для залізничного  $g_1 = 10 - 20$ , для автомобільного  $g_1 = 3 - 5$ , для авіації  $g_1 = 1,2 - 2,5$ .

Особливістю машин і апаратів харчової та хімічної галузей є величезна номенклатура їх типів і дрібносерійність, а деякі з них взагалі випускаються в одиничних екземплярах. Основним показником якості апаратів і машин у хімічному виробництві є надійність їх роботи, тобто властивість апаратів або машин виконувати покладені на них функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники у заданих межах протягом необхідного проміжку часу або необхідного наробітку.

У зв'язку з цим часто проектувальники зниженням матеріалоемності опікуються в останню чергу. У [115], наприклад, сказано: «Сучасний рівень хімічного виробництва вимагає проектування й виготовлення машин і апаратів високої якості.

Останнє можливо при оптимальній комбінації наступних техніко-економічних показників об'єктів: максимальний робочий об'єм, висока продуктивність простота, надійність і безпека в роботі, найменша енерго- та металомісткість.

Але відомі й виключення: у наш час для зберігання рідких матеріалів широке застосування одержали вертикальні оболонки циліндричної форми зі ступінчастою змінною товщиною стінки, що зменшується по висоті. Для резервуарів малого об'єму,  $10 - 20 \text{ м}^3$ , економія матеріалу виходить незначною,

8 – 10 %, але при об'ємах порядку 10000 м<sup>3</sup> – до 35 % у порівнянні з резервуарами зі стінкою постійної товщини [116].

Аналогічний результат можна отримати й при конструюванні деталей машин і апаратів, що мають форму пластин, зокрема, круглої форми (кришки, днища, діафрагми апаратів і т.п.) [117].

З наведеного аналізу випливає, що круглі пластини постійної товщини виявляються конструктивно нераціональними. У зв'язку з цим у даній роботі пропонується перехід до конструювання круглих пластин змінної товщини й розроблюється метод проектування таких пластин.

Питання розрахунків круглих пластин зі зміною товщиною досліджувалися деякими авторами, рішення знаходили з використанням степеневих рядів, методів сіток або скінчених елементів [118, 119].

*Мережеві елементи відновлюваних об'єктів.* Останнім часом все більшого поширення набувають бездротові комп'ютерні мережі (БКМ) спеціального призначення – пошкодзовані БКМ (ПБКМ), які, на відміну від відомих, працюють в небезпечних умовах планування та управління бойовими діями, наражаючись при цьому на постійну небезпеку фізичного знищення окремих її елементів та ефірного пригнічення зв'язків між ними. Широке використання таких мереж підвищує вимоги до їхньої надійності, відмовостійкості та продуктивності. Остання, в свою чергу, забезпечується постійним запобіганням утворенню явних і схованих вузьких місць і пошкоджень, що призводять до структурної недосяжності окремих елементів та зв'язків.

При цьому істотним є час, затрачуваний на розпізнавання поточного стану пошкодзуваної мережі, з одного боку, і на відновлення її працездатності за рахунок, наприклад, «гарячого» резервування, – з іншого. Швидкість роботи систем розпізнавання та відновлення повинна забезпечувати онлайн підтримку боєготовності систем, обладнаних такими ПБКМ.

Після перетворення доступної інформації, маємо реальний, але не до кінця відомий об'єкт – частково недоступну для спостереження пошкодзовану

БКМ – та отримуємо його віртуальну, але в деякому сенсі відому модель  $\mathbf{H}(t_{\text{пот}})$  [120, 121].

Зауважимо, що прийнятий термін «віртуальний об'єкт» [122, 123] не зовсім коректний, оскільки сам об'єкт не може бути віртуальним, – він такий, «який він є», а віртуальною може бути лише модель цього об'єкта або деяка інтерпретація об'єкта «який би він міг бути, якщо б...».

Дійсно, як випливає з визначення, віртуальний (лат. *virtualis* – можливий) – об'єкт, який реально не існує, але може виникнути при певних умовах [124]. В англійській мові слово *virtual* з появою обчислювальної техніки набуло додатковий відтінок: «він (об'єкт) не існує в дійсності, але з'являється завдяки програмному забезпеченню» [125], що теж є ознакою моделі, а не самого об'єкта.

Філософія абстрагує ідею віртуальної реальності від її технічного втілення. Віртуальну реальність тлумачать як сукупність моделюємих реальними процесами об'єктів [126, 127], зміст і форма яких не збігається із цими процесами. Існування моделюємих об'єктів порівнюється з реальністю, але розглядається окремо від неї – віртуальні об'єкти існують, але не як субстанції реального миру.

У той же час ці об'єкти актуальні, а не потенційні. «Віртуальність» реальності встановлюється стосовно «основної» реальності, яка її обумовлює. Віртуальні реальності можуть бути вкладені одна в іншу. При завершенні моделюючих процесів, що йдуть в «основній» реальності, віртуальна реальність зникає [128].

Прикладами віртуальної реальності, широко використовуваними в науці, є простори з розмірністю більше трьох [129], дрібновимірні простори [130], дробові похідні [131] і багато іншого.

Останнім часом з'явився метод пришвидшеної оптимізації різних процесів (механічних, гідравлічних, теплових тощо) за допомогою *методу віртуального об'єкта* [132 – 136].

#### 1.4 Висновки та постановка задач дослідження

Криза експлуатації будь-якого об'єкта виникає (при збереженні зовнішніх умов експлуатації) при відмовах його внутрішніх елементів. Першою реакцією на відмову таких об'єктів (якщо тільки вони є ремонтпридатними) є спроба спланувати та здійснити його відновлення. Складність останнього цілком залежить не тільки від серйозності відмови, але й, у головній мірі, – від можливостей персоналу, який цей об'єкт експлуатує.

Адже об'єкт може бути таким що «давно покинув» організацію, де він був спроектований та підприємство, де він був виготовлений та укомплектований (у кращому випадку) невеликим ЗІП.

Останнім часом широкого поширення набувають проекти створення розповсюджених та віддалених об'єктів, які відрізняються розташуванням на значній території, що ускладнює, в першу чергу, проектну логістику, як планову, проектовану при початковому плануванні проекту, так і надзвичайну, викликану небажаними ризиковими подіями на об'єкті.

Проектування процесів та обладнання для створення великих розповсюджених об'єктів, як і будь-яким інших стратегічних процесів, підлягає ретельному структурному плануванню, яке забезпечує ефективне виконання всіх передбачених проектом робіт в задані строки.

Таке планування передбачає і очікування різноманітних подій, які в експлуатації проектованих об'єктів називаються ризиковими. Експлуатація в цілому передбачає деякі дії з компенсації «планових» ризикових подій, для чого створює запаси коштів, матеріалів, часу, виходячи з ймовірності настання кожної такої події та прогнозних витрат на таку компенсацію.

Проміжним етапом між проектуванням нового об'єкта та його відновленням є створення індивідуальних проектів «під замовлення». Але такі проекти не бувають кризовими, – їх виконують, а потім і втілюють в «стаціонарних» умовах із використанням усіх, доступних у цих умовах, засобів

обчислювальної техніки та програмного забезпечення в САПР, а також матеріалів, комплектуючих та техніки – у виробництві.

Натомість, при екстреному, антикризовому проектуванні «під рукою» у групи, яка здійснює відновлення, може не опинитися ані першого, ані другого. Адже при будь-якому проектуванні, згідно стандартів, завжди існує технологічний контроль, представникові якого доводиться давати відповіді на питання: *де* взяти необхідний матеріал та *як* зробити ту або іншу деталь або вузол. При такому відновленні будь-який ремонт стає реінжинірингом, а оскільки до останнього можна віднести і будь-який апгрейд, стає очевидним, що у випадку антикризових заходів поняття «відновлення» та «реінжиніринг» стають синонімами

Тому метою роботи є підвищення ефективності експлуатації пошкоджуваних ремонтпридатних складних технічних об'єктів, які працюють в умовах відриву від ресурсів їхнього базового проектування та виробництва, шляхом розробки та впровадження антикризових постпроектних САПР відновлення пошкоджених елементів цих об'єктів, яка відрізняється розширеними можливостями і високою швидкістю кризового проектування та підвищеним напрацюванням на відмову знов проектованих та відновлених елементів.

Для досягнення цієї мети в роботі розв'язані наступні задачі:

- проаналізовано проблеми та методи підвищення ефективності автоматизованого проектування в антикризових постпроектних САПР;
- запропоновано структуру проекту відновлення та головні особливості постпроектних САПР;
- розроблені методи та моделі для антикризових постпроектних САПР, зокрема при автоматизованого проектування корпусних, опорних, а також плоских та багаточарових відновлюваних елементів;
- розроблена комплексна САПР «CADAC», що базується на запропонованих методах і моделях і забезпечує постановку технічних завдань та підвищення ефективності процесів проектування для постпроектних САПР

різного призначення;

– здійснено виробниче випробування комплексної САПР «CADAC» під час симуляції відновлення продукції машинобудівного гумотехнічного підприємства з позитивним технічним ефектом.



## РОЗДІЛ 2

### СТРУКТУРА ПРОЕКТУ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ГОЛОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОСТПРОЕКТНИХ САПР

#### 2.1 Життєвий цикл відновлюваного об'єкта

Головною відмінністю експлуатації відновлюваного об'єкта – постійна необхідність в моніторингу за виникненням відмов та прийняття заходів із компенсації їх наслідків, що постійно відбивається на змісті експлуатації, а саме, призводить до його «руйнування» [3, 18].

Як відомо «стандартний» життєвий цикл об'єкта проектування [137], виглядає наступним чином (рис 2.1).



Рисунок 2.1 – Життєвий цикл об'єкта проектування

Іділичну картину, яку наведено на рис. 2.1, вже на етапі виробництва об'єкта і потім, під час його експлуатації, можуть переривати різноманітні відмови окремих елементів (відмови I рівня). Відновлення об'єкта після таких відмов має свої особливості і відбувається за своїми проектами (рис.2.2).

Розробка таких проектів виконується за допомогою *постпроектних САПР*, тобто САПР, які «працюють» після завершення основного проектування об'єкта. Основною відмінністю таких САПР є дуже широкий спектр застосування (рис. 2.3), в деякому сенсі вони можуть відноситися до САПР загального застосування, завдяки своїй універсальності.



Рисунок 2.2 – Життєвий цикл об'єкта проектування із відмовами I рівня (відмови виробництва та експлуатації)

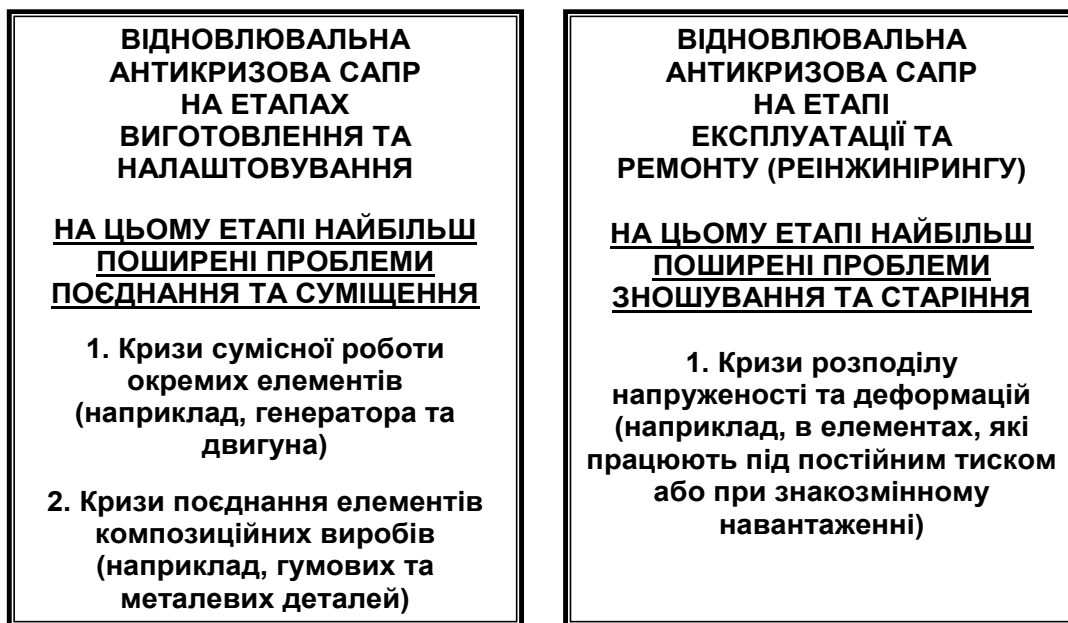


Рисунок 2.3 – Види відновлювальних постпроектних САПР із прикладами реальних криз виготовлення та експлуатації

З іншого боку, САПР відновлення досить вузько спеціалізовані, оскільки їхні можливості розповсюджуються виключно на групу пошкоджуваних елементів конкретного об'єкта експлуатації. Адже всі забезпечення таких САПР повинні супроводжувати конкретний об'єкт, можна говорити, що такі системи проектування – найсучасніша форма обов'язкового набору ЗІП.

Після виявлення відмови одного з елементів об'єкта складається план відновлення, наприклад, у вигляді мережевого графіку, наведеного на рис. 2.4.

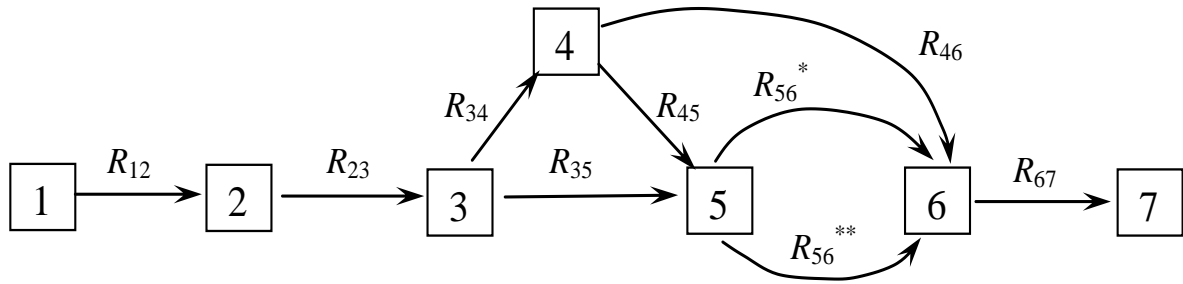


Рисунок 2.4 – Приклад мережевого графіку відновлення (реінжинірингу) об'єкта після відмови елемента останнього.

Як відомо, головний елемент мережевого графіку – робота  $R$ , яка, як передбачається, з техніко-економічного боку має певні характеристики, відомі до початку мережевого планування.

На рисунку 2.4 в якості прикладу позначені такі роботи, які входять до планового змісту процесу відновлення (реінжинірингу):  $R_{12}$  – оцінювання поточного стану;  $R_{23}$  – демонтаж об'єкта реінжинірингу;  $R_{34}$  – проектування технології реінжинірингу, нових вузлів, деталей та оснащення;  $R_{35}$  – придбання готових конструкцій, які замінюються без зміни «старих» вузлів та деталей;  $R_{45}$  – виготовлення нових вузлів, деталей та оснащення;  $R_{56}^*$  – заміна «старих» елементів конструкції споруди;  $R_{56}^{**}$  – монтаж нових елементів конструкції споруди;  $R_{46}$  – проектування пусконаладжувальних робіт;  $R_{67}$  – пусконаладжувальні роботи.

Під час виконання таких робіт, наряду із «головною» кризою яка призвела до відмови, з'являються ще й події, які кваліфікуються як «сюрпризи» [138], що відносяться саме до процесу відновлення.

Наприклад, спроба замінити деякий вузол об'єкта, який відмовив, виявляє повне заіржавлення гвинтів, якими кріпиться цей вузол до корпусу об'єкта (рис. 2.5).

Подібний механізм постійної готовності до переходу на надзвичайну стадію процесу було розроблено для системи управління програмою підтвердження працездатності Систем аварійного захисту АЕС [139].

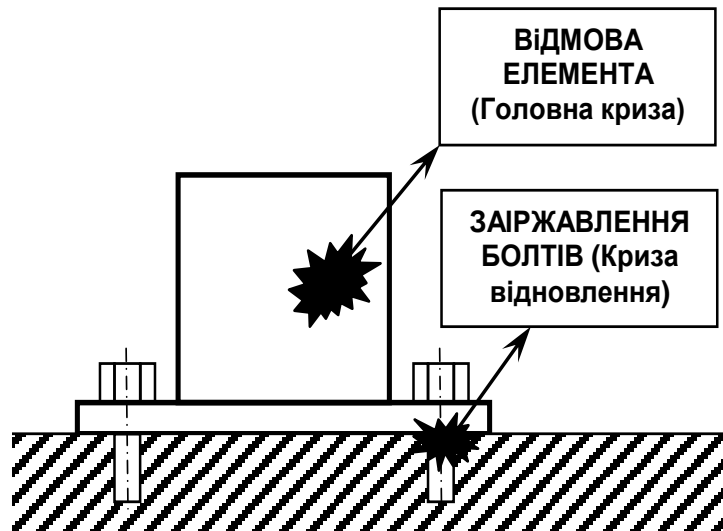


Рисунок 2.5 – «Головна» криза та криза, що супроводжує відновлення об'єкта

Відмінністю процесів відновлення (реінжинірингу) від цього механізму є те, що після кожного етапу реінжинірингу в плановому порядку та в будь-який момент часу при виявленні несподіваних криз відновлення здійснюється перехід до підсистеми ітераційного планування змісту останнього.

Зрозуміло, що такі додаткові відмови (II роду) можуть самі по собі потребувати конструктивного та технологічного проектування для їхнього подолання. На рис. 2.6 показано, як під час виконання запланованих в антикризових САПР робіт  $R_{12}$  та  $R_{23}$  з'являються додаткові відмови.

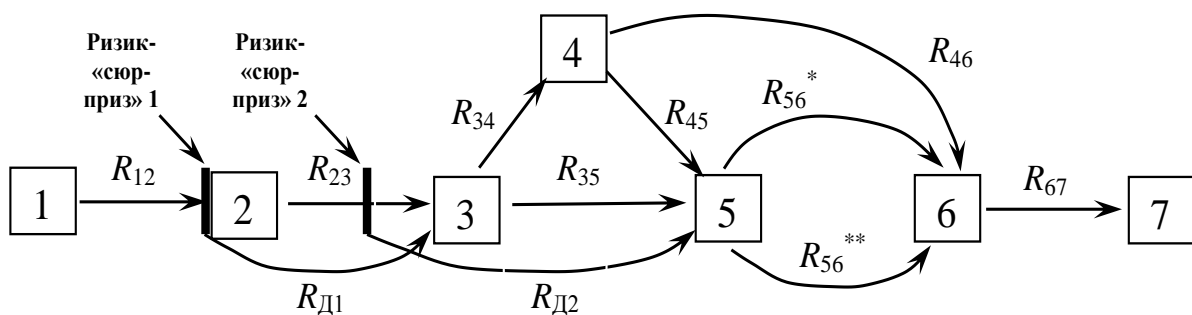


Рисунок 2.6 – Відмови під час відновлення (II роду) на мережевому графіку планових робіт

Як видно з рисунку, відмови під час відновлення бувають двох типів – перший ідентифікується в плановому порядку по завершенні чергової роботи, а другий – несподівано в процесі виконання роботи. Обидві кризи у підсумку, породжують зміну змісту відновлення: з'являються додаткові роботи  $R_{Д1}$  та  $R_{Д2}$  [140].

У зв'язку з цим, команда відновлення (реінжинірингу) повинна бути перманентно готовою до подібних дій, причому, перехід до надзвичайних фаз відновлення (реінжинірингу) бажано здійснювати негайно, для чого передбачені необхідні розділи загальної структури САПР відновлення (див. Розділ 4).

Під час боротьби із відмовами II роду можуть з'явитися, відповідно, відмови III роду і так далі за фрактальним алгоритмом, а життєвий цикл об'єкта відповідно ускладнюється в напрямку внутрішніх відображень і набуває виду, представленого на рис. 2.7.

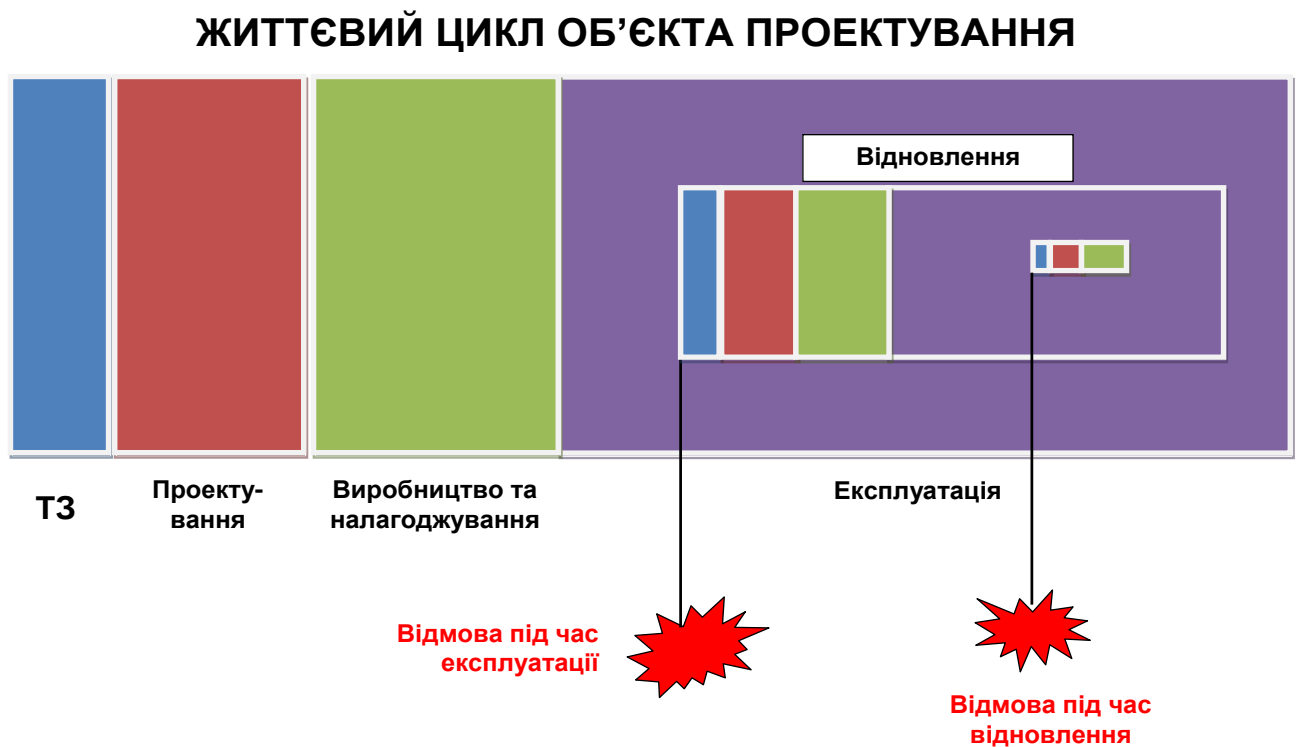


Рисунок 2.7 – Ієрархічна (фрактальна) послідовність процесів відновлення, викликана кризами різного рівня

## 2.2 Загальна структура процесів відновлення (реінжинірингу)

Процес відновлення – це єдиний ієрархічно структурований інформаційний об’єкт, який поєднує експлуатаційні рішення і конструкторсько-технологічні документи, які відображують результати технічної підготовки до реінжинірингу технологічного обладнання.

Проект реінжинірингу також містить експлуатаційні документи, ремонтні документи і проект модернізації. При цьому склад проекту реінжинірингу може залежати від кількості одиниць, а іноді й від складності технологічного обладнання, що він описує [57].

Аспекти проекту реінжинірингу, які базуються на загальних стандартах проектування та враховують описані вище особливості постпроектних САПР, представлені на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Аспекти проекту відновлення (реінжинірингу)

Інформація, яка міститься в проекті реінжинірингу, дозволяє здійснити розрахунки кількості потрібного для виконання робіт з реінжинірингу технологічного обладнання, запасних і модернізованих деталей, інструментів та пристосувань, кількість персоналу, розробити заходи щодо управління якістю відновлення технологічного обладнання.

Таким чином проект відновлення містить в собі проектні рішення, які відносяться до різних рівнів ієрархії технологічних систем, а також індивідуальні і проектні рішення, що описують окремі деталі і складальні одиниці, і специфіковані проектні рішення, які відносяться до технологічного обладнання.

Проект антикризового відновлення відрізняється не тільки обсягом, але й інформативністю, яка охоплює всі ланки підготовки і управління службою експлуатації. Склад інформації проекту відновлення встановлює і створює інформаційну основу для рішення великого комплексу інженерно-технічних задач не тільки в галузі розробки процесів відновлення технологічного обладнання, але й в галузі підготовки усіх етапів реінжинірингу, управління процесами відновлення та якістю технічної експлуатації технологічного обладнання.

Все це обумовлює існування складної системи взаємозв'язків проекту реінжинірингу із різноманітними етапами технічної підготовки та проведення відновлення технологічного обладнання (рис. 2.9) [57].

Позначені на рис. 2.9 логічні зв'язки повинні бути прийняті до уваги і формалізовані для організації єдиного інформаційного простору підприємства з метою оптимального функціонування на ньому системи менеджменту якості.

При цьому функціональна структура системи відновлення технологічного обладнання в узагальненому вигляді представлена наступним чином (рис. 2.10).

Дана система постійно отримує інформацію о стані вхідних і вихідних параметрів і на їх основі, у випадку необхідності, формує управляючі впливи, що реалізують задані параметри якості процесів відновлення.

