

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУДІН ОЛЕГ ОЛЕКСІЙОВИЧ

УДК: 005.8:519.62

ДИСЕРТАЦІЯ

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ
РОБІТ ПРИ УПРАВЛІННІ ЧАСОМ ПРОЕКТІВ РОЗРОБКИ
КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН

05.13.22 – Управління проектами і програмами

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук

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

_____ О.О. Кудін

Науковий керівник Приходько Сергій Борисович, доктор технічних наук,
професор

Миколаїв – 2021

АНОТАЦІЯ

Кудін О.О. Математичні моделі для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.22 «Управління проектами і програмами» – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Міністерство освіти і науки України, Миколаїв, 2021.

В наш час спостерігається суттєве скорочення тривалості проектування і виготовлення продукції у всіх галузях промисловості, зокрема у суднобудуванні. Однією з причин такого явища є використання сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій при проектуванні і виготовленні промислових виробів. Зокрема, впровадження сучасних технологій в процеси проектування суден суттєво скоротило трудомісткість і, відповідно, час виконання проектів розробки конструкторської документації суден. Але при цьому ускладняється вирішення задачі достовірного оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації.

Отже, скорочення трудомісткості, в свою чергу, робить актуальною задачу підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт на всіх етапах виконання проектів розробки конструкторської документації суден. Вирішення цієї задачі ускладняється впливом випадкових непередбачуваних факторів на трудомісткість проектів розробки конструкторської документації суден.

У дисертації вирішено **актуальну науково-прикладну задачу** підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден в умовах впливу випадкових непередбачуваних факторів завдяки побудові математичних моделей

трудомісткості робіт на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Такі математичні моделі дозволяють в подальшому підвищити достовірність оцінювання тривалості робіт при управлінні часом в проектах розробки конструкторської документації суден. Перевага запропонованого рішення полягає у тому, що оцінювання трудомісткості робіт проводиться на основі статистичних даних виконаних проектів розробки конструкторської документації суден на відміну від існуючих методів і моделей оцінювання трудомісткості, оснований на власному досвіді менеджерів проектів.

При проведенні дослідження виконано аналіз процесів управління часом проектів розробки конструкторської документації суден у суднобудівних конструкторських бюро та визначено, що трудомісткість робіт є базовою величиною при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації. З'ясовано, що на практиці оцінювання трудомісткості робіт виконується менеджерами проектів на основі власного досвіду. Але менеджери проектів не завжди мають достатній досвід проектування конкретних типів суден. Це є однією з причин низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт і, відповідно, викликає перевищення контрактних строків виконання проектів.

Проведено аналіз існуючих методів і моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден. З'ясовано, що відомі методи і моделі оцінювання трудомісткості робіт використовують оцінки, які призначаються здебільшого однією людиною і іноді можуть бути помилковими. Тому пропонується оцінювати трудомісткість розробки конструкторської документації суден з використанням статистичних даних виконаних проектів шляхом побудови рівнянь нелінійної регресії та нелінійних регресійних моделей трудомісткості робіт.

Виконано формалізацію задач дисертаційного дослідження та основних напрямків їх вирішення, а саме: вибрати нормалізуючі

перетворення для нормалізації двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт; побудувати математичні моделі для трансформованого еліпсу передбачення на основі вибраного нормалізуючого перетворення для видалення двовимірних викидів даних з двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт; побудувати рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі вибраного нормалізуючого перетворення; побудувати нелінійну регресійну модель трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі вибраного нормалізуючого перетворення; розробити методику оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден та її застосування при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден; розробити методику оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, як випадкової величини, та її застосування при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

В результаті проведених досліджень вперше побудовано негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі функції щільності ймовірності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B . Ця модель дозволяє врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних і кореляцію між ними та провести кращу нормалізацію емпіричних даних в порівнянні з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів. Використання означеної моделі дозволяє надалі підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт та, відповідно, достовірність оцінювання часу виконання робіт.

Удосконалено рівняння трансформованого еліпсу передбачення для двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на

основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Це дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у подібних наборах негаусівських даних без припущення про їх нормальний розподіл і, в подальшому, підвищити достовірність оцінювання трудомісткості та, відповідно, тривалості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден.

