

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ХУССАІН ВАЛІД ШЕР

*Ws Hussain*

УДК 004.942:004.021

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

05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт

Автореферат дисертації  
на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент  
**Швець Павло Степанович,**  
Одеський національний політехнічний  
університет, доцент кафедри  
електропостачання та енергетичного  
менеджменту

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Гоменюк Сергій Іванович,**  
Запорізький національний університет,  
декан математичного факультету

кандидат технічних наук, доцент  
**Гнатовська Ганна Арнольдівна,**  
Одеський державний екологічний університет,  
доцент кафедри інформатики

Захист відбудеться 26 жовтня 2017 р. о 13.30 на засіданні спеціалізованої  
вченої ради К 41.052.08 в Одеському національному політехнічному університеті  
за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400-А.

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

Автореферат розісланий 18 вересня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Р.О. Шапорін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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 антикризового постпроектування.

Для останнього потрібно все «починати з 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, багатошарові 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:

- *госпдоговірної* № 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:**

- 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» (*CAD anti crisis*), 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 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 антикризових 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 (кризових ситуацій), 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 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 експлуатації 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 моделях.

В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування системи «CADAC». В якості об'єкта дослідження були обрані гумотехнічні амортизатори. Легенда, закладена в прискорених стендових випробуваннях, виглядала наступним чином. Гумотехнічні амортизатори в кількості 100 штук були 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 «антикризових» 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 ОНПУ і використовуються в дисциплінах, які вивчають методи автоматизованого проектування технологій виготовлення та конструкцій композиційних об'єктів.

**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 та оцінці їхньої ефективності.

**Апробація результатів роботи.** Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на: XX та XXV семінарах «Моделювання в прикладних наукових дослі-

дженнях» (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.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, двох додатків. Об’єм дисертації – 159 стор., з них додатків – 12 стор. Дисертація містить 43 рисунки, 8 таблиць і посилання до 169 джерел (з них 2 – в додатках).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

**У першому розділі** проаналізовані проблеми та методи підвищення ефективності автоматизованого проектування в антикризових постпроектних САПР. Описані види та причини відмов елементів технічного обладнання під час експлуатації та пов’язані із цим кризові ситуації. Вивчені проблеми відновлення технічного обладнання пошкоджуваних об’єктів. Наведені варіанти зміни конструкції та властивостей елементів при такому відновленні.

**У другому розділі** наведена структура проекту відновлення та головні особливості постпроектних САПР.

**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. Відновлення об’єкта після таких відмов має свої особливості і відбувається за своїми проектами. Роз-

робка таких проектів виконується за допомогою *постпроектних* САПР, тобто САПР, які «працюють» після завершення основного проектування об'єкта. Основною відмінністю таких САПР є широкий спектр об'єктів, в деякому сенсі вони, завдяки своїй універсальності, відносяться до САПР загального застосування,

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.

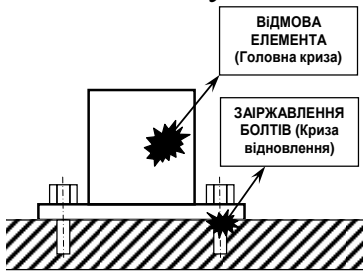


Рисунок 1 – «Головна» криза та криза відновлення об'єкта

Під час виконання таких робіт, наряду із «головною» кризою яка призвела до відмови, з'являються ще й події II роду, які кваліфікуються як «сюрпризи», що відносяться саме до процесу відновлення. Наприклад, спроба замінити деякий вузол об'єкта, який відмовив, може виявити повне заіржавлення гвинтів, якими кріпиться цей вузол до корпусу об'єкта (рис. 1). Зрозуміло, що такі додаткові відмови можуть самі по собі потребувати конструктивного та технологічного проектування для їхнього подолання.

Відмови під час відновлення бувають двох типів – перший ідентифікується в плановому порядку по завершенні чергової ревізії, а другий – несподівано в процесі виконання роботи. У зв'язку з цим, команда відновлення (реінжинірингу) повинна бути перманентно готовою до надзвичайних дій, причому, перехід до фаз відновлення пошкоджень усіх типів бажано здійснювати негайно.

#### ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

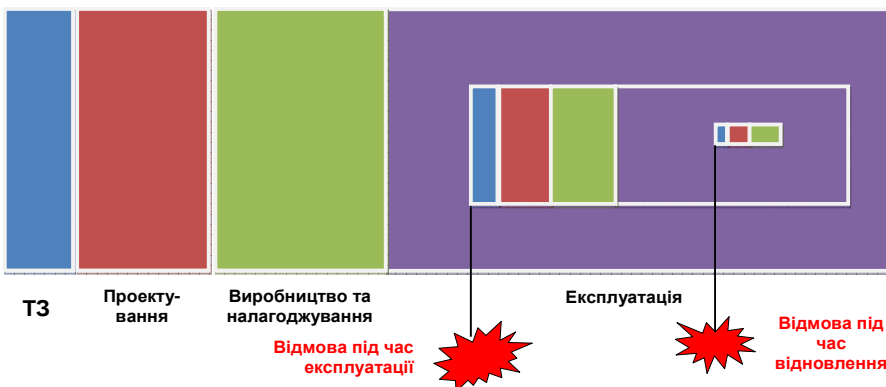


Рисунок 2 – Ієрархічна послідовність процесів відновлення

Адже під час боротьби із відмовами II роду можуть з'явитися, відповідно, відмови III роду і так далі, а життєвий цикл об'єкта відповідно ускладнюється в напрямку внутрішніх відображень і набуває виду, представленого на рис. 2.

**Формування технічного завдання (ТЗ) для САПР відновлення (реінжинірингу).** За визначенням, ТЗ – комплект документів, що встановлює основне призначення, показники якості, техніко-економічні та спеціальні вимоги до виробу, обсягу, стадії розроблення та складу конструкторської документації. Будь-яке автоматизоване проектування виконується за стандартною схемою, укрупнений вигляд якої наведено на рис. 3. На першому місці в цій схемі стоїть ТЗ на проект, яке отримується від замовника. Натомість, в антикризовому постпроектному проектуванні в оточуючому середовищі знаходиться об'єкт, а ТЗ формується «всередині» САПР, взаємодіючи як з об'єктом, так і з процесом антикризового проектування (рис. 4), оскільки вимушено змінюється при кожній кризі відновлення.



В основі ТЗ при відновленні знаходиться те, що заміна старого на новий елемент не повинна призводити до суттєвих змін в функціонуванні об'єкта в цілому.



Рисунок 3 – Укрупнена схема «звичайного» проектування

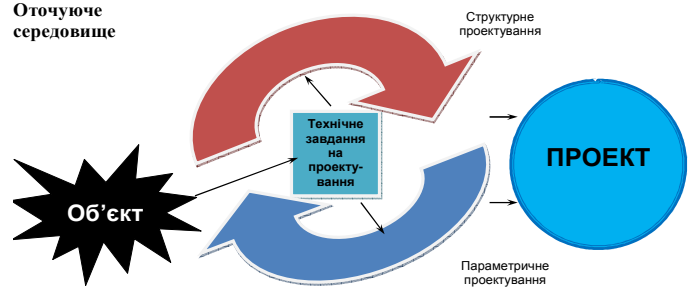


Рисунок 4 – Місце стадії розробки технічного завдання при антикризовому проектуванні

**Особливості САПР нових елементів, породжені спадкоємністю властивостей пошкодженого елемента.** 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. З іншого боку, 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.

Саме завдяки цьому, автоматизоване проектування пристроїв та технології для супроводження та підтримки працездатності складних об'єктів на постпроектних етапах життєвого циклу відрізняється спадкоємністю нового та основного проектів, збільшенням розмірності нового технічного завдання на проект та більш жорсткими обмеженнями на процес проектування.