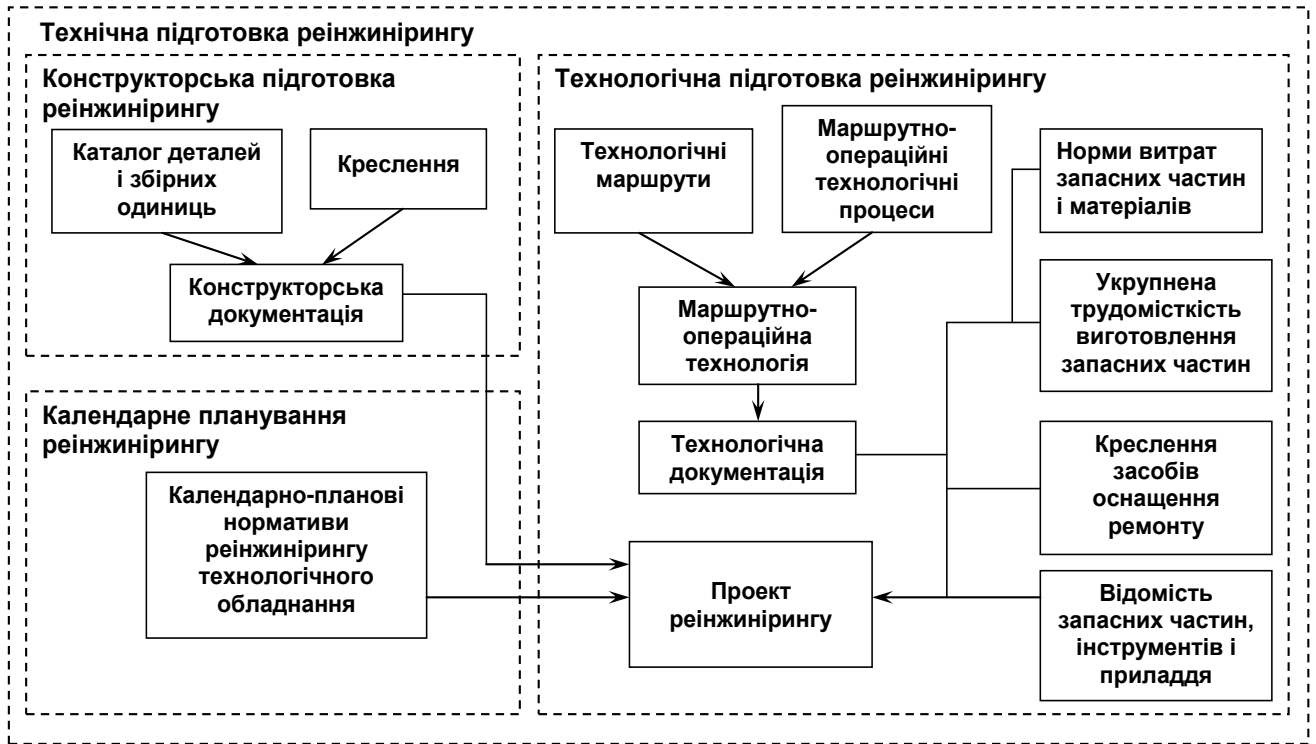


Рисунок 2.9 – Взаємозв’язки проекту реінжинірингу з різними етапами підготовки антикризового відновлення

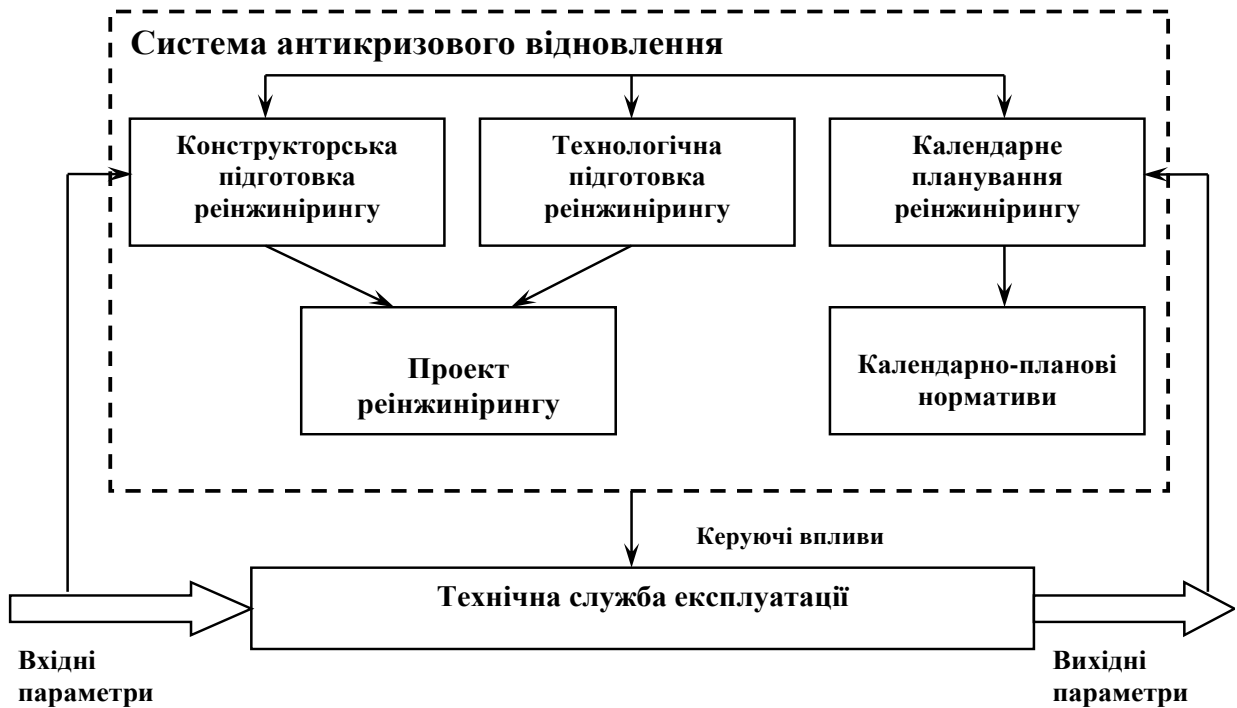


Рисунок 2.10 – Функціональна структура системи антикризового відновлення технологічного обладнання



У розробленій функціональній структурі вхідні параметри представляють собою ресурси системи реінжинірингу (часу, працездатності, запасних деталей, виконавців, засобів технологічного оснащення, інструментального забезпечення і т.д.), вихідні параметри відображують якість відновленого технологічного обладнання, управляючі впливи є сукупністю конструкторсько-технологічних і управлінських рішень, направлених на підготовку і реалізацію процесів антикризового відновлення.

Результати розвитку технологічного обладнання повинні належним чином відображуватись в проекті реінжинірингу. Тому можна стверджувати, що проект реінжинірингу не є статичним, а динамічно розвивається у відповідності із змінами основних показників і структури технологічного обладнання, процес відновлення якого він описує [57].

Застосування проекту реінжинірингу у складі CALS-технологій дозволяє суттєво скоротити обсяги проектування, оскільки опис багатьох складових частин технологічного обладнання, що ремонтувались і модернізувались раніше, зберігаються в уніфікованих форматах даних мережевих серверів, які доступні будь-якому користувачеві CALS-технологій. Одна й та сама конструкторська документація може бути використана багатократно у різних проектах, а одна й та сама технологічна документація – адаптована до різних умов експлуатації, що дозволяє суттєво скоротити та здешевити загальний цикл проектування та реінжинірингу, а також спростити експлуатацію технологічного обладнання.

### 2.3 Формування технічного завдання для САПР відновлення (реінжинірингу)

Технічне завдання (ТЗ) — документ (комплект документів), що встановлює основне призначення, показники якості, техніко-економічні та спеціальні вимоги до виробу, обсягу, стадії розроблення та складу

конструкторської документації [141].

Технічне завдання є вихідним документом для проектування споруди чи промислового комплексу, конструювання технічного пристрою (приладу, машини, системи керування тощо), розробки автоматизованої системи, створення програмного продукту або проведення науково-дослідних робіт (НДР), відповідно до якого проводиться виготовлення, приймання при введенні в дію та експлуатація відповідного об'єкта.

Згідно з ГОСТ 34.602-89 ТЗ є також основним документом, що визначає вимоги і порядок створення (розвитку або модернізації) інформаційної системи, відповідно до якого проводиться її розробка і приймання при введенні в дію.

При розробці технічного завдання використовуються такі інформаційні матеріали:

- науково-технічна інформація;
- патентна інформація;
- характеристика ринку збуту;
- характеристика виробництва (технологічна оснащеність, кваліфікація кадрів, технологічна дисципліна, рівень організації праці тощо), на якому виріб планується виготовляти.

При розробці технічного завдання на вироби підвищеної складності попередньо проробляється так званий *аванпроект*, який дозволяє попередньо поглиблено пропрацювати комплекс питань, що визначають необхідність та доцільність створення такого виробу. Розробка аванпроекту повинна гарантувати можливість створення продукції, що відповідає за техніко-економічними показниками світовому рівню.

Згідно з чинними стандартами ТЗ повинно включати в себе такі відомості про об'єкт розробки:

1. Найменування об'єкта розробки, та область застосування.

- повне найменування об'єкта та його умовне позначення,
- шифр теми або шифр (номер) договору,
- перелік документів, на підставі яких створюється проект, ким і коли

затверджені ці документи,

- планові терміни початку та закінчення робіт із створення об'єкта.

2. Підстава для розробки та назва проектної організації:

- найменування підприємств розробника і замовника системи та їхні

реквізити;

- перелік юридичних та фінансових документів, на підставі яких

створюється система, ким і коли затверджені ці документи;

- відомості про джерела та порядок фінансування робіт.

3. Мета розробки.

4. Джерела розробки. Тут повинні бути перераховані документи та інформаційні матеріали (техніко-економічне обґрунтування, звіти про закінчені науково-дослідні роботи, інформаційні посилання на вітчизняні і зарубіжні аналоги та ін.), на підставі яких розроблялося ТЗ і які мають бути використані при створенні системи.

5. Технічні вимоги, які включають:

- склад об'єкта та вимоги до його конструктивного виконання;
- показники призначення та економічного використання сировини,

матеріалів, палива і енергії;

- вимоги до надійності;
- вимоги до технологічності;
- вимоги до рівня уніфікації і стандартизації;
- вимоги безпеки при роботі обладнання;
- естетичні і ергономічні вимоги;
- вимоги до складових частин продукції, сировини і експлуатаційних

матеріалів;

- вимоги патентної чистоти;
- вимоги експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і

реінжинірингу;

- вимоги до категорії якості.

6. Економічні показники:

- гранична ціна;
- економічний ефект;
- термін окупності витрат на розробку і освоєння об'єкта;
- допустима річна потреба в об'єкті проектування.

#### 7. Порядок контролю і приймання об'єкта:

- види, склад, обсяг і методи випробувань системи та її складових частин (види випробувань відповідно до чинних норм, які поширюються на систему, що розробляється);
  - загальні вимоги до приймання робіт (продукції) за стадіями (перелік учасників, місце і терміни проведення), порядок узгодження і затвердження приймальної документації;
  - статус приймальної комісії.

Будь-яке автоматизоване проектування виконується за стандартною схемою, укрупнений вигляд якої наведено на рис. 2.11 [142]. На першому місці в цій схемі стоїть технічне завдання на проект, яке отримується від замовника і є для процесу автоматизованого проектування «оточуючим середовищем».

Натомість, в антикризовому постпроектному проектуванні в оточуючому середовищі знаходиться об'єкт, а технічне завдання формується «всередині» САПР, взаємодіючи як з об'єктом, так і з процесом антикризового проектування (рис. 2.12), оскільки вимушено змінюється при кожній кризі відновлення.

В основі технічного завдання при відновленні знаходиться те, що заміна старого (того, що вийшло з ладу) на новий (проектований) елемент не повинна призводити до суттєвих змін в функціонуванні об'єкта в цілому.

Принаймні, до цього треба прагнути в антикризових САПР. Виключення – обставина, коли кризова ситуація, настільки серйозна, що мова йде про «виживання» об'єкта, про його, можна вважати, жевріння до майбутнього, більш глибокого відновлення. Аналог – волога ганчірка та трамблері двигуна автомобіля [143].

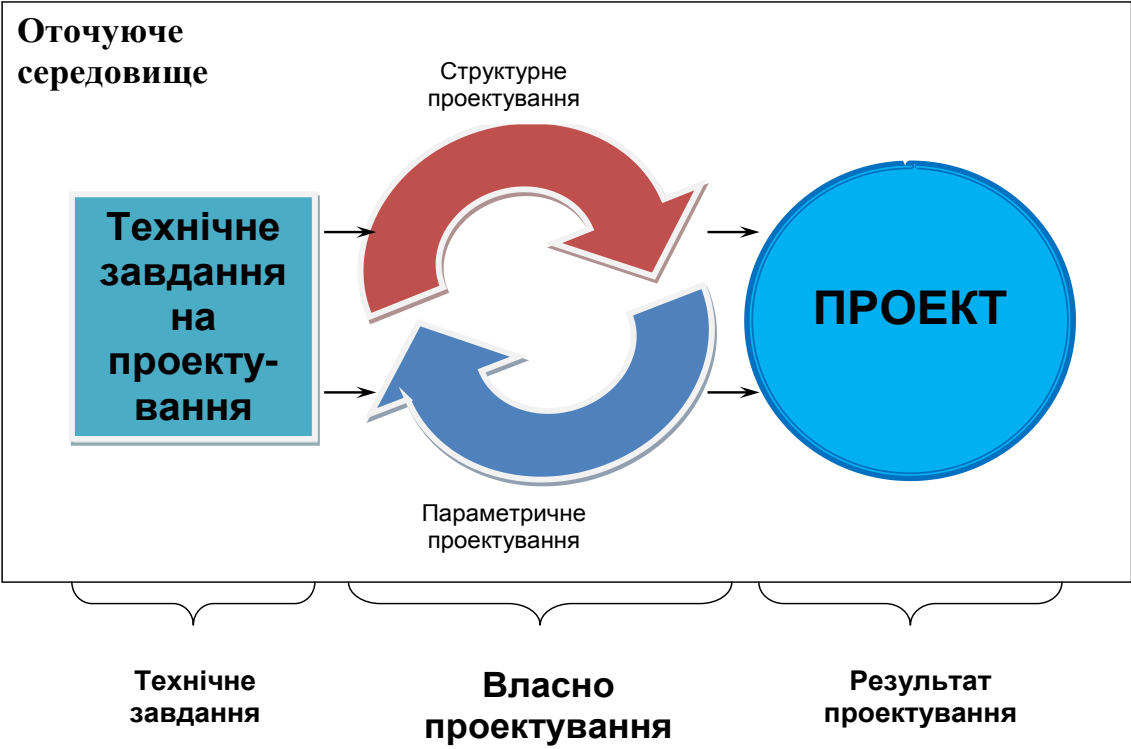


Рисунок 2.11 – Укрупнена схема «звичайного» проектування

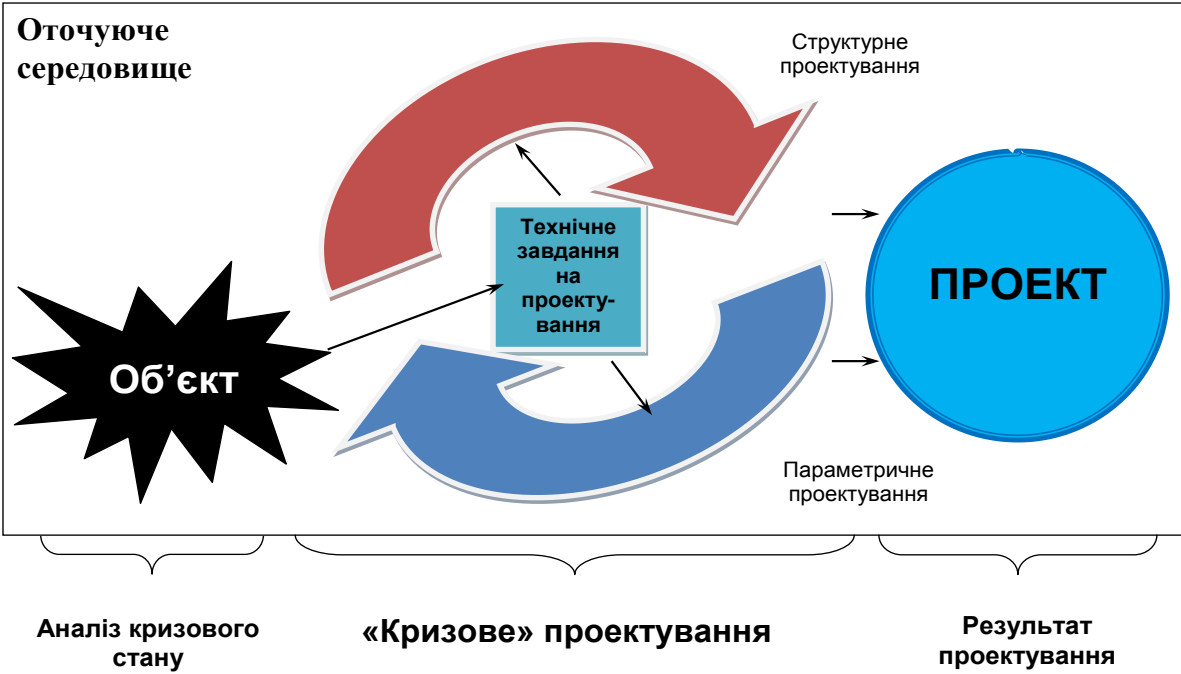


Рисунок 2.12 – Розташування стадії розробки технічного завдання при антикризовому проектуванні

## 2.4 Особливості САПР нових елементів, породжені спадкоємністю властивостей пошкодженого елемента

Головною відмінною рисою постпроектного відновлювального проектування від основного базового є те, що таке проектування має дуалістичну природу. З одного боку, як і будь який реінжиніринг, воно має створювати проект нового елемента, який відрізняється від базового з причин, про які йшлося вище. З іншого боку, – така різниця має певні обмеження. Адже новий елемент має успадковувати параметри старого: він повинен бути встановлений на об'єкт із врахуванням геометричних характеристик механічного кріплення, типорозмірів роз'ємів електричного, гідравлічного та іншого призначення. Новий елемент має бути не тільки розмірним, але й функціональним замінником старого.

Наприклад, новий опорний елемент повинен витримувати навантаження, не менше, ніж його витримував пошкоджений. Теж саме можна сказати про теплові характеристики нового елемента. Значну проблему складає також необхідність не перевищувати (або не перевищувати значно) масу первинного елемента, його вартість, не зменшувати параметри надійності, тощо.

Все це накладає додаткові обмеження на хід та результати розрахунків та вибір нових структур, матеріалів, стандартних деталей і т.д., а отже змінює методи, моделі та алгоритми проектування, надаючи йому нових рис, притаманних лише проектуванню відновлювальному.

Саме завдяки цьому, автоматизоване проектування пристроїв та технології для супроводження та підтримки працездатності складних об'єктів на постпроектних етапах життєвого циклу (виготовлення, налаштування, експлуатація, ремонт, тощо) відрізняється спадкоємністю нового та основного проектів, збільшенням розмірності нового технічного завдання на проект та більш жорсткими обмеженнями на процес проектування. Це дозволило визначити нові підходи до процесів створення кризового проекту майбутнього об'єкта та способів його виготовлення.

Проектування нового елемента, призначеного для відновлення об'єкта

після відмови, повинно починатися із визначення габаритних розмірів елемента, розташування та розмірів приєднуючих пристроїв (болти, отвори, ластівчини хвосту, тощо).

Далі виконується прив'язка усіх потенціалів та потоків, які повинен підтримувати елемент, що заміняється. Це, насамперед, механічне навантаження та напруження, а також пружні коливання, електричні напруга та електричний струм, гідравлічний тиск та потік рідини (газу), різниця температур та тепловий потік, зберігання, обробка та розповсюдження інформації і т. ін. (рис. 2.13). Адже об'єкт в цілому має «не помітити» заміну елемента по усіх функціональних обов'язках останнього, як не помічає електрична схема будь-яку еквіваленту заміну своєї частини [144] (рис. 2.14).

В такій постановці «місце приєднання» змінюваного елемента до об'єкта сприймається як набір сталих вимог, які є невід'ємною частиною загального технічного завдання на антикризове проектування. Тут проявляє себе зв'язність [102, 145], оскільки змінювати об'єкт при такому проектуванні неможливо, – може бути тільки замінюваний елемент!

Об'єкт при цьому є чимось «великим» (не завжди в прямому сенсі) та незмінним (рис. 2.15 *a*). Натомість у тих випадках, коли з деяких параметрів (розміри, маса, теплові характеристики, швидкість обертання, надійність, тощо) змінюваний елемент стає сумірним із рештою об'єкта, з якого цей елемент вибув, процес проектування поширюється вже на систему «об'єкт – змінюваний елемент» із відповідними змінами в Технічному завданні на таке відновлюване проектування (рис. 2.15 *b*).

Ці зміни торкаються, в першу чергу, переведенням жорстких (безумовних) обмежень у відповідні нежорсткі (умовні) із одночасним розширенням можливостей при розв'язанні оптимізаційних задач в САПР [4, 12, 13, 146, 147].

Прикладом такого розширення є звичайний асинхронний електродвигун [148 – 154] та його найголовніший змінний параметр – електричне ковзання  $s = (f_1 - f_2) / f_1$ .



**Механічне навантаження та напруження**



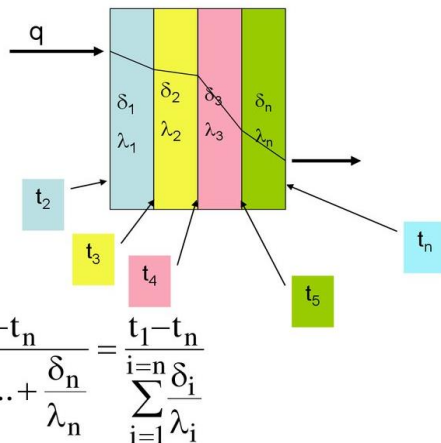
**Електричні напруга та струм**



**Гідравлічний тиск та потік рідини (газу)**

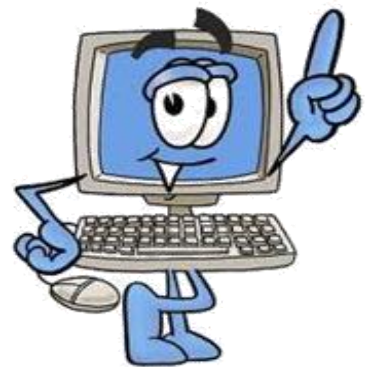
Виводиться из системы уравнений:

$$\begin{cases} q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_1 - t_2) \dots \\ q = \frac{\lambda_n}{\delta_n} (t_{n-1} - t_n) \end{cases}$$



$$q = \frac{t_1 - t_n}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{t_1 - t_n}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

**Тепловий потік**



**Зберігання, обробка та розповсюдження інформації**

Рисунок 2.13 – Приклади функцій, які повинен забезпечувати новий елемент після відновлення об'єкта



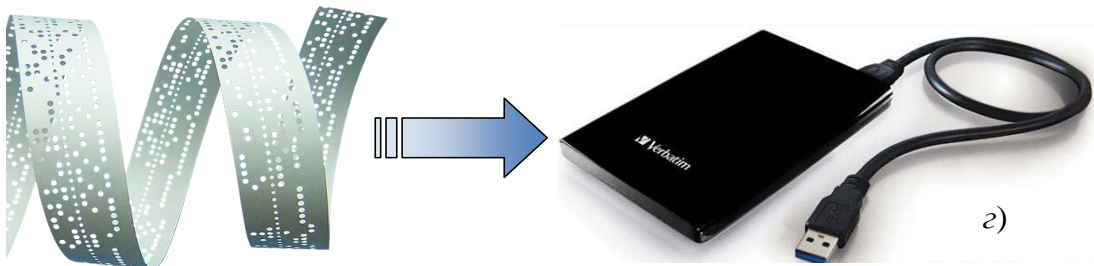
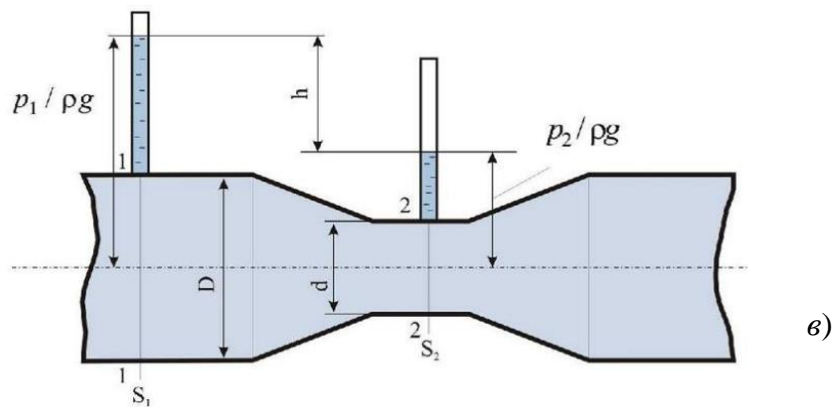
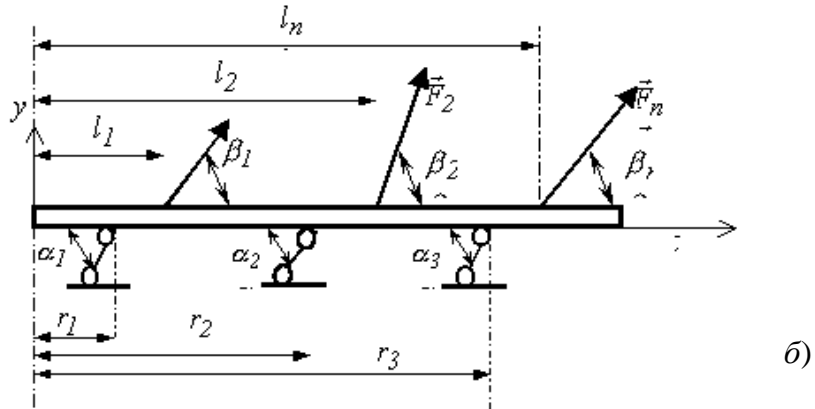
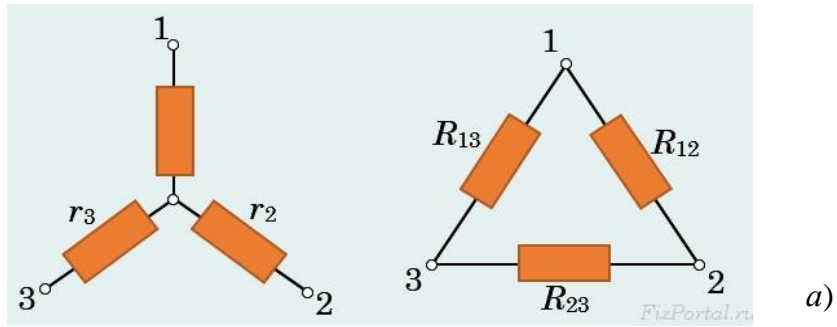


Рисунок 2.14 – Приклади еквівалентних замі в об'єкті відновлення:

а – електричні;

б – механічні;

в – гідравлічні;

г – інформаційні.

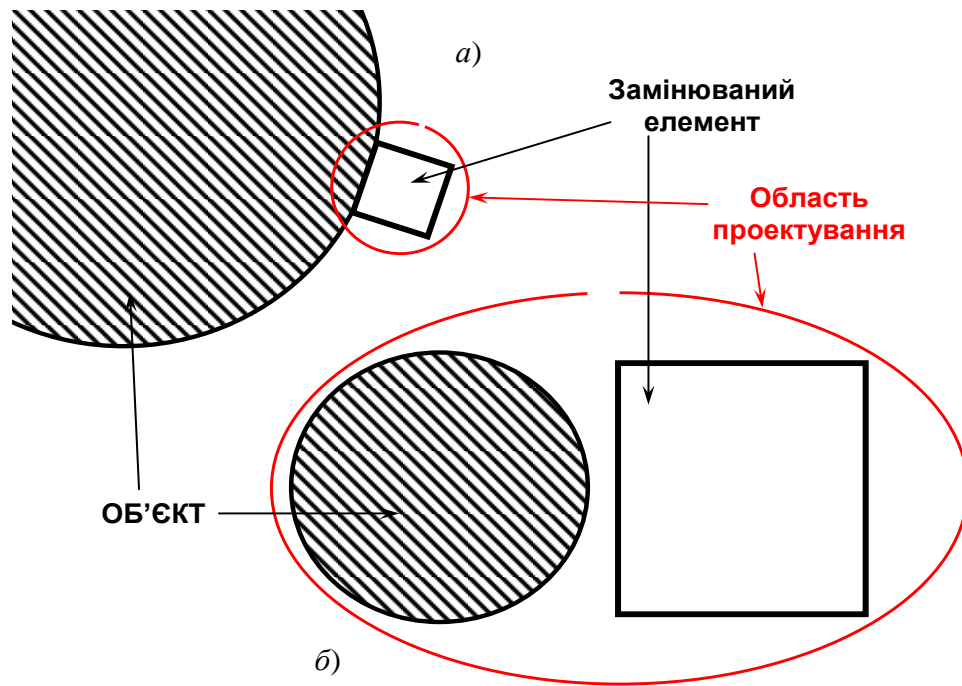


Рисунок 2.15 – Поширення області проектування на систему «об'єкт – замінюваний елемент» при несумірності (а) та сумірності (б) їхніх розмірів або інших параметрів

Воно пов'язує параметри різних матеріальних субстанцій (поле і фізичний об'єкт), що належать до різних підсистем системи «генератор – двигун»:  $f_1$  – частота обертання магнітного поля статора,  $f_2$  – частота обертання ротора двигуна.

