

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Пухалевич Андрій Володимирович



УДК 004.942:519.25

**МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ  
ПЕРЕРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ  
ПРОЕКТІВ З РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

05.13.06 – Інформаційні технології

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Приходько Сергій Борисович**,  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Голуб Сергій Васильович**,  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, професор кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень;

доктор технічних наук, професор  
**Малахов Євгеній Валерійович**,  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, завідувач кафедри математичного забезпечення комп'ютерних систем.

Захист відбудеться «28» квітня 2017 р. о 13.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

Автореферат розісланий «28» березня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05



М. П. Мусієнко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Процес оцінювання тривалості робіт є одним з основним факторів, які впливають на успішність виконання проектів з розробки програмного забезпечення. Достовірне оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення дозволяє успішно їх завершувати, тоді як порушення запланованого розкладу проекту приведе до фінансових втрат з боку замовника та з боку розробника цих проектів.

Для проектів з розробки програмного забезпечення оцінювання тривалості завжди було одним із найризикованіших аспектів планування. Така ситуація склалася через постійно зростаючу кількість елементів і залежностей, які повинні бути враховані при оцінюванні тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Сучасні програми є надзвичайно складними, вони характеризуються наявністю великої множини компонентів, паралельного виконання, розподілених ресурсів та інших не менш важливих аспектів складності, що значно ускладнює оцінювання тривалості проектів розробки програмного забезпечення.

Дані багатьох вчених та розробників показують, що більшість (71% в 2015 році) проектів з розробки програмного забезпечення не виконуються в заданий термін. Тобто, існує проблема низької достовірності оцінювання тривалості таких проектів, що призводить до фінансових втрат. Тому не припиняються дослідження з побудови та вдосконалення моделей тривалості проектів з розробки програмного забезпечення (в тому числі математичних моделей за рахунок використання методів математичної статистики), та зі створення інформаційних технологій переробки інформації для оцінювання тривалості цих проектів.

Теоретичну та практичну базу в галузі інформаційних технологій складають труди таких вчених як В. М. Глушкова, С. А. Лебедева, Е. Л. Ющенко, З. Л. Рабіновича, Ю. В. Капітонова, А. А. Летичевского, В. Є. Ходакова, О. А. Павлова, Б. Боема, Т. Бернерс-Лі, Г. Мура та інших.

Значний внесок у розвиток теорії ймовірностей, математичної статистики та статистичної обробки даних внесли такі вчені як А. М. Колмогоров, Л. М. Большев, С. В. Фомін, Ю. М. Тюрін, М. В. Смирнов, О. І. Орлов, Ю. М. Кофанов, С. А. Айвазян, І. М. Коваленко, В. А. Бостанджиян, А. Стьюарт, М. Дж. Кендалл, Г. Хан, Р. Фішер, В. С. Госсет, С. Шапіро, А. Вальд, Дж. Нейман, Н. Дрейпер, К. Пірсон, Х. Крамер та інші.

Оцінюванню тривалості проектів з розробки програмного забезпечення присвячено багато наукових праць та досліджень. Діапазон методів оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення весь час розширюється, були побудовані моделі багатьох видів. Існують різні методи та експертні системи для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Основними інструментами і методами оцінювання тривалості робіт є експертне оцінювання, оцінювання за аналогами, параметричне оцінювання (нелінійні регресійні моделі COCOMO, ISBSG), оцінювання за трьома точками (метод PERT, що базується на такій ймовірнісній моделі як

бета розподіл).

Вказані моделі, які використовуються при створенні сучасних інформаційних технологій переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, не завжди добре враховують реальний розподіл емпіричних даних, що знижує достовірність оцінювання тривалості цих проектів. Закон розподілу емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки програмного забезпечення відрізняється від нормального закону розподілу. Тому, як правило, вказані моделі не дозволяють виконувати оцінювання довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування тривалості без застосування припущення про нормальність закону розподілу.

Для підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення необхідно побудувати: по перше, ймовірнісну модель, яка буде більш адекватно апроксимувати розподіл емпіричних даних тривалості робіт в цих проектах; по друге, нелінійну регресійну модель тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів із використанням іншого нормалізуючого перетворення, яке дозволить звужити довірчий інтервал та інтервал прогнозування нелінійної регресії в порівнянні з перетворенням у вигляді десяткового логарифму, яке використовується при побудові моделей СОСОМО та ISBSG.

Таким чином, побудова відповідних негаусівських ймовірнісних моделей та нелінійних регресійних моделей із використанням нормалізуючих перетворень для підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, і створення на їх основі інформаційної технології переробки інформації є актуальною та має практичну цінність.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Зміст роботи, мета, основні задачі відповідають державним науково-технічним програмам, сформульованим у Законах України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про національну програму інформатизації». Дисертаційну роботу виконано на кафедрі програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова відповідно до планів НДР з ініціативних тем «Оцінювання тривалості програмних проектів на основі негаусовських стохастичних моделей» (номер державної реєстрації 0111U005719), «Побудова нелінійної регресійної моделі тривалості робіт на основі нормалізуючих перетворень для управління часом в програмних проектах» (номер державної реєстрації 0113U0000199).

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у вирішенні науково-практичного завдання підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети вирішено наступні задачі:

1. Провести аналіз сучасного стану інформаційних технологій переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Дослідити існуючі моделі та методи оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, визначити переваги та недоліки

цих моделей та методів.

2. Побудувати ймовірнісні моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe.

3. Вибрати нормалізуючі перетворення для нормалізації емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe та побудувати нелінійні регресійні моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів на основі вибраних нормалізуючих перетворень для вказаних платформ.

4. Побудувати рівняння нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів на основі вибраних нормалізуючих перетворень для платформ PC, mid-range, mainframe.

5. Побудувати рівняння нижньої та верхньої границь інтервалів прогнозування нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів на основі вибраних нормалізуючих перетворень для платформ PC, mid-range, mainframe.