Проектування нового елемента повинно починатися із визначення габаритних розмірів елемента, розташування та розмірів приєднуючих пристроїв. Далі виконується прив'язка усіх потенціалів та потоків, які повинен підтримувати новий елемент. Адже об'єкт в цілому має «не помітити» заміну елемента. В такій постановці «місце приєднання» змінюваного елемента до об'єкта сприймається як набір сталих вимог, які є невід'ємною частиною загального ТЗ на антикризове проектування. Об'єкт при цьому є чимось «великим» та незмінним (рис. 5 а).

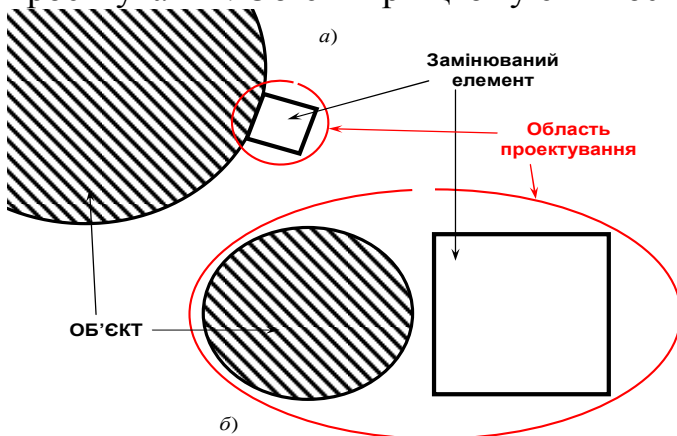


Рисунок 5 – Области проектування при несумірності (а) та сумірності (б) об'єкта та його елемента

Натомість, у тих випадках, коли 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. 5 б). Ці зміни торкаються, в першу чергу, переведенням жорстких обмежень у відповідні нежорсткі із одночасним розширенням можливостей при розв'язанні задач в САПР.

**В третьому розділі** наведені засади автоматизованого проектування розповсюджених груп елементів 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 складати серйозну проблему в ситуації кризового виживання. Звісно, при такому різноманітті пошкоджень годі й думати про деяку «універсальну» САПР відновлення на усі випадки життя. Тому були виділені групи відновлюваних елементів (табл. 1).

Таблиця 1 – Головні проблеми проектування відновлюваних елементів третього типу

№	Елементи	Проблема
1	Корпусні	Забезпечення рівнонапруженості корпусних елементів
2	Опорні армовані	Конструкція арматури
3	Багатошарові	Забезпечення передавання дії крізь елемент
4	Автономні	Забезпечення функціонування мережі після відновлення

**1. Автоматизоване проектування корпусних відновлюваних елементів пошкоджених об'єктів.** Головною проблемою антикризового проектування корпусних елементів є забезпечення рівнонапруженості його деталей з метою зменшення маси відповідних деталей при збереженні їхньої надійності, шляхом розробки математичних моделей пластини змінної товщини, яка працює під поперечним навантаженням. При дії рівномірного навантаження  $q(r)$  на круглу пластину, закріплену в окружному напрямку симетрично відносно центральної осі  $z$ , переміщення її серединної поверхні буде функцією лише радіальної координати –  $w(r)$ . Така деформація є осесиметричною. Для пластини, товщина якої  $h(r)$  змінна тільки в радіальному напрямку, прогин  $w(r)$  і напружений стан осесиметричні.

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 та окружному напрямках будуть різними, відповідно  $\rho_1$  і  $\rho_2$ .

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

$$\frac{1}{\rho_1} = k_1 = \frac{d\varphi}{dr} = -\frac{d^2w}{dr^2}; \quad \frac{1}{\rho_2} = k_2 = \frac{\varphi}{r} = -\frac{1}{r} \cdot \frac{dw}{dr}, \quad (1)$$

де  $k_1$  і  $k_2$  – кривизни вигнутої 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:

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

де змінна циліндрична жорсткість пластини:

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

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

Далі одержуємо диференціальне рівняння другого порядку зі змінними коефіцієнтами:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \left(\frac{1}{x} + nx\right) \frac{d\varphi}{dx} - \left(\frac{1}{x^2} - \mu n\right) \varphi = -\frac{1}{r} \int_0^r q(\rho) \rho d\rho = -\bar{p}x \exp\left(-\frac{nx^2}{2}\right), \quad (4)$$