Побудовано рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B та довірчі інтервали і інтервали передбачення нелінійної регресії. Це дозволяє підвищити достовірність оцінювання середньої трудомісткості робіт та, відповідно, середнього часу виконання робіт.

Побудовано нелінійну регресійну модель для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Використання цієї регресійної моделі дозволяє підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт та відповідного часу виконання робіт з розробки конструкторської документації.

Проведено порівняння результатів побудови рівняння нелінійної регресії та нелінійної регресійної моделі для оцінювання трудомісткості робіт на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B з результатами побудови нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден на основі одновимірних нормалізуючих перетворень. Виявлено, що використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона покращує критерії якості нелінійної регресії MMRE та Pred(0,25) у порівнянні з використанням одновимірних нормалізуючих перетворень.

Удосконалено рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона

сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт в залежності від маси цих секцій у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

Удосконалено рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден, що дозволяє зменшити ширину зазначеного інтервалу у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. В результаті зменшення ширини інтервалу передбачення підвищується достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації і, відповідно, часу виконання цих робіт.

Розроблено методику оцінювання середньої трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден з використанням нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт та довірчих інтервалів, побудованих на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B , наведено приклад її використання. Розроблено методику для оцінювання трудомісткості робіт, як випадкової величини, при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден з використанням нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт і інтервалів передбачення нелінійної регресії, побудованих на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , та наведено приклад її використання.

Наведено опис використання розроблених методик оцінювання трудомісткості робіт для оцінювання середньої трудомісткості робіт за методом PERT.

Ключові слова: управління часом проектів; нелінійна регресійна модель; трудомісткість робіт; двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона; конструкторська документація суден.

ABSTRACT

Kudin O.O. Mathematical models for estimating the complexity of work in time management of projects for the development of design documentation of ships. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences. Specialty 05.13.22 – Project and Program Management. – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ministry of Education and Science of Ukraine, Mykolaiv, 2021.

Nowadays, there is a significant reduction in the duration of design and manufacture in all industries, including shipbuilding. One of the reasons for this phenomenon is the use of modern information and computer technology in the design and manufacture of industrial products. In particular, the introduction of modern technologies in ship design processes has significantly reduced the effort and, accordingly, the time of implementation of projects for the development of design documentation for ships. However, this complicates the solution of the problem of reliable assessment of the effort of work in time management of projects for the development of design documentation.

Thus, the reduction of effort, in turn, makes it an urgent task to increase the reliability of the assessment of effort of work at all stages of the project development of ship design documentation. The solution of this problem is complicated by the influence of unforeseen random factors on the effort of projects for the development of ship design documentation.

The dissertation solves the current scientific and applied problem of increasing the reliability of estimating the effort of work on the development of ship design documentation under the influence of unforeseen random factor by building mathematical models of effort based on bivariate Johnson normalizing transform of the S_B family. Such mathematical models can further increase the reliability of estimating the duration of work in time management in projects for the development of ship design documentation. The advantage of the proposed solution is that the assessment of effort is based on statistical data of completed projects of development of ship design documentation in contrast to existing methods and models of effort assessment based on the own experience of project managers.

The dissertation solves the current scientific and applied problem of increasing the reliability of estimating the effort of work on the development of ship design documentation under the influence of unforeseen random factor by building mathematical models of effort based on bivariate Johnson normalizing transform of the S_B family. Such mathematical models can further increase the reliability of estimating the duration of work in time management in projects for the development of ship design documentation. The advantage of the proposed solution is that the assessment of effort is based on statistical data of completed projects of development of ship design documentation, in contrast to existing methods and models of effort assessment based on the own experience of project managers.

During the study, the analysis of time management processes of projects for the development of ship design documentation in shipbuilding design bureaus and determined that the effort of the work is the basic value in time management projects for the development of design documentation. It was found that in practice, the assessment of the complexity of the work is performed by project managers based on their own experience. However, project managers do not always have sufficient experience in designing specific types of ships. This is one

of the reasons for the low reliability of the assessment of the effort of the work and, accordingly, causes the excess of contractual terms of projects.

The analysis of existing methods and models for estimation of effort of work at time management of projects for the development of ship design documentation is carried out. It has been found that known methods and models for estimating the effort of work use estimates that are assigned mostly by one person and can sometimes be erroneous. Therefore, it is proposed to estimate the effort of the development of ship design documentation using statistical data of completed projects by constructing nonlinear regression equations and nonlinear regression models of effort.

