

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Голоскокова Анна Олександрівна**



УДК 004.4:519.816 (043.3)

**МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ  
ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Годлевський Михайло Дмитрович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
завідувач кафедри програмної інженерії  
та інформаційних технологій управління.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Федорович Олег Євгенович**,  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М. Є. Жуковського «Харківський  
авіаційний інститут»,  
завідувач кафедри інформаційних  
управляючих систем;

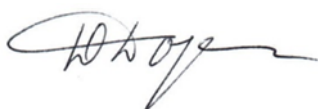
кандидат технічних наук, доцент  
**Шубін Ігор Юрійович**,  
Харківський Національний університет  
радіоелектроніки,  
професор кафедри програмної інженерії.

Захист відбудеться «27» грудня 2018 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «26» листопада 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Дорофеев Ю. И.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Проблемі якості продукції та послуг в усі часи приділялася велика увага. З часом це поняття змінювалося, починаючи з якості окремо взятого виробу (послуги), до тотального управління якістю – Total Quality Management (TQM). Згідно з ідеологією TQM відповідно до інженерії програмного забезпечення (ПЗ) виділяють чотири складові якості ПЗ.

1. Управління якістю «входу». На цьому етапі здійснюється збір та моделювання вимог замовника ПЗ.

2. Управління якістю «ресурсів», які використовуються для розробки ПЗ. У першу чергу необхідно виділити фінансові ресурси, на основі яких формуються технічне та організаційне забезпечення, а також кваліфіковані кадри.

3. Управління якістю процесу розробки (ПР) ПЗ. Першим етапом вирішення цієї задачі є оцінка вихідного стану ПР ПЗ. Його покращення – це виконання деякого набору заходів, які спрямовані на поліпшення характеристик ПР. Критеріями успіху цих заходів є характеристики ПР ПЗ, а не характеристики ПЗ, яке розробляється.

4. Управління якістю «виходу». Виходом ПР є закінчений програмний продукт, або його деяка функціональність.

В інженерії програмного забезпечення для виміру якості цих складових використовуються метрики якості. Метрика – це комбінація конкретного методу вимірювання атрибуту та шкали вимірювання. Стандарт ISO/IEC 9126–2 рекомендує використовувати п'ять видів шкал: номінальну, порядкову, інтервальну, відносну та абсолютну.

Важливою складовою у тотальному управлінні якістю розробки ПЗ є сам ПР ПЗ. Основні кроки вдосконалення процесів життєвого циклу (ЖЦ) програмних систем вказані у стандарті ДСТУ ISO/IEC TR 15504–7: ініціація вдосконалення процесу; оцінка потужності тих процесів, вдосконалення яких може дати вигоду; формування плану-програми вдосконалення в умовах обмежених ресурсів; виконання удосконалень згідно з планом; підтвердження удосконалень; підтримка нового рівня процесів ЖЦ; моніторинг виконання процесів.

Велика кількість наукових досліджень присвячена оцінюванню стану ПР ПЗ. Деякі з них проводять оцінку окремих процесів ЖЦ, інші оцінюють сукупність процесів, або виконують оцінку ПР ПЗ на рівні організації розробника ПЗ. Однак практично лічені наукові дослідження присвячені вирішенню задачі покращення якості ПР ПЗ шляхом розробки математичних моделей, які дозволяють в умовах обмежених ресурсів визначити оптимальний план-програму вдосконалення ПР згідно стандарту ДСТУ ISO/IEC TR 15504–7.

Тому розробка метода, моделей та інформаційної технології покращення ПР ПЗ є актуальною науково-прикладною задачею, яка визначила напрям дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі програмної інженерії і інформаційних технологій управління (ПІТУ) НТУ «ХПІ» у рамках держбюджетної НДР МОН України «Розробка інформаційно-аналітичних технологій стратегічного управ-

ління ієрархічними розподіленими системами» (ДР №0113U000452), а також ініціативної теми кафедри ПІТУ НТУ «ХПІ» «Розробка інформаційно-аналітичного забезпечення управління ефективністю та якістю в складних системах за умови євроінтеграції України» (ДР №0117U004806), в яких здобувач брала участь як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є покращення якості ПР ПЗ на основі розробки оптимальної програми просування організації-розробника ПЗ до більш високого рівня зрілості ПР ПЗ з використанням моделі зрілості Capability Maturity Model Integration (СММІ) і методу ковзного планування.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану проблем підвищення якості ПР ПЗ;
- розробити на вербальному рівні метод просування ПР ПЗ організації до більш високого рівня зрілості, який базується на технології ковзного планування;
- формалізувати задачу розробки методу планування покращення якості ПР ПЗ і розробити відповідні статичні моделі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ на основі теорії корисності;
- удосконалити динамічну модель і метод послідовного аналізу варіантів «Київський віник» стосовно до вирішення задачі покращення якості ПР ПЗ за рахунок вирішення множини оптимізаційних задач на кожному його етапі;
- перевірити працездатність розроблених моделей і методу ковзного планування в рамках інформаційної технології на повнорозмірній інформації і провести аналіз отриманих результатів.

*Об'єктом дослідження* є процес розробки програмного забезпечення.

*Предметом дослідження* є моделі поточного планування, динамічна модель та інформаційна технологія покращення якості ПР ПЗ, яка базується на методі ковзного планування.

**Методи досліджень.** Дослідження базується на комплексному використанні: теорії системного аналізу та інженерії якості програмних систем, які дозволяють вирішити поставлену задачу і з точки зору технології TQM виділити об'єкт дослідження – ПР ПЗ в якості однієї зі складових управління якістю ПЗ; теорії корисності, на базі якої побудовано цільові функції статичної та динамічної моделей покращення якості ПР ПЗ; математичного програмування (методи: послідовного аналізу варіантів, гілок і меж, багатокритеріальної оптимізації), яке використано при вирішенні задач булевого і дискретного програмування, задачі з адитивною цільовою функцією, багатокритеріальної задачі поточного планування покращення якості ПР ПЗ; теорії прийняття рішень і моделювання бізнес-процесів при розробці інформаційної технології підтримки прийняття рішень при формуванні плану-програми покращення якості ПР ПЗ.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна роботи полягає в постановці і вирішенні актуальної задачі покращення якості ПЗ шляхом розробки раціональної програми просування ПР ПЗ організації до більш високого рівня зрілості. В результаті її вирішення отримані нові наукові результати.

1. *Вперше розроблено* метод вирішення задачі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ організації на основі ковзного планування, що дозволяє покращити якість розробки ПЗ.

2. *Вперше формалізована* задача поточного планування і розроблені відповідні статистичні моделі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ організації на основі теорії корисності, що дозволяє в умовах обмежених ресурсів визначити оптимальну черговість підвищення рівнів можливості окремих практик і фокусних областей моделі зрілості СММІ.

3. *Отримали подальший розвиток* динамічна модель підвищення рівня зрілості ПР ПЗ організації і метод послідовного аналізу варіантів «Київський віник» за рахунок вирішення на кожному його кроці множини оптимізаційних задач замість повного перебору варіантів, що дозволило прискорити швидкість розв'язання задачі і дослідити відповідний алгоритм стосовно задач, які мають розмірність на порядок вище.

4. *Отримала подальший розвиток* інформаційна технологія системи підтримки прийняття рішень (СППР) при вирішенні задачі покращення якості ПР ПЗ за рахунок спільного використання статичних і динамічної моделей і побудови раціональної трирівневої архітектури ПЗ, що дозволило скоротити витрати часу на вирішення задачі розробки програми покращення якості ПР ПЗ з використанням моделей розмірності на порядок вище.

**Практичне значення одержаних результатів** Планування покращення якості ПР ПЗ полягає в розробці методу ковзного планування стосовно до задачі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ організації, а також моделей та інформаційної технології, які дозволяють:

- провести оцінку вихідного стану процесу розробки програмного забезпечення з точки зору рівня зрілості відповідно до моделі СММІ;
- на основі цільового профайлу у межах планового періоду побудувати оптимальну стратегію підвищення рівня зрілості процесу розробки програмного забезпечення в умовах обмежених ресурсів;
- протягом першого періоду планування згідно траєкторії підвищення рівня зрілості процесу розробки програмного забезпечення визначити оптимальну черговість підвищення рівня можливості окремих практик і фокусних областей для різних стратегій використання ресурсного забезпечення.

Результати дисертаційного дослідження використано у фірмах розробників програмного забезпечення ТОВ «Telesens» (м. Харків) та ТОВ «Nix Solutions» (м. Харків) для оцінки рівня зрілості поточного стану ПР ПЗ і розробки плану-програми його підвищення на основі ковзного планування, а також у навчальному процесі кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління НТУ «ХПІ» у дисциплінах «Якість програмного забезпечення та тестування», «Теорія прийняття рішень» та «Моделі та методи підтримки прийняття рішень».

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: метод ковзного планування стосовно задачі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ організації, статичні моделі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ, які побудовано на

основі теорії корисності, розвиток динамічної моделі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ організації і методу послідовного аналізу варіантів «Київський віник», подальший розвиток інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень при вирішенні задачі покращення якості ПР ПЗ за рахунок спільного використання статичних і динамічної моделей СММІ і побудови раціональної тривірневої архітектури ПЗ.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-практичних конференціях: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2014, 2018); «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, 2014, 2016); «Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика» (Миколаїв, 2014); «Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії» (Харків, 2016).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 11 наукових працях, у тому числі 5 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз (1 – у Scopus), 6 – у матеріалах міжнародних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 141 сторінку, з них 29 рисунків по тексту, 13 таблиць по тексту, список зі 134 найменувань використаних джерел на 14 сторінках, три додатки на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, зазначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано основну мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, показано особистий внесок здобувача, наведено інформацію про апробацію результатів дисертації, їх впровадження та висвітлення у публікаціях.