де безрозмірний множник

$$\bar{p} = 6(1 - \mu^2) \frac{q_0}{E} \cdot \frac{R^3}{h_0^3}. \quad (5)$$

При використанні комп'ютерної програми *Maple 13* (із заміною позначення функції  $\varphi(x) \rightarrow y(x)$ ), знайдений такий результат.

$$de = \text{diff}(y(x), x) + \left(\frac{1}{x} + n \cdot x\right) \cdot \text{diff}(y(x), x) - \left(\frac{1}{x^2} - m \cdot n\right) \cdot y(x) + p \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{n \cdot x^2}{2}\right) \quad (6)$$

$$\frac{d^2}{dx^2} y(x) + \left(\frac{1}{x} + n \cdot x\right) \cdot \left(\frac{d}{dx} y(x)\right) - \left(\frac{1}{x^2} - m \cdot n\right) \cdot y(x) + p \cdot x \cdot e^{-\frac{1}{2}nx^2} \quad (7)$$

$$y(x) = \frac{e^{-\frac{1}{4}nx^2} \text{Whittaker } M\left(\frac{1}{2}m - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}nx^2\right) - C1}{x} + \frac{e^{-\frac{1}{4}nx^2} \text{Whittaker } W\left(\frac{1}{2}m - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}nx^2\right) - C2}{x} - \frac{p \cdot x \cdot e^{-\frac{1}{2}nx^2}}{n(-3 + m)}. \quad (8)$$

В цьому розв'язанні задіяні дві функції Уїттекера першого й другого роду. Для цих функцій використовують позначення  $M_{k,s}(z)$  і  $W_{k,s}(z)$ .

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 товщину пластини описували за допомогою функції Гауса.

**2. Автоматизоване проектування армованих опорних відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів.** 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

Під час здійснення технологічного процесу існує єдиний етап, небезпечний з точки зору якості елемента в цілому. Це – етап заповнення форми бетоною 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 наповнювача, конструкція арматури, умови твердіння, тощо) і щільністю готового залізобетону настільки складна, що її неможна виявити теоретично, а отже, доводиться робити це експериментально.

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 обкла�дками. Конфігурація реальних обкла�док в конденсаторі, створеному на тлі поверхонь внутрішньої арматури, дуже далека від площини. Тому розглянемо обидві його обкла�дки як деякі криволінійні поверхні, описані функціями вигляду  $y_1(x_1^{k_1}, x_2^{k_2})$  та  $y_2(x_1^{k_3}, x_2^{k_4})$ , причому, жодна степінь при аргументах не дорівнює одиниці.

Таким чином, головною проблемою при проектуванні конструкцій та технологій виготовлення опорних елементів (наприклад, будівельних) є розрахунок таких параметрів, які забезпечують заповнення формувальною сумішшю 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 вимірювали за допомогою ємнісного методу.

**3. Автоматизоване проектування плоских та багатошарових відновлюваних елементів пошкоджуваних об'єктів.** Головною проблемою антикризового проектування плоских та багатошарових елементів об'єкта є забезпечення заданого передавання дії (механічної, теплової, тощо) крізь елемент за рахунок визначення матеріалу та розмірів окремих шарів. Хай деякому впливу треба розповсюдитися від точки  $(0; 0)$  (рис. 6) до точки із координатами  $(x_A; L)$ , долаючи при цьому шлях крізь дві зони (I та II) двома відрізками прямих  $OX$  та  $XA$ .