The formalization of the tasks of the dissertation research and the main directions of their solution. To choose the normalizing transformations for the normalization of the bivariate non-Gaussian vector of labor intensity. Build mathematical models for the transformed prediction ellipse based on the selected normalizing transformation to remove two-dimensional data emissions from the two-dimensional non-Gaussian vector of labor intensity. To construct the equation of nonlinear regression of labor intensity of works on development of design documentation of sections of hulls of vessels depending on weight of these sections on the basis of the chosen to normalize transformation. To build a nonlinear regression model of labor intensity of works on development of design documentation of sections of hulls of vessels depending on weight of these sections on the basis of the chosen to normalize transformation. A method for estimating the average complexity of work on the development of design documentation for ships and its application in time management of projects for the development of design documentation for ships to develop. To develop a method for estimating the complexity of work on the development of design documentation of ships, as a random variable, and its application in time management of projects for the development of design documentation of ships.

As a result of the conducted researches the non-Gaussian probabilistic model of labor intensity of works on development of design documentation of

sections of hulls and weight of these sections on the basis of function of density of probability of two-dimensional distribution of Johnson of S_B family is constructed. This model allows us to take into account the real nature of the distribution of two-dimensional empirical data and the correlation between them and to better normalize the empirical data compared to existing models based on the densities of one-dimensional distributions. The use of this model allows to further increase the reliability of estimating the complexity of work and, accordingly, the reliability of estimating the time of work.

The equation of the transformed prediction ellipse for the two-dimensional non-Gaussian vector of labor intensity of work on development of design documentation of ship hull sections and mass of these sections on the basis of two-dimensional normalizing Johnson transformation of S_B family is improved. This allows to determine the presence of two-dimensional emissions in such non-Gaussian data sets without assuming their normal distribution and, further, to increase the reliability of estimating the complexity and, accordingly, the duration of work on the design documentation of ship hull sections.

A nonlinear regression equation is constructed to estimate the complexity of work on the development of design documentation for hull sections depending on the mass of these sections based on the two-dimensional normalizing Johnson transform of the S_B family and confidence intervals and intervals for predicting nonlinear regression. This allows to increase the reliability of estimating the average complexity of work and, accordingly, the average time of work.

A nonlinear regression model for estimating the complexity of work on the development of design documentation for hull sections based on a two-dimensional normalizing Johnson transform of the S_B family is constructed. The use of this regression model allows to increase the reliability of estimating the complexity of work and the corresponding time of work on the development of design documentation.

The results of constructing a nonlinear regression equation and a nonlinear regression model for estimating the complexity of work based on two-

dimensional Johnson transformation of the S_B family are compared with the results of constructing a nonlinear regression for estimating the complexity of work on developing design documentation for ship hull sections based on one-dimensional normalizing transformations. It was found that the use of two-dimensional Johnson normalizing transformation improves the quality criteria of nonlinear regression MMRE and Pred (0.25) in comparison with the use of one-dimensional normalizing transformations.

The nonlinear regression equation and its confidence interval limits are improved on the basis of two-dimensional normalizing Johnson normalization of the S_B family to estimate the complexity of work on the development of design documentation for hull sections, which increases the reliability of estimating the sample average labor intensity depending on the mass of these sections. obtained by one-dimensional normalizing transformations.

The equation of the boundaries of the nonlinear regression prediction interval based on the two-dimensional normalizing Johnson transform of the S_B family has been improved to estimate the complexity of work on the development of design documentation for hull sections, which reduces the width of this interval compared to the corresponding equations obtained by one-dimensional normalizations. As a result of reducing the width of the prediction interval, the reliability of estimating the complexity of the work on the development of design documentation and, accordingly, the time of these works increases.

A method for estimating the average labor intensity in time management of projects for the development of design documentation of ships using a nonlinear regression model of labor intensity and confidence intervals based on the two-dimensional Johnson transformation of the S_B family, an example of its use. A method for estimating labor intensity as a random variable in time management of ship design documentation projects using a nonlinear regression model of labor intensity and nonlinear regression prediction intervals based on two-dimensional normalizing Johnson transform of the S_B family is developed, and an example of its use is given.

Keywords: project time management; nonlinear regression model; effort; bivariate Johnson normalizing transformation; design documentation of vessels.