Якщо розглянути в якості джерела живлення такого двигуна потужну електростанцію (ГЕС або АЕС), то отримуємо випадок, ілюстрований на рис.2. а, коли параметри струму від цієї станції є жорсткими обмеженнями при проектуванні лише двигуна.

У випадку системи «паливний генератор – асинхронний двигун» із близькими значеннями потужності підсистем *обидва* параметри, що входять до ковзання, а отже і саме ковзання, суттєво залежать від моменту на валу асинхронного електродвигуна  $M$ :  $f_1(M)$ ,  $f_2(M)$  та  $s(M)$  [155].

Завдяки цим особливостям, ковзання стоїть окремо серед проєктованих параметрів, адже один з його аргументів, – частота електричного струму

живлення, – не завжди доступна для проектувальника в якості аргументу. За винятком того випадку, коли частота виступає в якості керуючого впливу на швидкість обертання двигуна [156]

Розглянемо випадок коли пошкоджений елемент працював із основною частиною об'єкта, сумірною з ним за потужністю (розміру, маси, тощо) та навантаженням.

Коли навантаження на елемент  $P$  невелике, величина деякого параметра  $p_1$  цього елемента наближається до номінального значення. При цьому величина спорідненого параметра об'єкта  $p_2$  визначається зв'язністю  $s(P)$  (рис. 2.16).

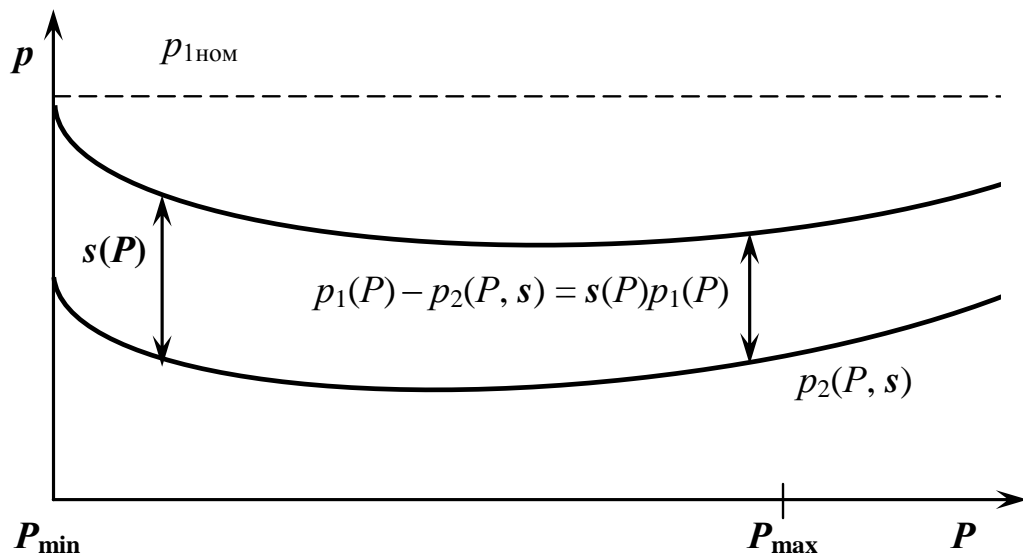


Рисунок 2.16 – Схема до розрахунку параметрів системи «об'єкт – елемент, що відновлюється» за зв'язністю  $s$

Із збільшенням навантаження  $P$  обидві частоти зменшуються, а зв'язність  $s(P)$ , яка за визначенням є функцією цих частот, незначно змінюється.

Із зазначеного випливає, що під час проектування зв'язність  $s$  – функція режиму роботи елемента, що відновлюється. Тому в роботі запропоновано метод розрахунку зв'язності  $s$ , якому передують розрахунок функції  $s(P)$  (рис. 2.17).

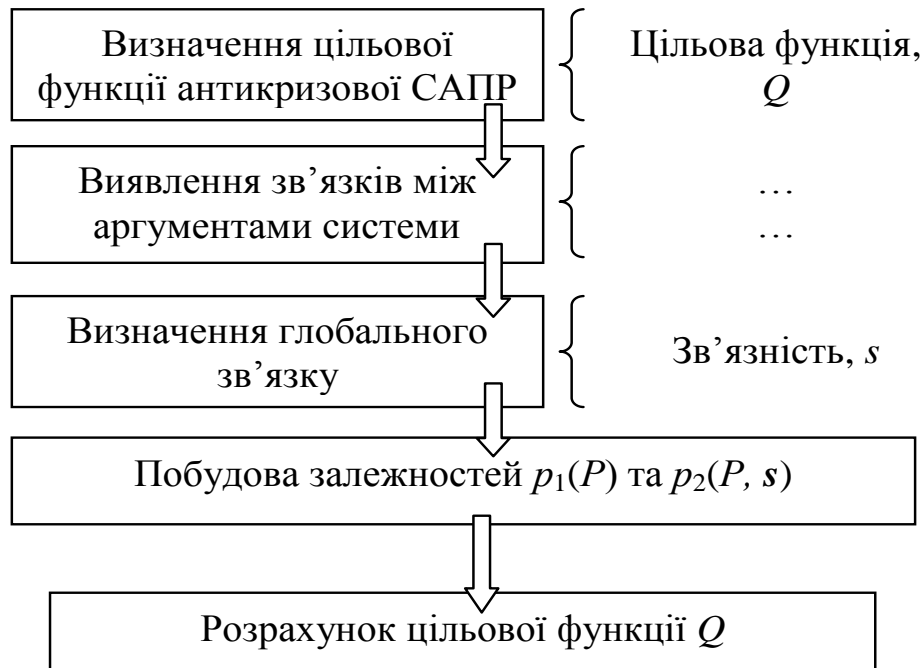


Рисунок 2.17 – Послідовність операцій при розрахунку зв'язності  $s$  в антикризовій САІР системи «об'єкт без пошкодженого елемента – пошкоджений елемент»

Спочатку відбувається вибір проміжної цільової функції оптимізації, далі – виявлення усіх врахованих в САІР зв'язків між аргументами системи, і, нарешті, вибір глобального зв'язку.

Далі будуються залежності  $p_1(P)$  та  $p_2(P, s)$ . Інтегруючи останню, отримуємо цільову функцію  $Q_i$  для чергового,  $i$ -го етапу розрахунку. Пробігаючи значенням  $i$  від одиниці до кінця інтервалу оптимізації  $k$ , отримаємо набір значень  $Q_1 - Q_k$ .

Оптимізація в рамках запропонованого методу полягає у підборі такого номінального значення зв'язності  $s$ , при якому цільова функція  $Q$  буде екстремальною.

Таким чином враховується значний природний зв'язок, який існує між пошкодженими (старими) елементами об'єкта та його відновлювальними (новими) елементами. Підхід дозволяє визначити технічну «ціну» відхилення параметрів цих елементів для об'єкта в цілому.

## 2.5 Загальна схема САПР відновлення (реінжинірингу)

Після того, як відмова виявлена та ідентифікована, а також сформульоване технічне завдання на проектування усіх аспектів відновлення (конструкції, технології, постачання, тощо), САПР відновлення починає втілювати це завдання в життя за схемою, наведеною на рис. 2.18.



Рисунок 2.18 – Загальна схема САПР та оцінки ефективності відновлення (реінжинірингу)

## 2.6 Висновки

1. Головною відмінністю експлуатації відновлюваного об'єкта – постійна необхідність в моніторингу за виникненням відмов та прийняття заходів із компенсації їх наслідків, що постійно відбивається на змісті експлуатації, а саме, призводить до його «руйнування». Для відновлення об'єкта необхідно замінити пошкоджені елементи, що в умовах віддалення від організацій, де об'єкт було спроектовано та виготовлено, призводить до необхідності додаткового, *постпроектного* проектування.

2. Процес відновлення – це єдиний ієрархічно структурований інформаційний об'єкт, який поєднує експлуатаційні рішення і конструкторсько-технологічні документи, які відображують результати технічної підготовки до реінжинірингу технологічного обладнання. Проект реінжинірингу також містить експлуатаційні документи, ремонтні документи і проект модернізації. При цьому склад проекту реінжинірингу може залежати від кількості одиниць, а іноді й від складності технологічного обладнання, що він описує.

3. Будь-яке автоматизоване проектування виконується за стандартною схемою. На першому місці в цій схемі стоїть технічне завдання на проект, яке отримується від замовника і є для процесу автоматизованого проектування «оточуючим середовищем». Натомість, в антикризовому проектуванні в оточуючому середовищі знаходиться об'єкт, а технічне завдання формується «всередині» САПР, взаємодіючи як з об'єктом, так і з процесом антикризового проектування, оскільки вимушено змінюється при кожній кризі відновлення. В основі технічного завдання при відновленні знаходиться те, що заміна старого (того, що вийшло з ладу) на новий (знову проєктований та виготовлений) елемент не повинна призводити до суттєвих змін в функціонуванні об'єкта в цілому.

4. Основною відмінністю таких САПР є дуже широкий спектр застосування, в деякому сенсі вони можуть відноситися до САПР загального застосування, завдяки своїй універсальності. З іншого боку, САПР відновлення

досить вузько спеціалізовані, оскільки їхні можливості розповсюджуються виключно на групу пошкоджуваних елементів конкретного об'єкта експлуатації. Адже всі забезпечення таких САПР повинні супроводжувати конкретний об'єкт, можна говорити, що такі системи проектування – найсучасніша форма обов'язкового резервного антикризового набору, який входить до ЗІП.

5. Головною відмінною постпроектного відновлювального проектування від основного базового є те, що таке проектування має дуалістичну природу. З одного боку, як і будь який реінжиніринг, воно має створювати проект нового елемента, який відрізняється від базового з причин, про які йшлося вище. З іншого боку, – така різниця має певні обмеження. Адже новий елемент має успадковувати параметри старого: він повинен бути встановлений на об'єкт із врахуванням геометричних характеристик механічного кріплення, типорозмірів роз'ємів електричного, гідравлічного та іншого призначення. Новий елемент має бути не тільки розмірним, але й функціональним заміником старого елемента в об'єкті.

6. Наприклад, новий опорний елемент повинен витримувати навантаження, не менше, ніж його витримував пошкоджений. Теж саме можна сказати про теплові характеристики нового елемента. Значну проблему складає також необхідність не перевищувати (або не перевищувати значно) масу первинного елемента, його вартість, не зменшувати параметри надійності, тощо. Все це накладає додаткові обмеження на хід та результати розрахунків та вибір нових структур, матеріалів, стандартних деталей і т.д., а отже змінює методи, моделі та алгоритми проектування, надаючи йому нових рис, притаманних лише проектуванню відновлювальному.

7. Саме завдяки цьому, автоматизоване проектування пристроїв та технології для супроводження та підтримки працездатності складних об'єктів на постпроектних етапах життєвого циклу (виготовлення, налаштування, експлуатація, ремонт, тощо) відрізняється спадкоємністю нового та основного проектів, збільшенням розмірності нового технічного завдання на проект та

більш жорсткими обмеженнями на процес проектування. Це дозволило визначити нові підходи до процесів створення кризового проекту майбутнього об'єкта та способів його виготовлення.



### РОЗДІЛ 3

#### АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АНТИКРИЗОВИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ САПР

Сучасні складні пошкоджені технічні об'єкти складаються з тисяч елементів, кожний з котрих може вийти з ладу та відновлення яких може скласти серйозну проблему в ситуації кризового виживання.

Звісно, при такому різноманітті пошкоджень годі й думати про деяку «універсальну» САПР відновлення на усі випадки життя. Тому в дисертаційній роботі можливі ризики пошкоджень окремих елементів розподілені на три великі групи:

- 1) пошкодження елементів електроніки та телеавтоматики, невідновлюваних пристроїв, тощо;
- 2) пошкодження елементів, які можуть (і повинні) бути передбачені у ЗПП;
- 3) пошкодження елементів, які з різних причин (наприклад, великих габаритів) не передбачені в ЗПП та які можуть бути спроектовані та виготовлені «в польових» умовах експлуатації об'єкта.

Проектуванню останніх присвячений цей розділ роботи. Для цього, за статистикою, були виділені головні групи відновлюваних елементів третього типу:

- корпусні елементи: сосуди, що працюють під тиском, обичайки, контейнери, власне корпуси, тощо;
- опорні елементи: стовпи ліній електропередач, палі, стінові панелі, тощо;
- плоскі та багатошарові елементи: панелі, теплоізолюючі системи, гумометалеві вироби, тощо,

а також головні проблеми автоматизованого проектування елементів кожної з груп (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Головні проблеми проектування відновлюваних елементів третього типу

№№ з/п	Група	Проблема
1	Корпусні елементи	Забезпечення рівнонапруженості корпусних елементів
2	Опорні армовані елементи	Конструкція арматури, склад наповнювача та технологія заповнення пресформи із встановленою арматурою
3	Плоскі та багатошарові елементи	Забезпечення заданого передавання дії крізь елемент за рахунок матеріалу та розмірів окремих шарів
4	Автономні елементи мережевих об'єктів	Забезпечення заданого функціонування мережі після відновлення

Розглянемо розв'язання цих проблем проектування окремо за кожною групою відновлювальних елементів.

### 3.1 Автоматизоване проектування корпусних відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів

Як випливає з табл. 3.1, головною проблемою антикризового проектування корпусних елементів об'єкта є забезпечення рівнонапруженості деталей проектованого елемента. Особливо це відноситься до круглих деталей – ден, обичайок, кришок, які, як правило, зазнають нерівномірного навантаження. Метою тут є підвищення якості проектування рівнонапружених деталей машин за рахунок зменшення маси відповідних деталей при збереженні їхньої надійності, шляхом розробки математичних моделей круглої пластини

змінної товщини, яка працює під поперечним навантаженням [5, 8].

При дії поперечного навантаження  $q(r)$  на круглій пластині, закріплену в окружному напрямку симетрично відносно центральної осі  $z$ , переміщення її серединної поверхні (прогин) буде також функцією лише радіальної координати,  $w(r)$ . Така деформація зветься осесиметричною. Для пластини, товщина якої  $h(r)$  буде змінною тільки в радіальному напрямку, прогин  $w(r)$  і напружений стан залишаться осесиметричними.

Границею круглої пластини є окружність, тому для розрахунків застосовується полярна система координат. Для сукупності точок  $A$ , розташованих на однаковій відстані  $r$  від центру пластини, радіуси кривизни вигнутої серединної поверхні в радіальному й окружному напрямках будуть різними, відповідно  $\rho_1$  і  $\rho_2$ , див. розрахункову схему на рис. 3.1.

Кут нахилу вигнутої серединної поверхні  $\varphi(r)$  пов'язаний із прогином  $w(r)$  і радіусами кривизни залежностями [109]

$$\frac{1}{\rho_1} = k_1 = \frac{d\varphi}{dr} = -\frac{d^2w}{dr^2}, \quad (3.1)$$

$$\frac{1}{\rho_2} = k_2 = \frac{\varphi}{r} = -\frac{1}{r} \cdot \frac{dw}{dr}, \quad (3.2)$$

де  $k_1$  і  $k_2$  – кривизни вигнутої серединної поверхні в радіальному й окружному напрямках.

Товщину пластини  $h(r)$  і навантаження  $q(r)$  вважаємо незмінними в окружному напрямку, тому форма вигнутої серединної поверхні буде симетричною відносно осі  $z$ . Диференціальне рівняння осесиметричного вигину круглої пластини змінної товщини  $h(r)$  для визначення прогину  $w(r)$  має четвертий порядок [102]

$$D\nabla^2\nabla^2w + \frac{dD}{dr} \left( 2\frac{d^3w}{dr^3} + \frac{2+\mu}{r} \frac{d^2w}{dr^2} - \frac{dw}{r^2 dr} \right) + \frac{d^2D}{dr^2} \left( \frac{d^2w}{dr^2} + \frac{\mu}{r} \frac{dw}{dr} \right) = q(r), \quad (3.3)$$

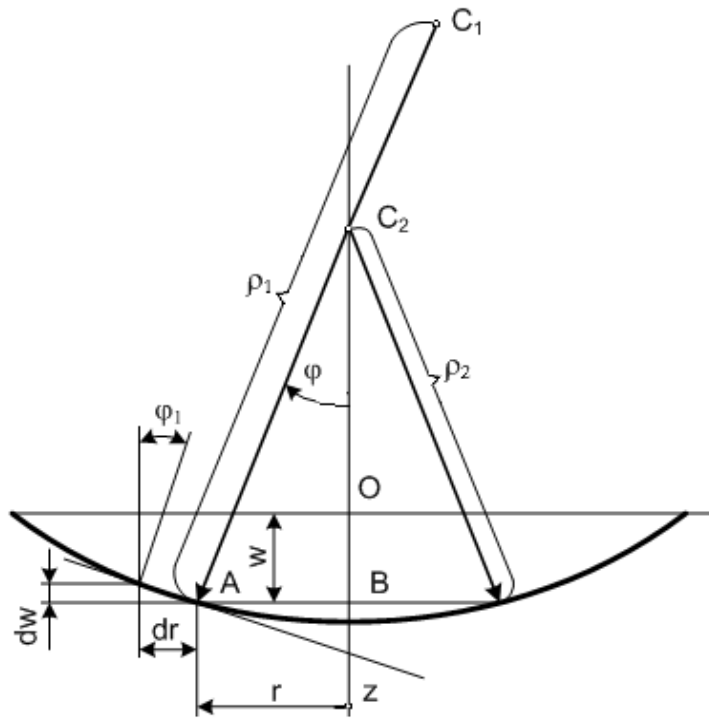


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема відновлювального корпусного елемента у вигляді вигнутої поверхні круглої пластини

де змінна циліндрична жорсткість пластини:

$$D(r) = \frac{Eh^3(r)}{12(1-\mu^2)}. \quad (3.4)$$

Тут  $E$ ,  $\mu$  – модуль пружності й коефіцієнт Пуассона, – механічні характеристики матеріалу пластини, які вважаються константами.

У формулі (3.3) диференціальний оператор Лапласа

$$\nabla^2 w = \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dw}{dr}. \quad (3.5)$$

Вважаємо, що  $q > 0$  і  $w > 0$ , якщо вони спрямовані донизу.

Змінну в радіальному напрямку  $r$  товщину опишемо залежністю, яку

називають функцією Гауса

$$h(r) = h_0 \exp\left(\frac{nr^2}{6R^2}\right), \quad (3.6)$$

де  $R$  – радіус контуру пластини,  $h_0$  – її товщина в центрі,  $n$  – параметр.

Опис форми радіального перетину пластини виразом (3.6) є досить загальним, тому що ця формула моделює пластини, у яких товщина або зростає від центру до периферії (при  $n > 0$ ), або убиває (при  $n < 0$ ), а величина параметра  $n$  визначає інтенсивність зміни товщини.

Для обчислення згинальних моментів знаходити прогини з рівняння четвертого порядку (3.3) не потрібно, оскільки ці моменти можна виразити через кути повороту за формулою (3.2):

$$\varphi(r) = -\frac{dw}{dr}. \quad (3.7)$$

Заміна в рівнянні (3.3) прогинів на кути повороту згідно із залежністю (3.7) дозволяє понизити порядок диференціального рівняння (3.3) до другого:

$$D \frac{d}{dr} \left( \frac{d\varphi}{dr} + \frac{\varphi}{r} \right) + \frac{dD}{dr} \left( \frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right) = -\frac{1}{r} \int_0^r q(r) r dr = -\frac{q_0 r}{2}, \quad (3.8)$$

Тут значення правої частини отримане для навантаження  $q_0$ , рівномірно розподіленого по всій поверхні пластини.

Якщо розв'язок рівняння (3.8) буде отримано, то прогин можна буде знайти інтегруванням виразу (3.7):  $w(r) = -\int \varphi(r) dr + C_0$ .

Постійна інтегрування  $C_0$  визначається з умови закріплення пластини по краях.

Перейдемо в (3.8) до безрозмірної координати, замінивши  $r=x \cdot R$ .  
Формули для циліндричної жорсткості (3.4) та її похідної при товщині (3.6)  
мають вигляд:

$$D = \frac{Eh_0^3}{12(1-\mu^2)} \exp\left(\frac{nx^2}{2}\right); \quad \frac{dD}{dr} = \frac{Eh_0^3}{12(1-\mu^2)} \frac{nx}{R} \exp\left(\frac{nx^2}{2}\right). \quad (3.9)$$

Після підстановки (3.9) в (3.8) і деяких математичних перетворень  
одержуємо диференціальне рівняння другого порядку зі змінними  
коефіцієнтами:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \left(\frac{1}{x} + nx\right) \frac{d\varphi}{dx} - \left(\frac{1}{x^2} - \mu n\right) \varphi = -\frac{1}{r} \int_0^r q(\rho) \rho d\rho = -\bar{p} x \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right), \quad (3.10)$$

де безрозмірний множник

$$\bar{p} = 6(1-\mu^2) \frac{q_0}{E} \cdot \frac{R^3}{h_0^3}. \quad (3.11)$$

Отримати розв'язок рівнянь зі змінними коефіцієнтами, яким є й (3.10), з  
використанням елементарних функцій найчастіше не вдається [103].

Тому звертаємось до математичної програми Maple 13, де існує  
відповідний математичний апарат.

При використанні цієї комп'ютерної програми замінено позначення  
функції  $\varphi(x) \rightarrow y(x)$ , записано відповідні команди і отримано наведений нижче  
результат.

$$de = \text{diff}(y(x), x) + \left(\frac{1}{x} + n \cdot x\right) \cdot \text{diff}(y(x), x) - \left(\frac{1}{x^2} - m \cdot n\right) \cdot y(x) + p \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{n \cdot x^2}{2}\right) \quad (3.12)$$

$$\frac{d^2}{dx^2} y(x) + \left(\frac{1}{x} + n \cdot x\right) \cdot \left(\frac{d}{dx} y(x)\right) - \left(\frac{1}{x^2} - m \cdot n\right) \cdot y(x) + p \cdot x \cdot e^{-\frac{1}{2}nx^2} \quad (3.13)$$

$$y(x) = \frac{e^{-\frac{1}{4}nx^2} \text{Whittaker}M\left(\frac{1}{2}m - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}nx^2\right) - C1}{x} + \frac{e^{-\frac{1}{4}nx^2} \text{Whittaker}W\left(\frac{1}{2}m - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}nx^2\right) - C2}{x} - \frac{p \cdot x \cdot e^{-\frac{1}{2}nx^2}}{n(-3+m)}. \quad (3.14)$$

В цьому розв'язанні задіяні дві функції Уїттекера (ФУ) першого й другого роду, використані також в роботі [110]. Для цих функцій в математичній літературі використовують позначення  $M_{k,s}(z)$  і  $W_{k,s}(z)$ , [107]. У даному випадку параметри  $k=0,5(\mu-1)$ ,  $s=0,5$ , аргумент  $z=0,5nx^2$  і кут повороту визначається формулою

$$\varphi(x) = x^{-1} \exp\left(-\frac{nx^2}{4}\right) \left[ C_1 M_{\frac{\mu-1}{2}, \frac{1}{2}}\left(\frac{nx^2}{2}\right) + C_2 W_{\frac{\mu-1}{2}, \frac{1}{2}}\left(\frac{nx^2}{2}\right) \right] + \frac{\bar{p}x}{(3-\mu)n} \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right). \quad (3.15)$$

Тут власні функції диференціального оператора рівняння (3.10):

$$y_{w1} = x^{-1} \exp(-nx^2/4) M_{\frac{\mu-1}{2}, \frac{1}{2}}(nx^2/2); \quad y_{w2} = x^{-1} \exp(-nx^2/4) W_{\frac{\mu-1}{2}, \frac{1}{2}}(nx^2/2). \quad (3.16)$$

Негативний показник ступеню у безрозмірного радіуса ( $x^{-1}$ ) створює невизначеність при  $x \rightarrow 0$ . Можна позбутися цієї особливості, якщо замінити в розв'язку ФУ на функції Куммера першого й другого роду  $M(a, b; z)$ ,  $U(a, b; z)$ . Для цього використовуємо залежності з [7, 11, 19]

$$\begin{aligned} M_{k,s}(z) &= z^{s+0,5} \exp(-z/2) M(0,5+k+s, 1+2s; z); \\ W_{k,s}(z) &= z^{s+0,5} \exp(-z/2) U(0,5+k+s, 1+2s; z) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Порівнюючи параметри у ФУ й у функцій Куммера, визначаємо параметри  $a=(1+\mu)/2$ ,  $b=2$  і утворюємо нову форму для власних функцій (3.16):

$$y_{K1} = \frac{nx}{2} \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right) M\left(\frac{3-\mu}{2}, 2; \frac{nx^2}{2}\right); \quad y_{K2} = \frac{nx}{2} \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right) U\left(\frac{3-\mu}{2}, 2; \frac{nx^2}{2}\right). \quad (3.18)$$

Відзначимо, що функції Куммера і Уіттекера належать до класу вироджених гіпергеометричних функцій, їх використовують для побудови рішень у деяких задачах фізики, астрономії та механіки.

Власні функції (3.18) є добутками трьох функцій, степеневі, експоненціальної і Куммера, їх аргумент  $x$  в розглянутій задачі знаходиться в діапазоні  $(0 \dots 1)$ . Перші два співмножники в цьому діапазоні є обмеженими величинами і для дослідження характеру цих добутків слід врахувати поведінку третього множника, функцій Куммера в діапазоні  $0 \leq x \leq 1$ . Для наочності цього дослідження в програмі Maple 13 виконана побудова поверхонь власних функцій (3.18),  $y_{K1}$  і  $y_{K2}$ , у діапазоні змінної  $0 < x < 1$  при значеннях коефіцієнта Пуассона  $\mu=0,3$  для параметра  $n=-6 \dots 6$ .

$$\begin{aligned} y_{K1} &= \frac{n \cdot x}{2} \cdot \exp\left(-\frac{n \cdot x^2}{2}\right) \cdot \text{Kummer}M\left(1.35, 2, \frac{n \cdot x^2}{2}\right); \\ y_{K2} &= \frac{n \cdot x}{2} \cdot \exp\left(-\frac{n \cdot x^2}{2}\right) \cdot \text{Kummer}U\left(1.35, 2, \frac{n \cdot x^2}{2}\right); \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\frac{1}{2} n \cdot x \cdot e^{-\frac{1}{2} n \cdot x^2} \text{Kummer}M\left(1.35, 2, \frac{1}{2} n \cdot x^2\right); \quad \frac{1}{2} n \cdot x \cdot e^{-\frac{1}{2} n \cdot x^2} \text{Kummer}U\left(1.35, 2, \frac{1}{2} n \cdot x^2\right); \quad (3.20)$$

Розв'язок рівняння (3.10) з використанням власних функцій (3.16) має вигляд [108]:

$$\varphi(x) = \frac{nx}{2} \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right) \left[ C_1 M\left(\frac{3-\mu}{2}, 2; \frac{nx^2}{2}\right) + C_2 U\left(\frac{3-\mu}{2}, 2; \frac{nx^2}{2}\right) \right] + \frac{px}{(3-\mu)n} \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right). \quad (3.21)$$



Вказана вище особливість (3.б) власної функції  $y_{k2}(x)$  при значенні  $x=0$  обумовлена характером її співмножника, функцією Куммера другого роду  $U(a, b; z)$ , з аргументом  $z=0,5nx^2$ . Кут повороту нормалі  $AC_1$  до зігнутої серединної поверхні при  $x=0$  повинен дорівнювати нулю (див. рис. 3.1) і умову  $\varphi(0)=0$  виконаємо, прийнявши  $C_2=0$ . В результаті рівняння (3.21) приймає вигляд

$$\varphi(x) = \left[ C_1 \frac{n}{2} F_{K1}(x) + \frac{\bar{p}}{(3-\mu)n} \right] x \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right), \quad (3.22)$$

де для функції Куммера першого роду прийняте позначення

$$M\left(\frac{3-\mu}{2}, 2; \frac{nx^2}{2}\right) = F_{K1}(x). \quad (3.23)$$

У рівнянні (3.23) залишилася одна константа  $C_1$ . Для її визначення потрібно буде використати граничну умову на контурі  $x=R$ .