6. Розробити архітектуру автоматизованої інформаційної системи та створити інформаційну технологію переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

7. Створити методику статистичної обробки емпіричних даних для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

**Об'єктом дослідження** є процес оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

**Предметом дослідження** є математичні моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення та інформаційна технологія переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

**Методи дослідження.** При проведенні досліджень використовувалися методи теорії ймовірностей, математичної статистики, математичного моделювання, інтервального аналізу, регресійного аналізу, об'єктно-орієнтованого програмування.

Методи теорії ймовірностей та математичної статистики застосовані для аналізу та виявлення існуючих закономірностей у емпіричних даних трудомісткості та тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Методи математичного моделювання застосовані для побудови аналітичних моделей законів розподілу вказаних емпіричних даних та для моделювання значень тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Методи регресійного аналізу застосовані для побудови регресійних моделей тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Методи інтервального аналізу застосовані для побудови довірчих інтервалів вказаних регресійних моделей. Методи об'єктно-орієнтованого програмування застосовані для створення програмного забезпечення.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

– удосконалено негаусівську ймовірнісну модель тривалості проектів з

розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe *за рахунок* застосування щільності ймовірності Джонсона, *що дозволяє* підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення;

– *отримали подальший розвиток* нелінійні регресійні моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від *трудомісткості* цих проектів (моделі ISBSG) для платформ PC, mid-range, mainframe *за рахунок* застосування нормалізуючого перетворення Джонсона, *що дозволяє* підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення;

– *вперше* побудовано рівняння нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe *за рахунок* застосування нормалізуючого перетворення Джонсона, *що дозволяє* підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення;

– *вперше* побудовано рівняння нижньої та верхньої границь інтервалів прогнозування нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe *за рахунок* застосування нормалізуючого перетворення Джонсона, *що дозволяє* підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати дисертаційної роботи, висновки та рекомендації, що містяться у роботі, схвалені та використовуються в ТОВ «Макротел» (акт впровадження від 21.05.2016) та ТОВ «Вебкодерс» (акт впровадження від 07.11.2016). Завдяки застосуванню інформаційної технології переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, створеної з використанням розроблених математичних моделей, які враховують реальний характер розподілу емпіричних даних, підвищилась достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Створені відповідні програмно-інформаційні засоби (інженерна методика та програмне забезпечення) дозволили підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

Результати дисертаційної роботи також застосовуються в навчальному процесі на кафедрі програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (акт впровадження від 02.11.2016 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею. Усі наукові результати отримано здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: побудова негаусівських ймовірнісних моделей тривалості проектів з розробки програмного забезпечення за рахунок використання нормалізуючого перетворення Джонсона, що дозволяє краще враховувати реальний закон розподілу емпіричних даних тривалості проектів з розробки програмного забезпечення та виконувати оцінювання довірчих інтервалів математичного сподівання тривалості робіт в цих проектах [1-4, 9-11]; побудова нелінійних

регресійних моделей тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок використання нормалізуючого перетворення Джонсона, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання тривалості завдяки покращенню апроксимації закону розподілу емпіричних даних трудомісткості і емпіричних даних тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, та завдяки побудові довірчих інтервалів і інтервалів прогнозування нелінійної регресії [5-7, 12-16]; створення інформаційної технології переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення із застосуванням математичних моделей, побудованих з використанням нормалізуючого перетворення Джонсона [8, 17]; проектування модулю оцінювання та моделювання тривалості, розробка і тестування програми [18].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися на 17 конференціях та семінарах: XII Науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті та управлінні» (Нова Каховка, 2010); VI, VII Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами: стан та перспективи» (Миколаїв, 2010, 2011); Форумі молодих науковців НУК «Макаровські читання» (Миколаїв, 2011-2014); IX, X Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами» (Алушта, 2011, 2012); Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика» (Миколаїв, 2012); Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні інноваційними проектами» (Алушта, 2013); Науковому семінарі кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Миколаїв, 2013); II Науково-практичному семінарі «Управління проектами: наука, практика, освіта» (Миколаїв, 2013); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії» (Славське, 2014); Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики» (Київ, 2014); XVIII науково-практичній міжнародній конференції «Інформаційні технології в освіті та управлінні» (Херсон, 2016); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів» (Миколаїв, 2016).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 18 наукових праць, з них 9 статей у збірниках наукових праць, 7 з яких – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз (Index Copernicus, CrossRef Metadata Search, РІНЦ, Google Академія); 8 тез у збірниках праць вітчизняних та міжнародних конференцій; одне свідоцтво про реєстрацію авторського права.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 179 сторінок, у тому числі 154 сторінки основного тексту. Робота містить 59 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел з 103 найменувань та 2 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо апробації результатів досліджень та їх публікації.

У **першому розділі** проаналізовано сучасний стан інформаційних технологій переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення (ПЗ).

Визначено, що одним з основних факторів, який впливає на успішність виконання проектів з розробки ПЗ та дозволяє вчасно завершувати такі проекти, є достовірність оцінювання тривалості цих проектів. Показано, що більшість проектів з розробки ПЗ не виконуються в заданий термін. Достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ в значній мірі залежить від моделей та методів оцінювання тривалості. Встановлено, що основними методами, які використовуються в існуючих інформаційних технологіях переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ, є параметричне оцінювання (нелінійні регресійні моделі СОСОМО, ISBSG), оцінювання за трьома точками (метод PERT, який базується на бета-розподілі). Показано, що вказані моделі не досить добре враховують розподіл емпіричних даних тривалості проектів з розробки ПЗ, що призводить до зниження достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ. Закон розподілу емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки ПЗ відрізняється від нормального закону розподілу, через що вказані ймовірнісні та регресійні моделі не дозволяють виконувати оцінювання довірчих інтервалів тривалості проектів з розробки ПЗ. Тому виникає необхідність вдосконалення існуючих і побудови нових моделей тривалості цих проектів із використанням нормалізуючих перетворень.