У **першому розділі** детально розглянуті мета і задачі ПР ПЗ, та наведено визначення різних авторів щодо програмної інженерії (ПІ), а також самого ПР ПЗ. Відзначено, що центральним об'єктом вивчення ПІ є ПР ПЗ, основним шляхом удосконалення якого є стандартизація. Розглянуто переваги та недоліки сучасних моделей життєвого циклу ПЗ.

Проведено аналіз існуючих моделей і технологій оцінювання та покращення якості ПР ПЗ. Відповідно до методології тотального управління якістю – TQM, якість програмних систем сумарно визначається якістю: збору та моделювання вимог замовника ПЗ; ресурсів, таких як кваліфіковані кадри, технічне, програмне забезпечення і т. п.; процесу розробки програмного забезпечення; кінцевого програмного продукту, або його деякою функціональністю.

Проведений аналіз показав, що сучасний стан проблеми підвищення якості програмних систем (ПС), і, зокрема, процесу розробки програмного забезпечення, знаходиться на початковому етапі, який відповідає вербальному опису

відомих моделей зрілості CMMI, SPICE та інших менш відомих моделей, які дозволяють проводити оцінку рівня зрілості ПР ПЗ, отже, і якості ПС. У якості прикладу структуру моделі CMMI наведено на рис. 1. На даний момент досить невелика кількість наукових досліджень присвячена вирішенню проблеми покращення якості ПР ПЗ на основі розробки його математичних моделей в умовах обмежених ресурсів.

Рівень зрілості ( $K$ )									
2		3				4		5	
Категорії ( $L$ )									
Управління проектами	Підтримки	Управління проектами	Підтримки	Управління процесами	Інженерія	Управління процесами	Управління проектами	Управління процесами	Підтримки
Фокусні області ( $I$ )									
Цілі та практики фокусних областей ( $S, J$ )									

Рисунок 1 – Структура загальних понять моделі CMMI

Проведено аналіз проблем, які існують в інженерії програмного забезпечення стосовно покращення якості процесу розробки програмного забезпечення. Зазначено, що основними моделями оцінки якості ПР ПЗ є CMMI та SPICE, які на вербальному рівні описують якість ПР ПЗ. Це не дозволяє розробити на їх основі математичні моделі підвищення рівня якості. Перші спроби у цьому напрямку показали, що розроблені моделі та алгоритми не дозволяли вирішити задачу за прийнятний час.

Тому у роботі поставлено задачу дослідження проблем, які виявлено при аналізі процесу розробки програмного забезпечення в якості об'єкта дослідження. Основними з цих проблем є підвищення адекватності розроблених моделей реальному ПР ПЗ на основі методу ковзного планування та підвищення швидкості роботи алгоритму послідовного аналізу варіантів.

**Другий розділ** присвячено розробці статичної моделі покращення якості ПР ПЗ при поточному плануванні.

Згідно постановці задачі дослідження запропоновано розглядати дві задачі в межах методу ковзного планування: статичну і динамічну. При статичній постановці на основі вихідного стану ПР ПЗ і цільового профайла з урахуванням обмеження на ресурси визначається оптимальний варіант просування організації до поставленої мети, або знаходиться компромісне рішення між ступенем досягнення цільового профайла і необхідними ресурсами. При динамічній постановці виникає задача визначення оптимального варіанту просування ПР ПЗ на деякому плановому періоді  $[0, T]$  до більш високого рівня якості, де  $T$  – тривалість розглянутого планового періоду. В роботі рівень якості характеризується альтернативними варіантами просування ПР ПЗ до більш високого рівня зрілості відповідно до моделі CMMI. З точки зору теорії прийняття рішень кожен альтернативний варіант поліпшення якості ПР ПЗ визначається трьома узагальненими критеріями:

1) ступенем досягнення поставленої мети, яка пов'язана з певним цільовим профайлом ПР ПЗ;

2) ресурсами, необхідними для досягнення поставленої мети, в якості яких в роботі розглядаються фінансові ресурси і часові витрати співробітників компанії, що необхідні для просування ПР ПЗ до більш високого рівня зрілості;

3) часом, необхідним для вирішення поставленого завдання.

Виходячи зі структури моделі СММІ (рис. 1), яка представлена у вигляді ієрархії понять, на самому нижньому рівні знаходяться практики, кожна з яких характеризується певним рівнем можливості. У роботі введено дискретні змінні  $x_{is}^j(t)$ , які набувають значення цілих чисел, кожне з яких відповідає рівню можливості  $j$ -ї практики в  $t$ -му підперіоді, яка бере участь в забезпеченні досягнення  $s$ -ї мети  $i$ -ї фокусної області. В свою чергу, змінна

$$Z_i\left(\left\{x_{is}^j(t)\right\}\right) = F_i\left(f_{is}\left(\left\{x_{is}^j(t)\right\}\right)\right) \quad (1)$$

визначає рівень можливості  $i$ -ї фокусної області в  $t$ -му підперіоді, де  $f_{is}$  – функція перетворення значень рівнів можливостей частинних практик, що забезпечує досягнення  $s$ -ї мети  $i$ -ї фокусної області, а  $F_i$  – безпосередньо  $i$ -ї фокусної області. В подальшому  $Z_i$  називатимемо критерієм.

Відповідно до ієрархії понять моделі СММІ введено наступні позначення:  $J_i^s$  – множина практик  $s$ -ї мети  $i$ -ї фокусної області;  $S_i$  – множина цілей  $i$ -ї фокусної області;  $I_k^l$  – множина фокусних областей, які належать до  $l$ -ї категорії  $k$ -го рівня зрілості;  $L_k$  – множина категорій  $k$ -го рівня зрілості;  $K$  – множина рівнів зрілості.

На основі (1) у роботі сформовано функції корисності  $P_{i1}$  частинних критеріїв на рівні фокусних областей, які роблять внесок в досягнення певного рівня зрілості ПР ПЗ організації

$$P_{i1}\left(Z_i\left(\left\{x_{is}^j(t)\right\}\right)\right) = \left(\frac{Z_i\left(\left\{x_{is}^j(t)\right\}\right) - Z_i^{HG}}{Z_i^{HK} - Z_i^{HG}}\right)^{\alpha_{i1}}, \quad (2)$$

де  $Z_i^{HK}$ ,  $Z_i^{HG}$  – найкраще і, відповідно, найгірше значення  $i$ -го критерію.  $Z_i^{HG}$  визначається вихідним станом ПР ПЗ, тобто  $Z_i^{HG} = F_i\left(\left\{x_{is}^j(0)\right\}\right)$ . Для статичної постановки задачі  $\left\{\bar{x}_{is}^j\right\} = \left\{x_{is}^j(0)\right\}$ . В свою чергу,  $Z_i^{HK}$  визначається на основі цільового профайла, тобто  $Z_i^{HK} = F_i\left(\left\{\bar{x}_{is}^j\right\}\right)$ . Параметр  $\alpha_{i1}$  визначає вигляд залежності функції корисності: залежність опукла вгору за умови  $0 < \alpha_{i1} < 1$ ; лінійна, якщо  $\alpha_{i1} = 1$ ; опукла донизу, якщо  $\alpha_{i1} > 1$ .

Критерії (2) пов'язані з рівнем зрілості ПР ПЗ і визначають ступень досягнення цільового профайлу окремими його складовими. Як було вказано вище,

для досягнення поставленої мети у роботі використовуються два види ресурсів: фінансові витрати для переходу  $j$ -ї практики  $i$ -ї фокусної області на більш високий рівень можливості і час, пов'язаний з оволодінням новими навичками, інструментами і технологіями, які використовуються при реалізації ПР ПЗ.

Таким чином, постає задача синтезу критеріїв та функцій корисності ресурсного забезпечення. Для їх формування необхідна інформація про стан ПР ПЗ на  $(t-1)$ -му  $\{x_{is}^j(t-1), j \in J_i^s, s \in S_i\}$  та  $t$ -му  $\{x_{is}^j(t), j \in J_i^s, s \in S_i\}$  підперіодах. При цьому для статичної постановки задачі  $x_{is}^j(t) = \bar{x}_{is}^j$ .

Для кожної  $j$ -ї практики  $i$ -ї фокусної області використано множину булевих змінних  $\{\lambda_{is}^j(\nu), \nu \in [x_{is}^j(t-1), \bar{x}_{is}^j]\}$  і відповідні до неї множини значень фінансових ресурсів  $(\tau = 2)$  і ресурсів часу  $(\tau = 3)$   $\{r_{is}^{j\tau}(\nu), \nu \in [x_{is}^j(t-1), \bar{x}_{is}^j]\}$ ,  $\tau = 2, 3$ , необхідних для переходу з деякого фіксованого стану  $x_{is}^j(t-1)$  в новий стан  $j$ -ї практики  $x_{is}^j(t)$  за умови  $x_{is}^j(t-1) \leq x_{is}^j(t) \leq \bar{x}_{is}^j$ . Змінні  $\lambda_{is}^j(\nu)$  не мають індексу часу, оскільки вони не використовуються в динамічній постановці задачі. При цьому  $\lambda_{is}^j(\nu)$  дорівнює одиниці в тому випадку, коли рівень можливості  $j$ -ї практики в  $t$ -й підперіод набуває значення, яке дорівнює  $\nu$ , і нулю – в іншому випадку. Якщо  $j$ -та практика в  $t$ -му підперіоді не переходить на новий рівень можливості, то це значить, що  $\nu = x_{is}^j(t-1)$  та  $r_{is}^{j\tau}(\nu) = 0$ ,  $\tau = 2, 3$ .