Таким чином, для постпроектного антикризового відновлювального проектування корпусних елементів (наприклад, баків, судин, тощо) запропоновано математичну модель рівнонапруженого стану деталей машин у вигляді круглих пластин, закріплених в окружному напрямку симетрично відносно центральної осі. При цьому змінну в радіальному напрямку товщини пластини описували за допомогою функції Гауса.

### 3.2 Автоматизоване проектування опорних відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів

Як випливає з табл. 3.1, головною проблемою антикризового проектування опорних елементів об'єкта є забезпечення необхідної щільності

та відсутності порожнин в елементі за рахунок ефективних конструкції арматури, складу наповнювача та технології заповнення пресформи із встановленою арматурою

Опорні відновлювальні елементи, як правило, працюють під значним механічним навантаженням, тому їхня конструкція найчастіше містить деталі арматури, а технологія їхнього виготовлення – етап замовлення деякої форми із встановленого до останньої арматурою формувальною сумішшю. Приклад – виготовлення залізобетонних опорних виробів (рис. 3.2).

Довжина стійок – 20 м, зовнішній діаметр – 0,8 м, внутрішній – 0,63 м. Маса цього виробу – до 10 т, діаметр армуючої сталі – 0,14 м.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд з торця на залізобетонну опору лінії електропостачання із 24 армуючими стрижнями

Стійки призначені для будівництва високовольтних ліній в будь-яких кліматичних умовах при неагресивному, слабо і середньо агресивному і неагресивному ступеню впливу встановленого проектною документацією згідно зі СНП 2.03.11-85, а також сейсмічності району будівництва до 9 балів

включно.

Стійки призначені для будівництва при розрахунковій температурі до мінус 55 °С, згідно СНІП 2.01.07-82 в районах по силі вітру і в районах по товщині стінки ожеледиці, згідно СНІП 2.01.07-85. Марка бетону по морозостійкості і водонепроникності: нижче мінус 40 °С – F 200 і W 8, мінус 40 °С і вище – F 150 і W 6.

Технологічний процес виготовлення залізобетонних циліндричних опор для ЛЕП досить складний (рис. 3.3).

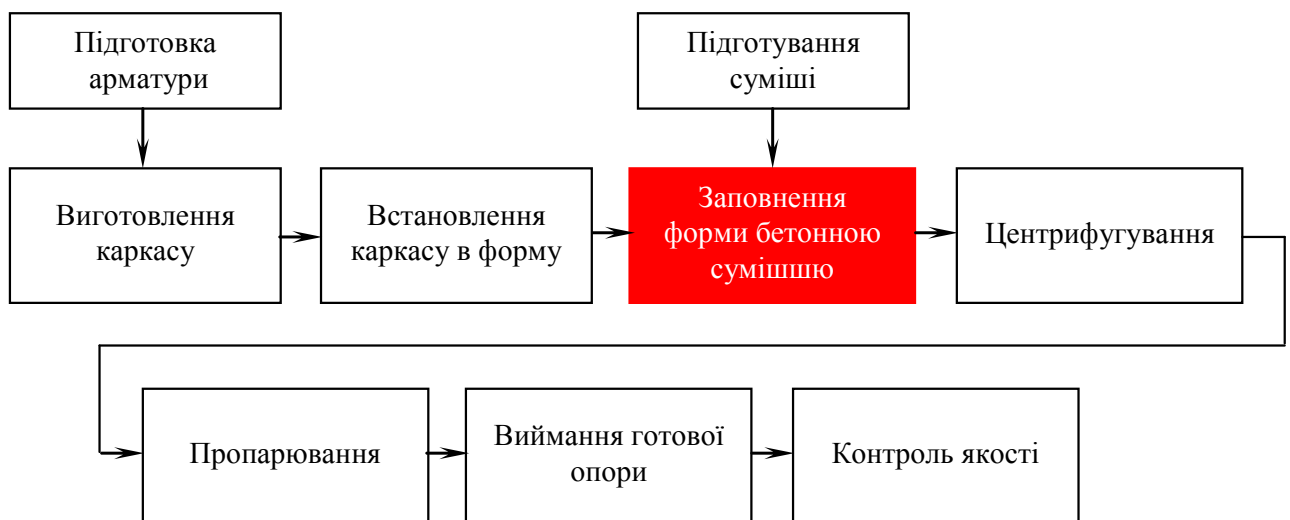


Рисунок 3.3 – Схема технологічного процесу виготовлення опор для ЛЕП із елементами вимірювання щільності бетону

Якщо розглядати систему управління якістю однієї окремої опори, то вимірювання проміжних параметрів процесу за допомогою запропонованого методу можна здійснювати на етапі «Заповнення форми бетонною сумішшю», використовуючи описане вище лабораторне устаткування.

Під час здійснення технологічного процесу існує єдиний етап, небезпечний з точки зору якості елемента в цілому. Це – етап заповнення форми бетонною сумішшю, коли закладається важлива властивість елемента – щільність бетону. Значення цієї властивості суттєво залежить від проєктованих за допомогою САПР відновлення параметрів конструкції та технології.

На жаль, залежність між цими параметрами (склад цементної суміші, розмір гравію заповнювача, конструкція арматури, умови твердіння, тощо) і щільністю готового залізобетону настільки складна, що її неможна виявити теоретично, а отже, доводиться робити це експериментально [2, 14].

В роботі для цього застосовували ємнісний метод вимірювання щільності, користуючись тим, що, інших рівних умовах, ємність конденсатора однозначно пов'язана із середньою щільністю матеріалу, який розташований між його обкладками [167].

Для геометрично ідеальних випадків ємність плоского конденсатора може бути розрахована за формулою [67]:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{l}, \quad (3.24)$$

ємність циліндричного конденсатора:

$$C = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}, \quad (3.25)$$

ємність сферичного конденсатора:

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}, \quad (3.26)$$

де:  $C$  – ємність конденсатора, Ф;

$\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність;

$\varepsilon_0$  – електрична постійна,  $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$ ;

$S$  – площа однієї обкладки,  $\text{м}^2$ ;

$l$  – відстань між обкладками, м;

$L$  – довжина циліндра, м:

$R_1, R_2$  – радіуси, відповідно внутрішній та зовнішній, м.

Для конкретного плоского конденсатора значення величини  $S$  і  $l$  суть постійні, і має місце однозначна залежність між ємністю і діелектричною проникністю простору між його обкладками. Якщо матеріал, що заповнює простір, неоднорідний і являє собою багатофазну систему, то значення  $\epsilon$  буде залежати від діелектричної проникності всіх фаз і процентного (масового) їх співвідношення [68].

Якщо в якості заповнювача проміжку між пластинами конденсатора розглядати бетон, сумарна діелектрична проникність останнього буде визначатися проникністю повітря пор і порожнин, зв'язуючого цементу, наповнювальних піску та гравію (тобто величинами постійними в межах даного експерименту) і співвідношенням мас перерахованих компонентів, тобто, в кінцевому підсумку, щільністю даної ділянки виробу

Метою цього розділу роботи є підвищення якості виробництва та зменшення відсотку бракованих виробів при виготовленні циліндричних залізобетонних центрифугованих стійок для опор високовольтних ліній електропередач шляхом розробки та впровадження метрологічного забезпечення для контролю щільності бетонної частини таких стійок електроємнісним методом.

Для досягнення цієї мети в роботі були висунуті та розв'язані такі задачі: розроблені теоретичні основи ємнісного вимірювання щільності бетону в залізобетонних трубчастих конструкціях, створено стенд для вимірювання щільності бетону, розроблено систему контролю якості продукції, виконані практичні випробування результатів дослідження з позитивним техніко-економічним ефектом.

Систематичний виробничий контроль щільності бетонної частини залізобетонних виробів ускладнений через відсутність ефективних методів такого контролю без руйнування виробу. Нагадаємо, що довжина опор ЛЕП сягає 20 метрів при діаметрі 0,8 м!

Метод, запропонований в даній роботі, полягає у безпосередньому вимірюванні електричної ємності конденсатора, одна з обкладок якого є поверхня арматури виробу, а друга – поверхнею рухомої частини стенду для вимірювання ємності.

Такий підхід дозволяє забезпечити відносно стабільні геометричні параметри конденсатора і високу точність вимірювань.

Для тарування вимірювального приладу безпосередньо в розмірності щільності ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) для конкретних сумішей і конкретних умов вимірювання була виготовлена калібрувальна установка, яка складалася з конденсатора з параметрами:  $S = 0,01 \text{ м}^2$ ;  $l = 0,08 \text{ м}$ ; та вимірювача прецизійного LCR-821; діапазон вимірювання ємності:  $0,00001 \text{ пФ} - 99999 \text{ мкФ}$ .

Ємність такої установки складається з вхідної ємності вимірювального приладу  $C_{\text{вх}}$ , ємності сполучних проводів  $C_{\text{пр}}$  і власне ємності плоского каліброваного конденсатора  $C_{\text{к}}$ :

$$C_y = C_{\text{вх}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{к}}. \quad (3.27)$$

Значення  $C_{\text{вх}}$  і  $C_{\text{пр}}$  є постійними для конкретного дослідження і визначаються безпосереднім вимірюванням при відключеному конденсаторі. Перед проведенням обчислень величину  $C_{\text{вх}} + C_{\text{пр}}$  віднімали від виміряного значення  $C_y$ . В таблиці 3.2 представлені значення щільності отриманих зразків і обчислені за формулою (3.27) ємності каліброваного конденсатора, в якому при вимірюванні зразки виконували роль діелектрика.

Обробка отриманих даних з урахуванням конкретних розмірів калібрувального конденсатора дозволила отримати вираз для обчислювати середню щільність досліджуваного фрагмента бетону, якщо відома ємність конденсатора  $C$ , а також площа його обкладинок  $S$  та відстань між ними  $l$ .

$$d = 93 \cdot 10^{12} \text{ ClS}^{-1} - 774. \quad (3.28)$$

Таблиця 3.2 – Залежність ємності конденсатора від середньої щільності матеріалу, який заповнює його об'єм

№№ зразка	Параметри зразка		Значення параметрів	
	$m$ , кг	$d$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_k \times 10^{12}$ , Ф	$\epsilon$
Повітря	-	-	2.21	1,00059
1	1,6224	2028	5.54	2,50831
2	1,6448	2056	5.57	2,52274
3	1,6584	2073	5.77	2,61410
4	1,6736	2092	5.83	2,64134
5	1,6808	2101	5.84	2,64535
6	1,7384	2173	5.9	2,67099
7	1,7552	2194	5.97	2,70465
8	1,7768	2221	6.00	2,71747
9	1,7968	2246	6.05	2,74071
10	1,8200	2275	6.06	2,74710
11	1,8344	2293	6.07	2,74873
12	1,8424	2303	6.11	2,76556
13	1,8664	2333	6.17	2,79360
14	1,9000	2375	6.21	2,81204
15	1,9184	2398	6.27	2,83768
16	1,9496	2437	6.33	2,86493
17	1,9712	2464	6.38	2,88656
18	1,9888	2486	6.43	2,90980
19	2,0136	2517	6.53	2,95548
20	2,0288	2536	6.68	3,02360

Достовірність формули підтверджується практичним збігом значень ємності  $C$  для випадків розрахунку за формулою (3.27) при підстановці  $d = 0$ ,  $S = 0,01$ ;  $l = 0,02$ ; розрахунком за формулою (3.28) при підстановці діелектричної проникності повітря  $\epsilon_n = 1,00059$  і безпосереднім вимірюванням на калібрувальній установці при відсутності між обкладками матеріалу зразка (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Помилки вимірювання ємності конденсатора різними методами

Умова визначення	За формулою (3.27)	За формулою (3.28)	Безпосереднє вимірювання
Значення $C$ , Ф	$2.217 \cdot 10^{-12}$	$2.199 \cdot 10^{-12}$	$2.21 \cdot 10^{-12}$
% помилки	-	0.81	0.03

Оцінку похибки вимірювання за рахунок порушення конфігурації конденсатора здійснювали окремо за двома параметрами взаємного розташування обкладинок.

Відсоток помилки при неточності в установці відстані між обкладками  $l$  на величину  $\Delta l$  визначали за формулою:

$$\frac{\Delta C}{C}(\%) = \frac{100\Delta l}{l + \Delta l}, \quad (3.29)$$

а відсоток помилки вимірювання від взаємної непаралельності обкладок за формулою:

$$\frac{\Delta C}{C}(\%) = 100 \left( 1 - \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dx}{l + x \operatorname{tg} \alpha} \right) = 100 \left( 1 - \frac{l \operatorname{ctg} \alpha}{r} \ln \frac{2l + r \operatorname{tg} \alpha}{2l - r \operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (3.30)$$



де:  $r$  – розмір обкладки в площині перекосу;  
 $\alpha$  – кут між обкладками.

Розраховані за формулами (3.29) та (3.30) похибки при стандартних допусках на розмір  $H$  і кут  $\alpha$  навіть по шостого класу точності не перевищують 2 – 3 %. На жаль, конфігурація реальних обкладок в конденсаторі, створеному на тлі поверхонь внутрішньої арматури, дуже далека від площини, циліндру або сфери. Тому розглянемо обидві його обкладки як деякі криволінійні поверхні, описані функціями вигляду  $y_1(x_1^{k1}, x_2^{k2})$  та  $y_2(x_1^{k3}, x_2^{k4})$ , причому, жодна степінь при аргументах не дорівнює одиниці. Прикладом таких поверхонь можуть служити криволінійні фігури, наведені на рис. 3.4.

Хай поверхні  $y_1(x_1^{k1}, x_2^{k2})$  та  $y_2(x_1^{k3}, x_2^{k4})$ , ємність між якими обчислюється, описуються виразами:

$$\begin{cases} y_1 = x_1^2 + x_2^2; \\ y_2 = -x_1^2 - x_2^2 \end{cases} \quad (3.31)$$

при обмеженнях:

$$x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max}; \quad (3.32)$$

$$x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}. \quad (3.33)$$

Тоді ємність між цими поверхнями в межах (3.32) та (3.33) можна приблизно обчислити як суму ємностей окремих конденсаторів (паралелепіпед на рис. 3.4). Спрямовуючи розміри  $x_1$  та  $x_2$  цього паралелепіпеда до нуля, отримуємо за допомогою подвійного інтегрування:

$$\begin{aligned} C &= \varepsilon_0 \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \frac{dx_1 dx_2}{|f_1(x_1, x_2) - f_2(x_1, x_2)|} = \varepsilon_0 \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \frac{1}{(x_1^2 + x_2^2) - (-x_1^2 - x_2^2)} dx_1 dx_2 = \\ &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \frac{1}{(x_1^2 + x_2^2)} dx_1 dx_2, \end{aligned} \quad (3.34)$$

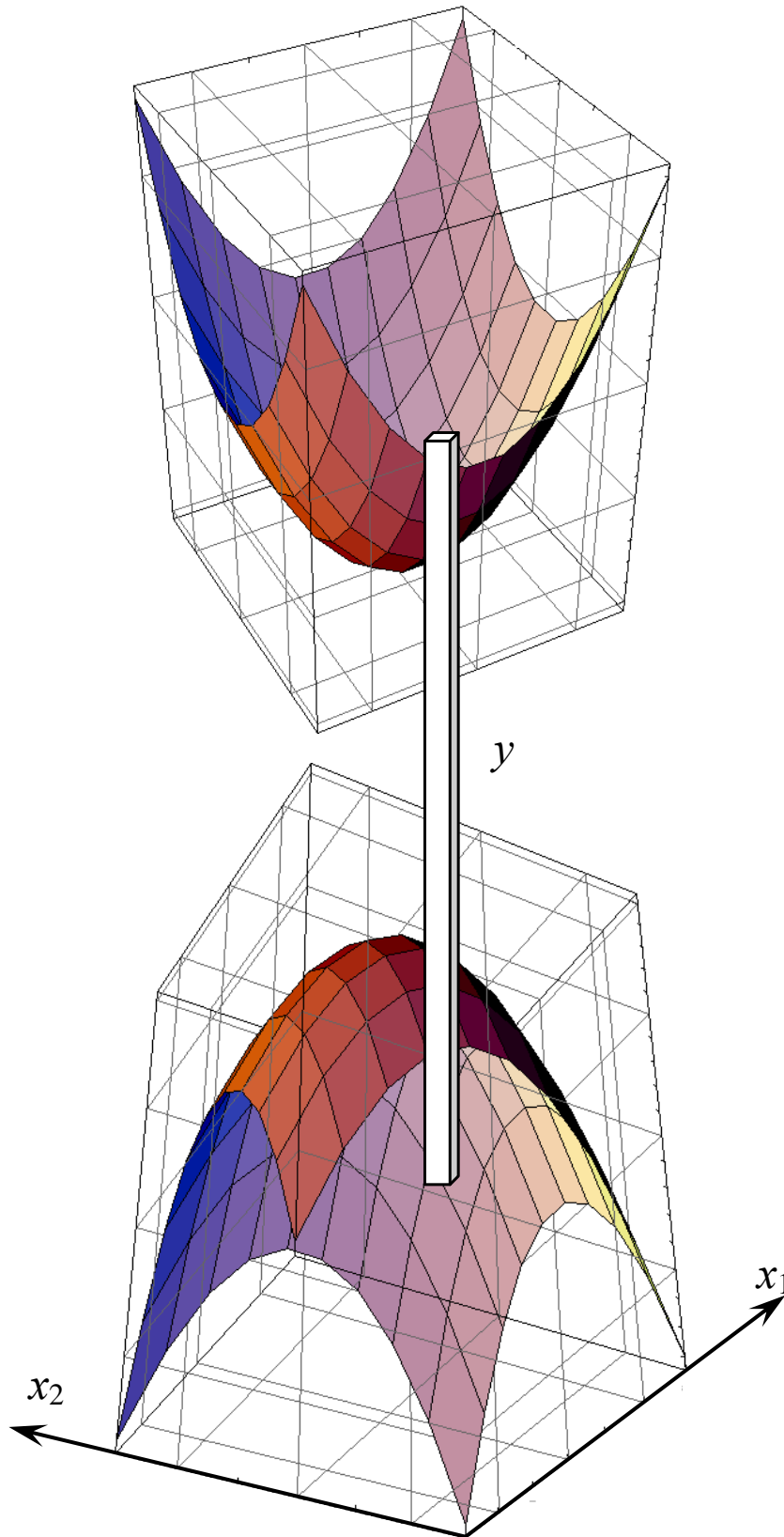


Рисунок 3.4 – Схема до розрахунку електричної ємності між двома криволінійними поверхнями

та виходячи з того, що останній подвійний інтеграл в (3.34) може бути обчислений за допомогою табличного [79, 70]:

$$\int \frac{du}{a^2 + u^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{u}{a} + c \quad (3.35)$$

На жаль, вираз (3.34), та ще й з врахуванням складностей, які випливають з його розв'язання за допомогою (3.35) та згаданої вище відмінності поверхні арматури від будь якої функції виду  $y_1(x_1^{k1}, x_2^{k2})$ , не може бути застосований для розрахунків залежності «ємність – щільність» на кшталт виразу (3.28). Тому в роботі було зроблено акцент на експериментальному виявленні меж ємності, які відповідає поняттю «якість».

Таким чином, головною проблемою при проектуванні конструкцій та технологій виготовлення опорних елементів (наприклад, будівельних) є розрахунок таких параметрів, які забезпечують заповнення формувальною сумішшю (бетоном) порожнин між формоутворюючою оснасткою та арматурою. Оскільки ані форма арматури, ані властивості суміші не є сталими навіть при заповненні одного опорного елемента, визначити аналітичний зв'язок між технологічними параметрами процесу та параметрами якості готового виробу можливо тільки експериментально. Тому до відновлювальної САПР опорних елементів було додано експериментальний блок, в якому щільність наповнювача вимірювали за допомогою ємнісного методу.

### 3.3 Автоматизоване проектування плоских та багат шарових відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів

Як впливає з табл. 3.1, головною проблемою антикризового проектування плоских та багат шарових елементів об'єкта є забезпечення заданого передавання дії (механічної, теплової, тощо) крізь елемент за рахунок

матеріалу та розмірів окремих шарів.

Розглянемо відносно просту задачу. Хай деякому впливу треба розповсюдитися від точки  $(0; 0)$  (рис. 3.5) до точки із координатами  $(x_A; L)$ , долаючи при цьому шлях між цими точками крізь дві зони (I та II) двома відрізками прямих ОХ та ХА.

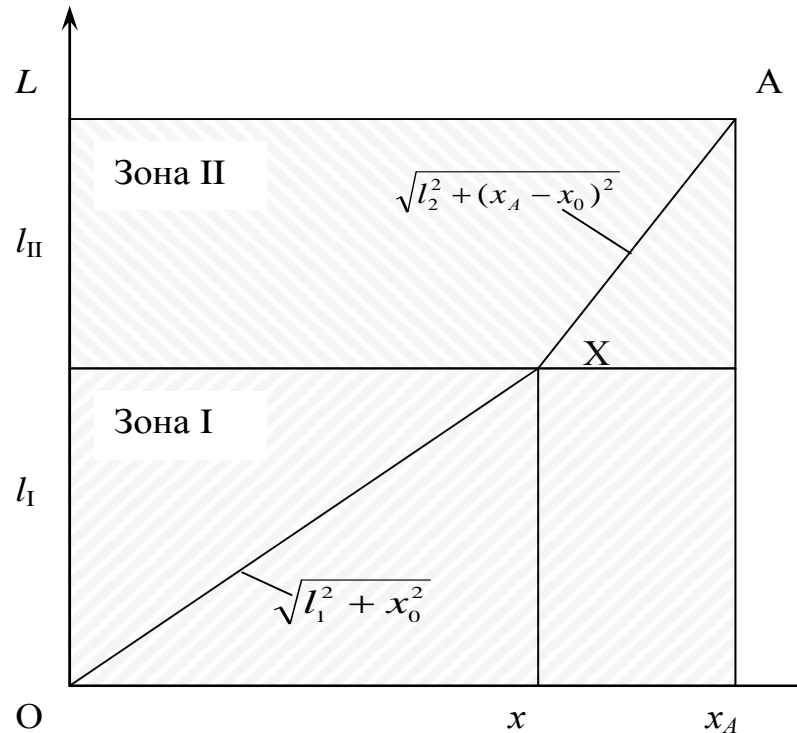


Рисунок 3.5 – Схема до розрахунку оптимального за часом шляху подолання двох зон із різними протяжністю та властивостями

Точка X завжди розташована на границі між зонами I та II, ширина яких, відповідно,  $l_I$  та  $l_{II}$ :

$$l_I + l_{II} = L, \quad (3.36)$$

Якщо властивості (наприклад, швидкість) перенесення впливу однакові ( $v_I = v_{II} = v$ ) для обох зон, найшвидшим шляхом між O і A буде відрізок OA, а час його подолання, відповідно:

$$\tau = \frac{l_{OA}}{v}. \quad (3.37)$$

Якщо швидкості  $v_I$  та  $v_{II}$  нерівні, «прямий» шлях ОА, з точки зору мінімуму часу, стає неоптимальним, і задача оптимізації зводиться до пошуку такої точки «перелому» шляху  $X(l_I; x)$  при якій

$$\tau_I + \tau_{II} = \tau_{\min}. \quad (3.38)$$

Оскільки  $l_I$  – задане число, пошук зводиться до розрахунку  $x_{\min} \rightarrow \tau_{\min}(x)$ . Тепер сформулюємо задачу оптимізації. В загальному вигляді вона формулюється так:

$$x \in \mathbf{X}: f(x) = \min_{x \in \{X\}} f(x). \quad (3.39)$$

Для одновимірного випадку вираз (3.39) виглядає таким чином:

$$x \in \{0; x_A\}: f(x^*) = \min_{x \in \{0; x_A\}} f(x). \quad (3.40)$$

Для побудови  $f(x)$  згадаємо, що метою оптимізації в задачі (3.40) в нашому випадку є мінімізація часу перенесення впливу від О до А, а також, що цей час є сумою часу перенесення від точки О до точки Х і від точки Х до точки А із відповідними швидкостями:

$$\tau_I = \frac{l_I}{v_I}; \quad (3.41)$$

$$\tau_{II} = \frac{l_{II}}{v_{II}}; \quad (3.42)$$

$$\tau = \tau_I + \tau_{II}. \quad (3.43)$$

Таким чином, цільовою функцією оптимізації є час  $\tau$ , а єдиним оптимізуючим аргументом – координата  $x$  точки  $X$ .

Інші характеристики ( $l_I, l_{II}, v_I, v_{II}, x_A$ ) є в конкретному розрахунку сталими і можуть варіюватися в процесі зміни проєктованих параметрів у двоматеріальному об'єкті.

З рис. 3.5 та виразів (3.41) – (3.43) отримуємо:

$$\tau_I = \frac{\sqrt{l_I^2 + x^2}}{v_I}; \quad (3.44)$$

$$\tau_{II} = \frac{\sqrt{l_{II}^2 + (x_A + x)^2}}{v_{II}}; \quad (3.45)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{l_I^2 + x^2}}{v_I} + \frac{\sqrt{l_{II}^2 + (x_A + x)^2}}{v_{II}}. \quad (3.46)$$

Для розв'язання конкретної задачі оптимізації, побудованої із (3.40) та (3.46):

$$x \in \{0; x_A\}: f(x^*) = \min_{x \in \{0; x_A\}} \frac{\sqrt{l_I^2 + x^2}}{v_I} + \frac{\sqrt{l_{II}^2 + (x_A + x)^2}}{v_{II}}, \quad (3.47)$$

призначимо сталі:  $l_I = 1$  м,  $l_{II} = 2$  м,  $v_I = 1$  м/с,  $v_{II} = 0,5$  м/с,  $x_A = 10$  м. Тоді вираз (3.47) перетворюється на:

$$x \in \{0; x_A\}: f(x^*) = \min_{x \in \{0; x_A\}} (\sqrt{1 + x^2} + \sqrt{64 + 16(10 - x)^2}) \quad (3.48)$$

Оптимізацію виразу, який в (3.48) стоїть під знаком  $\min$ , можна виконати двома способами.