Проведено аналіз шляхів вдосконалення моделей тривалості проектів з розробки ПЗ та виконано постановку завдань дослідження. Для підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ потрібно побудувати негаусівську ймовірнісну модель тривалості проектів з розробки ПЗ, яка буде враховувати розподіл емпіричних даних тривалості і дозволить виконувати оцінювання довірчих інтервалів математичного сподівання тривалості проектів з розробки ПЗ. Також, для підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ з використанням регресійних моделей і вдосконалення існуючих нелінійних регресійних моделей ISBSG, побудованих з використанням перетворення у вигляді десяткового логарифму, потрібно побудувати нелінійні регресійні моделі, довірчі інтервали та інтервали прогнозування нелінійної регресії тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів за рахунок використання нормалізуючих перетворень, які краще нормалізують емпіричні дані тривалості та трудомісткості проектів з розробки ПЗ, ніж перетворення у вигляді десяткового логарифму. Для побудови вказаних моделей вирішено використати



емпіричні дані по завершених проектах з розробки ПЗ з бази даних ISBSG для платформ PC, mid-range та mainframe. База даних ISBSG містить інформацію про 790 проектів зі створення та вдосконалення ПЗ, що призначалося для застосування в системах підтримки прийняття рішень, управління операціями та інших інформаційних системах, і розроблялося з використанням мов програмування C, C++, JAVA, Visual Basic, COBOL/COBOL II, ПЛ/1, Access, Focus, Powerbuilder (інформація про кваліфікацію розробників ПЗ в базі даних відсутня). З цієї бази даних відібрано 348 проектів з найвищою якістю статистичних даних, а також з наявністю даних про платформу, тривалість та трудомісткість, що дозволяє будувати як ймовірнісні моделі тривалості, так і регресійні моделі тривалості в залежності від трудомісткості. Після побудови вказаних математичних моделей, на їх основі необхідно створити інформаційну технологію переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ, для чого також потрібно розробити архітектуру автоматизованої інформаційної системи переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ та створити методику статистичної обробки емпіричних даних для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ.

У **другому розділі** виконано побудову негаусівських ймовірнісних моделей тривалості проектів з розробки ПЗ для платформ PC, mid-range та mainframe. Було отримано довірчі інтервали точкових оцінок математичного сподівання тривалості проектів з розробки ПЗ для платформ PC, mid-range та mainframe на основі нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ .

В якості ймовірнісної моделі тривалості проектів з розробки ПЗ розглянуто бета-розподіл та розподіли Джонсона, виконано їх порівняння. Щоб краще апроксимувати розподіл емпіричних даних тривалості проектів з розробки ПЗ, а також щоб отримати можливість інтервального оцінювання тривалості, вибрано розподіл Джонсона сім'ї  $S_B$ . Джонсон запропонував 3 сім'ї розподілів. Для розподілу Джонсона сім'ї  $S_B$  функція щільності ймовірності задається як

$$f_B(x) = \frac{\eta\lambda}{\sqrt{2\pi}(x-\varphi)(\lambda+\varphi-x)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \eta \ln\left(\frac{x-\varphi}{\lambda+\varphi-x}\right)\right]^2\right\}, \varphi < x < \varphi + \lambda, \quad (1)$$

де  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$  – параметри розподілу;  $\eta > 0$ ;  $-\infty < \gamma < \infty$ ;  $\lambda > 0$ ;  $-\infty < \varphi < \infty$ .

Вказана сім'я розподілу Джонсона вибрана за діаграмою Джонсона за значеннями оцінок асиметрії у квадраті  $A^2$  та ексцесу  $\varepsilon$  випадкової величини  $D$  – емпіричних значень тривалості проектів з розробки ПЗ з бази даних ISBSG. Параметри розподілу (1) знайдено за емпіричним розподілом в результаті рішення наступної задачі математичного програмування:

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \left\{ A_z^2 + (\varepsilon_z - 3)^2 + \bar{z}^2 + (S_z^2 - 1)^2 \right\}, \quad (2)$$

де  $\hat{\theta}$  – оцінка вектору невідомих параметрів,  $\theta = \{\gamma, \eta, \lambda, \varphi\}$ ;  $A_z$  – коефіцієнт асиметрії величини  $z$ ;  $\varepsilon_z$  – коефіцієнт ексцесу величини  $z$ ;  $\bar{z}$  – вибіркоче

середнє величини  $z$ ;  $S_z^2$  – незміщена вибіркова дисперсія величини  $z$ ;  $z_i$  –  $i$ -значення нормалізованої випадкової величини  $z$ , значення якої обчислюються за значеннями випадкової величини  $x$  як

$$z = \gamma + \eta q(x, \varphi, \lambda), \quad (3)$$

де  $q$  – функція, яка залежить від вибраної сім’ї розподілу Джонсона.

Для розподілу Джонсона сім’ї  $S_B$  (1) функція  $q$  задається як

$$q(x, \varphi, \lambda) = \ln\{(x - \varphi)/(\lambda + \varphi - x)\}, \quad \varphi < x < \varphi + \lambda. \quad (4)$$

Перевірку адекватності ймовірнісних моделей та їх порівняння проведено, використавши критерій Пірсона  $\chi^2$ . За цим критерієм розподіл Джонсона сім’ї  $S_B$  (1) дозволяє адекватно апроксимувати розподіл емпіричних даних тривалості проектів з розробки ПЗ для платформ PC, mid-range та mainframe, тоді як бета-розподіл не дозволяє адекватно апроксимувати розподіл емпіричних даних тривалості проектів з розробки ПЗ (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати апроксимації випадкової величини  $D$

Платформа ПЗ	$\chi^2$ (розподіл Джонсона)	$\chi^2$ (бета-розподіл)	$\chi_{кр}^2$
PC	2,76	2,78	5,99
mid-range	5,82	12,69	5,99
mainframe	8,62	12,12	9,49

У **третьому розділі** побудовано нелінійні регресійні моделі, довірчі інтервали та інтервали прогнозування нелінійної регресії тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів для платформ PC, mid-range та mainframe на основі перетворення Джонсона.