Список публікацій здобувача за темою дисертації.

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Приходько, С.Б. Модели и методы управления временем в проектах разработки конструкторской документации судна / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2011. – № 1 (436). – С. 149–154.

2. Приходько, С.Б. Выбор нормализующего преобразования для оценки продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судна / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2011. – № 4 (439). – С. 140–145.

3. Приходько, С.Б. Интервальное оценивание отклонений продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судов. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Международный журнал об инновациях в судостроении «Shipbuilding & Marine Infrastructure (Судостроение и морская инфраструктура)». – Миколаїв: НУК, 2014. – № 2(2). – С. 103–110. (Вид. включено до МНБ: Crossref, BASE, Index Copernicus International).

4. Приходько С.Б. Побудова трансформованих еліпсів передбачення на основі нормалізуючих перетворень для двомірних негаусових даних. / С. Б. Приходько, Н. В. Приходько, О.О. Кудін, Т.Г. Смикодуб // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон: ХНТУ, 2017. – № 21. – С. 134–138.

5. Prykhodko S.B. Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate normalizing transformations. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, L.M. Makarova, O.O. Kudin, T.G. Smykodub. // Вісник

Херсонського національного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип. 3(62). – Т. 1. – С.333–337.

6. Приходько, Н.В. Нелінійна регресійна модель для оцінювання трудомісткості робіт в суднобудівних проектах на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона / Н.В. Приходько, Л.М. Макарова, О.О. Кудін // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Київ: Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2019. – Том 30(69) № 3. – С 148–152. – ISSN: 2663–5941

7. Приходько, Н.В. Математичні моделі для оцінювання трудомісткості розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного перетворення Джонсона / Н.В. Приходько, О.О. Кудін // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Київ: Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2019. – Том 30(69) № 4. – С. 106–111. ISSN: 2663-5941

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/ або Європейського Союзу:

8. Кудін, О.О. Підвищення достовірності оцінювання тривалості робіт за методом PERT на основі регресійного аналізу / О.О. Кудін // Slovak international scientific journal. - Bratislava, 2020. – № 46, VOL.1. – pp. 4-8. – ISSN 5782–5319 (Вид. включено до МНБ: Scientific Indexing Services, International Scientific Indexing)

Статті, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9. Приходько, С.Б. Побудова рівняння трансформованого еліпсу передбачення за даними тривалості розробки 3D-моделей секцій корпусів

суден / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.О. Кудін, Д.В. Кошовий // Геометричне моделювання та інформаційні технології: науковий журнал. – № 2 (4), жовтень 2017. Миколаїв: МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2017. – С. 79–83.

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Приходько, С.Б. Модификация метода PERT на основе нормализующих преобразований для управления временем в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Управління проектами: стан та перспективи. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції (Миколаїв, 20 – 23 вересня 2011 р.). – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 255–257.

11. Приходько, С.Б. Оцінювання тривалості робіт на основі нормалізуючих перетворень для управління часом у проектах розробки конструкторської документації судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Інновації в суднобудування та океанотехніці: Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції (Миколаїв, 5 – 7 жовтня 2011 р.). – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 635-637.

12. Приходько, С.Б. Оценка доверительных интервалов продолжительности работ в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. (Миколаїв, 23 – 25 травня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 28–30.

13. Приходько, С.Б. Применение оценок доверительных интервалов продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика: матеріали міжнародної

науково-практичної конференції. (Миколаїв, 14 – 16 червня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 123–127.

14. Приходько, С.Б. Використання перетворення Джонсона при оцінюванні тривалості операцій в проектах розробки конструкторської документації судна. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції (Миколаїв, 18 – 21 вересня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 162-163.

15. Приходько, С.Б. Интервальная оценка продолжительности операций в проектах разработки конструкторской документации судна на основе преобразований Джонсона. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали III міжнародної науково-технічної конференції (Миколаїв, 4 – 6 жовтня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 592–594.

16. Приходько, С.Б. Интервальное оценивание отклонений продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Автоматика/ Automatics-2013: матеріали XX міжнародної конференції з автоматичного управління (Миколаїв, 25–27 вересня 2013 р.). – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 316–317.

17. Приходько, С.Б. Интервальное оценивание отклонений продолжительности работ для управления временем рабочего проекта судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції (Миколаїв, 9–11 жовтня 2013 р.). – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 494–496.