Перший спосіб – аналітичний. Для цього візьмемо похідну:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x} = \frac{x}{v_I \sqrt{l_I^2 + x^2}} + \frac{x_A - x}{v_{II} \sqrt{l_{II}^2 + (x_A - x)^2}} \quad (3.49)$$

та прирівняємо її до 0:

$$\frac{x^*}{v_I \sqrt{l_I^2 + x^{*2}}} + \frac{x_A - x^*}{v_{II} \sqrt{l_{II}^2 + (x_A - x^*)^2}} = 0. \quad (3.50)$$

Розв'язуючи рівняння (3.50) отримуємо значення  $x^* = 9,12$  м, а відповідний йому мінімальний час  $\tau_{\min}(x^*) = 17,928$  с.

На жаль, обчислювальний шлях лише до одного результату (а в САПР такі результати перебирають тисячами) в найпростішому випадку (дві зони, які складаються з ізотропних матеріалів) виявляється настільки великим, що його не можна рекомендувати до практичного використання.

*Чисельний метод розв'язання задач оптимізації поліматеріальних об'єктів.*

Скористаємося формулою (3.46) і будемо варіювати шукане значення  $x^*$  по дискретних значеннях  $x = 0, 1, 3, 5, 7, 9$ . Результати занесемо до табл. 3.4 (1 варіант). Як бачимо, оптимальне  $\tau$  зменшується монотонно, і його найменше значення співпадає із  $x = 10$ , тобто точка X опиняється на межі допуску на своє існування. Це протирічить фізичному сенсу початкової задачі.

Змінимо сталі задачі на  $l_I = 1$  м,  $l_{II} = 2$  м,  $v_I = v_{II} = 1$  м/с,  $x_A = 10$  м. В цьому наборі властивості зон співпадають, а отже оптимальним шляхом між точками O та A є відрізок OA. Вираз (3.46) перетворюється на:

$$\tau = (\sqrt{1 + x^2} + \sqrt{4 + (10 - x)^2}), \quad (3.51)$$

а розрахунки за ним представлені в таблиці 3.4 (2 варіант). Як бачимо, в цьому прикладі  $x = 3$  м (оскільки товщина зон різна).

Таблиця 3.4 – Результати наближеного розрахунку композиційного багат шарового елемента

$x$ , м	$\tau$ , с	
	1 варіант	2 варіант
0	40,8	11,00
1	38,3	10,61
3	30,0	10,44
5	27,0	10,47
7	21,0	10,67
9	18,05	11,28
10	18,04	12,04

Повертаємося до першого варіанту і виказуємо припущення, що мінімізуюче час значення  $x^*$  знаходиться між  $x = 9$  м та  $x = 10$  м. Будуємо табл. 3.5, в якій знаходимо цей оптимум:  $x^* = 9,5$  м;  $\tau_{\min}(x^*) = 17,798$  с.

Таблиця 3.5 – Результати уточнюючого розрахунку композиційних багат шарових елементів

$x$ , м	$\tau$ , с
	1 варіант
9	18,5
9,1	17,928
9,5	17,798
10	18,04

Як бачимо, результат приблизно знайдено, але й цей, чисельний шлях виявляється досить складним навіть для найпростішого двох шарового варіанту. Більш точний результат розв'язання задачі (3.47) може бути знайдений,



наприклад, методом підбору, що навіть для зовсім простої двовимірної задачі є математично складним випробуванням.

*Метод віртуальної моделі оптимізації поліматеріальних об'єктів.* В попередніх прикладах розмірність задачі оптимізації дорівнювала двом. Перейдемо тепер до об'єктів із необмеженою розмірністю. Нехай об'єкт проектування  $\Omega$  має тепер наступні атрибути:

$\mathbf{x}$  – вектор розмірних параметрів (конфігурація);

$\boldsymbol{\lambda}$  – вектор характеристик матеріалів, з яких складається об'єкт;

$\mathbf{q}$  – вектор зовнішніх впливів на об'єкт.

Якщо розглядати комплекс цих множин  $\{\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{q}\}$  як *параметрів-причин*, то *параметрами-наслідками або реакціями* може вважатися деякий вектор чисел  $\mathbf{r}$ , відповідний в деякому сенсі початковому об'єкту  $\Omega$ :

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{q}). \quad (3.52)$$

Задача (3.52) пряма: по трьом векторам-причинам знайти вектор-реакцію. До неї існують три обернені задачі.

1. За відомими реакцією  $\mathbf{r}$ , характеристикам  $\boldsymbol{\lambda}$  і дії  $\mathbf{q}$  знайти конфігурацію  $\mathbf{x}$ :

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{q}). \quad (3.53)$$

2. За відомими реакцією  $\mathbf{r}$ , конфігурації  $\mathbf{x}$  і дії  $\mathbf{q}$  знайти характеристики  $\boldsymbol{\lambda}$ :

$$\boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{r}, \mathbf{q}). \quad (3.54)$$

3. За відомими реакцією  $\mathbf{r}$ , характеристикам  $\boldsymbol{\lambda}$  і конфігурації  $\mathbf{x}$  знайти вплив  $\mathbf{q}$ :

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{r}). \quad (3.55)$$

У проектуванні вирішуються перша і друга обернені задачі (3.53) і (3.54), в управлінні – третя (3.55).

Рішення цих задач неаналітичними методами, наприклад, методом перебору передбачає заміну однієї оберненої задачі (3.53), (3.54) або (3.55) деякою множиною прямих (3.52). При цьому, як сказано вище, розв'язуючий алгоритм різко ускладнюється, настільки ж різко зростає його часова складність. Зокрема, для проектування за допомогою зміни зовнішнього впливу  $\Delta \mathbf{q}$  на об'єкт  $\Omega$  розв'язуючий алгоритм підбору виглядає наступним чином [124]:

- 1 – вибрати деяке початкове рішення  $\Delta \mathbf{q} = \Delta \mathbf{q}_{\text{поч}}$ ;
- 2 – вирішуючи пряму задачу (3.52), розрахувати  $\mathbf{r}_{\text{поч}}(\Delta \mathbf{q}_{\text{поч}})$ ;
- 3 – визначити допустимість відхилення  $\mathbf{r}_{\text{поч}}$  від області допустимих значень  $\mathbf{r} \in \mathbf{R}$ ;
- 4 – якщо відхилення допустимо, зупинитися, якщо ні, – повернутися до п. 1, змінити  $\Delta \mathbf{q}_{\text{поч}}$  і повторювати пп. 2 – 4 до зупинки.

Таким чином, рішення методом перебору припускає деякий «рух» в області визначення можливих зовнішніх впливів на об'єкт  $\mathbf{q} \in \mathbf{Q}$ . У переважній більшості випадків проектування такий «рух» неможливий із-за особливостей параметра, вздовж якого необхідно рухатися. Наприклад, не завжди можливо вільно варіювати характеристики матеріалу, з якого планується виробити об'єкт, адже матеріалу з такими характеристиками може просто не існувати!

Для розв'язання цієї проблеми створюється *віртуальна* модель об'єкта проектування [6, 9, 15 – 17]. Віртуальна в тому сенсі що в ній, допускаються різні, неможливі в реальному світі стани окремих елементів: наприклад, елемент *одночасно* виконаний зі сталі та алюмінію (рис. 3.6 а); на елемент *одночасно* в одній точці діють різні за величиною сили (рис. 3.6 б); елемент одночасно має різні значення одного й того ж розміру (рис. 3.6 в) [124].

Віртуальний об'єкт припускає рух в напрямку підбору квазіоптимальних рішень вздовж будь-якого параметра, незалежно від його доцільності і реальної можливості.

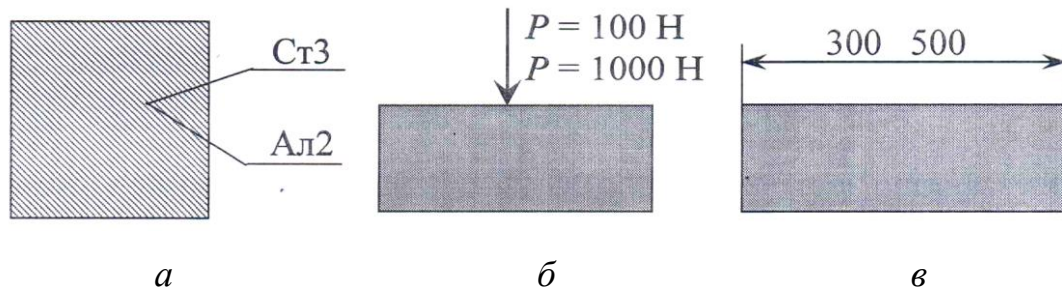


Рисунок 3.6 – Варіанти віртуальних об'єктів в механіці:

*a* – елемент одночасно виконаний зі сталі та алюмінію;

*б* – на елемент одночасно в одній точці діють різні за величиною сили;

*в* – елемент одночасно має різні значення одного й того ж розміру

Такий рух створює квазіоптимальну модель, для якої в реальному світі не існує відповідного до цієї моделі об'єкта.

Нехай для пошуку оптимальної конструкції деякого об'єкта необхідно «рухатися» уздовж параметра  $P_1$  його моделі, але розв'язуючий алгоритм такий рух обмежує, наприклад, високою часовою складністю комп'ютерних обчислень (заборона А). Нехай рухом уздовж параметра  $P_2$  моделі також можна оптимізувати управління об'єктом (назвемо цей процес квазіоптимізацією), але такий рух забороняє фізична основа об'єкта (заборона Б).

У разі «звичайної» моделі в цих умовах доводиться рухатися, змінюючи  $P_1$ , – адже така, що суперечить здоровому глузду, заборона Б нездоланна! Інша річ – якщо модель віртуальна, – в ній немає ніяких заборон! Тоді, рухаючись в напрямку  $P_2$  всередині віртуальної моделі, знайдемо спочатку квазіоптимальний (віртуальний) керуючий вплив  $\Delta q_{\text{кво}}$ .

Далі має бути фінішний перехід від квазіоптимального впливу  $\Delta q_{\text{кво}}$  до оптимального  $\Delta q_{\text{опт}}$ . Завдання вирішено і заборона А обійдена. Результат – значне зниження часової складності пошуку оптимального керуючого впливу. Таким чином, запропонований метод складається з двох етапів: квазіоптимізації і фінішного переходу. Наведемо конкретний приклад. Розглянемо проектування матеріального об'єкта у вигляді багатошарової пластини (рис. 3.7).

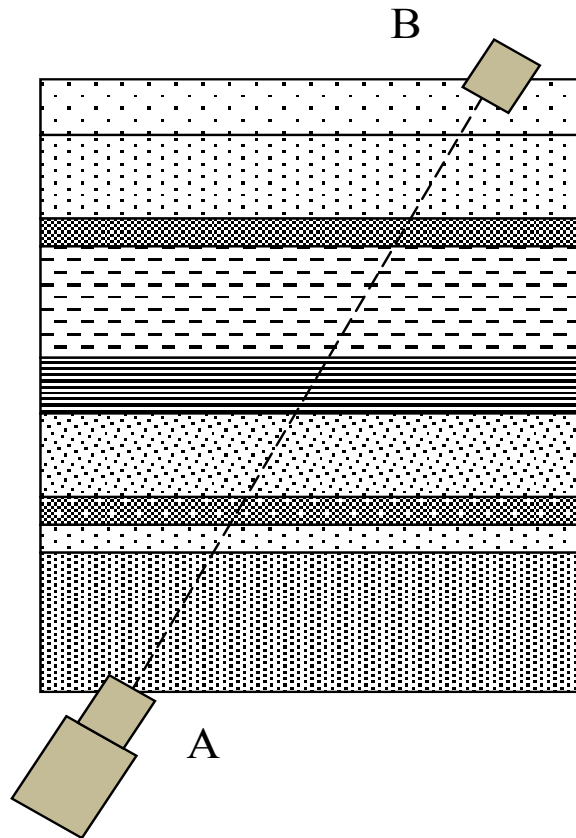


Рисунок 3.7 – Багатошарова пластина із різними властивостями окремих шарів:

А – джерело коливань;

Б – приймач коливань

Необхідно спроектувати товщину та матеріал окремих пластин так, щоб пластина працювала в якості фільтра, який на шляху від джерела широкого спектра коливань А до приймача Б подавляє деякий заданий спектр частот.

Для розрахунку параметрів розповсюдження коливань крізь цей об'єкт розглянемо віртуальну модель цього об'єкта, в якій джерело А випромінює коливання тільки однієї частоти, причому *одночасно різної*. Далі для кожного окремого шару обчислюємо таку частоту, яка найбільш відповідає умовам задачі. Фінішний перехід полягає у відтворенні фізично припустимого стану (частота єдина), що досягається відповідним перерахуванням товщин шарів об'єкта.

Розв'язання задачі оптимізації конструкцій об'єктів в САПР-К розглянемо на прикладі проектування амортизаторів гумометалевих типу АКСС (рис. 3.8).



а)



б)

Рисунок 3.8 – Гумовометалеві амортизатори:

а – типу АКСС;

б – типу КРМ.

Розрахункова схема такого амортизатора наведена на рис. 3.9. На цій схемі проєктований елемент представлено як багат шаровий із заданим розповсюдженням коливального навантаження [43].

Технічне завдання на проєктування формулюється таким чином. Спроєктувати амортизатор гумометалевий класу «Силовий композиційний елемент», конструктивно оформлений у вигляді трьох співвісних трубчастих шарів: метал – гума – метал (рис. 3.9), в якому зусилля, що підлягає амортизації,  $P$  уздовж осі  $Y$  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.*

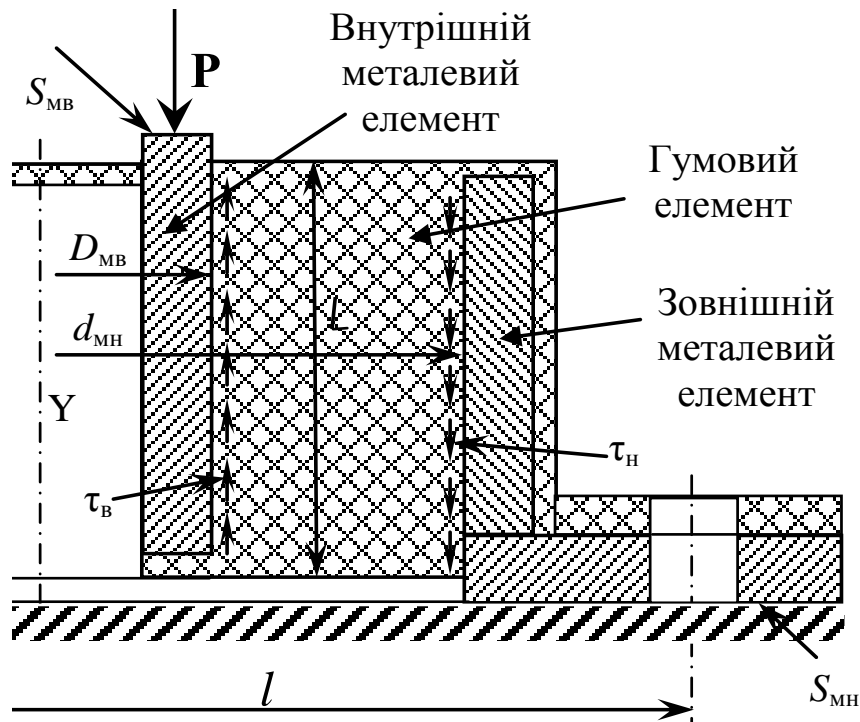


Рисунок 3.9 – Розрахункова схема конструкції гумометалевого амортизатора АКСС-10 М

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

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

Відомо, що гумометалеві вироби як система, відповідно до назви, складаються, як мінімум, з двох підсистем – металевих та гумових, які знаходяться в тісній фізичній взаємодії (взаємне оточення, взаємне проникнення, адгезійний контакт).

Таким чином, при автоматизованому проектуванні багатошарових відновлюваних елементів (наприклад, гумометалевих амортизаторів,

утеплюючих стінових панелей, тощо) був використаний метод який враховує особливості проникнення деяких впливів (механічне навантаження, вібрація, тепловий потік, тощо) крізь шари з різноманітних матеріалів. Метод побудований на основі віртуальних моделей окремих шарів, які дозволили підвищити ефективність проектування та суттєво зменшити його термін.

#### 3.4 Автоматизоване проектування автономних відновлюваних елементів пошкоджуваних мережевих об'єктів

Як випливає з табл. 3.1, головною проблемою антикризового проектування автономних відновлюваних елементів пошкоджуваних мережевих об'єктів є забезпечення заданого функціонування мережі після відновлення.

Якщо пошкоджуваний ремонтпридатний об'єкт початково складається із механічно не зв'язаних елементів, в процесі його відновлення після кризового пошкодження таких елементів з'являються деякі особливості [7, 11, 19]. Це накладає додаткові обмеження (але й породжує додаткові можливості) як на технічне завдання, так і перебіг проектування відновлення в постпроектних САПР.

Прикладом такого об'єкта, може служити бездротова комп'ютерна мережа (БКМ). В практиці побудови відновлених САПР БКМ часто виникає необхідність *розпізнавання стану структури* латентної (не спостережуваної, прихованої) частини останніх, з метою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки працездатності мережі в цілому [7, 11, 19]. Ця необхідність випливає з того, що окремі елементи частково недоступної для спостереження пошкоджені БКМ особливого призначення в умовах ймовірного пошкодження, наприклад бойових дій, відносно швидко втрачають зв'язок із елементами, які залишаються доступними. Причиною цього можуть бути активне фізичне пошкодження елементів БКМ та (або) активне ефірне

подавлення зв'язків між цими елементами.

Відтворення працездатності БКМ з деякою ймовірністю потребує, або перерозподілу функцій серед непошкоджених елементів, або відновлення за рахунок використання «гарячого» резерву елементів на діючому об'єкті. Практично це означає не відновлення початкової структури БКМ, а відновлення її функцій «будь якою ціною» [157].

При цьому спеціаліст з відновлення структури на поточній ітерації  $t_{\text{пот}}$  життєвого циклу БКМ для прийняття рішення може розраховувати лише на відому інформацію про початкову структуру БКМ у вигляді графу  $\mathbf{H}_{\text{об0}}$  (яка міститься в її кресленні), та про тренди деяких вимірюваних характеристик (сигналів)  $\mathbf{C}(t)$ ,  $0 \leq t \leq t_{\text{пот}}$  від БКМ в цілому, отримані від елементів, що залишалися доступними, за певний період до поточної ітерації.

Це можуть бути вимірювані на виході мережі або на її поступних елементах дані з протоколів обмінів між елементами БКМ, залишки сумісно оброблюваної інформації тощо [7, 11, 19].

Для реалізації цього методу запропоновано два підходи до відновлення працездатності пошкоджених бездротових мереж [168]. Перший передбачає використання «гарячого» резервування окремих елементів, тобто відновлення її структурної повноти, другий – розширення функцій тих елементів, що залишаються працездатними.

Завдання вчасного функціонального відновлення пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі представляє собою розв'язання задачі багатоцільової багатоекстремальної оптимізації із зв'язаними оптимізаційними аргументами.

### 3.5 Висновки

1. Сучасні складні пошкоджувані технічні об'єкти складаються з тисяч елементів, кожний з котрих може вийти з ладу та відновлення яких може складати серйозну проблему в ситуації кризового виживання. Звісно, при



такому різноманітні пошкодження годі й думати про деяку «універсальну» САПР відновлення на усі випадки життя. Тому в дисертаційній роботі розглядали проектування елементів, які з різних причин (наприклад, великих габаритів) не передбачені в ЗІП та які можуть бути спроектовані та виготовлені «в польових» умовах експлуатації об'єкта.

2. Для постпроектного антикризового відновлювального проектування корпусних елементів (наприклад, баків, судин, тощо) запропоновано математичну модель рівнонапруженого стану деталей машин у вигляді круглих пластин, закріплених в окружному напрямку симетрично відносно центральної осі. При цьому змінну в радіальному напрямку товщину пластини описували за допомогою функції Гауса.

3. Головною проблемою при проектуванні конструкцій та технологій виготовлення опорних елементів (наприклад, будівельних) є розрахунок таких параметрів, які забезпечують заповнення формувальною сумішшю (бетоном) порожнин між формоутворюючою оснасткою та арматурою. Оскільки ані форма арматури, ані властивості суміші не є сталими навіть при заповненні одного опорного елемента, визначити аналітичний зв'язок між технологічними параметрами процесу та параметрами якості готового виробу можливо тільки експериментально. Тому до відновлювальної САПР опорних елементів було додано експериментальний блок, в якому щільність наповнювача вимірювали за допомогою ємнісного методу.

4. При автоматизованому проектуванні багат шарових відновлюваних елементів (наприклад, гумометалевих амортизаторів, утеплюючих стінових панелей, тощо) був використаний метод який враховує особливості проникнення деяких впливів (механічне навантаження, вібрація, тепловий потік, тощо) крізь шари з різноманітних матеріалів. Метод побудований на основі віртуальних моделей окремих шарів, які дозволили підвищити ефективність проектування та суттєво зменшити його терміни.

5. При автоматизованому проектуванні автономних елементів пошкоджуваних мережевих об'єктів (наприклад, бездротових комп'ютерних

мереж, тощо) був використаний метод розпізнавання стану структури латентної (не спостережуваної, прихованої) частини останніх, з метою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки працездатності мережі в цілому. Ця необхідність впливає з того, що окремі елементи пошкодженої БКМ особливого призначення частково недоступні для спостереження і в умовах ймовірного пошкодження, наприклад бойових дій, відносно швидко втрачають зв'язок із елементами, які залишаються доступними. Причиною цього можуть бути активне фізичне пошкодження елементів БКМ та (або) активне ефірне подавлення зв'язків між цими елементами.

## РОЗДІЛ 4

### СТРУКТУРА ТА ПРАКТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ АНТИКРИЗОВОЇ ПОСТПРОЕКТНОЇ САПР «CADAC»

#### 4.1 Структура антикризової постпроектної САПР «CADAC»

Проведені дослідження та практичний досвід дозволили створити загальну структуру антикризової постпроектної відновлюваної САПР «CADAC» (рис. 4.1).

Схема складається із наступних блоків.

1. Блок моніторингу стану елементів пошкодженого об'єкта. Цей блок в складі САПР лише умовно, адже за станом об'єкта повинні слідкувати інші, більш відповідальні служби безпеки об'єкта. Але саме з цього блоку в разі виникнення пошкоджень I рівня надходять початкові дані для подальшої роботи з компенсації ризикової події.

2. Блок введення та обробки початкових даних. Отримує дані про вид пошкодження, вимоги до успадкування майбутніми елементами параметрів пошкоджених аналогів, вимоги до властивостей відновлювальних елементів та до параметрів їхнього приєднання до об'єкта.

3. Блок класифікації ознак конструкції пошкодженого елемента. В роботі вище наведені чотири групи таких ознак: корпусні елементи, опорні, багат шарові та автономні. Але в реальній практиці цей перелік може бути розширений або уточнений, в залежності від конкретного об'єкта та його елементів.

4. Блок відновлення (реінжинірингу) I рівня. На цьому етапі шляхом оцінювання наявних та планування доставки матеріалів та інших ресурсів, необхідних для відновлення пошкодження, приймається рішення (у випадку потреби) про підключення безпосередньо САПР реінжинірингу та розробки Технічного завдання на таке проектування, яке враховує успадкування.

САДАК



Рисунок 4.1 – Структура антикризової постпроектної САПР «САДАК»

5. Після проектування виконуються роботи по виготовленню, складанню, монтажу та випробуванню відновленого елемента об'єкта.

Під час цих робіт на об'єкті можуть з'явитися пошкодження II рівня, а також не виключені і кризи третього і подальших рівнів. Кожна з цих криз повертає антикризову постпроектну САПР к початку, аж доти, коли ліквідувати первинне пошкодження вдасться повністю.

Крім зазначених, в структурі САПР «CADAC» є ще деякі допоміжні блоки, існування яких не обов'язкове, але вони можуть суттєво спростити роботи з відновлення і вплинути на їхнє прискорення.

Розглянемо один такий блок докладніше.

#### 4.2 Розв'язання проблеми вибору та постачання ресурсів для відновлення пошкоджених елементів гумометалевих амортизаторів в САПР «CADAC»

Найбільш «вузьким місцем» в САПР відновлення пошкоджуваних об'єктів може стати вибір матеріалів та інших ресурсів, необхідних для виготовлення елементів, які замінюються та їхнього встановлення (монтажу) на об'єкт.

Тут значно зростає відповідальність технічного контролю проектів відновлення, здійснюваних за антикризовими САПР, який повинен заздалегідь допомогти проектувальнику отримати відповіді на питання:

- який матеріал (комплектуючі) можна закладати до проекту;
- де цей матеріал (комплектуючі) взяти, – на власному складі або в оточуючому середовищі;
- як цей матеріал (комплектуючі) доставити в місце експлуатації об'єкта;
- за допомогою яких верстатів та інструментів буде оброблюватись цей матеріал при виготовленні та монтажі нового елемента.

Новий проект може також містити відомості про людські, фінансові, енергетичні та інші ресурси, які можуть знадобитися під час відновлення.

Розглянемо процеси перенесення ресурсів для компенсації наслідків ризикових подій на прикладі надзвичайної логістики – нового, по відношенню до початкового плану відновлення, етапу діяльності, що забезпечує матеріально-технічними, енергетичними, інформаційними, людськими та іншими видами постачання розв’язання виникаючих в результаті реалізації відновлювальної діяльності проблем, пов’язаних з прогнозованими або латентними ризиковими подіями [1, 10].

Як сказано вище, будь-яка спроба формалізувати ці процеси з метою надання їм більш або менш адекватного математичного опису стикається з серйозними труднощами, пов’язаними, в основному, з багатовекторністю, багатofакторністю, а також внутрішньою і зовнішньою взаємопов’язаністю параметрів відновлювальної діяльності.

Дійсно, в одне логістичне рівняння необхідно звести і фінанси, і матеріали, і енергію, і терміни, і документи, і багато іншого. Причому керувати цим, за аналогією з рівняннями переносу, доводиться залежною змінною в просторі-часу незалежних змінних, яких з урахуванням етапів та стадій відновлення, досить багато [166]. І це тільки за однієї змінної на кожний етап відновлення. У складних об’єктів розмірність такого простору може бути значно вище.

*Класифікація ресурсів, що переносяться.* Робота над формалізацією надзвичайної логістики починається з класифікації ресурсів, що переносяться. Причому, класифікацію здійснювали не звичайну – за фізичними станами (табл. 4.1), а з точки зору рівнів абстракції (табл. 4.2), на яких можуть бути розглянуті будь-які ресурси.

Наприклад, кошти можуть бути перераховані по Інтернету, і тоді вони потрапляють в рівень абстракції «інформаційний», а можуть бути доставлені готівкою з нарочним, тоді цей же ресурс розглядається на рівні «дрібнодисперсний» або навіть «людський фактор».