Для побудови використано метод нормалізуючих перетворень, який складається з трьох етапів: нормалізація емпіричних даних з використанням нормалізуючого перетворення; побудова лінійної регресії за нормалізованими даними; побудова нелінійної регресії за побудованою лінійною регресією, використовуючи перетворення зворотне від нормалізуючого. Необхідність використання нормалізуючих перетворень виникає через те, що закон розподілу емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки ПЗ відрізняється від нормального закону розподілу і тому неможливо побудувати адекватні лінійні регресійні моделі. Було розглянуто наступні нормалізуючі перетворення: десятковий логарифм, перетворення Бокса-Кокса, перетворення Джонсона (3). Для нормалізації емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки ПЗ вибране перетворення Джонсона сім’ї  $S_B$  (4) тому, що серед розглянутих нормалізуючих перетворень воно дозволяє найкраще нормалізувати вказані емпіричні дані, тоді як інші перетворення дають гірші результати нормалізації або, для деяких платформ, взагалі не дозволяють нормалізувати відповідні емпіричні дані.

Для побудови нелінійних регресійних моделей тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів з випадкових

величин  $D$  та  $E$  (емпіричних значень тривалості та трудомісткості проектів з розробки ПЗ з бази даних ISBSG), використовуючи нормалізуюче перетворення Джонсона (3) сім'ї  $S_B$  (4) з визначеними в результаті рішення задачі (2) параметрами  $\{\gamma_D, \eta_D, \varphi_D, \lambda_D\}$  та  $\{\gamma_E, \eta_E, \varphi_E, \lambda_E\}$ , отримано випадкові величини  $z_D$  та  $z_E$  з нормальним законом розподілу. Це дозволило побудувати рівняння лінійної регресії для нормалізованих значень ( $\hat{z}_D(z_E) = b_0 + b_1 z_E$ , де  $b_0$  і  $b_1$  - коефіцієнти, які знаходяться за методом найменших квадратів), рівняння границь довірчого інтервалу та інтервалу прогнозування лінійної регресії.

За рівнянням лінійної регресії, використовуючи перетворення зворотне від нормалізуючого, побудовано рівняння нелінійної регресії тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів:

$$\hat{D}(E) = \varphi_D + p\lambda_D / (p + 1), \quad (5)$$

де  $p = \exp\{(z_D(z_E) - \gamma_D) / \eta_D\}$ ;  $z_E = \gamma_E + \eta_E \ln\{(E - \varphi_E) / (\lambda_E + \varphi_E - E)\}$ .

Враховуючи (5), нелінійна регресійна модель тривалості задається як

$$D(E) = \hat{D}(E) + \varepsilon, \quad (6)$$

де  $\varepsilon$  - це випадкова похибка, яка має розподіл Джонсона сім'ї  $S_B$ .

За рівняннями границь довірчого інтервалу та інтервалу прогнозування лінійної регресії, використовуючи перетворення зворотне від нормалізуючого, побудовано рівняння границь довірчого інтервалу та інтервалу прогнозування нелінійної регресії тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів.

Рівняння границь довірчого інтервалу нелінійної регресії (5) задається як

$$[\bar{D}(E)] = \varphi_D + [\bar{q}]\lambda_D / ([\bar{q}] + 1), \quad (7)$$

де  $[\bar{q}] = \exp\left\{\left(\hat{z}_D(z_E) \pm t_{\alpha/2, n-2} \cdot \sqrt{s_{z_D}^2 \sqrt{\frac{1}{n} + (z_E - \bar{z}_E)^2 / S_{z_E}} - \gamma_D}\right) / \eta_D\right\}$ ;

$z_E = \gamma_E + \eta_E \ln\left\{\frac{E - \varphi_E}{\lambda_E + \varphi_E - E}\right\}$ ;  $s_{z_D}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (z_{D_i} - \hat{z}_D(z_{E_i}))^2$ ;  $S_{z_E} = \sum_{i=1}^n (z_{E_i} - \bar{z}_E)^2$ .

Рівняння границь інтервалу прогнозування нелінійної регресії (5):

$$[D(E)] = \varphi_D + [q]\lambda_D / ([q] + 1), \quad (8)$$

де  $[q] = \exp\left\{\left(\hat{z}_D(z_E) \pm t_{\alpha/2, n-2} \cdot \sqrt{s_{z_D}^2 \sqrt{1 + \frac{1}{n} + (z_E - \bar{z}_E)^2 / S_{z_E}} - \gamma_D}\right) / \eta_D\right\}$ .

Для того, щоб порівняти побудовані рівняння нелінійної регресії на основі перетворення Джонсона з рівняннями на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму, використано такі критерії: сума квадратів похибок між оцінкою тривалості за моделлю та емпіричними даними  $SSE = \sum_{i=1}^n (D_i - \hat{D}(E_i))^2$

(менше значення  $SSE$  є кращим); коефіцієнт детермінації

$R^2 = 1 - SSE / \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2$  (більше значення  $R^2$  є кращим);  $PRED(25\%)$  –

відносна кількість значень, які були спрогнозовані з похибкою до 25% (більше значення  $PRED(25\%)$  є кращим). За вказаними критеріями побудовані рівняння нелінійної регресії на основі перетворення Джонсона є кращими, ніж відповідні рівняння на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму (табл. 2). Також, ширина 95% довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування нелінійної регресії тривалості проектів з розробки ПЗ на основі перетворення Джонсона є меншою, ніж ширина відповідних інтервалів нелінійної регресії на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння рівнянь нелінійної регресії

Платформа ПЗ	Рівняння регресії на основі перетворення Джонсона сім'ї $S_B$ (нова)			Рівняння регресії на основі десяткового логарифму (існуюча)			Зменш. інтервалів в порівнянні з інтервалами регресії на основі десяткового логарифму	
	$SSE$	$R^2$	$PRED_{25\%}$	$SSE$	$R^2$	$PRED_{25\%}$	$[\bar{D}(E)]$ (7)	$[D(E)]$ (8)
PC	844	0,16	47%	873	0,13	39%	13%	25%
mid-range	3905	0,453	42%	4138	0,420	41%	10%	10%
mainframe	11046	0,366	37%	11059	0,365	36%	10%	10%

Відносна похибка для нелінійної регресійної моделі (6) не перевищує 15%.

У **четвертому розділі** створено інформаційну технологію (ІТ) переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ із застосуванням математичних моделей, побудованих з використанням нормалізуючого перетворення Джонсона.

Розроблено архітектуру автоматизованої інформаційної системи переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ (рис. 1).