Необхідне ресурсне забезпечення для кожної практики при переході на новий рівень можливості в  $t$ -му підперіоді записується з використанням введених позначень

$$\bar{R}_{is}^{j\tau} \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \sum_{\nu=x_{is}^j(t-1)}^{\bar{x}_{is}^j} r_{is}^{j\tau}(\nu) \cdot \lambda_{is}^j(\nu), \quad \tau = 2, 3; \quad \sum_{\nu=x_{is}^j(t-1)}^{\bar{x}_{is}^j} \lambda_{is}^j(\nu) = 1.$$

В результаті при переході  $i$ -ї фокусної області на більш високий рівень можливості витрачаються ресурси в таких обсягах

$$R_{i\tau} \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \sum_{s \in S_i} \sum_{j \in J_i^s} \bar{R}_{is}^{j\tau} \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right), \quad \tau = 2, 3.$$

По аналогії з (2) введено

$$P_{i\tau} \left( R_i \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) \right) = \left( \frac{R_{i\tau}^{HG} - R_{i\tau} \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right)}{R_{i\tau}^{HG}} \right)^{\alpha_{i\tau}}, \quad \tau = 2, 3, \quad (3)$$

де  $P_{i2}$ ,  $P_{i3}$  – функції корисності, відповідно, для першого і другого видів ресурсів. Параметри  $\{\alpha_{i\tau}\}$  мають вид та призначення аналогічні  $\{\alpha_{i1}\}$ ,  $R_{i\tau}^{HF}$  при  $\tau = 2, 3$  – найгірші максимальні значення, відповідно, двох видів ресурсів, яким відповідають мінімальні значення  $P_{i\tau} = 0$ ,  $\tau = 2, 3$ .

На основі функцій корисності фокусних областей формалізовано статичну задачу планування покращення якості ПР ПЗ, яка має векторну цільову функцію

$$\Phi\left(\left\{x_{is}^j\right\}, \left\{\lambda_{is}^j(\nu)\right\}\right) = \left\{\hat{W}_1^l\left(\left\{x_{is}^j\right\}\right), W_2^l\left(\left\{\lambda_{is}^j(\nu)\right\}\right), W_3^l\left(\left\{\lambda_{is}^j(\nu)\right\}\right), l \in L\right\} \quad (4)$$

і три групи обмежень.

1. Обмеження, які безпосередньо накладаються на змінні цільової функції моделі:

$$\bar{x}_{is}^j \leq x_{is}^j \leq \bar{x}_{is}^j, \quad x_{is}^j \in \{0, 1, 2, 3\}; \quad (5)$$

$$\sum_{\nu=\bar{x}_{is}^j}^{\bar{x}_{is}^j} \lambda_{is}^j(\nu) = 1, \quad \lambda_{is}^j(\nu) \in \{0, 1\}. \quad (6)$$

2. Обмеження, які пов'язують дискретні цілочисельні змінні  $\left\{x_{is}^j\right\}$  і булеві змінні  $\left\{\lambda_{is}^j(\nu)\right\}$

$$x_{is}^j = \sum_{\nu=\bar{x}_{is}^j}^{\bar{x}_{is}^j} \left(\nu \cdot \lambda_{is}^j(\nu)\right), \quad (7)$$

де

$$j \in J_i^s, \quad s \in S_i, \quad i \in I_k^l, \quad l \in L_k, \quad k \in K. \quad (8)$$

3. Обмеження на фінансові ресурси

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L_k} \sum_{i \in I_k^l} R_{i2} \left(\left\{\lambda_{is}^j(\nu)\right\}\right) \leq R, \quad (9)$$

де  $R$  – фінансові ресурси, які виділено на розглянутому першому підперіоді планування.

Функція корисності ступеня досягнення поставленої мети на рівні окремої  $l$ -ї категорії моделі СММІ має вигляд

$$\hat{W}_1^l\left(\left\{x_{is}^j\right\}\right) = \sum_{k \in K} \delta_{k1}^l Q_{k1}^l\left(\left\{x_{is}^j\right\}\right), \quad \delta_{k1}^l \geq 0, \quad k \in K, \quad \sum_{k \in K} \delta_{k1}^l = 1, \quad l \in L, \quad L = \bigcap_{k \in K} L_k,$$

де

$$Q_{k1}^l \left( \left\{ x_{is}^j \right\} \right) = \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i1}^{lk} P_{i1} \left( \left\{ x_{is}^j \right\} \right), \quad \gamma_{i1}^{lk} \geq 0, \quad i \in I_k^l, \quad \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i1}^{lk} = 1, \quad l \in L_k, \quad k \in K,$$

$$Z_i \left( \left\{ x_{is}^j \right\} \right) = \sum_{s \in S_i} \bar{\beta}_{is} \left( \sum_{j \in J_i^s} \bar{\alpha}_{is}^j x_{is}^j \right), \quad i \in I_k^l, \quad l \in L_k, \quad k \in K.$$

Дві підгрупи другої групи функцій корисності, а саме фінансові витрати та ресурси часу на рівні окремої  $l$ -ї категорії моделі СММІ записуються в такий спосіб:

$$W_\tau^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \sum_{k \in K} \delta_{k\tau}^l Q_{k\tau}^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right), \quad \delta_{k1}^l \geq 0, \quad k \in K,$$

$$\sum_{k \in K} \delta_{k\tau}^l = 1, \quad l \in L, \quad L = \bigcup_{k \in K} L_k, \quad \tau = 2, 3.$$

$$Q_{k\tau}^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i\tau}^{lk} P_{i\tau} \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right),$$

$$\gamma_{i\tau}^{lk} \geq 0, \quad i \in I_k^l, \quad \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i\tau}^{lk} = 1, \quad l \in L_k, \quad k \in K, \quad \tau = 2, 3.$$

Множини вагових коефіцієнтів важливості  $\left\{ \bar{\alpha}_{is}^j \right\}$ ,  $\left\{ \bar{\beta}_{is} \right\}$ ,  $\left\{ \delta_{k\tau}^l \right\}$ ,  $\left\{ \gamma_{i\tau}^{lk} \right\}$  визначаються на основі методології колективного експертного оцінювання (МКЕО).

У роботі розглянуто три постановки задачі багатокритеріальної оптимізації, які є найбільш актуальними для практичного використання. Одна з них має наступний вигляд. Знайти оптимальне значення узагальненої цільової функції корисності, яка включає інтегральні цільові функції корисності двох груп критеріїв моделі СММІ з ваговими коефіцієнтами  $\bar{\rho}_1$  і  $\bar{\rho}_2$ , в результаті вирішення наступної задачі

$$V \left( \left\{ x_{is}^j \right\}, \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \left[ \bar{\rho}_1 \cdot \bar{V}_1 \left( \left\{ x_{is}^j \right\} \right) + \bar{\rho}_2 \cdot \bar{V}_2 \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) \right] \rightarrow \max_{\left\{ x_{is}^j \right\}, \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\}} \quad (10)$$

при обмеженнях (5)–(9) та  $\bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2 \geq 0$ ,  $\bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2 = 1$ .

Складові цільової функції (10) визначаються наступним чином:

$$\bar{V}_1 \left( \left\{ x_{is}^j \right\} \right) = \sum_{l \in L} \eta_1^l \cdot \hat{W}_1^l \left( \left\{ x_{is}^j \right\} \right), \quad \bar{V}_2 \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \sum_{l \in L} \eta_2^l \cdot \hat{W}_2^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right),$$

$$\eta_\tau^l \geq 0, \quad l \in L, \quad \sum_{l \in L} \eta_\tau^l = 1, \quad \tau = 1, 2,$$

$$\hat{W}_2^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) = \mu_2^l \cdot W_2^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right) + \mu_3^l \cdot W_3^l \left( \left\{ \lambda_{is}^j(\nu) \right\} \right),$$

$$\mu_2^l, \mu_3^l \geq 0, \quad \mu_2^l + \mu_3^l = 1, \quad l \in L.$$

Множини вагових коефіцієнтів важливості  $\{\bar{\rho}_i\}$ ,  $\{\eta_i^l\}$ ,  $\{\mu_i^l\}$ , як і у попередньому випадку, визначаються на основі МКЕО.

**Третій розділ** роботи присвячено вдосконаленню динамічної моделі та алгоритму послідовного аналізу варіантів покращення якості ПР ПЗ, а також побудові відповідної технології ковзного планування на основі використання стандарту IDEF0. Як і для статичної постановки задачі використовуються функції корисності двох груп критеріїв: ступінь досягнення цільового профайла та ресурсне забезпечення (фінанси і час співробітників компанії).

Функції корисності окремих критеріїв ступеня досягнення цільового профайла визначено на основі (2). Тоді величина приросту функції корисності на  $t$ -му підперіоді планування для кожної розглянутої фокусної області  $i$ , відповідно, окремої категорії в межах  $k$ -го рівня зрілості записується наступним чином:

$$\Delta P_{i1}^t \left( \left\{ x_{is}^j(t-1), x_{is}^j(t) \right\} \right) = P_{i1} \left( \left\{ x_{is}^j(t) \right\} \right) - P_{i1} \left( \left\{ x_{is}^j(t-1) \right\} \right), \quad t \in [1, T];$$

$$\Delta Q_{k1}^{lt} \left( \left\{ x_{is}^j(t-1) \right\}, \left\{ x_{is}^j(t) \right\} \right) = \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i1} \Delta P_{i1}^t \left( \left\{ x_{is}^j(t-1) \right\}, \left\{ x_{is}^j(t) \right\} \right),$$

$$l \in L_k, \quad k \in K, \quad t \in [1, T],$$

а величини приросту функцій корисності, відповідно, на рівні окремих категорій моделі СММІ і на рівні всього ПР ПЗ мають вигляд:

$$\Delta W_1^{lt} \left( \left\{ x_{is}^j(t-1) \right\}, \left\{ x_{is}^j(t) \right\} \right) = \sum_{k \in K} \delta_{k1}^l \Delta Q_{k1}^{lt} \left( \left\{ x_{is}^j(t-1) \right\}, \left\{ x_{is}^j(t) \right\} \right), \quad l \in L, \quad t \in [1, T];$$

$$\Delta V_1^t (\chi(t-1), \chi(t)) = \sum_{l \in L} \eta_1^l \Delta W_1^{lt} \left( \left\{ x_{is}^j(t-1) \right\}, \left\{ x_{is}^j(t) \right\} \right), \quad t \in [1, T],$$

де з метою спрощення подальших записів введено матриці  $\chi(t) = \left\{ x_{is}^j(t) \right\}$ ,  $t \in [0, T]$ .