18. Приходько, С.Б. Оценивание трудоемкости работ в проектах разработки конструкторской документации судов при воздействии непрогнозируемых возмущающих факторов. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали X міжнародної

науково-практичної конференції. (Миколаїв, 16–19 вересня 2014 р.). – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 226–229.

19. Приходько, С.Б. Автоматизированная система управления временем в проектах разработки конструкторской документации судов. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. (Черкаси, 16–20 березня 2015 р.). – Черкаси, 2015. – С. 71–73.

20. Приходько, С.Б. Побудова нелінійного регресійного рівняння для оцінювання тривалості розробки 3D-моделей секцій корпусів суден. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.А. Кудин // Проблеми моделювання та розробки інформаційних систем: матеріали II науково-практичної інтернет-конференції (Дрогобич, 20 травня 2017 року). – Дрогобич: ДДПУ ім. І. Франка, 2017. – С. 65–69.

21. Prykhodko, S.B. Detecting outliers in bivariate non-gaussian data on the basis of normalizing transformations. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, O.O. Kudin, N.G. Smykodub // VI Міжнародна науково-практична конференція «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвячена пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. (Черкаси, 24–26 травня 2017 р.). – Черкаси: ЧДТУ, 2017. – С. 131–133.

22. Prykhodko, S.B. Detecting bivariate outliers on the basis of normalizing transformations for non-Gaussian data. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, L.M. Makarova, O.O. Kudin, T.G. Smykodub, A.S. Prykhodko // Advanced Information Systems and Technologies. Proceedings of the V International Scientific Conference, Sumy, Ukraine, May 17–19, 2017. pp. 95–97.

23. Prykhodko, S.B. Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate bijective normalizing transformations. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, L.M. Makarova, O.O. Kudin, T.G. Smykodub, // XVIII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-

2017) [Збірка тез (18–22 вересня 2017 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2017. – С.83–84.

24. Приходько, С.Б. Оцінювання тривалості робіт при управлінні часом в проектах розробки конструкторської документації корпусів суден. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи. Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С.53–55.

25. Приходько, С.Б. Нелінійні регресійні моделі оцінювання тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С.366–367.

26. Приходько, С.Б. Побудова рівняння трансформованого еліпсу передбачення за даними тривалості робіт з розробки 3D-моделей секцій корпусів суден. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.О. Кудін, Д.В. Кошовий // Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів: матеріали II-ої всеукраїнської науково-практичної конференції (18-20 жовтня 2017 р., м. Миколаїв). – Миколаїв: МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2017. – С.36–37

27. Приходько, С.Б. Нелінійна регресійна модель тривалості розробки конструкторської документації суден на основ перетворення Джонсона. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2018. – С.91-93.

28. Приходько, С.Б. Нелінійна регресійна модель на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B . / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2018. – С.388

29. Приходько, С.Б. Комп'ютерне моделювання залежної негаусівської випадкової величини за нелінійною регресійною моделлю на основі нормалізуючого перетворення. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.О. Кудін // Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. Черкаси: ЧДТУ, 2019. С. 176 – 178.

30. Приходько, С.Б. Оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом в проектах розробки конструкторської документації суден / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – 108 с. – С.98-99

31. Приходько, С.Б. Підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт за методом PERT на основі двовимірного перетворення Джонсона / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. у 2 томах. Т. 2. — Миколаїв : НУК, 2020. — С. 156–161

ЗМІСТ

ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1 ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ ПРИ УПРАВЛІННІ ЧАСОМ ПРОЕКТІВ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН.....	35
1.1 Оцінювання трудомісткості робіт, як базовий процес управління часом проектів розробки конструкторської документації суден.....	35
1.2 Аналіз існуючих методів і моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден і напрями їх удосконалення.....	44
1.3 Обґрунтування необхідності проведення досліджень.....	50
1.4 Висновки за розділом 1	52
РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА НЕГАУСІВСЬКОЇ ЙМОВІРНІСНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН	54
2.1 Нормалізуючі перетворення та щільності ймовірності Джонсона	54
2.2 Побудова негаусівської ймовірнісної моделі для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден.	62
2.3 Побудова трансформованого еліпса передбачення для вилучення викидів двовимірного вектора трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден	66
2.4 Висновки за розділом 2	70
РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА НЕЛІНІЙНИХ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН	72
3.1 Побудова рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B	72