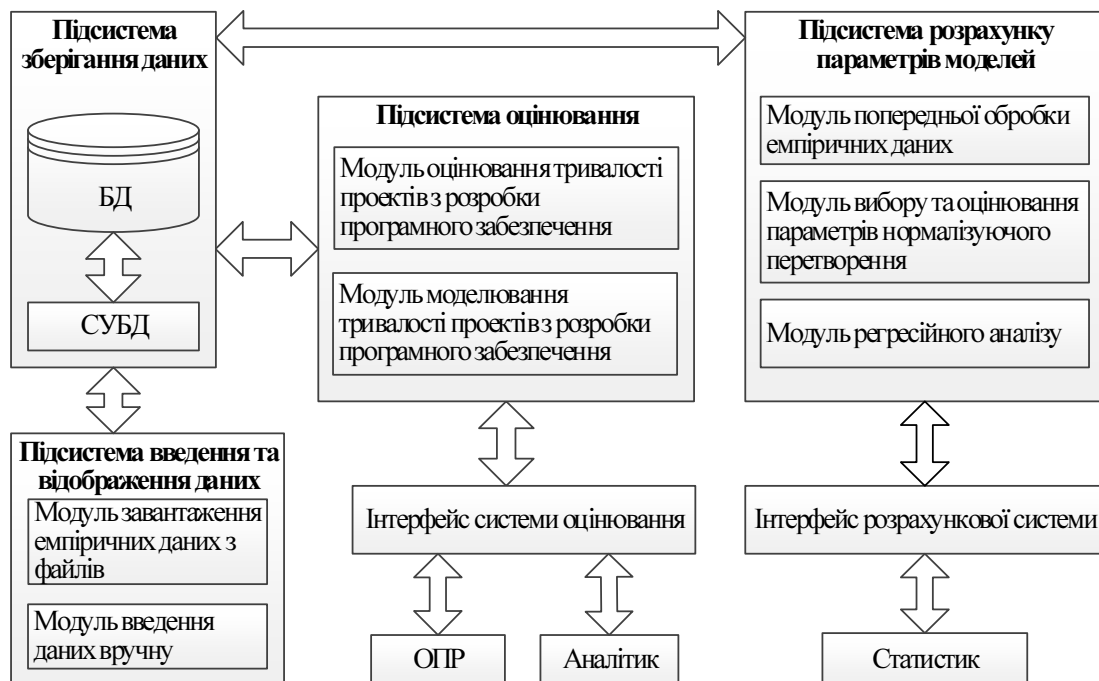


Рис. 1. Архітектура автоматизованої інформаційної системи

Для підсистеми оцінювання, яка реалізує ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості ПЗ, побудовано діаграму потоків даних (рис. 2).



Рис. 2. Діаграма потоків даних підсистеми оцінювання тривалості

Створено ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ. *Перелік задач, які вирішуються* за допомогою пропонованої ІТ: оцінювання середнього значення тривалості проекту з розробки ПЗ за оцінкою трудомісткості цих проектів для платформ PC, mid-range, mainframe; визначення 95% довірчого інтервалу отриманої оцінки середнього значення тривалості та 95% інтервалу прогнозування тривалості проекту з розробки ПЗ; моделювання тривалості проектів з розробки ПЗ; збереження в базу даних отриманої оцінки середнього значення, а також збереження значень нижньої та верхньої границь довірчого інтервалу середнього значення та інтервалу прогнозування тривалості проектів з розробки ПЗ; збереження в базу даних змодельованих значень тривалості проектів з розробки ПЗ; перегляд результатів попередніх оцінювань та моделювань тривалості проектів з розробки ПЗ. До *математичного забезпечення* ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ належать негаусівська ймовірнісна модель тривалості проектів з розробки ПЗ (1); нелінійна регресійна модель тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів (5); рівняння нижньої та верхньої границь довірчого інтервалу (7) та інтервалу прогнозування (8) нелінійної регресії тривалості проектів з розробки ПЗ в залежності від трудомісткості цих проектів), а також метод виключення для генерації значень випадкової величини з заданим законом розподілу, що використовується для моделювання тривалості проектів з розробки ПЗ. До

інформаційного забезпечення ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ входить база даних, що призначена для збереження результатів оцінювань та моделювань тривалості проектів з розробки ПЗ, а також для збереження параметрів математичних моделей тривалості для різних платформ. Необхідність збереження параметрів моделей в базі даних викликана вимогою можливості уточнення параметрів моделей після надходження нових емпіричних даних тривалості проектів з розробки ПЗ та використання уточнених параметрів в програмному забезпеченні без його перекомпіляції. Програмним забезпеченням ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ є створена комп'ютерна програма «Оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення» (рис 3), віртуальна машина Java SE Runtime Environment 6 та сумісна з Java операційна система (Windows, Mac, unix). Технічним забезпеченням ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ є ПК Pentium (2 GHz), ОЗП 1 Gb, ПЗП 10 Гб; монітор 800x600 точок; клавіатура, маніпулятор «миша». Методичним забезпеченням ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ є методика оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ.

Діаграма станів ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ показана на рис. 4.