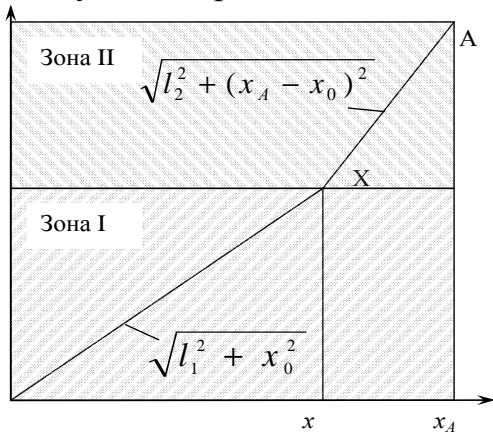


Рисунок 6 – Схема до розрахунку оптимального за часом шляху подолання двох зон із різними протяжністю та властивостями

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

$$l_I + l_{II} = L, \quad (9)$$

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:

$$\tau = \frac{L}{v}. \quad (10)$$

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

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

$$x \in \{0; x_A\}: f(x^*) = \min_{x \in \{0; x_A\}} f(x). \quad (11)$$

Для побудови  $f(x)$  згадаємо, що метою оптимізації в задачі (11) в нашому випадку є мінімізація часу перенесення впливу від  $O$  до  $A$ , а також, що цей час є сумою часу перенесення від точки  $O$  до точки  $X$  і від точки  $X$  до точки  $A$  із відповідними швидкостями:

$$\tau_I = \frac{l_I}{v_I}; \quad \tau_{II} = \frac{l_{II}}{v_{II}}; \quad \tau = \tau_I + \tau_{II} \quad (12)$$

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. 6 та виразу (12) отримуємо:

$$\tau_I = \frac{\sqrt{l_I^2 + x^2}}{v_I}; \quad \tau_{II} = \frac{\sqrt{l_{II}^2 + (x_A + x)^2}}{v_{II}} \quad \tau = \frac{\sqrt{l_I^2 + x^2}}{v_I} + \frac{\sqrt{l_{II}^2 + (x_A + x)^2}}{v_{II}} \quad (13)$$

Для розв'язання конкретної задачі оптимізації, побудованої із (11):

$$x \in \{0; x_A\}: f(x^*) = \min_{x \in \{0; x_A\}} \frac{\sqrt{l_I^2 + x^2}}{v_I} + \frac{\sqrt{l_{II}^2 + (x_A + x)^2}}{v_{II}}, \quad (14)$$

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 (14) перетворюється на:

$$x \in \{0; x_A\}: f(x^*) = \min_{x \in \{0; x_A\}} (\sqrt{1 + x^2} + \sqrt{64 + 16(10 - x)^2}). \quad (15)$$

Оптимізацію виразу, який в (15) стоїть під знаком  $\min$ , можна виконати двома способами.

Перший спосіб – аналітичний. Для цього прирівнюємо до 0 похідну:

$$\frac{x^*}{v_I \sqrt{l_I^2 + x^{*2}}} + \frac{x_A - x^*}{v_{II} \sqrt{l_{II}^2 + (x_A - x^*)^2}} = 0. \quad (16)$$

Розв'язуючи рівняння (16) 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.

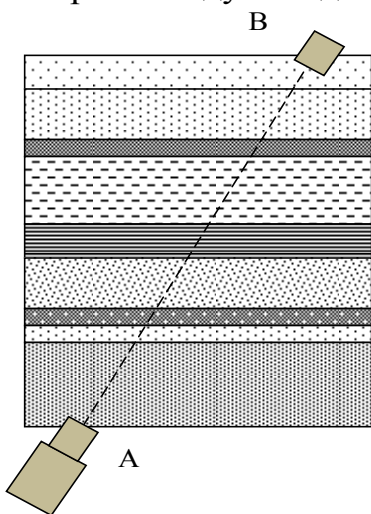


Рисунок 7 – Багатошарова пластина

Тому в роботі спочатку застосовували чисельний метод розв'язання задач оптимізації композиційних об'єктів. За його допомогою прийнятний результат було приблизно знайдено, але й цей, чисельний шлях виявляється досить складним навіть для найпростішого двохшарового варіанту. Більш точний результат розв'язання задачі (14) може бути знайдений, наприклад, методом підбору, але й він, навіть для зовсім простої двовимірної задачі, є математично складним випробуванням.