Для формування функції корисності ресурсного забезпечення, а також величини її зміни при переході з  $(t-1)$ -го на  $t$ -й підперіод планування введено дві трикутні матриці ресурсів, елементи яких  $r_{is}^{j\tau}(i, j)$  визначають необхідні фінансові ресурси ( $\tau=2$ ) і ресурси часу ( $\tau=3$ ) при переході з рівня можливості  $x_{is}^j(t-1)$  на рівень можливості  $x_{is}^j(t)$  (табл. 1). Змінні  $\left\{ x_{is}^j(t) \right\}$  набувають значень цілих чисел та задовольняють умові

$$x_{is}^j(t) \in [0, 3], \quad j \in J_i^s, \quad s \in S, \quad i \in I_k^l, \quad l \in L_k, \quad k \in K, \quad t \in [0, T]. \quad (11)$$

Ресурси, які необхідні при переході з  $(t-1)$ -го на  $t$ -й підперіод планового періоду на рівні  $i$ -ї фокусної області, та величина зміни відповідної функції корисності визначаються на основі наступних виразів:

$$R_{i\tau} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) = \sum_{s \in S_i} \sum_{j \in J_i^s} r_{is}^{j\tau} \left( x_{is}^j(t-1), x_{is}^j(t) \right),$$

$$\Delta P_{i\tau}^t \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) = \frac{R_{i\tau} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right)}{\left( R_{i\tau}^{HL} - R_{i\tau}^{HX} \right)},$$

$$\tau = 2, 3, \quad i \in I_k^l, \quad l \in L_k, \quad k \in K, \quad t \in [1, T].$$

Таблиця 1 – Матриця ресурсів для  $j$ -ї практики

$x_{is}^j(t-1) \backslash x_{is}^j(t)$	0	1	2	3
0	$r_{is}^{j\tau}(0,0) = 0$	$r_{is}^{j\tau}(0,1)$	$r_{is}^{j\tau}(0,2)$	$r_{is}^{j\tau}(0,3)$
1	0	$r_{is}^{j\tau}(1,1) = 0$	$r_{is}^{j\tau}(1,2)$	$r_{is}^{j\tau}(1,3)$
2	0	0	$r_{is}^{j\tau}(2,2) = 0$	$r_{is}^{j\tau}(2,3)$
3	0	0	0	$r_{is}^{j\tau}(3,3) = 0$

Величина зміни функції корисності окремої категорії в межах  $k$ -го рівня зрілості має вигляд

$$\Delta Q_{k\tau}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) = \sum_{i \in I_k^l} \gamma_{i\tau} \Delta P_{i\tau}^t \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right),$$

$$\tau = 2, 3, \quad l \in L_k, \quad k \in K, \quad t \in [1, T],$$

на рівні окремої категорії всієї моделі СММІ вона набуває вид

$$\Delta \hat{W}_{\tau}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) = \sum_{k \in K} \delta_{k\tau}^l \Delta Q_{k\tau}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right),$$

$$\tau = 2, 3, \quad l \in L, \quad t \in [1, T],$$

а в межах  $l$ -ї категорії інтегрована ресурсна функція корисності на  $t$ -му підперіоді записується наступним чином

$$\Delta W_2^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right) = \sum_{\tau=2}^3 \mu_{\tau}^l \Delta \hat{W}_{\tau}^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad l \in L, \quad t \in [1, T].$$

В результаті формується величина зміни функції корисності ресурсного забезпечення на  $t$ -му підперіоді планування на рівні всього ПР ПЗ

$$\Delta V_2^t(\chi(t-1), \chi(t)) = \sum_{l \in L} \eta_2^l \Delta W_2^{lt} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T].$$

Таким чином, адитивна цільова функція моделі середньострокового планування покращення якості ПР ПЗ має наступний вигляд

$$F(\chi) = \sum_{t=1}^T \Phi_t(\chi(t-1), \chi(t)), \quad (12)$$

де

$$\Phi_t(\chi(t-1), \chi(t)) = \xi_t \sum_{\alpha=1}^2 \bar{\rho}_\alpha \Delta V_\alpha^t(\chi(t-1), \chi(t)), \quad \xi_t \geq 0, \quad t \in [1, T], \quad \sum_{t=1}^T \xi_t = 1,$$

а  $\{\xi_t\}$  – вектор вагових коефіцієнтів важливості приростів функції корисності на підперіодах планування.

Ресурсне обмеження має вигляд

$$\sum_{t=1}^{\tau} \tilde{R}_t(\chi(t-1), \chi(t)) \leq \sum_{t=0}^{\tau-1} \bar{R}_t = R_{\tau-1}, \quad \tau \in [1, T], \quad (13)$$

де

$$\tilde{R}_t(\chi(t-1), \chi(t)) = \sum_{k \in K} \sum_{l \in L_k} \sum_{i \in I_k^l} R_{i2} \left( \{x_{is}^j(t-1)\}, \{x_{is}^j(t)\} \right), \quad t \in [1, T].$$

При цьому накладаються умови

$$\chi(t-1) \leq \chi(t), \quad \chi(0) = \{\bar{x}_{is}^j\}, \quad \chi(T) = \{\bar{x}_{is}^j\}, \quad t \in [1, T]. \quad (14)$$

Таким чином, динамічна постановка задачі середньострокового планування покращення якості ПР ПЗ, яка базується на теорії корисності, записується наступним чином. Знайти оптимальне значення матриці  $\chi^*$ , яка забезпечує максимальне значення адитивної функції корисності (12) за умов (11), (13), (14).

Для вирішення поставленої задачі у роботі використано ідею методу послідовного аналізу варіантів (ПАВ) на базі алгоритму «Київський віник». Наочна інтерпретація алгоритму представлена на рис. 2, де  $\sum_t, t = \overline{0, T}$  – простори змінних  $\chi(t), t = \overline{0, T}$  моделі (11)–(14).

Розглянемо алгоритм на нульовому,  $t$ -му, де  $t \in [1, T-1]$  і  $T$ -му (заключному) кроках.

Нульовий крок. Формується множина

$$G_1 = \left\{ \chi(1) : \chi(0) \leq \chi(1) \leq \chi(T), \tilde{R}_1(\chi(0), \chi(1)) \leq \bar{R}_0 \right\},$$

яка є дискретною і складається з кінцевої кількості елементів  $\bar{\chi}_k(1)$ , значення яких набуває  $\bar{\chi}_k$ . Тому представимо її в наступному вигляді

$$G_1 = \left\{ \bar{\chi}_k(1), k \in \tilde{G}_1 \right\},$$

де  $\tilde{G}_1$  – множина значень індексу  $k$  елементів  $\bar{\chi}_k(1)$ . Кожному значенню  $\bar{\chi}_k(1)$  відповідає  $L_1(\bar{\chi}_k(1)) = \Phi_1(\chi(0), \bar{\chi}_k(1)), \quad k \in \tilde{G}_1$ .

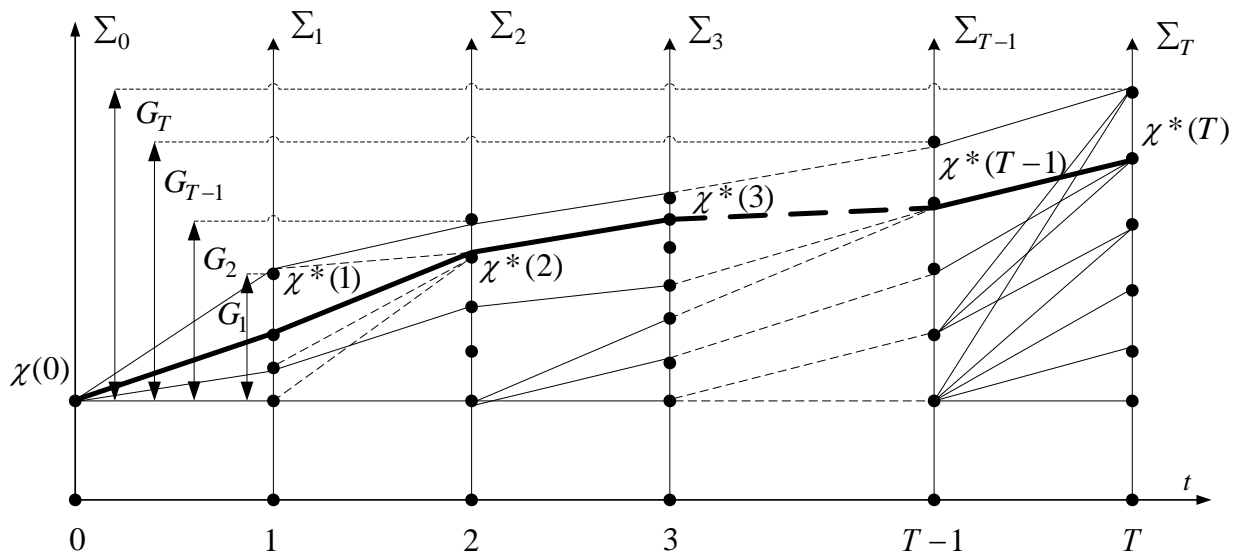


Рисунок 2 – Наочна інтерпретація алгоритму

Крок  $t \in [1, T-1]$ . Визначається множина

$$G_{t+1} = \left\{ \chi(t+1) : \chi(0) \leq \chi(t+1) \leq \chi(T), \sum_{\tau=1}^{t+1} \bar{R}_t(\chi(\tau-1), \chi(\tau)) \leq \sum_{\tau=0}^t \bar{R}_\tau \right\}.$$

Далі для кожного  $\chi(t+1) \in G_{t+1}$  формується підмножина  $\bar{G}_t(\chi(t+1)) \subseteq G_t$  наступним чином

$$\bar{G}_t(\chi(t+1)) = \{ \chi(t) : \chi(t) \in G_t, \chi(t) \leq \chi(t+1) \}.$$