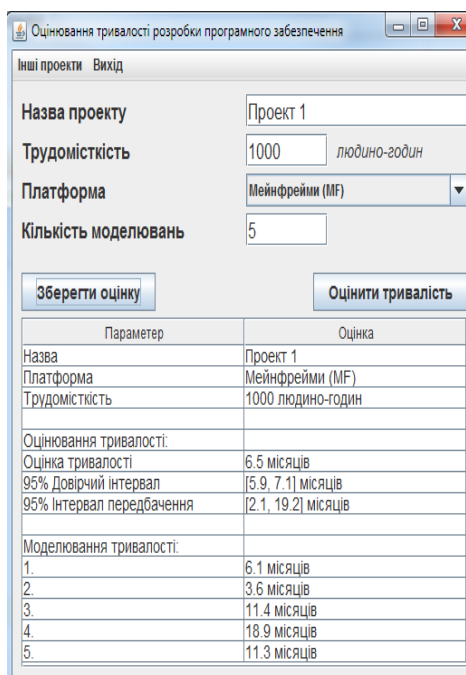


Рис. 3. Головне вікно комп'ютерної програми

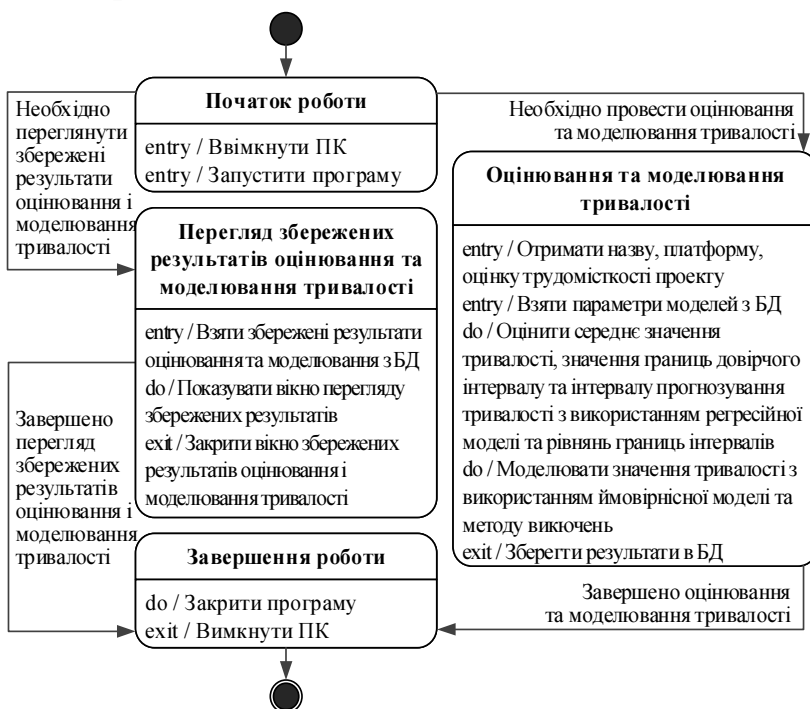


Рис. 4. Діаграма станів ІТ переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ

Для виконання оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ виконується наступна послідовність дій: аналітик збирає вхідні данні для оцінювання тривалості (назву, платформу, оцінку трудомісткості); вмикає ПК; запускає комп'ютерну програму; вводить зібрані вхідні данні у відповідні поля головного вікна програми та натискає на кнопку «Оцінити тривалість» в цьому

вікні. Програмою з БД завантажуються параметри математичних моделей; з використанням нелінійної регресійної моделі тривалості в залежності від трудомісткості, обчислюється та виводиться на екран оцінка середнього значення тривалості; з використанням рівнянь границь довірчого інтервалу (7) та інтервалу прогнозування (8) нелінійної регресії тривалості в залежності від трудомісткості, обчислюються та виводяться на екран значення границь 95% довірчого інтервалу та 95% інтервалу прогнозування тривалості; з використанням негаусівської ймовірнісної моделі тривалості (1) та методу виключень, моделюється та виводиться на екран задана кількість значень тривалості. Аналітик натискає на кнопку «Зберегти оцінку» програми, після чого програма зберігає в БД результати оцінювання і моделювання тривалості; аналітик закриває програму та вимикає ПК. Для перегляду результатів оцінювання і моделювання: ОПР вмикає ПК; запускає комп'ютерну програму; вибирає пункт меню «Інші проекти» головного вікна програми. Програма завантажує з БД збережені результати оцінювання і моделювання тривалості і відображує вікно їх перегляду. ОПР переглядає збережені результати; закриває вікно перегляду; закриває програму та вимикає ПК.

Створено інженерну методика статистичної обробки емпіричних даних для оцінювання тривалості проектів з розробки ПЗ.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, які підтверджують практичне значення і застосування одержаних результатів; настанова користувача комп'ютерної програми «Оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення».

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі було вирішене важливе науково-практичне завдання підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

В процесі проведення дисертаційних досліджень одержано наступні результати:

1. Проаналізовано сучасний стан інформаційних технологій переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення; досліджено особливості, переваги та недоліки існуючих моделей та методів оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення; визначено задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети дослідження – підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

2. Удосконалено негаусівську ймовірнісну модель тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування щільності ймовірності Джонсона, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Ця ймовірнісна модель краще апроксимує розподіл емпіричних даних тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, ніж бета-розподіл за критерієм Пірсона  $\chi^2$ .

3. Зроблено порівняння перетворення у вигляді десяткового логарифму, перетворення Бокса-Кокса та перетворення Джонсона для нормалізації емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки програмного забезпечення. Вибрано нормалізуюче перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$  для нормалізації емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки програмного забезпечення.

4. Отримали подальший розвиток нелінійні регресійні моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів (модель ISBSG) для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ , що дозволяє підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. За критеріями  $R^2$ ,  $SSE$  та  $PRED(25\%)$  побудовані нелінійні рівняння регресії на основі перетворення Джонсона є кращими, ніж відповідні рівняння на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму. Відносна похибка для побудованих нелінійних регресійних моделей тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів не перевищує 15%.

5. Побудовано рівняння нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ , що дозволяє підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. В залежності від платформи ширина 95% довірчого інтервалу нелінійної регресії на основі перетворення Джонсона є на 10-13% меншою, ніж ширина 95% довірчого інтервалу нелінійної регресії на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму.

6. Побудовано рівняння нижньої та верхньої границь інтервалів прогнозування нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ , що дозволяє підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. В залежності від платформи ширина 95% інтервалу прогнозування нелінійної регресії на основі перетворення Джонсона є на 10-25% меншою, ніж ширина 95% інтервалу прогнозування нелінійної регресії на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму.

7. Розроблено архітектуру автоматизованої інформаційної системи та створено інформаційну технологію переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Розроблено відповідне програмне забезпечення – комп'ютерну програму «Оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення».

8. Створено інженерну методику статистичної обробки емпіричних даних для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

9. Практичне значення одержаних результатів дослідження підтверджується їх практичним використанням в ТОВ «Макротел» та



«Вебкодерс», що дозволило підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення на вказаних підприємствах. Також результати дослідження впроваджено у навчальний процес кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова при викладанні дисципліни «Емпіричні методи програмної інженерії».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, що включені до міжнародних науково-метричних баз:

1. Приходько, С. Б. Інтервальне оцінювання статистичних моментів часу затримок виконання програмних проектів на основі перетворення Джонсона [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – № 2 (431). – С. 118-124. – ISSN 2313-0415 (включено до міжнародної науково-метричної бази даних *Google scholar*).