Тому для складних (багатошарових) випадків було застосовано метод віртуальної моделі. Розглянемо проєктування багатошарової пластини (рис. 7). Необхідно спроектувати товщину та матеріал окремих пластин так, щоб вони працювала в якості фільтра, який на шляху

від джерела широкого спектра коливань А до приймача Б подавляє деякий 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. Таким чином, при автоматизованому проектуванні багат шарових відновлюваних елементів був використаний метод який враховує особливості проникнення впливів крізь шари з різноманітних матеріалів.

**4. Автоматизоване проектування автономних відновлюваних елементів пошкоджуваних мережевих об'єктів.** 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 незв'язаних елементів, в процесі його відновлення після кризового пошкодження таких елементів з'являються деякі особливості. Це накладає додаткові обмеження як на ТЗ, так і на перебіг проектування відновлення в постпроектних САПР.

*У четвертому розділі* наведено структуру та результати практичних випробувань антикризової постпроектної САПР «CADAC».

**Структура антикризової постпроектної САПР «CADAC».** Проведені дослідження та практичний досвід дозволили створити загальну структуру антикризової постпроектної відновлюваної САПР «CADAC» (рис. 8).

**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, який має 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 нового елемента.

Розглянуті 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.

**Практичні випробування САПР «CADAC».** В ПАТ «Одеський завод гумових технічних виробів» були проведені стендові прискорені випробування системи «CADAC».



Рисунок 8 – Структура антикризової постпроектної САПР «CADAC»

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

За умовами роботи, при виході з ладу амортизатора 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 постпроектної САПР «CADAC» і виготовити нові амортизатори.

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

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 групи, 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 ТЗ 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 заміником 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. Визначені нові підходи до процесів створення кризового проекту об'єкта та способів його виготовлення.

7. При автоматизованому проектуванні багатошарових 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 комп'ютерні прискорені випробування САПР «CADAC». Легенда, закладена в прискорених комп'ютерних випробуваннях, виглядала наступним чином. Гумотехнічні амортизатори були 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 зношування 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, 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 «антикризових» САПР на етапах виготовлення та налагодження знизилася на 18 %; напруження 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.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

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 «ХП»: Механіко-технологічні системи та комплекси*, № 49 (1221), с. 56 – 62, 2016. Видання входить до міжнародних наукометричних баз *BASE*, *WorldCat*, *ResearchBib*, *Scientific Indexing Ser-*

vices, *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. О. Stanovskyi, P. Shvets, V. Bondarenko, , I. Naumenko, Walid 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. Лебедева, 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 «ХПІ»: 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*.

#### **Наукові публікації апробаційного характеру**

7. А. О. Становський, А. В. Торопенко, Г. В. Налєва, 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. Гаврилюк, Абу Шена Осам 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 Хуссаин Валид, «Віртуальні математичні моделі структури комп'ютерних мереж спеціального призначення», на *17-й международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии»*, Одесса, 2016, с. 26 – 27.

11. С. А. Нестеренко, Ан. О. Становський, І. О. Дадерко, О. О. Оборотова та Хуссаин Валид, «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. Валид Шер Хуссаин, «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. Хуссаин 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. Хуссаин та О. М. А. Абу Шена, «Автоматизоване проектування поліматеріальних систем», на *XXV семинаре «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*, Одесса, 2017, 22 – 28.

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

18. О. Л. Становський, І. М. Гур'єв та Хуссаин Валид 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. Хуссаин, «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.

## 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 багатошарових відновлюваних елементів.

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.

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

## АННОТАЦИЯ

Хуссаин Валид Шер. Анализ объектов с целью повышения эффективности автоматизированного проектирования в антикризисных постпроектных САПР. – квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (дочтора философии) по специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектных работ». – Одесский национальный политехнический университет Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2017.