Навіть доставка підйомного крана на сотні кілометрів може бути розглянута на природному для нього «крупнодисперсному» рівні, а може і на

Таблиця 4.1 – Традиційна класифікація відновлювальних ресурсів на різні фізичні стани

№№ з/п	Назва ресурсу	Фізичний стан	Швидкість передачі
1	Г – гроші	Інформаційний носій	Велика
2	І – інформація	Інформаційний носій	Велика
3	Д – документи	Інформаційний носій	Велика
4	Е – енергія	Линії електропередач, трубопроводи	Середня
5	М – матеріали	Грузовий транспорт	Мала
6	К – комплектуючі	Грузовий транспорт	Мала
7	О – оснастка	Грузовий транспорт	Мала
8	Т – техніка	Грузовий транспорт	Мала
9	У – учасники	Пасажирський транспорт	Мала

Таблиця 4.2 – Відновлювальна логістична класифікація

№№ з/п	Рівень абстракції	Назва ресурсу	Швидкість передачі	Ризики передачі
1	Інформаційний	Г – Гроші, І – інформація,	Велика	Втрати або пошкодження
2	Дрібнодисперсний	Е – енергія, М – матеріали,	Середня	Втрати або пошкодження
3	Крупнодисперсний	К – комплек- туючі,	Мала	Пошкодження
4	Людський фактор	О – оснастка, Т – техніка, У – учасники, Д – документи	—	Соціальні і медичні проблеми

«інформаційному», якщо, наприклад, у зоні ризикового події є інший такий же кран, і для залучення його в усунення наслідків досить подзвонити по телефону – типовий «інформаційний» рівень.

Для формалізації незалежних змінних, тобто середовища відновлювальної діяльності в роботі його розглядали у вигляді дискретного десятивимірною гіперкуба, уздовж вимірювань якого відкладено по одному параметру з кожної функціональної області об'єкта, що рухається в часі [60]. Кожному дискретному елементу середовища ставиться у відповідність унікальні координати і конкретний час.

Беззаперечно, існує суттєва різниця між термодинамічними перенесеннями в межах неперервного фізичного середовища і логістичним перенесенням. І справа тут навіть не в тому, що термодинамічний процес неперервний, а логістичний є дискретним. Як зазначено в аналітичному огляді, будь-яка термодинамічна субстанція (тепло, тиск, маса тощо), не може стрибкоподібно перейти через будь-яку малу ділянку перенесення, – вона повинна пройти весь шлях крізь усі елементи між початком і кінцем перенесення без розривів, а логістичний ресурс також може рухатися у цьому сенсі неперервно, а може і «перестрибнути» на будь-яку відстань від встановленого початковим проектом елемента до кінцевого, минаючи всі проміжні елементи.

Для відтворення таких «стрибків» в моделі пропонується метод, який передбачає попередню «гарячу» передислокацію дискретного простору-часу відновлювальної діяльності.

*Метод попередньої «гарячої» передислокації дискретного простору-часу.* Під «гарячою» передислокацією будемо розуміти попередню зміну структури початково впорядкованого дискретного простору-часу, яка виконується постійно під час відновлення (реінжинірингу), незалежно від того, відбуваються деякі ризикові події або ні. Тобто, поточна модель структури дискретного простору-часу постійно змінюється, відтворюючи поточний стан наявних в елементах та на складах ресурсів.



Розглянемо конкретний приклад. Для цього розіб'ємо простір відновлювальної діяльності на скінченну кількість елементів та пронумеруємо їх так, як це показано на рис. 4.2. На рисунку умовно показаний двовимірний простір ( $N = 2$ ), Початкова нумерація довільна, і може бути виконана в будь-який інший спосіб. Центральну клітинку на рисунку залишаємо вільною.

Будемо вважати, що за кожним елементом закріплена відома кількість деякої вимірюваної субстанції, яка може бути віднесена до одного з перерахованих в таблиці 4.1 ресурсів. Хай це буде деякий матеріал, використовуваний в відновлювальній діяльності, кількість якого в межах кожного елемента, позначеного на рис. 4.2, дорівнює:  $Q_1^0, Q_2^0, \dots, Q_{80}^0$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40		41	42	43	44
45	46	47	48	49	50	51	52	53
54	55	56	57	58	59	60	61	62
63	64	65	66	67	68	69	70	71
72	73	74	75	76	77	78	79	80

Рисунок 4.2 – Початкове розташування елементів антикризової діяльності

Таким чином отримуємо стан розподілу відповідного ресурсу на початок здійснення проекту. З часом з різних причин (технологічне використання, втрата, перерозподіл між елементами, тощо) ця картина змінюється та на  $i$ -й ітерації врахування та розподіл залишків ресурсів виглядає так:  $Q_1^i, Q_2^i, \dots, Q_{80}^i$ .

Така модель дозволяє контролювати об'єм залишків відповідного ресурсу протягом усіх ітерацій відновлювальної діяльності – від її початку до завершення. В ідеальному випадку такий розподіл ресурсів та його зміна повинна відповідати плановому плину процесу.

На жаль, як було згадано вище, на плановий плин процесу постійно очікують різноманітні ризики, для компенсації наслідків яких необхідно виконати надзвичайний, відносно швидкий перерозподіл ресурсів, який руйнує заплановані перерозподіли.

Враховуючи те, що в реальній відновлювальній діяльності  $N$  значно більше двох (реально, тисячі) елементів (вздовж кожного з розмірів простору значно більше дев'яти), а також те, що прийняття рішення з компенсації наслідків ризикової події треба робити якнайшвидше, пропонується застосувати віртуальну модель яка створюється паралельно реальній та супроводжує її протягом усіх ітерацій проектування.

Для цього виконується ранжування усіх елементів за кількістю відповідного ресурсу таким чином, що елементи з найбільшим вмістом ресурсу розташовувалися ближче до центральної клітинки моделі, утворюючи шар з найбільш насичених ресурсом елементів (рис. 4.3).

Аналогічно утворюється наступний шар елементів і т.д. Таким чином, якщо в реальній моделі розташування ресурсів по елементах відновлюваної діяльності із часом змінюється лише їхня кількість  $Q$ , то в віртуальній моделі змінюється вже розташування самих елементів на схемі, тобто відбувається віртуальна передислокація в межах дискретного простору-часу відновлюваної діяльності.

Зазначимо, що така передислокація здійснюється на кожній ітерації відновлювальної діяльності незалежно від того, відбулася чи ні прогнозована або несподівана ризикова подія.

В результаті, кожний промінь, який виходить з центральної клітинки та проходить крізь умовні центри інших (див. рис. 4.2), є шляхом, за яким може бути здійснено транспортування ресурсу.

49	2	30	41	75	6	77	63	9
80	71	12	13	58	60	61	17	43
19	20	21	22	48	24	25	47	27
35	29	39	31	32	11	34	72	36
76	38	3	78		50	44	18	42
54	46	16	37	1	40	15	52	53
62	55	65	57	14	59	51	26	45
67	64	56	69	8	68	66	4	33
28	73	74	5	23	7	10	79	70

Рисунок 4.3 – «Гаряче» розташування елементів відновлювальної діяльності яке виникає після чергового етапу віртуальної передислокації

З правил побудови моделі виходить, що на  $i$ -й ітерації:

$$Q_{11}^i > Q_{25}^i > Q_{17}^i > Q_9^i \quad (4.1)$$

Механізм підтримки прийняття рішень із надзвичайної (додаткової, викликаной ризиковими подіями) логістики відновлення, виглядає наступним чином. Як тільки така подія відбувається, в останній віртуальній моделі елемент, в якому подія відбулася (наприклад елемент № 52 на рис. 4.4), переміщується в центральну клітинку, а розрахунок параметрів логістики виконується вздовж однієї з осей, в якій градієнт кількості ресурсу виявляється найбільшим.

У підсумку, коли напрямок із найбільшим градієнтом знайдено, саме до нього застосовується один з методів планування переміщення ресурсів, наприклад, метод термодинамічної аналогії [1], і на цьому план надзвичайної логістики вважається сформованим!

49	2	30	41	75	6	77	63	9
80	71	12	13	58	60	61	17	43
19	20	21	22	48	24	25	47	27
35	29	39	31	32	11	34	72	36
76	38	3	78	1	50	44	18	42
54	46	16	37	1	40	15	52	53
62	55	65	57	14	59	51	26	45
67	64	56	69	8	68	66	4	33
28	73	74	5	23	7	10	79	70

Рисунок 4.4 – Схема до визначення напрямку перерозподілу ресурсів за допомогою віртуальної передислокації простору-часу

Загальна схема підтримки рішень щодо постачання ресурсів для відновлення за допомогою методу попередньої «гарячої» віртуальної передислокації дискретного простору-часу наведена на рис. 4.5.

В її основі дискретна адаптивна віртуальна модель простору проектування, яка від ітерації до ітерації накопичує інформацію про зміну поточного стану розподілу ресурсів по елементах відновлювальної діяльності та на складах.

Згідно з рисунком, плановий життєвий цикл процесу проектування  $0 \dots T$ , який складається з окремих ітерацій, на  $i$ -й ітерації переривається незапланованою ризиковою подією в елементі  $R$ , що потребує негайного втручання менеджера для ліквідації наслідків останньої. Хай до такої ліквідації необхідно залучити додаткову до планової – надзвичайну логістику, суть якої полягає в аварійному перекиданні різних ресурсів (матеріалів, коштів, енергії, обладнання, тощо) від одних до інших елементів (передбачається, що цей ресурс там є в достатній кількості), незалежних складів або інших джерел.

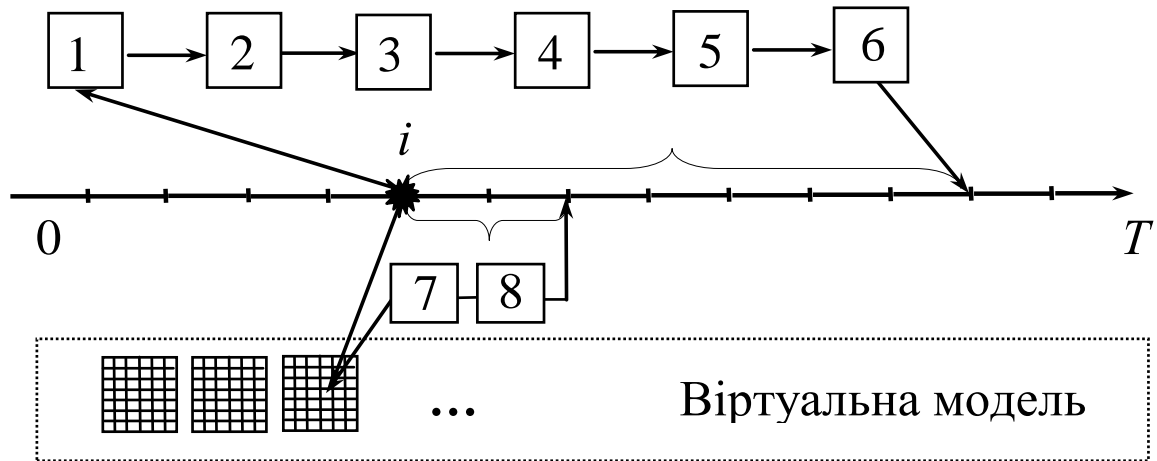


Рисунок 4.5 – Схема методу попередньої «гарячої» передислокації дискретного простору-часу:

1 – збирання інформації з усіх елементів відновлювальної діяльності про наявність необхідного ресурсу,

2 – визначення елементів, з яких можна «позичити» необхідну кількість ресурсу,

3 – визначення шляху доставки ресурсу,

4 – визначення способу (технології) доставки ресурсу,

5, 7 – визначення плану надзвичайного переміщення ресурсу,

6, 8 – здійснення надзвичайного переміщення ресурсу до елемента, де відбулася ризикова подія

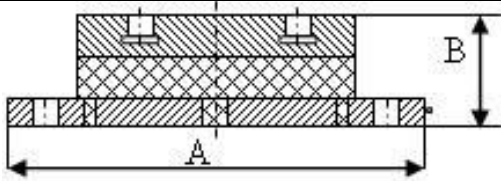
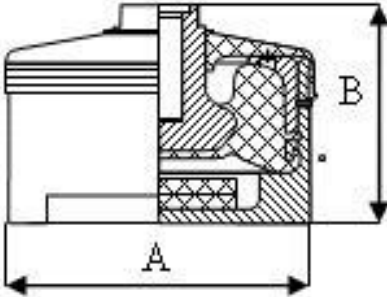
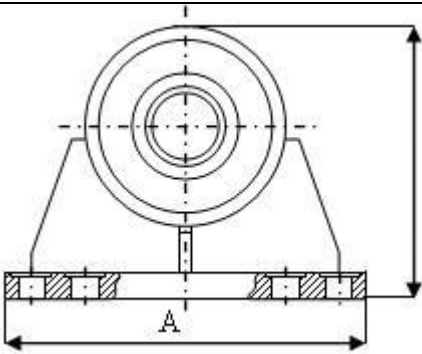
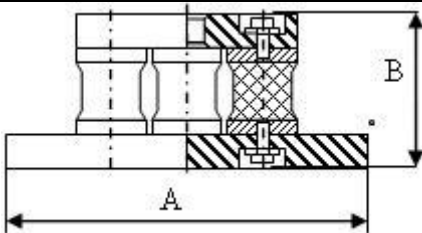
Розрахунок параметрів надзвичайної логістики потребує від менеджера отримання та переробки значного об'єму інформації, що он-лайн з плановим виконанням процесу відновлення може розтягнутися на велику кількість ітерацій відновлювальної діяльності, аж до призупинки останньої.

Якщо ж з самого початку проектування створюється та підтримується на кожній ітерації віртуальна модель, то її наявність може значно зменшити час прийняття рішень (див. рис. 4.5), оскільки уся необхідна інформація про поточний стан розподілу ресурсів по елементах та джерелах міститься в такій моделі.

### 4.3 Практичні випробування САПР «CADAC»

В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування системи «CADAC» (*CAD anti crisis*). В якості об'єкта дослідження були обрані гумотехнічні амортизатори типу АДП-950 (табл. 4.3, рис. 4.6).

Таблиця 4.3 – Амортизатори гумометалеві

№ з/п	Найменування	Ескіз	Розміри, мм		Вага, кг
			A	B	
1	Амортизатор АДП-950		350	72	11,0
2	Амортизатор АПС-2Х		130	98	5,0
3	Амортизатор АПС-5Х		165	110	9,29
4	Амортизатор зварений циліндричний АЦ-2300		350	258	36,5
5	Амортизатор АКМ-400		190	90	6,9

Таблиця 4.3 – Амортизатори гумометалеві (продовження)

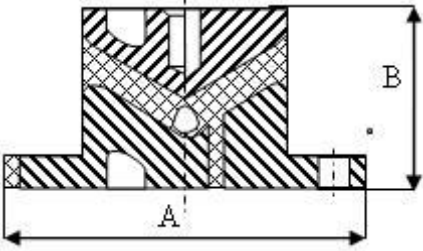
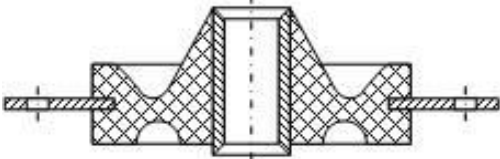
6	Амортизатор АДПУ-900		300	110	13,8
7	Амортизатор АП				



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд гумотехнічних амортизаторів типу АДП-950

Технологічна схема процесу виготовлення гумометалевого амортизатора АКСС-10 М наведена на рис. 4.7.

Легенда, закладена в прискорених стендових випробуваннях, виглядала наступним чином.

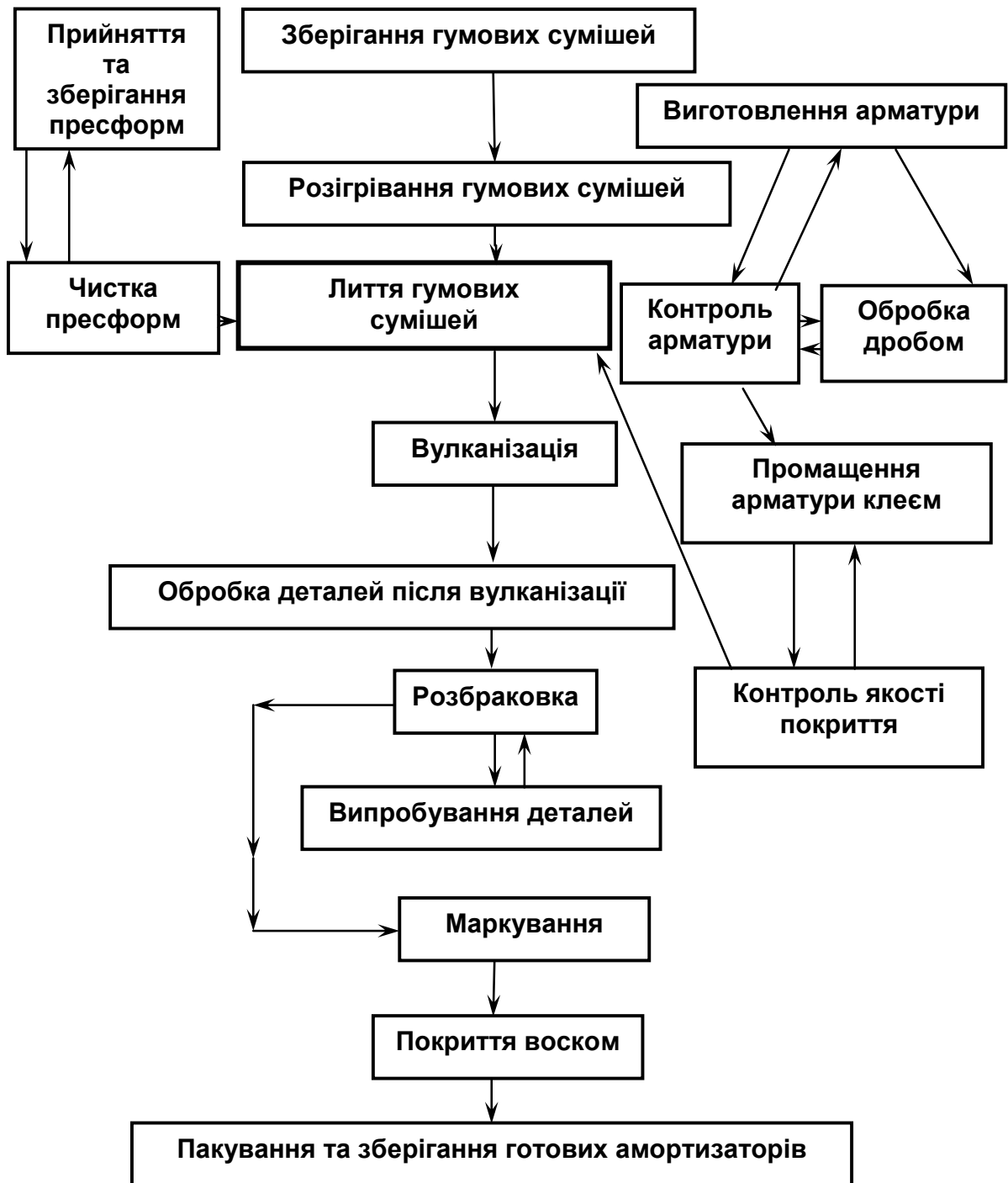


Рисунок 4.7 – Технологічна схема процесу виготовлення гумометалевого амортизатора

Гумотехнічні амортизатори в кількості 100 штук виготовлені в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів». При цьому виявлені недоліки основного проекту, який був модернізований за допомогою постпроектного САПР «CADAC».



Далі, згідно з легендою, партія амортизаторів була встановлена на морському судні (рис. 4.8), на якому пропрацювала протягом 5 років.



Рисунок 4.8 – Морське судно дальнього плавання, на якому за легендою була встановлена партія амортизаторів

За умовами роботи, при виході з ладу амортизатора в результаті зносу і вичерпання ЗІП, плавсклад судна не мав можливості придбати на підприємстві-виробнику оригінальні амортизатори і змушений був з урахуванням усіх умов експлуатації поставити нове технічне завдання та спроектувати за допомогою постпроектного САПР «CADAC» (рис. 4.9) і виготовити нові амортизатори.

В результаті комп'ютерно-стендових випробувань встановлено, що застосування системи «CADAC» дозволило досягти наступних технічних результатів.

Щодо технології автоматизованого проектування:

- швидкість «локального» проектування зросла, в середньому, в 1,22 рази;
- кількість «кризових» САПР на етапах виготовлення та налагодження знизилася на 18 %.

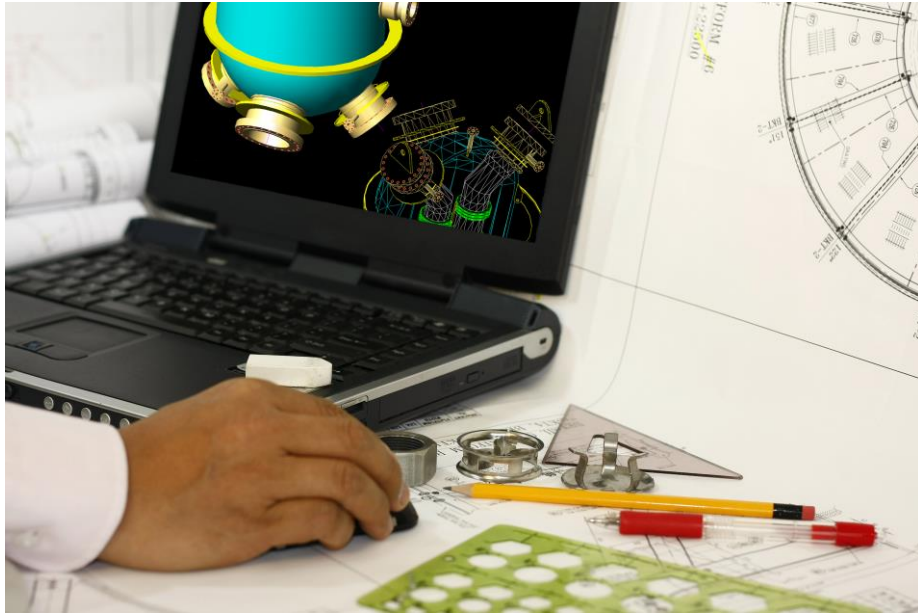


Рисунок 4.9 – Симуляція життєвого циклу гумометалевих амортизаторів за допомогою комп'ютерно-стендових випробувань

Щодо якості об'єкта проектування:

– напрацювання на відмову знов спроектованих амортизаторів зросло, в середньому, на 11,1 %.

#### 4.4 Висновки

1. Проведені дослідження та практичний досвід дозволили створити загальну структуру антикризової постпроектної відновлюваної САПР «CADAC». Схема складається із блоків моніторингу стану елементів пошкодженого об'єкта, введення та обробки початкових даних, класифікації ознак конструкції пошкодженого елемента, а також відновлення (реінжинірингу) I рівня.

2. Під час відновлюваних робіт на об'єкті можуть з'явитися пошкодження II рівня, а також не виключені і кризи третього і подальших рівнів. Кожна з цих криз повертає антикризову постпроектну САПР к початку, аж доти, коли

ліквідувати первинне пошкодження вдасться повністю. Крім зазначених, в структурі САПР «CADAC» є ще деякі допоміжні блоки, існування яких не обов'язкове, але вони можуть суттєво спростити роботи з відновлення і вплинути на їхнє прискорення.

3. Розрахунок параметрів надзвичайної логістики потребує від менеджера отримання та переробки значного об'єму інформації, що он-лайн з плановим виконанням процесу відновлення може розтягнутися на велику кількість ітерацій відновлювальної діяльності, аж до призупинки останньої. Якщо ж з самого початку проектування створюється та підтримується на кожній ітерації віртуальна модель, то її наявність може значно зменшити час прийняття рішень, оскільки уся необхідна інформація про поточний стан розподілу ресурсів по елементах та джерелах міститься в такій моделі.

4. В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування системи «CADAC» (*CAD anti crisis*). В якості об'єкта дослідження були обрані гумотехнічні амортизатори типу АДП-950. Легенда, закладена в прискорених стендових випробуваннях, виглядала наступним чином. Гумотехнічні амортизатори в кількості 100 штук виготовлені в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів». При цьому виявлені недоліки основного проекту, який був модернізований за допомогою постпроектного САПР «CADAC». Далі, згідно з легендою, партія амортизаторів була встановлена на морському судні, на якому пропрацювала протягом 5 років.

6. За умовами роботи, при виході з ладу амортизатора в результаті зносу і вичерпання ЗП, плавсклад судна не мав можливості придбати на підприємстві-виробнику оригінальні амортизатори і змушений був з урахуванням усіх умов експлуатації поставити нове технічне завдання та спроектувати за допомогою постпроектного САПР «CADAC» і виготовити нові амортизатори.

В результаті комп'ютерно-стендових випробувань встановлено, що застосування системи «CADAC» дозволило досягти наступних технічних результатів.

Щодо технології автоматизованого проектування:

– швидкість «локального» проектування зросла, в середньому, в 1,22 рази;

– кількість «кризових» САПР на етапах виготовлення та налагодження знизилася на 18 %.

Щодо якості об'єкта проектування:

– напрацювання на відмову знов спроектованих амортизаторів зросло, в середньому, на 11,1 %.

## ВИСНОВКИ

Дисертація містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які розв'язують наукове завдання підтримки автоматизованого проектування процесів відновлення пошкоджених елементів під час експлуатації у відриві від ресурсів базового проектування та виготовлення останніх, що має істотне значення для теорії та практики автоматизації проектувальних робіт.

1. Криза експлуатації будь-якого об'єкта виникає (при збереженні зовнішніх умов експлуатації) при відмовах його внутрішніх елементів. Першою реакцією на відмову таких об'єктів (якщо тільки вони є ремонтпридатними) є спроба спланувати та здійснити його відновлення. Складність останнього цілком залежить не тільки від серйозності відмови, але й, у головній мірі, – від можливостей персоналу, який цей об'єкт експлуатує. Останнім часом широкого поширення набувають проекти створення розповсюджених та віддалених об'єктів, які відрізняються розташуванням на значній території, що ускладнює, в першу чергу, відновлювальну логістику, як планову, проектувану при початковому плануванні проекту, так і надзвичайну, викликану небажаними ризиковими подіями на об'єкті.

2. При екстреному, антикризовому проектуванні «під рукою» у групі, яка здійснює відновлення, може не опинитися необхідних для проектування та виготовлення ресурсів. Адже при будь-якому проектуванні, згідно стандартів, завжди існує технологічний контроль, представникові якого доводиться давати відповіді на питання: *де* взяти необхідний матеріал та *як* зробити ту або іншу деталь або вузол. При такому відновленні будь-який ремонт стає реінжинірингом, а поняття «відновлення» та «реінжиніринг» стають синонімами.

3. Процес відновлення – це єдиний ієрархічно структурований інформаційний об'єкт, який поєднує експлуатаційні рішення і конструкторсько-

технологічні документи, які відображують результати технічної підготовки до реінжинірингу технологічного обладнання. Проект реінжинірингу також містить експлуатаційні документи, ремонтні документи і проект модернізації. При цьому склад проекту реінжинірингу може залежати від кількості одиниць, а іноді й від складності технологічного обладнання, що він описує.

4. Будь-яке автоматизоване проектування виконується за стандартною схемою. На першому місці в цій схемі стоїть технічне завдання на проект, яке отримується від замовника і є для процесу автоматизованого проектування «оточуючим середовищем». Натомість, в антикризовому постпроектному проектуванні в оточуючому середовищі знаходиться об'єкт, а технічне завдання формується «всередині» САПР, взаємодіючи як з об'єктом, так і з процесом антикризового проектування, оскільки вимушено змінюється при кожній кризі відновлення. В основі технічного завдання при відновленні знаходиться те, що заміна старого на новий елемент не повинна призводити до суттєвих змін в функціонуванні об'єкта в цілому.