2. Приходько, С. Б. Програмне забезпечення для оцінки ризиків при управлінні програмними проектами [Електронний ресурс] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Електронне Видання «Вісник НУК» №4, 2010р. Режим доступу : <http://ev.nuos.edu.ua/content/10psbypp> (включено до міжнародної науково-метричної бази даних *Google scholar*).

3. Приходько, С. Б. Вибір нормалізуючого перетворення для оцінки довірчого інтервалу математичного сподівання часу затримок виконання програмних проектів [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич, Н. В. Негаєра // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 3 (438). – С. 124-129. – ISSN 2313-0415 (включено до міжнародної науково-метричної бази даних *Google scholar*).

4. Приходько, С. Б. Порівняння ймовірнісних моделей тривалості робіт в проектах з розробки програмного забезпечення [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2012. – № 1/13 (55). – С. 39-41. – ISSN 1729-3774 (включено до міжнародної науково-метричної бази даних *Google scholar*).

5. Приходько, С. Б. Розробка нелінійної регресійної моделі тривалості програмних проектів на основі нормалізуючого перетворення Джонсона [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків : Харківський авіаційний інститут, 2012. – № 4 (56) – С. 90-93. – ISSN 1814-4225 (включено до міжнародної науково-метричної бази даних *Google scholar*).

6. Приходько, С. Б. Розробка нелінійних регресійних моделей тривалості програмних проектів на основі перетворення Джонсона [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2014. – № 2 (2014). – С. 76-80. – ISSN 2313-0415 (включено до міжнародних науково-метричних баз даних *CrossRef Metadata Search*, *PIHC*, *Google scholar*).

7. Приходько, С. Б. Confidence interval estimation of PC software project duration regression based on Johnson transformation [Текст] / С. Б. Приходько,

А. В. Пухалевич // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – Харків : Харківський авіаційний інститут, 2014. – № 2 (66). – С. 104-107. – ISSN 1814-4225 (включено до міжнародних науково-метричних баз даних *Index Copernicus*, *Google scholar*).

Статті у наукових фахових виданнях України:

8. Приходько, С. Б. Інформаційна технологія для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // *Проблеми інформаційних технологій*. – Херсон, 2016. – № 1 (019). – С. 81-87. – ISSN 1998-7005.

9. Приходько, С. Б. Інтервальне оцінювання математичного сподівання часу затримок виконання програмних проектів на основі перетворення Джонсона [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // *Вестник ХНТУ*. – Херсон : ХНТУ, 2010. – №2 (38). – С. 402-404 – ISBN 5-7763-2514-5.

Тези міжнародних та всеукраїнських науково-практичних і науково-технічних конференцій:

10. Приходько, С. Б. Інтервальне оцінювання математичного сподівання тривалості програмних проектів [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // *Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами»*. – Харків, 2011. – С. 214-216.

11. Приходько, С. Б. Інтервальне оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // *Управління проектами: стан та перспективи: Матеріали 7-ї міжнародної науково-практичної конференції*. – Миколаїв : НУК, 2011. – С. 257-259. – ISBN 978-966-321-190-9.

12. Пухалевич, А. В. Розробка нелінійної регресійної моделі тривалості програмних проектів / А. В. Пухалевич // *Макаровські читання. Матеріали Всеукраїнського форуму молодих науковців, 23-24 травня 2013 р.* – Миколаїв : НУК, 2013. – С. 122-123.

13. Приходько, С. Б. Побудова регресійної моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // *Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції*. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 195-198.

14. Приходько, С. Б. Розробка нелінійних регресійних моделей тривалості програмних проектів на основі нормалізуючого перетворення Джонсона [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // *Макаровські читання. Матеріали Всеукраїнського форуму молодих науковців, 22-23 травня 2014 р.* – Миколаїв : НУК, 2014. – С. 72.

15. Prykhodko, S. B. Developing PC Software Project Duration Model based on Johnson transformation [Text] / S. B. Prykhodko, A. V. Pukhalevich // *Proceedings of the 12th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2014, Lviv-Slavske, Ukraine*. – Lviv : Polytechnic National University, 2014. – pp. 114-116.

16. Pukhalevich, A. V. Confidence interval estimation of regression model of embedded software project duration based on Johnson transformation [Text] /

A. V. Pukhalevich // Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics. Proceedings of the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists. – Kyiv : Bukrek, 2014. – pp 314-320. – ISBN 978-966-399-620-2.

17. Приходько, С. Б. Створення інформаційної технології для оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (19-21 жовтня 2016 р., м. Миколаїв). – Миколаїв : МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2016. – С. 107-108.

Інші видання:

18. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №67509. Комп'ютерна програма «Оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення» [Текст] / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич – Заявка №68190 від 02.07.2016; видано 31.08.2016. – 1 с.

## АНОТАЦІЯ

Пухалевич А.В. Моделі та інформаційна технологія переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання підвищення достовірності оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення за рахунок побудови математичних моделей тривалості проектів з розробки програмного забезпечення та створенню на їх основі інформаційної технології переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

Удосконалено негаусівську ймовірнісну модель тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування щільності ймовірності Джонсона, що дозволило підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Вибрано нормалізуюче перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$  для нормалізації емпіричних даних тривалості та трудомісткості проектів з розробки програмного забезпечення. Отримали подальший розвиток нелінійні регресійні моделі тривалості проектів з розробки програмного забезпечення в залежності від трудомісткості цих проектів для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ , що дозволило підвищити достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Побудовано рівняння нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування нелінійних регресій тривалості проектів з розробки програмного забезпечення для платформ PC, mid-range, mainframe за рахунок застосування нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ , що дозволило підвищити

достовірність оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення. Створено інформаційну технологію переробки інформації для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, для чого розроблено архітектуру автоматизованої інформаційної системи та відповідне програмне забезпечення – комп'ютерну програму з візуальним інтерфейсом «Оцінювання тривалості розробки програмного забезпечення». Створено інженерну методику статистичної обробки емпіричних даних для оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, оцінювання тривалості проектів з розробки програмного забезпечення, ймовірнісна модель, довірчий інтервал, інтервал прогнозування, нелінійна регресійна модель, розподіл Джонсона, перетворення Джонсона.