3.2 Побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B	83
3.3 Порівняння результатів побудови нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B з результатами побудови нелінійних регресійних моделей на основі одновимірних перетворень.....	89
3.4 Висновки за розділом 3	101
РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН.....	103
4.1 Методика оцінювання середньої трудомісткості робіт та її застосування для управління часом проектів з розробки конструкторської документації суден	103
4.2 Методика оцінювання трудомісткості робіт, як випадкової величини, та її застосування при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден	112
4.3 Використання методик оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден для оцінювання середньої трудомісткості за методом PERT	115
4.3 Висновки за розділом 4	119
ВИСНОВКИ	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	125
ДОДАТОК А ЕМПІРИЧНІ ДАНІ ПРО ТРУДОМІСТКІСТЬ РОБІТ В ПРОЕКТАХ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН.....	136
Таблиця А.1 –Проект двокорпусного дослідницького судна CV-982 (Компанія «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»).	137
Таблиця А.2 – Проект контейнеровозу CV-1800 (Компанія «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»).....	140

ДОДАТОК Б АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	
.....	143
Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничу практику ТОВ «Марін Дизайн Інжинірінг Миколаїв»	144
Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничу практику ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»	145

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

В наш час спостерігається постійне зростання міжнародних морських вантажоперевезень. Наприклад, за даними Конференції організації об'єднаних націй із торгівлі і розвитку UNCTAD (Огляд морського транспорту за 2018 рік) [1] об'єм вантажоперевезень з 2000 року по 2017 рік збільшився у 1,8 рази і склав у 2017 році 10702 мільйони завантажених тон. Відповідно, збільшення вантажоперевезень вимагає будівництва нових суден. Наприклад, у 2017 році було побудовано основних типів суден об'ємом у 64984 тисяч брутто-регістрових тон [1]. Зростаючі потреби у нових суднах є однією з основних причин скорочення строків на їх проектування і будівництво, що, відповідно, обумовлює необхідність удосконалення моделей і методів управління проектами розробки конструкторської документації суден. Теоретичні і практичні результати досліджень з управління проектами представлені в роботах українських і закордонних вчених: С.Д. Бушуєва, В.Н. Буркова, В.В. Кононенка, Н.С. Бушуєвої, Р. Арчибальда, В.М. Аньшина, Д.А. Новікова, В.А. Рача, К.В. Кошкіна, С.К. Чернова, Ю.М. Харитонова, Ю.П. Шарова, й ін. Але існуючі методи і моделі управління проектами, зокрема методи і моделі управління часом проектів розробки конструкторської документації суден, не завжди дозволяють виконати зазначені проекти в заплановані строки. Наявність випадків перевищення запланованих строків проектів вимагає створення і використання найновіших методів і моделей управління проектами будівництва суден, зокрема методів і моделей управління часом таких проектів.

Проект будівництва сучасного судна складається, як правило, з наступних етапів:

- виникнення потреби та ініціація проекту будівництва судна;

- проектування судна і передача технічної документації суднобудівній компанії;
- будівництво судна і передача його в експлуатацію.

Якщо розглядати етап проектування судна і передача технічної документації суднобудівній компанії, то його можна поділити на наступні проекти: базовий проект; клас-проект; проект розробки конструкторської документації (КД) судна.

Для прискорення початку будівництва нових суден замовники намагаються скоротити, як правило, саме строки виконання проекту розробки конструкторської документації. А це, в свою чергу, потребує точного планування тривалості робіт та розкладу проекту. Відомо, що тривалість робіт у проекті можна визначити на основі трудомісткості цих робіт. Тому підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден є актуальною проблемою, вирішення якої дозволяє скласти достовірний розклад проекту розробки конструкторської документації судна і, як результат, не перевищити час та бюджет проекту.

Наявність сучасних тривимірних САПР, розроблених для суднобудування, дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці конструкторів і скоротити строки виконання проектів розробки КД суден. Але управління часом таких проектів є складною задачею. Її складність може бути обумовлена стиснутими строками виконання значного обсягу робіт, малим досвідом проектування конкретних типів суден, недостатньою кількістю інженерів-конструкторів потрібної кваліфікації та багатьма іншими параметрами. Для успішного вирішення цієї задачі необхідно мати достовірні оцінки трудомісткості робіт з розробки КД суден, що дозволить своєчасно завершити окремі роботи і проект в цілому. Існуючі методи і математичні моделі оцінювання трудомісткості робіт, ґрунтовані на теорії управління проектами [2–12], не завжди дозволяють отримати оцінки з достатнім рівнем достовірності.