Оскільки множина  $\bar{G}_t(\chi(t+1))$  є дискретною і складається з кінцевої кількості елементів, значення яких набуває  $\bar{\chi}_k(t)$ , представимо її в наступному вигляді

$$\bar{G}_t(\chi(t+1)) = \{ \bar{\chi}_k(t), k \in \hat{G}_t(\chi(t+1)) \},$$

де  $\hat{G}_t(\chi(t+1))$  – множина значень індексу  $k$  елементів  $\bar{\chi}_k(t)$ . Кожному значенню  $\bar{\chi}_k(t)$  відповідає

$$\bar{L}(\bar{\chi}_k(t), \chi_k(t+1)) = L_t(\bar{\chi}_k(t)) + \Phi_{t+1}(\bar{\chi}_k(t), \chi_k(t+1)) \quad (15)$$

і ламана «максимальної» довжини, що з'єднує  $\chi(t+1)$  з  $\chi(0)$ , визначається наступним чином

$$L_{t+1}(\chi(t+1)) = \max_{\{\lambda_k(t)\}} \sum_{k \in \hat{G}_t(\chi(t+1))} \{ \bar{L}(\bar{\chi}_k(t), \chi_k(t+1)) \cdot \lambda_k(t) \} \quad (16)$$

за умови

$$\lambda_k(t) \in \{0, 1\}, \quad k \in \hat{G}_t(\chi(t+1)), \quad \sum_{k \in \hat{G}_t(\chi(t+1))} \lambda_k(t) = 1, \quad (17)$$

де  $\{\lambda_k(t)\}$  – вектор булевих змінних для  $t$ -го кроку алгоритму.

На кожному  $t$ -му кроці в результаті вирішення оптимізаційних задач (15)–(17) відкидається множина неконкурентоспроможних варіантів, про які стає відомо, що вони не входять в оптимальне рішення.

$T$ -й крок. Множина  $G_T$  є дискретною і складається з кінцевої кількості елементів  $\bar{\chi}_k(T)$ , значення яких набуває  $\chi(T)$ . Представимо його в наступному вигляді

$$G_T = \{ \bar{\chi}_k(T), k \in \tilde{G}_T \},$$

де  $\tilde{G}_T$  – множина значень індексу  $k$  елементів  $\bar{\chi}_k(T)$ .

Кожному  $\bar{\chi}_k(T)$  відповідає ламана «довжини»  $L_T(\bar{\chi}_k(T))$ , що з'єднує  $\chi(0)$  і  $\bar{\chi}_k(T)$ . Серед усіх ламаних знаходиться ламана «максимальної» довжини в результаті вирішення оптимізаційної задачі булевого програмування

$$L_{\max} = \max_{\{\lambda_k(T)\}} \sum_{k \in \tilde{G}_T} \{ L_T(\bar{\chi}_k(T)) \cdot \lambda_k(T) \}$$

за умов  $\lambda_k(T) \in \{0,1\}$ ,  $k \in \tilde{G}_T$ ,  $\sum_{k \in \tilde{G}_T} \lambda_k(T) = 1$ .

Отримана ламана є рішенням динамічної задачі середньострокового планування покращення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделі СММІ.

В якості модифікації викладеного вище підходу до розвитку алгоритму «Київський віник» запропоновано обмеження  $\chi(t) \leq \chi(t+1)$  попередньо не враховувати при побудові кожної множини  $\bar{G}_t(\chi(t+1))$ , а ввести в оптимізаційну задачу. З одного боку, в цьому випадку збільшується число змінних  $\lambda_k(t)$  і вирішується оптимізаційна задача з додатковими обмеженнями, але немає необхідності витрачати час на формування для кожного  $\chi(t+1)$  множини  $\bar{G}_t(\chi(t+1))$ . Ця модифікація докладно представлена у дисертаційній роботі.

Метод ковзного планування стосовно до задачі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ ІТ-організації, який базується на статичній та динамічній математичних моделях, представлено у вигляді ретельно розробленої технології визначення послідовності виконання окремих бізнес-процесів з використанням стандарту IDEF0 (рис. 3). Його реалізацію здійснено на основі програмного продукту CA ERWin Process Modeler. Таким чином, запропонована технологія завжди передуює процесу розробки інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень незалежно від сфери діяльності. Бізнес-процеси А3 та А4 більш детально розглянуті у дисертаційній роботі на другому рівні деталізації.

**Четвертий розділ** присвячено розробці інформаційної технології СППР. Основними діючими особами СППР є: особа, що приймає рішення (ОПР); особи, що формують рішення (ОФР); експерти. У дисертаційній роботі функціональні вимоги представлено у вигляді діаграми використання, де визначено функції ОПР, ОФР та експертів.

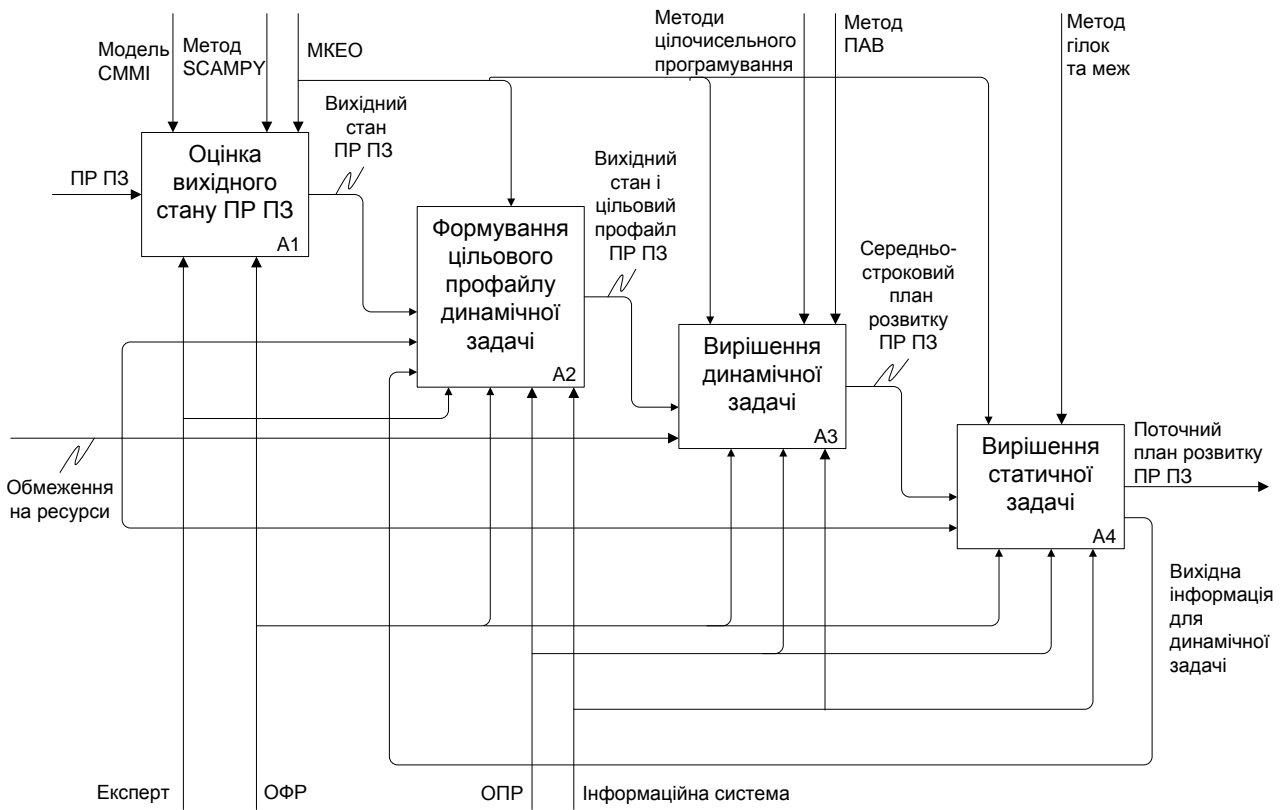


Рисунок 3 – Технологія покращення якості ПР ПЗ на основі ковзного планування

Проаналізував критерії якості ПЗ у роботі цільовою архітектурою ІС обрано 3-рівневий «клієнт-сервер» з виділеним сервером застосунків (рис. 4).