## АННОТАЦІЯ

Пухалевич А.В. Модели и информационная технология переработки информации для оценивания длительности проектов с разработки программного обеспечения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2017.

Диссертация посвящена решению важной научно-практической задачи повышения достоверности оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения за счет построения математических моделей длительности проектов по разработке программного обеспечения и созданию на их основе информационной технологии переработки информации для оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения.

Проведен анализ современного состояния информационных технологий переработки информации для оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения. Исследованы особенности, преимущества и недостатки существующих моделей и методов для оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения. Показано, что существующие модели (нелинейные регрессионные модели СОСОМО и ISBSG, а также бета распределение, которое используется в методе PERT) недостаточно хорошо учитывают распределение эмпирических данных длительности проектов по разработке программного обеспечения, что приводит к снижению достоверности оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения. Закон распределения эмпирических данных длительности и трудоемкости проектов по разработке программного обеспечения отличается от нормального закона распределения, поэтому указанные модели не позволяют выполнять оценивание доверительных интервалов и интервалов прогнозирования длительности проектов по разработке программного обеспечения.

Для повышения достоверности оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения нужно построить негаусовскую вероятностную модель длительности проектов по разработке программного

обеспечения, которая будет учитывать распределение эмпирических данных длительности и позволит выполнять оценивания доверительных интервалов математического ожидания длительности проектов по разработке программного обеспечения. Также, для повышения достоверности оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения с использованием регрессионных моделей, нужно построить нелинейные регрессионные модели, доверительные интервалы и интервалы прогнозирования нелинейной регрессии длительности проектов по разработке программного обеспечения в зависимости от трудоемкости этих проектов за счет использования нормализующих преобразований, которые лучше нормализуют эмпирические данные длительности и трудоемкости проектов по разработке программного обеспечения, чем преобразование в виде десятичного логарифма, которое используется в моделях COCOMO и ISBSG.

Усовершенствована негаусовская вероятностная модель длительности проектов по разработке программного обеспечения для платформ PC, mid-range, mainframe за счет применения плотности вероятности Джонсона семьи  $S_B$ , что позволило повысить достоверность оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения. Выбрано нормализующее преобразование Джонсона семьи  $S_B$  для нормализации эмпирических данных длительности и трудоемкости проектов по разработке программного обеспечения. Получили дальнейшее развитие нелинейные регрессионные модели длительности проектов по разработке программного обеспечения в зависимости от трудоемкости этих проектов для платформ PC, mid-range, mainframe за счет применения нормализующего преобразования Джонсона семьи  $S_B$ , что позволило повысить достоверность оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения.

Построены уравнения нижней и верхней границ доверительных интервалов нелинейных регрессий длительности проектов по разработке программного обеспечения для платформ PC, mid-range, mainframe за счет применения нормализующего преобразования Джонсона семьи  $S_B$ , что позволило повысить достоверность оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения. В зависимости от платформы ширина 95% доверительного интервала нелинейной регрессии на основе преобразования Джонсона на 10-13% меньше, чем ширина 95% доверительного интервала нелинейной регрессии на основе десятичного логарифма.

Построены уравнения нижней и верхней границ интервалов прогнозирования нелинейных регрессий длительности проектов по разработке программного обеспечения для платформ PC, mid-range, mainframe за счет применения нормализующего преобразования Джонсона семьи  $S_B$ , что позволило повысить достоверность оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения. В зависимости от платформы ширина 95% интервала прогнозирования нелинейной регрессии на основе преобразования Джонсона на 10-25% меньше, чем ширина 95% интервала прогнозирования нелинейной регрессии на основе преобразования в виде десятичного логарифма.

Создана информационная технология переработки информации для оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения, для чего разработана архитектура автоматизированной информационной системы и соответствующее программное обеспечение – компьютерная программа с визуальным интерфейсом «Оценивание длительности разработки программного обеспечения». Создана инженерная методика статистической обработки эмпирических данных для оценивания длительности проектов по разработке программного обеспечения.

**Ключевые слова:** информационная технология, оценивание длительности проектов по разработке программного обеспечения, вероятностная модель, доверительный интервал, интервал прогнозирования, нелинейная регрессионная модель, распределение Джонсона, преобразование Джонсона.

### ABSTRACT

Pukhalevych A.V. Models and information technology of data processing for estimating duration of software development projects. – The manuscript.

The thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 05.13.06 – Information technologies. – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, 2017.

The thesis is devoted to solving the important scientific and practical task of increasing the reliability of the estimation of the duration of software development projects by building mathematical models of the duration and the creation of information technology for estimating the duration of software development projects.

The non-gaussian probabilistic model of the duration of software development projects for platforms PC, mid-range, mainframe was improved by the using of Johnson probability density that enabled increasing the reliability of the estimation of the duration. Johnson normalizing transformation  $S_B$  family was chosen for the normalization of empirical data of duration and effort of software development projects. Further nonlinear regression models of the duration of software development projects, depending on the effort of the projects for PC, mid-range, mainframe platforms were developed by the using of a normalizing transformation Johnson  $S_B$  family that enabled increasing the reliability of estimation of the duration. The equations of the ranges of confidence intervals and prediction intervals of the nonlinear regression of the duration of software development projects for PC, mid-range, mainframe platforms were developed by the using of a normalizing transformation Johnson  $S_B$  family that enabled increasing the reliability of the estimation of the duration. An information technology for estimating the duration of software development projects was created.

**Keywords:** information technology, software duration estimation, probabilistic model, confidence interval, non-linear regression model, regression equation, Johnson distribution, Johnson transformation.

Підп. до друку 28.03.2017. Формат 60×84/16.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Ум. друк. арк. 0,9.  
Тираж 100 прим. Зам. 2803-1.

---

Поліграфічне підприємство СПД Румянцева Г. В.  
54038, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.  
Свідоцтво МК № 11 від 26.01.2007 р.