5. Головною відмінною постпроектного відновлювального проектування від основного базового є те, що таке проектування має дуалістичну природу. З одного боку, як і будь який реінжиніринг, воно має створювати проект нового елемента, який відрізняється від базового з причин, про які йшлося вище. З іншого боку, – така різниця має певні обмеження. Адже новий елемент має успадковувати параметри старого: він повинен бути встановлений на об'єкт із врахуванням геометричних характеристик механічного кріплення, типорозмірів роз'ємів електричного, гідравлічного та іншого призначення. Новий елемент має бути не тільки розмірним, але й функціональним замінником старого.

6. Саме завдяки цьому, автоматизоване проектування пристроїв та технології для супроводження та підтримки працездатності складних об'єктів на постпроектних етапах життєвого циклу (виготовлення, налаштування, експлуатація, ремонт, тощо) відрізняється спадкоємністю нового та основного проектів, збільшенням розмірності нового технічного завдання на проект та більш жорсткими обмеженнями на процес проектування. Це дозволило

визначити нові підходи до процесів створення кризового проекту майбутнього об'єкта та способів його виготовлення.

7. При автоматизованому проектуванні багат шарових відновлюваних елементів (наприклад, гумометалевих амортизаторів, утіплюючих стінових панелей, тощо) був використаний метод який враховує особливості проникнення деяких впливів (механічне навантаження, вібрація, тепловий потік, тощо) крізь шари з різноманітних матеріалів. Метод побудований на основі віртуальних моделей окремих шарів, які дозволили підвищити ефективність проектування та суттєво зменшити його термін.

8. Розроблені методи та моделі дозволили створити загальну САПР «CADAC» (*CAD anti crisis*). В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування САПР «CADAC». Легенда, закладена в прискорених стендових випробуваннях, виглядала наступним чином. Гумотехнічні амортизатори виготовлені в кількості 100 штук. Далі, згідно з легендою, партія амортизаторів була встановлена на морському судні, на якому пропрацювала протягом 5 років. За умовами роботи, при виході з ладу амортизатора в результаті зносшування і вичерпання ЗІП, плавсклад судна не мав можливості придбати на підприємстві-виробнику оригінальні амортизатори і змушений був з урахуванням усіх умов експлуатації поставити нове технічне завдання та спроектувати за допомогою постпроектного САПР «CADAC» і виготовити нові амортизатори.

9. В результаті комп'ютерно-стендових випробувань встановлено, що застосування системи «CADAC» дозволило досягти наступних технічних результатів: швидкість «локального» проектування зросла, в середньому, в 1,22 рази; кількість «кризових» САПР на етапах виготовлення та налагодження знизилася на 18 %; напрацювання на відмову знов спроектованих амортизаторів зросло, в середньому, на 11,1 %.

10. Запропоновані методи і моделі, а також алгоритми і програми, розроблені для їхньої реалізації, впроваджені в навчальний процес в Одеському національному політехнічному університеті.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О. С. Савельєва, К. І. Березовська, И. Хеблов, Х. Валід Шер, І. М. Гур'єв та С. В. Кошулян, «Віртуальна передислокація дискретного простору-часу в задачах планування проектної логістики», *Вісник НТУ «ХПІ»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 49 (1221), с. 56 – 62, 2016.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat, ResearchBib, Scientific Indexing Services, General Impact Factor, OAJI, CiteFactor.*

2. І. В. Прокопович, М. О. Духаніна, І. І. Становська, Х. Валід Шер, В. В. Добровольська та О. В. Торопенко, «Метрологічне забезпечення контролю щільності гетерогенних матеріалів», *Вісник НТУ «ХПІ»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 50 (1222). с.. 22 – 28, 2016.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat, ResearchBib, Scientific Indexing Services, General Impact Factor, OAJI, CiteFactor.*

3. О. Л. Становський, І. І. Становська, Д. А. Монова, Х. Валід Шер, І. Хеблов та О. В. Торопенко, «Управління ризиками-сюрпризами в проектах реінжинірингу будівельних споруд», *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, № 7 (1229), с. 103 – 108, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз WorldCat, Google Scholar, Index Copernicus і включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*

4. O. Stanovskyi, P. Shvets, V. Bondarenko, , I. Naumenko, Valid Hussain and V. Dobrovolska, «The systems "fuel electrical generator – electrical motor" optimization in CAD», *Международный научный журнал «Технологический аудит и резервы производства»*, № 2/1 (34), с. 46 – 50, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*



5. Pavlo Shvets, Alla Toropenko, Ievgene Naumenko and Husain Walid Sher, «Mathematical modeling in CAD elements vehicles food and chemical industry», *Ukrainian Journal of Food Science*, vol. 4, is. 2, с. 339 – 349, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, Index Copernicus, Directory of Research Journal Indexing (DRJI), Universal Impact Factor, Global Impact Factor, EBSCO, ULRICHSWEB, Cabi Full Text, ERIH PLUS, Directory of Open Access Scholarly Resources, Directory of Open Access Journals, CAS Source Index (CASSI).*

6. Х. Валід Шер, О. Ю. Лебедєва, Т. П. Становська, А. В. Торопенко та П. С. Швець, «Моделювання та оптимізація поліматеріальних об'єктів в САПР за допомогою метода віртуальної моделі», *Вісник НТУ «ХПИ»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 16 (1238), с. 61 – 67, 2017.

*Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat, ResearchBib, Scientific Indexing Services, General Impact Factor, OAJI, CiteFactor.*

7. А. О. Становський, А. В. Торопенко, Г. В. Налева, С. В. Кошулян, Х. Валід та Т. М. Панова, «Віртуальні математичні моделі в інформаційному просторі», *Міжнародний науковий журнал «ScienceRise»*, № 5/2 (22), с. 70 – 76, 2016.

*Видання, яке входить до міжнародних наукометричних баз eLIBRARY, Index Copernicus, РИИЦ, WorldCat, Directory of Open Access Journals (DOAJ), EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory.*

8. О. К. Гаврилук, Абу Шена Осама Мохаммед Али, Хеблов Исмаил Абдусалам Ахмед и Хуссаин Валид Шер, «Розробка та дослідження моделей предметних областей для інформаційних систем», на *XX семінаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2012, с. 26 – 28.

9. А. Л. Становский, Абу Шена Осама Мохаммед Али, Хеблов Исмаил Абдусалам Ахмед и Хуссаин Валид Шер, «Оптимизация формы деталей в САПР», на *XX семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2012, с. 58 – 59.

10. С. А. Нестеренко, Ан. О. Становський, І. О. Дадерко, О. О. Оборотова та Хуссаїн Валід, «Віртуальні математичні моделі структури комп'ютерних мереж спеціального призначення», на *17-й міжнародній науково-практичній конференції «Современные информационные и электронные технологии»*, Одеса, 2016, с. 26 – 27.

11. С. А. Нестеренко, Ан. О. Становський, І. О. Дадерко, О. О. Оборотова та Хуссаїн Валід, «Моделювання структури комп'ютерних мереж відповідального призначення», на *VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформатика та системні науки»*, Полтава, 2016, с. 210 – 212.

12. O. Stanovskyi, P. Shvets, V. Bondarenko, O. Toropenko, Abu Shena Osama and Walid Hussain, «Mathematical modeling and optimization of complex systems on a global connection parameters in cad», on *IX Annual scientific conference «Information technology and automation 2016»*, Odessa, 2016, pp. 8 – 9.

13. O. Stanovskyi, P. Shvets, O. Toropenko, Abu Shena Osama and Walid Hussain, «The relationship as objective function of technical systems optimization», на *III Міжнародній науково-технічній internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами»*, Київ, 2016, с. 285 – 286.

14. Валід Шер Хусаїн, «Applications of communicative control system in 21<sup>st</sup> century», на *VI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційна освіта та професійно-комунікативні технології XXI століття»*, Одеса, 2013, с. 184 – 186.

15. П. С. Швець, О. В. Торопенко, В. Ш. Хуссаїн та О. М. А. Абу Шена, «Математичне моделювання та оптимізація в САПР поліматеріальних систем методом віртуальної моделі», на *V Українсько-німецькій конференції «Інформатика. Культура. Техніка»*, Одеса, 2017, с. 45 – 47.

16. П. С. Швець, О. В. Торопенко, В. Ш. Хуссаїн та О. М. А. Абу Шена, «Автоматизоване проектування поліматеріальних систем», на *XXV семінаре*

*«Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2017, 22 – 28.

17. П. С. Швець, О. В. Торопенко, В. Ш. Хуссаїн и О. М. А. Абу Шена, «Віртуальні моделі в проектуванні поліматеріальних систем», на *XXV семінаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2017, с.32 – 33.

18. О. Л. Становський, І. М. Гур'єв та Хуссаїн Валід Шер, «Компетентне управління ризиками в проектах реінжинірингу будівельних споруд», на *XIV-й Международной научно-практической конференции «Управление проектами в развитии общества»*, Киев, с. 29 –33.

19. П. С. Швець, О. В. Торопенко та В. Ш. Хуссаїн, «Математичне моделювання та оптимізація в САПР методом віртуальної моделі», на *VI Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій»*, Херсон, 2017, с. 202 – 205.

20. *ДСТУ ISO 9000-2001 Системи управління якістю. Основні положення та словник. (ISO 9000:2000, IDT).*

21. *ДСТУ ISO/IEC 2382-14:2005 Інформаційні технології. Словник термінів. Частина 14. Безвідмовність, ремонтпридатність і готовність (ISO/IEC 2382-14:1997, IDT).*

22. А. В. Мальцев, «Энергосберегающие ограждающие конструкции с использованием местных материалов при варьируемых параметрах теплопереноса», дис. канд. техн. наук, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, 2014.

23. П. П. Рымкевич, О. В. Рымкевич и А. С. Горшков, «Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при наличии теплопроводных включений», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»*, Санкт-Петербург, 2009, с. 131 – 135.

24. М. О. Павлова, В. А. Захаров, и М. Н. Павленко, «Иновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из

керамического кирпича», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»*, Санкт-Петербург, 2009, с. 106 – 109.

25. О. И. Пономарев, А. М. Горбунов, и Д. С. Григорьев, «Напряженно-деформативное состояние энергоэффективной трехслойной кладки при температурных деформациях», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»*, Санкт-Петербург, 2009, с. 112 – 115.

26. О. Л. Становский, Е. Ю. Лебедева, О. М. А. Абу Шена и А. Н. Красножон, «Автоматизоване проектування технології виготовлення гумовометалевих виробів», *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Процессы управления*, № 5/1 (77), с. 23 – 28, 2015.

27. С. Ю. Виноградов, «Особенности проектирования самолетов в AIRBUS: реализация программы A350XWB», *Rational Enterprise Management*, № 4, с. 30 – 33, 2011.

28. А. А. Смердов, «Разработка методов проектирования композитных материалов и конструкций ракетно-космической техники», дис. докт. техн. наук, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, 2007.

29. А. А. Смердов, «Местная устойчивость и оптимизация трехслойных цилиндрических оболочек с армированными обшивками и легким наполнителем при осевом сжатии», *Расчет тонкостенных оболочечных конструкций*, с. 13 – 23, 1987.

30. О. Е. Гаврилова и Л. Л. Никитина, «Особенности проектирования и изготовления изделий легкой промышленности из современных комплексных полимерных материалов». [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.docme.ru/doc/1635061/osobennosti-proektirovaniya-i-izgotovleniya-izdelij-legkoj>. Дата обращения 23.12.2016.

31. О. Е. Гаврилова, «Свойства комплексных материалов из полимерных композитов для изготовления изделий в легкой промышленности», *Вестник технологического университета*, № 22, с. 53 – 59, 2011.
32. В. М. Балашов и Д. В. Дарьев, «Особенности проектирования и технологии производства сложнопрофильных антенных конструкций антенн из композиционных материалов», на *III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь»*, Москва, 2009, с. 108 – 121.
33. Е. Г. Семенова, *Основы моделирования и диагностики антенных устройств бортовых комплексов*. Санкт-Петербург: Политехника, 2003.
34. А. М. Смирнов, «Метод проектирования многослойных керамических модулей для быстродействующих устройств телекоммуникаций», дис. канд. техн. наук, МГИЭМ, Москва, 2012.
35. *ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.*
36. В. С. Білецький, *Мала гірнича енциклопедія*. Дніпро, Україна: Східний видавничий дім, 2004 – 2013.
37. Е. В. Пашков, В. Я. Копп та А. Г. Карлов, *Транспортно-нагромаджувальні і завантажувальні системи в складальному виробництві*. Київ, Україна: НМК ВО, 1992.
38. Я. Д. Вишняков и Н. Н. Радаев, *Общая теория рисков*. М.: Издательский центр «Академия», 2007.
39. О. С. Савельева, А. Л. Становский, И. И. Становская, Е. И. Березовская, И. Хеблов, И. Н. Гурьев и И. А. Саух, «Формализация пространства управления проектами», *Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. праць*, № 42 (1214), с. 154 – 159, 2016.
40. *Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®)*. USA/США: Project Management Institute, 2013.
41. Д. В. Курочкин, *Логистика*. Минск, Белоруссия: ФУАинформ, 2012.
42. Н. Н. Шоробура, «Разработка моделей и программных средств для

многокритериальной оптимизации сложных объектов в компьютерных информационных системах». [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2004/kita/shorobura/diss/index.htm>. Дата обращения: 1.04.2011.

43. М. А. Духанина, Е. Ю. Лебедева, П. С. Швец и Л. А. Одукалец, «Эволюционная оптимизация слабосвязанных систем», *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова*, № 67, с. 74 – 81, 2013.

44. . Xiujuan Zhang and Ying Wu, «Effective medium theory for anisotropic metamaterials», *Scientific Reports*, №5, pp. 16 –27, 2015. doi:10.1038/srep07892

45. О. С. Савельева, И. И. Становская, А. В. Торопенко, И. Н. Щедров и Е.И. Березовская, «Разработка термодинамической критериальной поддержки когнитивных моделей переноса в управлении проектами и программами», *Восточно-европейский журнал передовых технологий*, № 6/3 (78), с. 53 – 59, 2015.

46. И. И. Становская, Е. В. Колесникова и И. Н. Гурьев, «Фрактальная размерность проектной деятельности», на *XXI семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2013, с. 23 – 25.

47. R. J. Burke, «Process reengineering: who embraces it and why?», *The TQM Magazine*, vol. 16, pp. 114 – 116, 2004.

48. F. Rotini, Y. Borgianni and G. Cascini, «Reengineering of products and processes. How to achieve global success in the changing marketplace», *Springer*, pp. 163, 2012.

49. E. K. Clemons, M. C. Row and M. E. Thatcher, «Identifying sources of reengineering failures: a study of the behavioral factors contributing to reengineering risks», *Journal of Management Information Systems*, vol. 12, pp. 9 – 36, 2017.

50. ДБН В.3.1-1-2002. Державні будівельні норми України. Експлуатація конструкцій та інженерного обладнання будівель і споруд та систем життєзабезпечення. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних

*будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд*. Київ, Україна: Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003.

51. K. Kolesnikova, D. Monova, Ye. Naumenko, I. Khebllov and I. Gurjev, «The project management of industrial buildings reengineering (reconstruction and completion)», *Автоматизація технологічних та бізнес-процесів*, № 12, с.37 – 50, 2016.

52. *ГОСТ 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния*. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.lidermsk.ru/sitemedia/uploads/materials/docs/e9/e92ac6fc175a6706f4425c328e01b998.pdf>. Дата обращения: 15.04.2017.

53. В. Д. Гогунский, И. И. Становская и И. Н. Гурьев, «Закон Бушуева – гарантия неполной трансформации серийных проектов в операционную деятельность», *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*, № 4/3 (64), с. 41 – 44, 2013.

54. *Project Management Institute. Four Campus Boulevard*. USA: Newtown Square, 2004.

55. S. J. Whitty and M. F. Schulz, «THE\_PM\_BOK\_CODE », on *20th IPMA World Congress on Project Management*, 2006, pp. 466-472.

56. Ю. Д. Амиров, *Основы конструирования: Творчество – стандартизация – экономика*. М.: Изд-во стандартов, 1991.

57. Ю. С. Борисов, *НОТ в ремонтной службе завода*. М.: Машиностроение, 1980.

58. *Апгрейд*. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://slovoborg.ru/definition/апгрейд>. Дата обращения: 01.07.2015.

59. Ю. Н. Николаев, *Компьютерные технологии проектирования строительного производства*. Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015.

60. Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский и Е. Б. Стародубцева, *Современный экономический словарь*. М.: ИНФРА-М, 1999.

61. С. А. Нестеренко и А. Ю. Биньковский, «Методика реинжиниринга сетей масштаба предприятия», *Труды одесского политехнического университета*, № 2, с. 95 – 99, 2007.

62. Л. В. Иванова и С. А. Нестеренко, «Технология реинжиниринга гетерогенных сегментов мультисервисных сетей», *Холодильна техніка та технологія*, № 2 (142), с. 99 – 101, 2013.

63. Ю. С. Борисов, *Организация ремонта и технического обслуживания оборудования*. М.: Машиностроение, 1978.

64. Л. С. Пустотин, К. А. Горчуков и И. Я. Желдаков, *Система регламентированного технического обслуживания металлорежущего оборудования на машиностроительных заводах*. М.: Машиностроение, 1974.

65. И. П. Норенков, *Основы автоматизированного проектирования:ученик для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.* М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

66. Г. Вильдермут и В. Шкатов, «Автоматизированное проектирование многослойных панелей с теплоизоляцией под индивидуальный архитектурный проект», *ЖБИ и конструкции*, № 2, с. 22 – 27, 2010.

67. Е. Г. Малявина, «Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий», *АВОК*, № 1, с.4 – 7, 2009.

68. В. Т. Гагарин, В. В. Козлов и Е. Ю. Цыкановский, «Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором», *АВОК*, № 2, с. 20 – 26, 2004.

69. *Керамические теплоизоляционные краски* [Электронный ресурс]. Доступно: [http://fasadmarket.dp.ua/article\\_info.php?articles\\_id=2](http://fasadmarket.dp.ua/article_info.php?articles_id=2). Дата звернення: 14.05.17.

70. П. П. Рымкевич, М. В. Хохлова, В. Б. Коцкович, О. В. Рымкевич и А. С. Горшков, «Физико-математические основы для описания нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции зданий и сооружений», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная*



*теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий*», Санкт-Петербург, 2009, с. 124 – 130.

71. В. Б. Коцкович, О. В. Рымкевич, П. П. Рымкевич и М. В. Хохлова «Оценка среднего времени прохождения тепла через многослойную ограждающую конструкцию с позиций физической кинетики», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»*, Санкт-Петербург, 2009, с. 136 – 138.

72. П. П. Рымкевич и А. С. Горшков, «Метод решения задач нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции», *Кровельные и изоляционные материалы*, № 6 (24), 2008, с. 50 – 53.

73. П. П. Рымкевич, «Введение в теорию распространения свойств» на *XXVII Летней Международной Школы «Анализ и синтез нелинейной механики колебательных систем»*, СПб, 1999. с.455 – 496.

74. А. С. Горшков, О. В. Рымкевич и П. П. Рымкевич, «Нестационарное прохождение тепла через ограждающие конструкции», *Инженерные системы*, №3 (41), 2009, с. 455 – 496.

75. Т. А. Дацюк и Т. Х. Меллех, «Расчет теплотерь через неоднородные ограждающие конструкции», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»*, Санкт-Петербург, 2009, с. 49 – 52.

76. В. Г. Гагарин и В. В. Козлов, «Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада», на *Научно-техническая конференция посвященная 50-летию НИИСФ РААСН*, Москва, 2006, с. 73 – 80.

77. В. Г. Гагарин и В.В.Козлов, «Математическое моделирование влажностного состояния воздушной прослойки для стены вентилируемого фасада», *Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН*

по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2007 году. Труды РААСН, т. 2, с. 135 – 141, 2008

78. А. А. Смердов и К. С. Колесникова «Оптимальное проектирование оболочек как задача математического программирования», в *Машиностроение. Энциклопедия*. М.: Машиностроение, 1995, т. 1 – 3, кн. 2, с. 233–240.

79. P. A. Zinoviev and A. A. Smerdov, «Preliminary Designing Optimal Composite Structures», *Proc. of the First World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 2, pp. 47 – 48, 1995.

80. P. A. Zinoviev and A. A. Smerdov, «Optimal Design of Composite Bars for Space Truss Systems», in *Optimal Design: Theory and Applications to Materials and Structures*, Lancaster, 1999, pp. 277 – 314.

81. П. А. Зиновьев, А. А. Смердов и К. П. Баслык, «Повышение размерной стабильности корпуса космического телескопа», на 2-й международной конференции «Ракетно-космическая техника: фундаментальные и прикладные проблемы», Москва, 2005, с. 58.

82. М. В. Кнатько, И. И. Пестряков, А. С. Горшков и П. П. Рымкевич, «Опыт испытания стеновой конструкции в лабораторных и натуральных условиях с целью прогнозирования ее эксплуатационного срока службы», на II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий», Санкт-Петербург, 2009, с. 56 – 65.

83. Е. С. Силаенков, *Долговечность изделий из ячеистых бетонов*. М.: Стройиздат, 1986.

84. С. В. Александровский, «Метод прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций», в *Исследования по строительной теплофизике*, Сб. трудов НИИСФ. М.: Госстрой, 1984, с. 81 – 95.

85. О. И. Лобов и А. И. Ананьев «Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции»,

*Строительные материалы*, № 4, с. 56 – 59, 2008.

86. В. В. Инчик, «Влияние метеорологических факторов на долговечность зданий и сооружений Санкт-Петербурга», на *I Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования»*, Санкт-Петербург, 2008, с. 102 – 107.

87. С. В. Александровский, *Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести*. М.: АПНД, 2004.

88. В. Г. Гагарин, «Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий», на *II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»*, Санкт-Петербург, 2009, с. 33 – 44.

89. М. К. Ищук, «Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки», *Жилищное строительство*, №3, с. 28 – 31, 2008.

90. P. A. Zinoviev, A. A. Smerdov and S. V. Grigoriev, «Computer Technology of Composite Design», *Composites: Fracture Mechanics and Technology*, pp. 306 – 308, 1992.

91. П. А. Зиновьев и А. А. Смердов, «Предельные возможности многослойных композитных структур», *Известия РАН. Механика твердого тела*, № 1, с. 7 – 17, 1994.

92. А. А. Смердов, «Сравнительный анализ моделей трансверсальной проводимости для оптимизации однонаправленных гибридных композитов», *Механика композитных материалов*, т. 30, № 1, с. 127 – 131, 1994.

93. O. S. Savelyeva, O. M. Krasnozhan and O. U. Lebedeva, «Using the structural fault-tolerance index in project designing», *Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб.*, №. 2 (44), с. 130 – 135, 2014.

94. P. S. Shvets, O. Yu. Lebedeva and V. V. Bondarenko, «The computer-aided design of rubber-metal products», *Праці Одеського національного*

політехнічного університету, С. 63 – 72, 2015.

95. В. М. Балашов и Е. Г. Семенова, «Информационная поддержка проектирования, производства и эксплуатации конструктивных элементов, выполненных из полимерных композитов», на *Международной научно-технической конференции «Системные проблемы надежности, качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий в инновационных проектах»*, Сочи, 2007, с. 77 – 84.

96. О. Е. Гаврилова, Л. Л. Никитина и Ю. А. Коваленко, «Перспективы развития исследований полимерных и композиционных материалов в современной химической и легкой промышленности», *Вестник технологического университета*, №6, с. 127 – 129, 2011.

97. О. Е. Гаврилова, Ю. А. Коваленко и Г. И. Гарипова, «Использование полимерных композитов в производстве комплексных материалов для изготовления изделий в легкой промышленности», *Вестник Казанского технологического университета*, №10, с. 262 – 264, 2010.

98. А. М. Смирнов, «Особенности конструирования многослойных керамических изделий, изготавливаемых по технологии LTCC», *Технологии ЭМС*, №3, с. 69 – 80, 2009.

99. Т. П. Становская, О. С. Савельева и А. В. Опарин, «Подвеска транспортного средства как нелинейный фильтр», на *XII семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2005, с. 63 – 64.

100. А. К. Лосев, *Теория и расчет электромеханических фильтров*. М.: Связь, 1965.

101. А. Н. Павлов, «Высокодобротный электромеханический фильтр низкочастотных сигналов», *Измерительная техника*, № 10, с. 39 – 40, 2003.

102. А. В. Торопенко, Д. А. Пурич, П. С. Швец и В. В. Бондаренко, «Элементы технических систем с переменной связностью», на *XXIII семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2015, с. 47 – 48.

103. С. А. Балан, Т. П. Становская и А. В. Опарин, «Моделирование

передаточных частотных характеристик элементов автотранспортных средств», *Труды Одесского политехнического университета*, № 3, с. 71 – 73, 1999.

104. И. И. Сидоренко, «Активная виброзащитная система с механической обратной связью по величине передаваемой загрузки», *Труды Одесского политехнического университета*, № 2(8), с. 51 – 54, 1999.

105. О. Е. Гончарова, В. Г. Максимов и А. Л. Становский, «Нечувствительный к асимметрии численный метод оптимизации конструкций», *Труды Одесского политехнического университета*, № 2 (8), с. 41 – 44, 1999.

106. С. А. Балан, Т. П. Становская и О. Е. Гончарова, «Метод виртуального объекта в проектировании», *Труды Одесского политехнического университета*, № 1, с. 32 – 35, 2000.

107. А. Л. Становский, Л. В. Бовнегра, А. В. Шмараев и Ю. В. Шихирева, «Метод виртуальной модели в метрологическом обеспечении автоматизированного проектирования и управления», *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*, № 2/9 (74), с. 30 – 35, 2015.

108. С. А. Балан, Т. П. Становская и О. Е. Гончарова, «Применение метода виртуального объекта в машиностроении», на. *VII семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2000, с. 12 – 16.

109. Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович и А. В. Вознищик, «Анализ методик неразрушающих испытаний бетонных конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза», *Строительство и архитектура*, № 2, с. 33 – 39, 2013.

110. А. В. Улыбин, «Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций», *Инженерно-строительный журнал*, № 1 (27), с. 4 – 13, 2012.

111. А. В. Калюжный, «Исследование методов контроля скрытых пустот различными способами», *АСАУ*, № 10 (30), с. 54 – 62, 2007.

112. Ж. В. Бербеков, «Неразрушающие методы контроля прочности бетона», *Молодой ученый*, №11, с. 20 – 23, 2012.

113. А. Е. Гольдштейн и Г. В. Вавилов, «Отстройка от влияния изменения электропроводности воды на результаты технологического контроля погонной емкости электрического кабеля», *Ползуновский вестник. Раздел 4. Приборы и методы контроля*, № 2, с. 150 –154, 2013.

114. А. Л. Становский, И. В. Прокопович и М. А. Духанина, «Неразрушающий метод измерения плотности фрагментов песчаных литейных форм», *Збірник наукових праць. «Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві»*, № 4 (5), с. 104 – 110, 2013.

115. Towler Gavin and Ray Sinnott, *Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design (2nd ed.)*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013.

116. В. А. Винокуров, С. А. Куркин и Г. А. Николаев, *Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности*. М.: Машиностроение, 1996.

117. Д. В. Вайнберг и Е. Д. Вайнберг, *Расчет пластин*. К.: Будівельник, 1970.

118. Г. Л. Колмогоров, Т. Е. Мельникова и В. Р. Кулиев, *Вариационные методы в теории пластин и оболочек*. Пермь: ПГТУ, 2000.

119. В. Л. Бидерман, *Механика тонкостенных конструкций. Статика*. М.: Машиностроение, 1977.