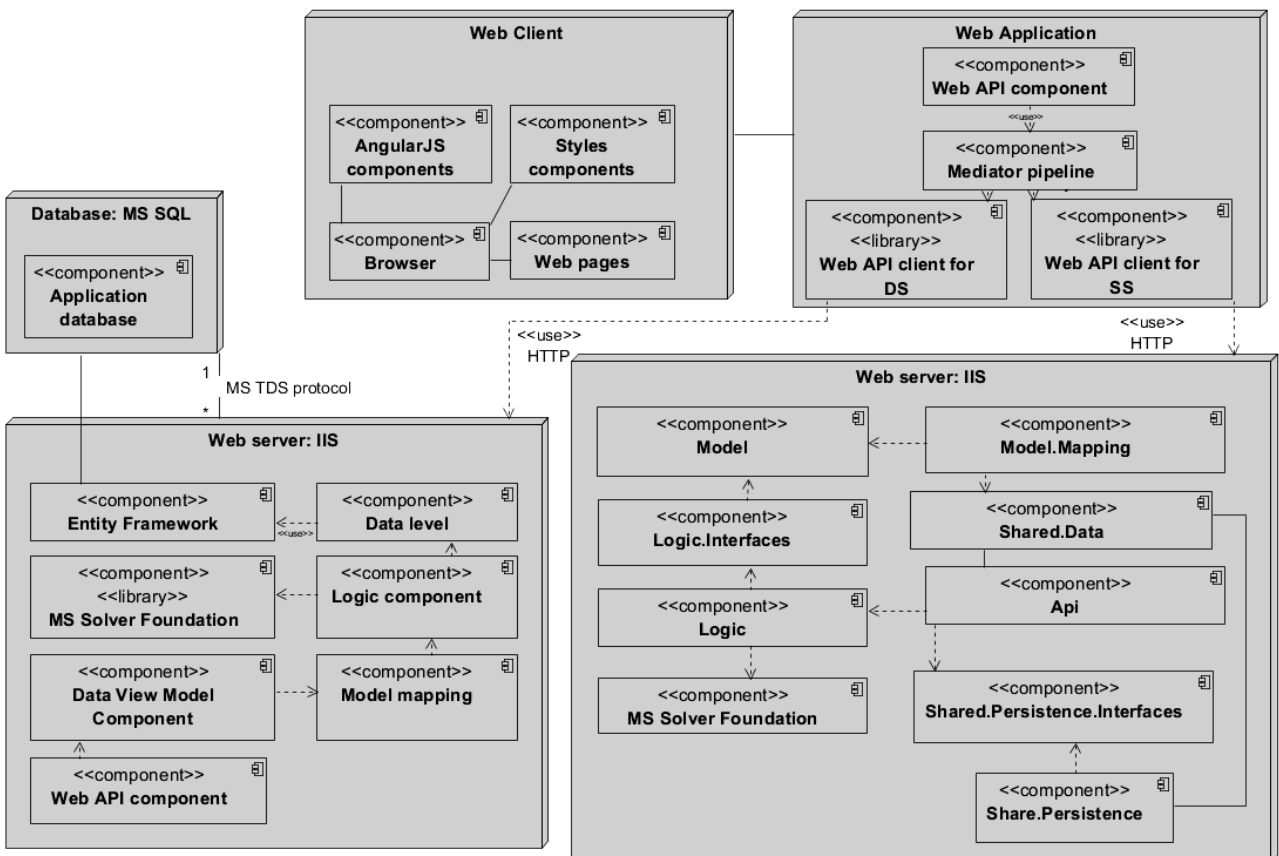


Рисунок 4 – Діаграма розміщення компонентів ПС

Діаграми розміщення (розгортання) компонентів програмної системи – це модель фізичної архітектури системи, яка відображає її апаратну конфігурацію. З діаграми розміщення видно, що система складається з наступних частин:

- клієнт представлений браузером кінцевого користувача, який містить у собі два компоненти: JS Frameworks – набір інструментів для реалізації частини бізнес-логіки на стороні клієнта і Browser – ПЗ на стороні клієнта, метою якого є надання користувачу можливості взаємодіяти з ресурсами, які знаходяться на веб-сервері за допомогою графічного інтерфейсу;

- веб-застосунок Web Application, який відповідає за комбінування вирішення статичної та динамічної постановок задач;

- веб-застосунки, які відповідають за вирішення статичної і динамічної задачі відповідно. Останній розглянемо більш детально. IIS Web Server містить у собі наступні компоненти, необхідні для роботи системи: Entity Framework – Object-Relational Mapping (ORM) бібліотека; Data Level – даний компонент є рівнем роботи з вхідними даними; Logic component – компонент, що містить в собі основне математичне і алгоритмічне забезпечення програмної системи; Data View Model та Model Mapping – компоненти інфраструктурного рівня які виконують роль посередника між бізнес логікою та презентаційним рівнем системи (Web API component);

- база даних застосунків (Database: MS SQL), в рамках якої виділено компонент Application Database, що інкапсулює у собі базу даних та всі необхідні конфігураційні компоненти.

Для реалізації програмних компонентів розробленої ПС вирішено використовувати наступні технології і фреймворки: ASP.NET 5 – фреймворк для каркаса веб-застосунка, MS SQL – сервер баз даних, Entity Framework – ORM бібліотека, Microsoft Solver Foundation – бібліотека математичних обчислень, AngularJS – основний JavaScript фреймворк для реалізації клієнтської логіки. В якості СУБД використовується MS SQL Server 2014. Програмне забезпечення розроблено в середовищі Microsoft Visual C#.

Для перевірки працездатності розробленого ПЗ використано реальну інформацію ІТ-компанії відносно ПР ПЗ з точки зору моделі СММІ. Інформацію підготовлено експертами компанії для другого і третього рівнів зрілості, для яких сформовано цільовий профайл. Другий рівень включав шість фокусних областей: РМС – виконання моніторингу і контролю проекту (2 практики); REQM – управління вимогами (2 практики); SAM – управління погодженнями з постачальниками (6 практик); CM – управління конфігурацією (5 практик); MA – вимірювання та аналіз (8 практик); PPQA – забезпечення якості (4 практики). Третій рівень включав чотири фокусні області: RD – розробка вимог (2 практики); TS – технічне рішення (8 практик); OPF – фокусування організаційного процесу (3 практики); DAR – аналіз та вибір рішень (6 практик).

Попередні дослідження на базі вихідної інформації для ПР ПЗ ІТ-компанії «N» показали, що завдяки розробленої автором модифікації алгоритму «Київський віник», який базується на методі послідовного аналізу варіантів, немає необхідності декомпонувати задачу на 5 окремих підзадач (як це було раніше), кожна з яких має по три підперіоди планування і не більше 10-15 прак-

тик. Якщо раніше для вирішення однієї підзадачі потрібно було декілька десятків хвилин, а спроба її вирішення без декомпозиції на окремі підзадачі не увінчувалася успіхом, то на теперішній час для вирішення задачі при повнорозмірній вихідній інформації без декомпозиції на окремі підзадачі потрібен час в межах однієї хвилини.

З метою аналізу результатів розрахунків для динамічної моделі задачі розглядалися різні обсяги фінансування і обмеження на ресурси по підперіодах планування. На рис. 5, 6 наведено результати вирішення задачі на трьох підперіодах планування при повному обсязі фінансування для досягнення цільового профайлу та обмежень на ресурси: 43400 у.о. – перший підперіод, 44600 у.о. – другий підперіод, 33000 у.о. – третій підперіод. Як видно на рис. 5, 6 на першому підперіоді 6 практик другого рівня зрілості підвищують свій рівень можливості на дві одиниці та 10 практик на одну одиницю і тільки 5 практик третього рівня зрілості підвищують свій рівень можливості на одиницю. Всі ці практики характеризуються низькою ціною та високим значенням вагових коефіцієнтів.

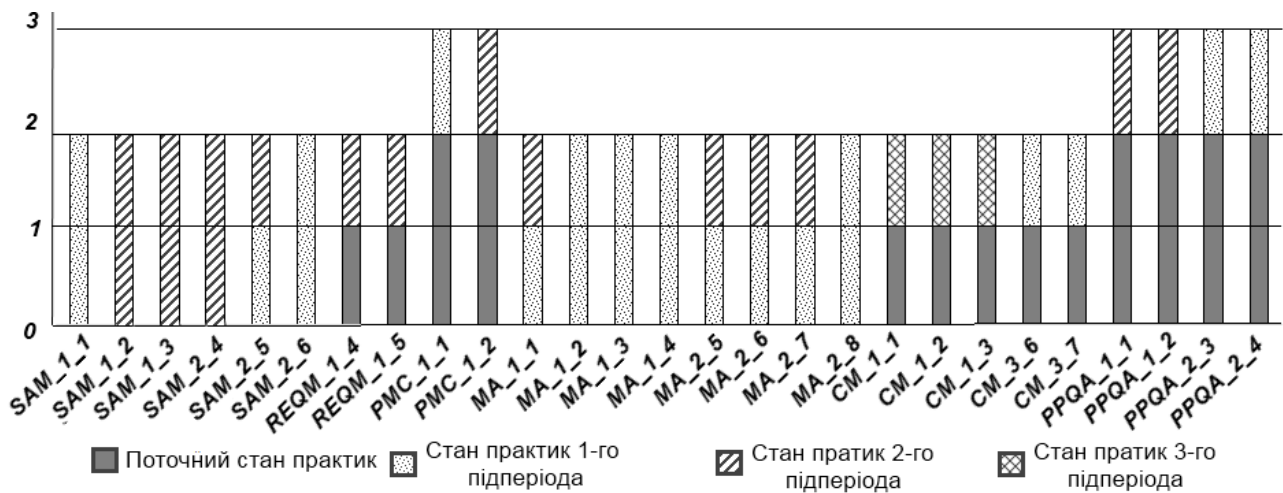


Рисунок 5 – Гістограма динаміки зміни рівнів можливостей практик 2-го рівня зрілості

Оскільки фінансові ресурси були виділені в повному обсязі, на рисунках видно, що в кінці третього підперіоду всі практики досягли цільового профайлу.

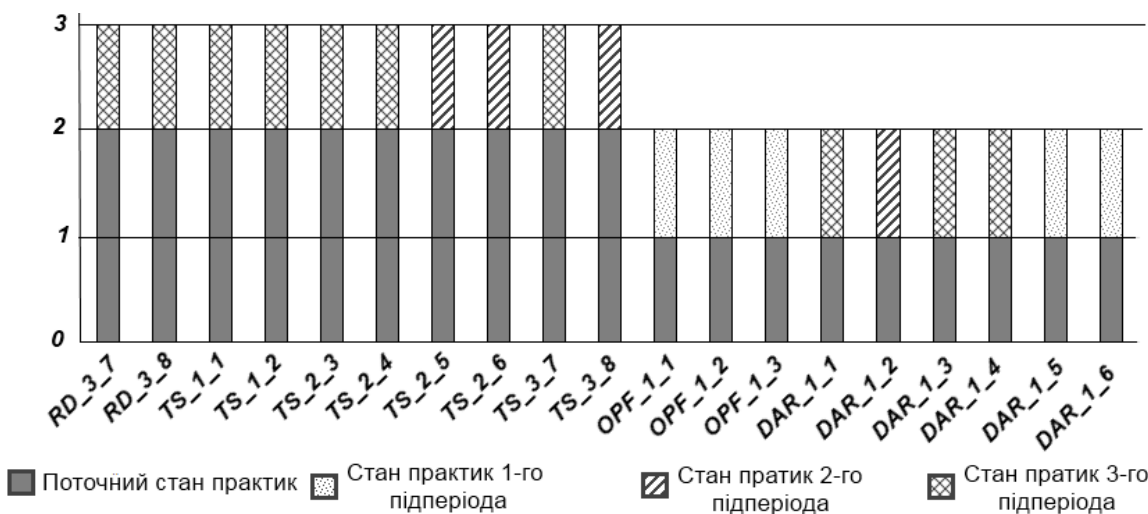


Рисунок 6 – Гістограма динаміки зміни рівнів можливостей практик 3-го рівня зрілості

На рис. 7, 8 представлено результати вирішення статичної постановки задачі.