В деяких проектах розробки КД суден (див. додаток А) спостерігаються випадки низької достовірності оцінюванні планової трудомісткості робіт які призводять до збільшення фактичної трудомісткості проектів. Існує декілька причин, якими можна пояснити низьку достовірність оцінювання трудомісткості робіт.

По-перше, оцінювання трудомісткості робіт в проектах розробки КД суден в суднобудівних проектно-конструкторських бюро (СПКБ) виконують менеджери з управління проектами основних підрозділів (корпус, обладнання та трубопроводи, електрообладнання і автоматика) на основі власного досвіду. В деяких випадках у них недостатньо власного досвіду для достовірного оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД відповідних типів суден.

По-друге, достовірність оцінювання планової трудомісткості робіт залежить від врахування впливу випадкових факторів. Виникнення випадкових факторів пов'язано, перш за все, з діями людей. До випадкових факторів можна віднести такі фактори, як: затримки передачі вхідної інформації з СПКБ-партнерів; зміна вимог до типів обладнання судна або номенклатури обладнання; випадки заміни виконавців окремих робіт на конструкторів з іншою кваліфікацією або досвідом проектування та багато інших подій. Особливістю появи тих або інших випадкових факторів є те, що їх неможливо передбачити заздалегідь.

По-третє, при оцінюванні планової трудомісткості робіт іноді важко визначити конструктивну складність і кількість елементів конструктивного блоку судна, а також кількість операцій при формуванні 3D-моделі блоку і оформленні іншої конструкторської документації.

Наявність вище означених причин низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден вказує на необхідність удосконалення існуючих або створення нових методів і математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт, які дозволять підвищити достовірність такого оцінювання.

На сьогодні відомо п'ять методів оцінювання трудомісткості робіт [13]: експертний метод; оцінювання за аналогами; оцінювання за трьома точками (метод PERT); параметричне оцінювання та аналіз резервів. Кожний з цих методів має свої недоліки, які також можуть бути причинами низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт. Наприклад, при оцінюванні трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусу контейнеровозу експертним методом було отримано значення планової трудомісткості проекту 2281 година, а фактична трудомісткість склала 2981 годину (Додаток А, табл. А.2). Тобто перевищення трудомісткості проекту становить 700 годин або 31% від запланованої трудомісткості.

Наведені вище причини і приклад низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден показують, що створення математичних моделей для підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден є актуальним завданням.

Одним зі способів підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден є побудова регресійних моделей трудомісткості робіт з використанням даних про трудомісткість у виконаних проектах. Такі регресійні моделі, скоріш за все, будуть нелінійними, тому що вхідні дані для побудови математичних моделей є негаусівськими [14–20].

При побудові нелінійних регресійних моделей використовують два підходи. Або методом звичайного перебору підбирають таку функцію, яка б могла бути наближенням рівнянням нелінійної регресії для вхідної вибірки. Або використовують спеціальні перетворення, які б приводили негаусівські вхідні дані до нормального розподілу, а, як відомо, переважна більшість статистичних методів оцінювання випадкових величин розроблена саме для нормального закону розподілу. В результаті такого перетворення нелінійний зв'язок між пояснюючими і залежною змінною рівняння регресії

перетвориться на близький до лінійного [17, 18]. Одним з таких перетворень може бути нормалізуюче перетворення Джонсона [15].

До складу математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден входять також цільові функції для вирішення задач оптимізації методом максимальної правдоподібності при пошуку параметрів нормалізуючого перетворення Джонсона.