Диссертация посвящена повышению эффективности эксплуатации повреждаемых ремонтпригодных сложных технических объектов, работающих в условиях отрыва от ресурсов их базового проектирования и производства, путем разработки и внедрения антикризисных постпроектных САПР восстановления поврежденных элементов этих объектов, которая отличается расширенными возможностями и высокой скоростью кризисного проектирования и повышенной наработкой на отказ восстановленных элементов. Проанализированы проблемы и методы повышения эффективности автоматизированного проектирования в антикризисных постпроектных САПР. Предложена структура проекта восстановления и главные особенности постпроектных САПР. Разработаны методы и модели для антикризисных постпроектных САПР, в том числе при автоматизированном проектировании корпусных, опорных, а также плоских и многослойных возобновляемых элементов.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатации повреждаемых ремонтпригодных сложных технических объектов, работающих в условиях отрыва от ресурсов их базового проектирования и производства, путем разработки и внедрения антикризисных постпроектных САПР восстановления поврежденных элементов этих объектов, отличающейся расширенными возможностями и высокой скоростью кризисного проектирования и повышенной наработкой на отказ вновь проектируемых и восстановленных элементов.

Для достижения этой цели в работе решены следующие задачи: проанализированы проблемы и методы повышения эффективности автоматизированного проектирования в антикризисных постпроектных САПР; предложена структура проекта восстановления и выделены главные особенности постпроектных САПР; разработаны методы и модели для антикризисных постпроектных САПР, в частности, при автоматизированного проектирования корпусных, опорных, а также плоских и многослойных возобновляемых элементов; разработана комплексная САПР «САДАС», базирующаяся на предложенных методах и моделях и обеспечивающая постановку технических заданий и повышение эффективности процессов проектирования для постпроектных САПР различного назначения; осуществлено производственное испытание комплексной САПР «САДАС» во время симуляции обновления продукции машиностроительного резинотехнического предприятия с положительным техническим эффектом.

Научная новизна полученных результатов заключается в создании новых и в усовершенствовании существующих методов и моделей для повышения эффек-

тивности постпроектных возобновляющих антикризисных САПР.

Впервые установлено, что автоматизированное проектирование возобновляемых элементов и технологий для поддержки работоспособности сложных объектов на постпроектных этапах жизненного цикла отличается нечеткой преемственностью параметров нового элемента, увеличением размерности нового технического задания на проект и более жесткими ограничениями на процесс проектирования, что позволило предложить новые модели и методы процессов восстановления поврежденных объектов, эксплуатируемых в условиях отрыва от ресурсов их базового проектирования и производства.

Впервые предложена модель процесса восстановления повреждаемых объектов, эксплуатируемых в условиях отрыва от ресурсов их базового проектирования и производства, которая учитывает иерархичность повреждений (кризисных ситуаций), что позволило построить соответствующую структуру процесса проектирования для восстановления (реинжиниринга) поврежденных объектов.

Получила дальнейшее развитие модель процесса проектирования реинжиниринга повреждаемых объектов, которое заключается в том, что новая модель, в отличие от существующих, включает в себя этап постановки технического задания на проектирование, что позволило ставить такие задачи в кризисных условиях и осуществлять восстановления повреждаемых объектов при их эксплуатации.

Впервые предложена модель для автоматизированного проектирования процесса восстановления элементов повреждаемых объектов с переменной областью проектирования: при несоизмеримых значениях параметров (масса, размер, мощность и т.д.) повреждаемого объекта и изменяемого элемента – это непосредственно элемент и часть объекта, которая отвечает за соединение с элементом; при сопоставимых значениях параметров поврежденного объекта, и изменяемого элемента – это весь повреждаемый объект и изменяемый элемент, что позволило повысить эффективность антикризисного проектирования.

Получил дальнейшее развитие метод виртуальной модели распространения внешнего воздействия (механической, тепловой и т.д.), через многослойные восстановленные элементы, заключающийся в том, что при расчетах все слои временно представляются выполненными из материалов с одинаковыми свойствами (или просто из одинаковых материалов) с определением толщины слоев и последующим пересчетом их к слоям из различных материалов, что позволило значительно повысить скорость автоматизированного проектирования реинжиниринга объектов с заменой многослойных элементов, например, резинометаллических амортизаторов.

Ключевые слова: поврежденные элементы, восстановление, отрыв от ресурсов, постпроектные САПР, резинотехнические элементы.