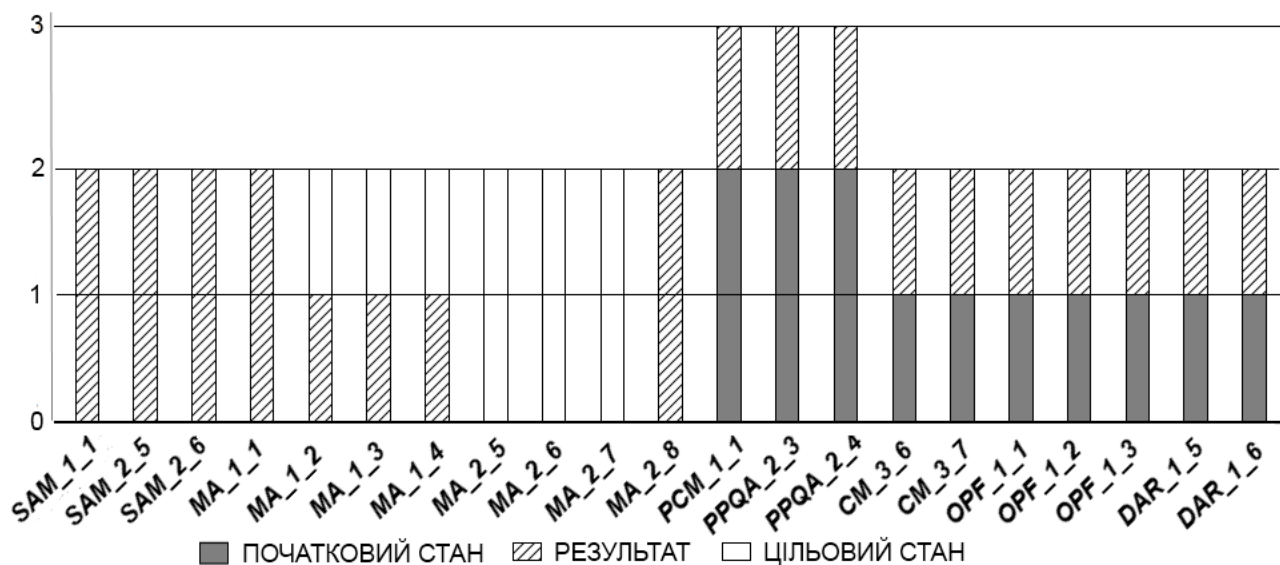


Рисунок 7 – Результати вирішення статичної задачі для обмеження 42600 у.о.

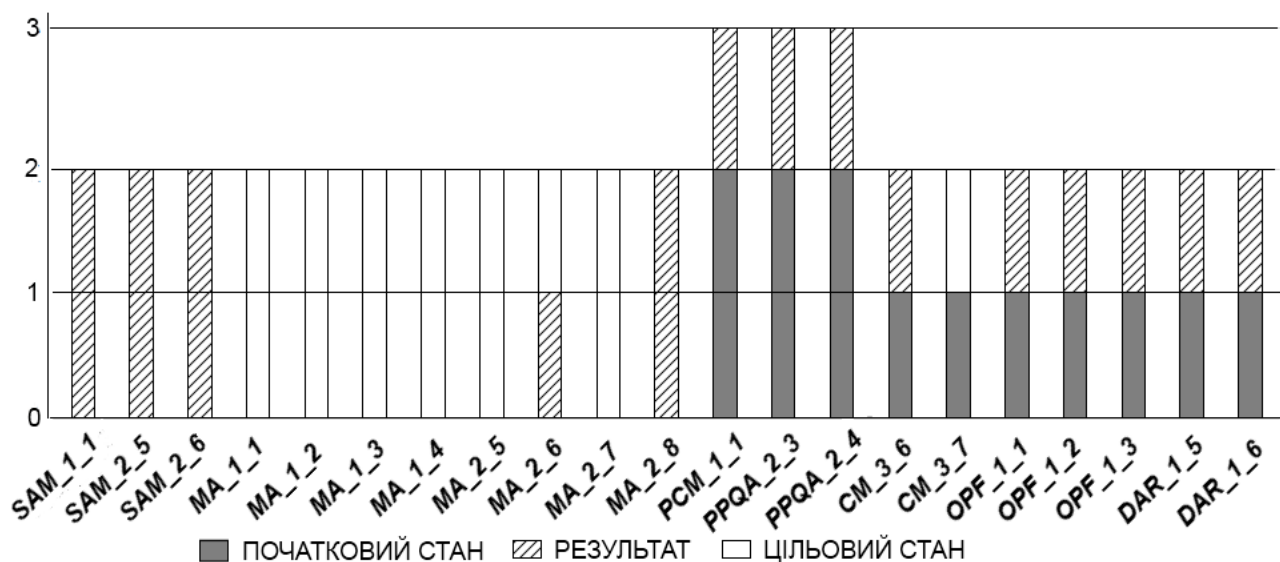


Рисунок 8 – Результати вирішення статичної задачі для обмеження 34400 у.о.

Таким чином, особа, що формує рішення, може скорегувати свої плани стосовно підвищення рівня зрілості ПР ПЗ в залежності від обсягу фінансування. На основі результатів статичної постановки задачі проводяться розрахунки для планового періоду  $[2, T + 1]$  і т.д.

У додатках наведено матеріали щодо впровадження результатів дисертаційної роботи, список публікацій здобувача та оцінка рівнів можливостей практик.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу підвищення якості ПР ПЗ на основі розробки оптимальної програми просування

організації-розробника ПЗ до більш високого рівня зрілості ПР ПЗ з використанням моделі зрілості СММІ і методу ковзного планування.

У ході виконання дисертаційної роботи отримані наступні результати.

1. Виконано аналіз сучасного стану проблем підвищення якості ПР ПЗ, у результаті якого встановлено: практично всі моделі оцінки і підвищення якості ПР ПЗ описані на вербальному рівні; при використанні стандартів підвищення якості ПР ПЗ однією з проблем є врахування людського фактору, який пов'язаний як з керівництвом компанії, так і з фахівцями середньої і нижньої ланок; необхідним є глибоке розуміння моделі СММІ з точки зору умов її використання, а також ризиків при її впровадженні; реалізація перших математичних моделей підвищення рівня зрілості ПР ПЗ показала велику трудомісткість вирішення задачі, яка є NP-складною.

2. З урахуванням наведених проблем вербально розроблено метод просування ПР ПЗ організації до більш високого рівня зрілості, який базується на ковзному плануванні та дозволяє за рахунок спрощеної динамічної моделі зменшити розмірність задачі, а за рахунок статичної моделі підвищити точність результату.

3. З метою побудови моделі покращення якості ПР ПЗ запропоновано використати теорію корисності, на основі якої побудовано функції, які є частинними критеріями, що визначають ступень досягнення цільового профайлу, а також пов'язані з ресурсним забезпеченням (фінанси та час співробітників ІТ-компанії). На основі згортки частинних критеріїв побудовано три групи комплексних критеріїв: перша визначає корисність досягнення цільового профайлу, друга – функція корисності фінансових ресурсів, третя – функція корисності такого ресурсу як час співробітників ІТ-компаній. Формалізовано задачу розробки методу планування покращення якості ПР ПЗ і розглянуто три постановки задачі багатокритеріальної оптимізації, які є найбільш актуальними на практиці. При побудові статичної і динамічної моделей використано методологію колективного експертного оцінювання.

4. Функції корисності, які розроблені для статичної моделі покращення якості ПР ПЗ, використано при побудові математичної моделі середньострокового планування (динамічна постановка задачі). З метою підвищення швидкості роботи алгоритму «Київський віник», який відноситься до методу послідовного аналізу варіантів, удосконалено технологію спрямованого перебору варіантів на кожному його етапі за рахунок вирішення множини оптимізаційних задач булевого програмування, які розроблено у дисертаційному дослідженні, внаслідок чого удосконалено динамічну модель задачі.

5. Метод ковзного планування стосовно до задачі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ ІТ-організації, який базується на статичній та динамічній математичних моделях, представлено у вигляді ретельно розробленої технології визначення послідовності виконання окремих бізнес-процесів з використанням стандарту IDEF0. Його реалізацію здійснено на основі програмного продукту CA ERWin Process Modeler. На основі послідовності бізнес-процесів розроблено інформаційну технологію СППР для вирішення задачі підвищення якості ПР ПЗ, яку реалізовано на основі методу ковзного планування, у вигляді ПС з архі-

тектурою типу трирівневий «клієнт-сервер» з виділеним сервером застосунків. Перевірено працездатність розроблених моделей і методу ковзного планування в рамках інформаційної технології на повнорозмірній інформації.

6. Результати дисертаційного дослідження впроваджено у ІТ-компаніях ТОВ «Nix Solutions» (м. Харків) та ТОВ «Telesens-IT» (м. Харків), у держбюджетних науково-дослідних роботах та навчальному процесі кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління НТУ «ХПІ».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Голоскокова А. А. Улучшение качества процесса разработки программного обеспечения на основе методов последовательного анализа вариантов и локальной оптимизации / М. Д. Годлевский, Э. Е. Рубин, А. А. Голоскокова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 55 (1097). – С. 5-10.