120. Л. В. Бовнегра, Т. В. Лысенко и Ан. А. Становский, «Обобщение метода виртуального объекта на расчеты оптимальных параметров сложных систем», *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Процессы управления*, № 4/3 (70), с. 33 – 37, 2014.

121. Т. Lysenko, L. Bovnegra, An. Stanovskyi and I. Tsapenko, «Structure optimization of the mechanical and computer networks using the method of virtual object», on *14th International Conference «Research and development in mechanical*

*industry» RaDMI 2014, Vrnjačka Banja, 2014, pp. 694 – 700.*

122. О. Е. Гончарова, В. Г. Максимов и А. Л. Становский, «Нечувствительный к асимметрии численный метод оптимизации конструкций», *Труды Одесского политехнического университета*, № 2(8), с. 41 – 44, 1999.

123. С. А. Балан, Т. П. Становская и А. Л. Становский, *Проектирование и управление в машиноведении*, Одесса: Астропринт, 2003.

124. Г. И. Рузавин, *Виртуальность. Новая философская энциклопедия. 2-е изд.* М.: Мысль, 2010.

125. Virtual. Online Etymology Dictionary [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.etymonline.com/index.php?term=virtual>. Дата обращения: 14.10.16.

126. А. А. Грицанов, В. Л. Абушенко, Г. М. Евелькин, Г. Н. Соколова и О. В. Терещенко, *Виртуальная реальность. Энциклопедия социологии*. Мн.: Книжный Дом, 2003.

127. Н. Г. Багдасарьян и В. Л. Силаева, «Виртуальная реальность: попытка типологизации», *Философские науки*, № 6, с. 39 – 58, 2005.

128. Н. А. Носов, *Манифест виртуалистики*. М.: Путь, 2001.

129. Б. Грин, *Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории*. М.: Едиториал УРСС, 2004.

130. Е. В. Колесникова и И. И. Становская, «Фрактальная размерность как мера трансформации серийной проектной деятельности в операционную», *Праці Одеського політехнічного університету*, № 2 (41), с. 282 – 288, 2013.

131. В. А. Чуриков, «Внутренняя алгебра операторов дробного интегродифференцирования», *Известия Томского политехнического университета*, № 2, т. 314, с. 12 – 15, 2009.

132. В. Г. Максимов, О. Е. Гончарова и Т. П. Становская, «Расчёт параметров НДС металлоконструкций методом виртуального объекта», на VI семинаре «*Моделирование в прикладных научных исследованиях*», Одесса, 1999,

с. 16 – 17.

133. И. В. Бейко, Б. Н. Бублик и П. Н. Зинько, *Методы и алгоритмы решения задач оптимизации*. Київ, Україна: Вища шк., 1983.

134. О. Е. Гончарова и А. Ф. Дащенко, «Прочностной расчет балок осей мобильных машин на стадии проектирования», *Научные труды молодых ученых*, с. 134 – 136, 1997.

135. С. А. Балан, Т. П. Становская и А. В. Опарин, «Метод виртуального объекта в управлении тормозными системами с внутренней виброзащитой», *Труды Одесского политехнического университета*, № 2 (11), с. 29 – 32, 2000.

136. А. Л. Становский, В. Г. Максимов и О. Е. Гончарова, «Оптимизация профиля несущих элементов металлоконструкций», *Науковий вісник ОГПУ*, № 6, с. 139 – 144, 1998.

137. В. К. Батоврин и Д. А. Бахтурин, *Управление жизненным циклом технических систем*. Минск, Белоруссия: ИНПК, 2012.

138. С. А. Нестеренко, Д. А. Пурич, Ан. А. Становский и Д. А. Монова, «САПР реинжиниринга механических систем в эксплуатации», *Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць*, Вып. 1 (25), с. 109 – 115, 2015.

139. Т. В. Бирик, Т. И. Носенко, Д. А. Пурич и Л. А. Одукалец, «Десинхронизация последствий аварий на атомных электростанциях», *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Пухова НАНУ*, № 56, с. 100 – 105, 2010.

140. O. Savelyeva, D. Monova, E. Berezovskaya, I. Hebllov and I. Guryev, «The physical criterion analogy in the management of project risks», на *III Міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами»*, Київ, 2016, с. 164 – 165.



141. А. Н. Хорошев, *Введение в управление проектированием механических систем: Учебное пособие*. Белгород: ПРН, 1999.

142. С. А. Нестеренко и Л. В. Иванова, «Методика и инструментальные средства проектирования гетерогенных мультисервисных сетей в среде специализированных САПР», *Вісник ЧДТУ*, № 2, с. 55 – 59, 2013.

143. *Неисправности карбюратора ВАЗ 2101 – 2107* [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.autocruiz.ru/poisk\\_neispravnostey.html](http://www.autocruiz.ru/poisk_neispravnostey.html). Дата обращения 4.05.16.

144. В. П. Попов, *Основы теории цепей*. М.: Высшая школа, 2003.

145. О. Л. Становський, П. С. Швець, А. В. Торопенко, В. В. Бондаренко, А. О. Становський, О. Абу Шена та О. М. Красножон, «Оптимізація зв'язності елементів в задачах автоматизованого проектування систем», *Вісник НТУ «ХПИ»*, № 49(1158), с. 170 – 175, 2015.

146. О. Ю. Лебедева, О. Абу Шена, В. В. Бондаренко та О. М. Красножон, «Автоматизація проектування технологічного процесу виготовлення гумовометалевих виробів», на *2-й Всеукраїнській конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015»*, Івано-Франківськ, 2015, с. 59 – 60.

147. А. Л. Становский, П. С. Швец и А. В. Торопенко, «САПР электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами», *Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць*, Вип. 8, с. 133 – 143, 2013.

148. «Induction (Asynchronous) Motors», *Mississippi State University Dept of Electrical and Computer Engineering, Course ECE 3183, «Electrical Engineering Systems for non-ECE majors»*, 2012.

149. «Wheel asynchronous traction motor with external rotor», *Neudorfer. Glasers Annalen*, № 6/7, pp. 237 – 242, 2001.

150. James Stallcup, *Stallcup's Generator, Transformer, Motor and Compressor*, pp. 15 – 13, 2012.

151. О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин и И. С. Свириденко, *Проектирование электрических машин*. М.: «Высшая школа», 2001.
152. Л. Ф. Силин, *Проектирование асинхронных двигателей*. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002.
153. С. Н. Ozyurt, «Parameter and Speed Estimation of Induction Motors from Manufacturers Data and Measurements», *Middle East Technical University*, pp. 33 – 34, 2005.
154. A. Michael, «19.2.5 Reluctance motors», *Electrical Engineer's Reference Book*, p. 19 – 28, 2003.
155. Ki-Chan Kim, Seung-Bin Lim, Dae-Hyun Koo and Ju Lee, *The Shape Design of Permanent Magnet for Permanent Magnet Synchronous Motor Considering Partial Demagnetization*. Magnetics, IEEE Transactions, 2006.
156. Г. В. Новиков, *Частотное управление асинхронными электродвигателями*. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
157. О. С. Савельева, Д. А. Пурич и Ан. А. Становский, «К оценке надежности сети датчиков с резервированием», на *XIX семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2011, с. 65 – 68.
158. П. М. Гащук, *Лінійні динамічні системи і звичайні диференціальні рівняння. Навч. посібник*. Львів, Україна: «Українські технології», 2002.
159. А. А. Ахрем, И. М. Макаров и В. З. Рахменкулов, *Математическая теория виртуализации процессов проектирования и трансфера технологий*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. □
160. Granino Arthur Korn and Theresa M. Korn, «Mathematical handbook for scientists and engineers : definitions, theorems, and formulas for reference and review», *Courier Dover Publications*, pp. 169, 2000.
161. Измерение параметров конденсаторов [Электронный ресурс]. Доступно: [http://zpostbox.ru/izmerenie\\_parametrov\\_kondensatorov](http://zpostbox.ru/izmerenie_parametrov_kondensatorov). Дата обращения: 8.02.2017.
162. Г. А. Оборский, А. Л. Становский, И. В. Прокопович и

М. А. Духанина, «Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами», *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*, № 6/3 (72), с. 41 – 47, 2014.

163. Т. І. Бубняк, *Вища математика*. Львів, Україна: Новий світ, 2009.

164. А. В. Усов, В. М. Кузьміна и Т. М. Олех, *Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних*. Одеса, Україна: Астропринт, 2007.

165. А. Таха Хемди, *Введение в исследование операций. Operations Research: An Introduction*. М.: Вильямс, 2007.

166. С. К. Чернов, «Учет рисков и неопределенностей в организационных проектах», *Управління проектами та розвиток виробництва*, № 1 (17), с. 41 – 44, 2006.

167. А. Л. Становский, «Получение оливок с качественной поверхностью при литье черных металлов в формы на термореактивных связующих», *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук*, Одесса, 1980, 167 с.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

### УШКОДЖЕННЯ АМОРТИЗАТОРІВ, АНАЛІЗ ПРИЧИН

А.1 Аналіз причин ушкоджень амортизаторів, що зустрічаються найчастіше

При використанні гумометалевих амортизаторів критичні ушкодження, що призводять до необхідності циклу реінжинірингу, найчастіше пов'язані з ушкодженням металевих елементів. Розглянемо деякі з найчастіших причин ушкодження таких елементів [Д.1].

1. *Злам різьблення штока амортизатора* (рис. Д.1). Причини: прикладання надмірного зусилля при затягуванні цього нарізного сполучення. При монтажі не були дотримані рекомендовані моменти затягувань (наприклад, використовувався звичайний гайковий ключ або імпульсний гайковерт замість динамометричного).



Рисунок Д.1 – Злам різьблення штока амортизатора

2. *Порушення цілісності хромового покриття штока амортизатора* (рис. Д.2). Причина: якісний монтаж, присутність слідів фіксації штока

інструментом, що пошкодив його поверхню, наприклад, газовим ключем або пассатижами.

Експлуатація амортизатора без захисного комплексу (пильовика) або несвоєчасна заміна зношеного пильовика.

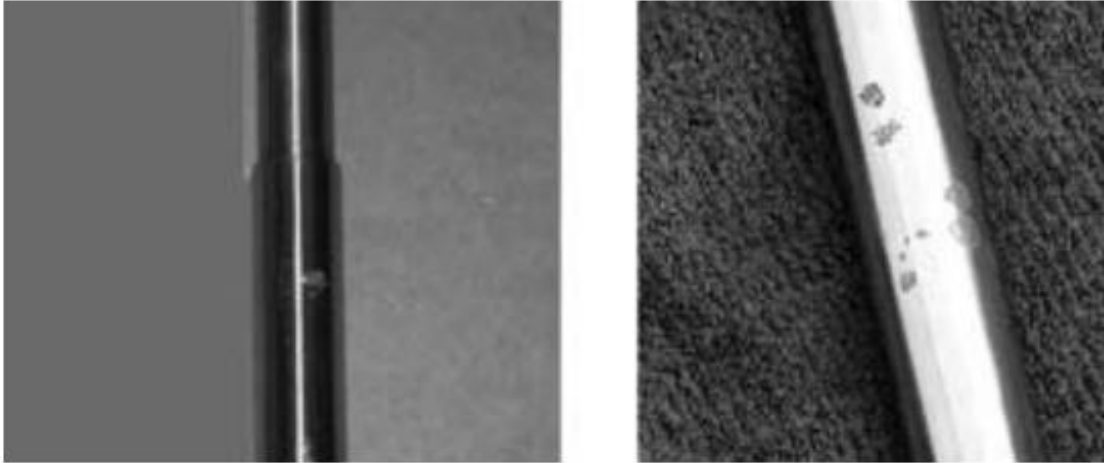


Рисунок Д.2 – Порушення цілісності хромового покриття штока амортизатора

*3. Частково стерте хромове покриття штока амортизатора (рис. Д.3).*

Відсутність хромового покриття з однієї зі сторін може виникнути в результаті: згинання штока, що було заподіяно боковим наїздом на перешкоду, бордюр, аварією; неправильного монтажу амортизатора, що призвело до неспіввісності циліндра і штока, прикладання надмірного зусилля при затягуванні нарізних сполучень.

*4. Вигин штока амортизатора (рис. Д.4).* Вигнутий шток як результат аварії, або іншого ушкодження підвіски.

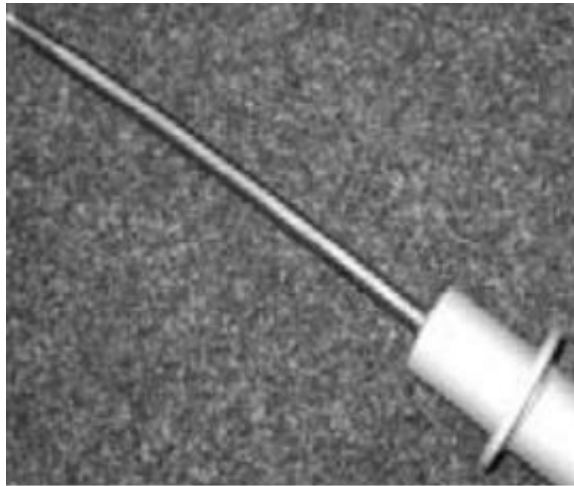


Рисунок Д.3 – Частково стерте хромове покриття штока амортизатора



Рисунок Д.4 – Вигин штока амортизатора

5. *Вмятина або ушкодження корпусу амортизатора* внаслідок аварії, або наїзду на перешкоду. Сильне ушкодження корпусу амортизатора спричиняє руйнування поршня із системою клапанів і повну відмову амортизатора.



Рисунок Д.5 – Вм'ятина або ушкодження корпусу амортизатора

Далі наведені деякі не настільки явні несправності, викликані помилками при монтажі амортизатора.

6. *Стукіт при роботі амортизатора.* Численні явища стуку при проїзді нерівностей можуть бути наслідком неправильного монтажу деталей кріплення амортизатора або амортизаційної стійки.

7. *Руйнування / видавлювання гумометалевої втулки з вушка кріплення амортизатора (рис. Д.6).* Недотримання моментів затягування при монтажі амортизатора, що викликало додаткові навантаження при роботі. Порушення геометрії місць кріплення, наприклад, після наїзду на перешкоду або аварії.



Рисунок Д.6 – Руйнування / видавлювання резинометалічної втулки з вушка кріплення амортизатора



8. *Прогресуючий стукіт і поступове зниження сили, що демпфірує, у деяких випадках може бути викликано застосуванням імпульсних гайковертів при затягуванні гайки на штоку амортизатора (мал. Д.7).*



Рисунок Д.7 – Погано затягнута гайка в амортизаторі

Це нарізне сполучення повинне фіксуватися чітко регламентованим

моментом затягування із застосуванням спеціального інструмента. Зусилля, що розвивається імпульсним гайковертом настільки велике, що може викликати ослаблення гайки, утримуючої пакет клапанів і прокладок на поршні, у результаті чого він згодом просто «саморуїнується».

## А.2 Пошкодження металевих елементів амортизатора

Специфіка гумових конструкційних виробів полягає в тому, що до них пред'являються протилежні експлуатаційні вимоги. З одного боку, як і будь-яка «механічна» деталь вони повинні мати необхідну міцність, а з іншого, – велику гнучкість та стійкість до змінних навантажень. Невиконання цих вимог призводить до появи численних дефектів, а також технічних умов, які ці дефекти обмежують. Так, зокрема, на поверхні та в тілі гумового масиву не допускаються міхури та мушлі (раковини) (рис. Д.8), надриви (рис. Д.9), відшарування гуми від арматури (рис. Д.10), тріщини (рис. Д.11) [Д.2].

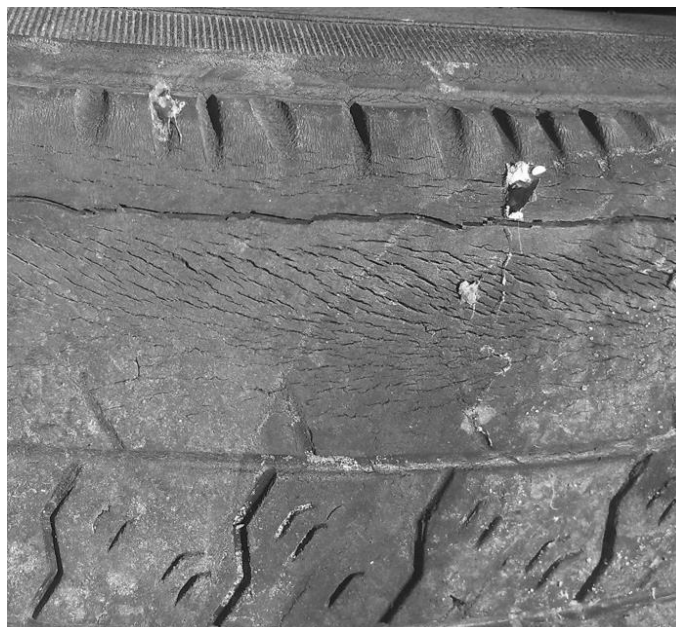


Рисунок Д.8 – Міхури та мушлі на поверхні гумового виробу.



Рисунок Д.9 – Надрид гумового виробу

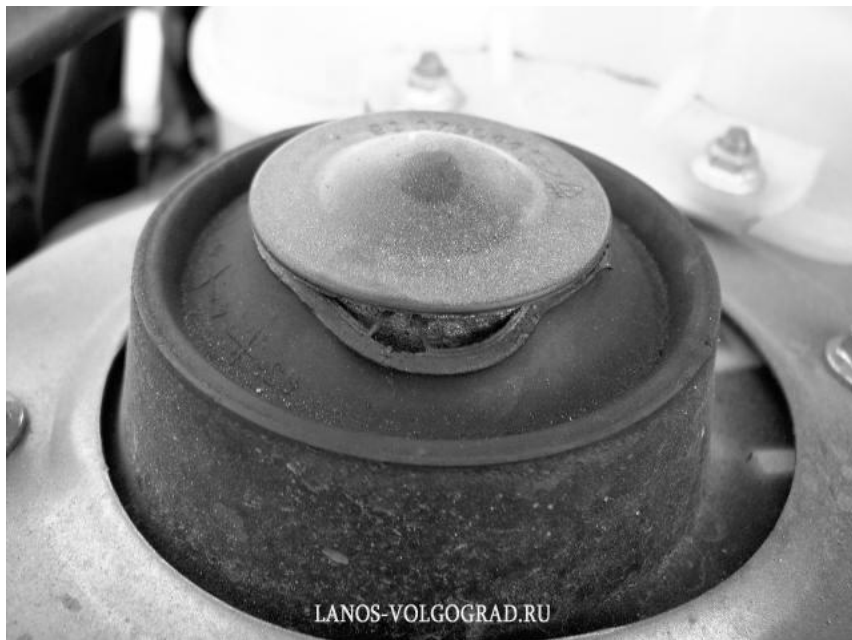


Рисунок Д.10 – Відшарування гуми від арматури

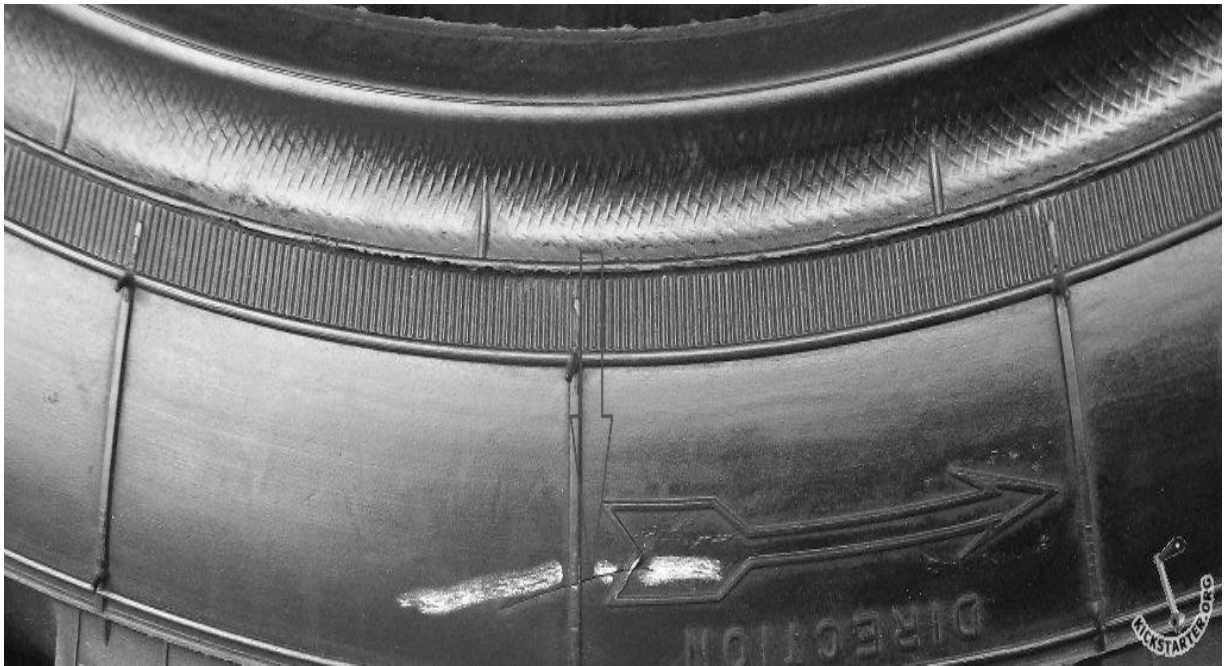


Рисунок Д.11 – Тріщина на поверхні гумового виробу

У місцях розрізу гумові вироби не повинні містити розшарувань (рис. Д.12), пор та сторонніх включень.

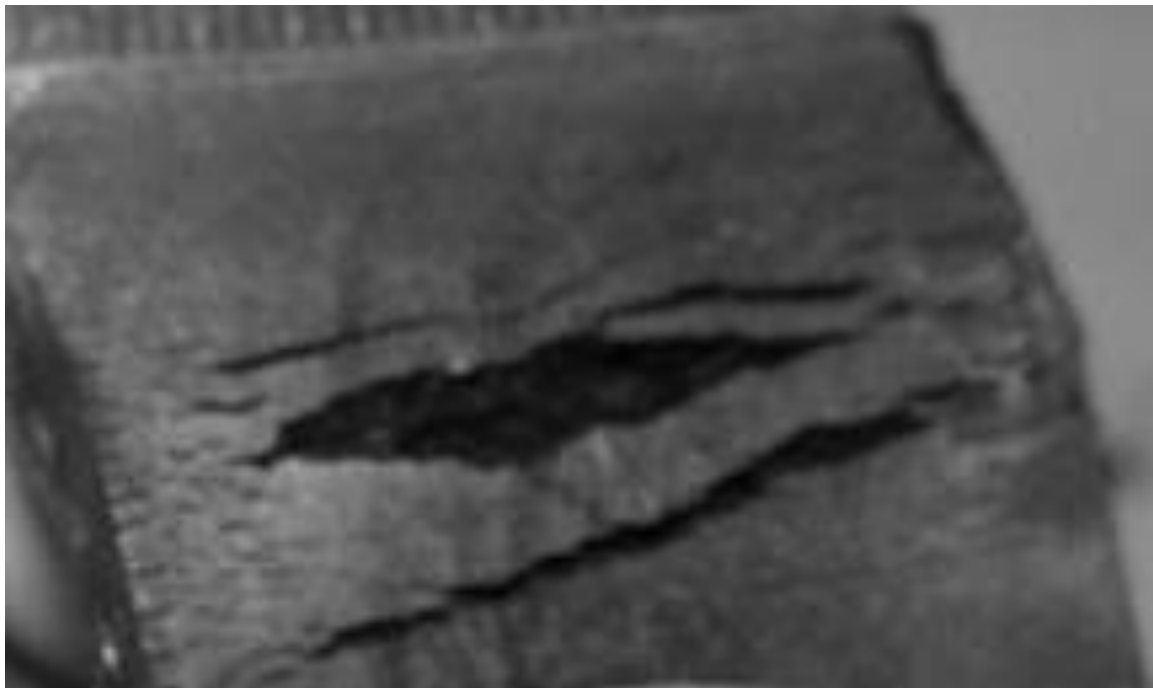


Рисунок Д.12 – Розшарування у місці розрізу гумового масиву

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

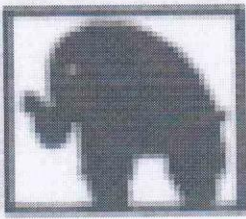
Крім того, існує група дефектів гумових виробів, які не можна виявити при візуальному огляді, навіть із розрізом, який як відомо, відноситься до руйнівних методів контролю і тому не завжди бажаний на реальному гумовому підприємстві. До таких дефектів відносяться, у першу чергу, невідповідність механічних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

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Д.1. Эксперты о методах проверки амортизаторов и анализе дефектов [Электронный ресурс]. Доступно: <http://ua.motofocus.eu/articles/5473,yakspri-omtodah-provrki-amortizatorov-i-analiz-dfktov>. Дата обращения 22.08.2012.

Д.2. О. Ю. Лебедева, «Математичне моделювання та оптимізація в комплексних САПР гумометалевих виробів», дис. канд. техн. наук, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2016.



ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО“ОДЕСЬКИЙ ЗАВОД  
ГУМОВИХ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ”

65013, Одеса, Миколаївська дорога, 124 тел 716-13-80, тел\факс 716-12-51

E-mail: ozrti@te.net.ua www.ozrti.com.ua

№ \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_

от \_\_\_\_\_



ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова Наглядової ради

ПАТ «Одеський завод

гумових технічних виробів»

Ю. М. Лебедев

«15» травня 2017 р.

## АКТ

Ми, такі, що підписалися нижче, від ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» – інженер-технолог, канд. техн. наук Лебедева О. Ю. і від Одеського національного політехнічного університету канд. техн. наук, доцент Швець П. С. та аспірант Хуссаїн Валід Шер склали цей Акт в тому, що в період з 3 квітня по 12 травня 2017 р. в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування системи «CADAC» (CAD anti crisis). В якості об'єкта дослідження були обрані гумотехнічні амортизатори типу АДП-950. Легенда, закладена в прискорених стендових випробуваннях, виглядала наступним чином. Гумотехнічні амортизатори в кількості 100 штук виготовлені в ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів».

При цьому виявлені недоліки основного проекту, який був модернізований за допомогою постпроектного САПР «CADAC». Далі, згідно з легендою, партія амортизаторів була встановлена на морському судні, на якому пропрацювала протягом 5 років.

За умовами роботи, при виході з ладу амортизатора в результаті зносу і вичерпання ЗІП, плавсклад судна не мав можливості придбати на підприємстві-виробнику оригінальні амортизатори і змушений був з урахуванням усіх умов експлуатації поставити нове технічне завдання та спроектувати за допомогою постпроектного САПР «CADAC» і виготовити нові амортизатори.

В результаті комп'ютерно-стендових випробувань встановлено, що застосування системи «CADAC» дозволило досягти наступних технічних результатів.

Щодо технології автоматизованого проектування:

- швидкість «локального» проектування зросла, в середньому, в 1,22 рази;
- кількість «кризових» САПР на етапах виготовлення та налагодження знизилася на 18 %.

Щодо якості об'єкта проектування:

- напрацювання на відмову знов спроектованих амортизаторів зросло, в середньому, на 11,1 %.

Від ПАТ «Одеський завод  
гумових технічних виробів»:

Лебедева О.Ю.

Від ОНПУ:

Швець П.С.

Хуссаїн Валід Шер