*Здобувачем реалізовано ідею спільного використання методу локальної оптимізації та алгоритму послідовного аналізу варіантів.*

2. Голоскокова А. А. Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – 2015. – № 3/2 (75). – С. 23-29.

*Здобувачем розроблено статичні моделі підвищення рівня зрілості ПР ПЗ, які побудовано на основі теорії корисності.*

3. Голоскокова А. А. Динамическая модель планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, Э. Е. Рубин, А. А. Голоскокова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 58 (1167). – С. 3-6.

*Здобувачеві належить реалізація розвитку динамічної моделі та алгоритму підвищення рівня зрілості ПР ПЗ.*

4. Goloskokova A. A. Medium-term planning information technology for quality improvement of the software development process based on the CMMI model / M. D. Godlevskiy, A. A. Goloskokova, A. A. Chipizhenko // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 51 (1272). – С. 32-37.

*Здобувач реалізувала подальший розвиток запропонованої інформаційної технології на основі динамічної постановки задачі.*

5. Goloskokova A. A. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model / M. D. Godlevskiy, A. A. Goloskokova, O. S. Bielous // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 26-30.

*Здобувачеві належить реалізація подальшого розвитку запропонованої інформаційної технології на основі статичних моделей СММІ.*

6. Голоскокова А. А. Пути повышения скорости работы алгоритма последовательного анализа вариантов применительно к математической модели зрелости СММІ / А. А. Голоскокова, М. Д. Годлевский // Тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – Ч. 1. – С. 7.

*Здобувачем вдосконалено метод послідовного аналізу варіантів «Київський віник» стосовно розробки математичної моделі зрілості СММІ.*

7. Голоскокова А. А. Подходы к усовершенствованию математической модели планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Матеріали 16-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології SAIT 2014». – Київ : УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2014. – С. 361.

*Здобувачем запропоновано підходи до покращення математичної моделі поліпшення якості ПР ПЗ.*

8. Голоскокова А. А. Планирование улучшения качества процесса разработки программного обеспечения на основе модели зрелости СММІ / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика». – Миколаїв : НУК, 2014. – С. 48-49.

*Здобувач запропонувала використання моделей ковзного планування при плануванні покращення ПР ПЗ.*

9. Голоскокова А. А. Модели скользящего планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / Э. Е. Рубин, М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії». – Харків : ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2016. – С. 21.

*Здобувач розробила моделі ковзного планування покращення якості ПР ПЗ.*

10. Голоскокова А. А. Технология планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / Э. Е. Рубин, М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Матеріали 18-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології SAIT 2016». – Київ : УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2016. – С. 149-150.

*Здобувачем запропоновано технологію планування покращення ПР ПЗ на основі спільного використання динамічної і статичних моделей СММІ.*

11. Голоскокова А. А. Информационная технология скользящего планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / А. А. Голоскокова, А. С. Белоус, А. А. Чипиженко // Тези доповідей XXVI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – Ч. 1. – С. 16.

*Здобувачем реалізовано подальший розвиток інформаційної технології СППР при вирішенні задачі покращення якості ПР ПЗ.*

## АНОТАЦІЇ

**Голоскокова А. О. Моделі та інформаційна технологія планування покращення якості процесу розробки програмного забезпечення.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделі зрілості СММІ з використанням ковзного планування. Виконано аналіз сучасного стану проблем підвищення якості ПР ПЗ. З урахуванням наведених проблем поставлено задачу розробки методу планування покращення якості ПР ПЗ, який базується на ковзному плануванні і дозволяє за рахунок спрощеної динамічної моделі зменшити розмірність задачі, а за рахунок статичної моделі підвищити точність результату. Для підвищення швидкості роботи алгоритму «Київський віник», який відноситься до методу послідовного аналізу варіантів, удосконалено технологію спрямованого перебору варіантів на кожному його етапі за рахунок вирішення множини оптимізаційних задач булевого програмування. На основі розробленого методу, моделей та алгоритмів реалізовано інформаційну технологію СППР, для якої було обрано архітектуру програмої системи типу трирівневий «клієнт-сервер» з виділеним сервером застосунків. Результати досліджень впроваджено в практику функціонування ІТ-компаній м. Харкова, а також у навчальний процес кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління НТУ «ХПІ».

*Ключові слова:* інформаційна технологія, процес розробки програмного забезпечення, модель зрілості, ковзне планування, динамічна модель, статична модель, теорія корисності.

**Голоскокова А. А. Модели и информационная технология планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2018.

Целью работы является улучшение качества процесса разработки программного обеспечения (ПР ПО) на основе построения оптимальной программы продвижения организации-разработчика ПО к более высокому уровню зрелости ПР ПО. Объектом исследования является ПР ПО, а предметом исследования – модели текущего планирования, динамическая модель и информационная технология улучшения качества ПР ПО, которая базируется на методе скользящего планирования.

В диссертационной работе решена важная научно-практическая задача повышения качества ПР ПО на основе модели Capability Maturity Model Integra-

tion (СММІ) с использованием скользящего планирования. Проведен анализ современного состояния проблем повышения качества ПР ПО. С учетом приведенных проблем поставлена задача разработки метода планирования улучшения качества ПР ПО, который базируется на скользящем планировании и позволяет за счёт упрощенной динамической модели уменьшить размерность задачи, а за счёт статической модели повысить точность результата. Модели синтезированы на основе теории полезности. На базе свертки частных критериев сформированы три группы критериев: первая определяет полезность достижения целевого профайла, вторая – функция полезности финансовых ресурсов, третья – функция полезности такого ресурса как время сотрудников ИТ-компании. Метод скользящего планирования применительно к задаче повышения уровня зрелости ПР ПО ИТ-организации, основанный на статической и динамической математических моделях, представлен в виде тщательно разработанной технологии определения последовательности выполнения отдельных бизнес-процессов с использованием стандарта IDEF0. Его реализация осуществлена на основе программного продукта CA ERWin Process Modeler. На основе последовательности бизнес-процессов разработана информационная технология СППР для решения задачи повышения качества ПР ПО, которое реализовано на основе метода скользящего планирования. Результаты исследований внедрены в практику функционирования ряда ИТ-компаний г. Харькова, а также в учебный процесс кафедры программной инженерии и информационных технологий управления НТУ «ХПИ».

В диссертационной работе получены следующие научные результаты: впервые разработан метод решения задачи повышения уровня зрелости ПР ПО на основе скользящего планирования, который позволяет улучшить качество разработки ПО; впервые формализована задача текущего планирования и разработаны соответствующие статические модели повышения уровня зрелости ПР ПО организации на основе теории полезности, что позволяет в условиях ограниченных ресурсов определить оптимальную последовательность повышения уровня возможности отдельных практик и фокусных областей модели зрелости СММІ. Получила дальнейшее развитие динамическая модель повышения уровня зрелости ПР ПО организации и метод последовательного анализа вариантов «Киевский веник» за счёт решения на каждом его этапе множества оптимизационных задач вместо полного перебора вариантов, что позволило увеличить скорость алгоритма и исследовать его для задач, которые имеют на порядок выше размерность. Получила дальнейшее развитие информационная технология системы поддержки принятия решений при решении задачи улучшения качества ПР ПО за счёт совместного использования статических и динамической моделей и построения рациональной трехуровневой архитектуры ПО, что позволило решить задачу разработки программы улучшения качества ПР ПО за более короткий промежуток времени и для моделей на порядок выше размерностей.

Проведенные исследования базируются на комплексном использовании: теории системного анализа и инженерии качества программных систем, которые позволяют найти решение поставленной задачи и с точки зрения техноло-

гии TQM выделить объект исследования – ПР ПО в качестве одной из составляющих управления качеством ПО; теории полезности, на основании которой построены целевые функции статической и динамической моделей улучшения качества ПР ПО; математического программирования (методы: последовательного анализа вариантов, ветвей и границ, многокритериальной оптимизации), которое использовано при решении задач булевого и дискретного программирования, задачи с аддитивной целевой функцией, многокритериальной задачи текущего планирования улучшения качества ПР ПО; теории принятия решений и моделирования бизнес-процессов при разработке информационной технологии поддержки принятия решений формирования плана-программы улучшения качества ПР ПО.

*Ключевые слова:* информационная технология, процесс разработки программного обеспечения, модель зрелости, скользящее планирование, динамическая модель, статическая модель, теория полезности.

**Goloskokova Anna O. Models and information technology for planning the quality improvement of the software development process.** – Manuscript.

The dissertation for a candidate degree in technical sciences, specialty 05.13.06 – Information Technologies. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2018.

In the dissertation the important scientific and practical task for the quality improvement of the software development process is solved based on the maturity model Capability Maturity Model Integration (CMMI) using the rolling planning. The analysis of the current problems in the quality improvement of the software development process has been done. Taking into account analyzed issues, the problem of the method development for the quality improvement of the software development process has been set. The method is based on the rolling planning and allows reducing the dimensionality of the task by the dynamic model simplification, and increasing the accuracy of the result due to the static model. In order to increase the speed of "Kiev broom" algorithm, which is related to the method of the sequential analysis of the alternatives, the technology of oriented search of the alternatives at each algorithm's stage has been improved by solving the set of optimization problems of Boolean programming. Based on the developed method, models and algorithms, the information technology for the decision support system (DSS) has been implemented. DSS has the architecture of the software system of three-level "client-server" type with a dedicated application server. Research results were introduced into the practical activities of IT companies in Kharkiv, as well as in the educational process at the Software engineering and management information technology department of NTU "KhPI".

*Keywords:* information technology, software development process, maturity model, rolling planning, dynamic model, static model, utility theory.



---

Підп. до друку 26.11.2018 р. Формат 60x90/16.  
Гарнітура TimesNewRoman. Папір офсетний.  
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 0,9.  
Наклад 100 прим. Замовлення № \_\_\_\_\_

---

Надруковано у СПДФО Ковальчук Н. П.  
Свідоцтво № 2480000000150925 від 01.08.2013 р.  
61003, м. Харків, пр. Московський, 10/12