Таким чином, темою дослідження є побудова математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден на основі нормалізуючого перетворення Джонсона, що дозволить підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт у таких проектах в порівнянні з наявними моделями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) відповідно до планів НДР з ініціативних тем:

- «Імовірнісне оцінювання тривалості робіт при плануванні і управління часом у проектах розробки конструкторської документації судна» (№ держ. реєстрації 0112U000669), автор був відповідальним виконавцем;
- «Побудова нелінійних регресійних моделей тривалості розробки конструкторської документації суден» (№ держ. реєстрації 0117U003362), автор був відповідальним виконавцем;
- «Визначення аномалій (викидів) в двовимірних негаусівських даних» (№ держ. реєстрації 0117U007281), автор був виконавцем окремого розділу.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден завдяки побудові математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона. Це дозволить підвищити достовірність визначення

тривалості робіт у порівнянні з відповідними моделями, які отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями, та забезпечить основу для завершення проекту у визначені строки.

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести порівняльний аналіз існуючих математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден та визначити їх переваги і недоліки.

2. Вибрати нормалізуюче перетворення для нормалізації двовимірних негаусівських даних про трудомісткість робіт у проектах розробки КД суден та побудувати ймовірнісні моделі трудомісткості робіт у проектах розробки КД секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона.

3. Побудувати рівняння трансформованого еліпсу передбачення для двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона, що дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у подібних наборах даних без припущення про їх нормальний розподіл.

4. Побудувати рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона.

5. Побудувати верхні і нижні границі довірчих інтервалів рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона без лінеаризації та припущення про нормальність емпіричних даних.

6. Побудувати верхні і нижні границі інтервалів передбачення рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт з

розробки КД секцій корпусів суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона без лінеаризації та припущення про нормальність емпіричних даних.

7. Побудувати нелінійні регресійні моделі для оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона.

8. Розробити методику оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД та її застосування при управлінні часом проектів розробки КД суден за нелінійною регресійною моделлю трудомісткості робіт.

9. Розробити методику оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД, як випадкової величини, та її використання при управлінні часом проектів розробки КД суден за нелінійною регресійною моделлю трудомісткості робіт. Перевірити на адекватність отримані результати.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

Предмет дослідження – математичні моделі для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

Гіпотезою дослідження є твердження, що підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден досягається за рахунок застосування нелінійних регресійних моделей, які дозволяють описувати зазначену трудомісткість, як випадкову величину. Для побудови нелінійних регресійних моделей трудомісткості робіт з розробки КД суден можна використати метод на основі двовимірних нормалізуючих перетворень Джонсона.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувались методи управління часом проектів, методи теорії ймовірності і математичної статистики, математичного програмування, інтервального аналізу, регресійного аналізу.

Методи управління часом проектів за методологією PMBOK [7] використовувались для оцінювання трудомісткості робіт по трьом точкам і порівняння результатів оцінювання з результатами, отриманими на основі двовимірного перетворення Джонсона.

Методи теорії ймовірності використовувались при аналізі двовимірних даних про трудомісткість робіт з розробки КД суден та визначення параметрів розподілів цих даних. Методи математичного програмування використано при нормалізації емпіричних даних та моделюванні значень трудомісткості робіт з розробки КД суден. Методи регресійного аналізу використовувались при побудові нелінійних регресійних моделей для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше побудовано негаусівську ймовірнісну модель для трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B , що дозволяє не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а надалі провести кращу нормалізацію емпіричних даних у порівнянні з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів, а також в подальшому підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

Удосконалено рівняння трансформованого еліпса передбачення на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , яке побудовано для двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій, що дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у подібних наборах даних без припущення про їх нормальний розподіл, а

також в подальшому підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден.

Удосконалено рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт в залежності від маси секцій у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Використання зазначених оцінок вибіркового середнього трудомісткості робіт дозволяє, в свою чергу, підвищити достовірність оцінювання середніх часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

Удосконалено рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє зменшити ширину зазначеного інтервалу у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Вказане скорочення ширини інтервалу передбачення нелінійної регресії дозволяє, в свою чергу, підвищити достовірність оцінювання часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

Отримала подальший розвиток нелінійна регресійна модель на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , яку побудовано для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден і маси цих секцій, що дозволяє зменшити ширину інтервалів передбачення нелінійної регресії та, тим самим, підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден у порівнянні з наявними моделями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в результаті наукових досліджень математичні моделі були перевірені на реальних даних про трудомісткість робіт у проектах розробки КД суден у декількох СПКБ. Порівняння результатів розрахунків трудомісткості відповідних робіт з реальними даними показали високий рівень адекватності побудованих моделей.

Результати, висновки та рекомендації, що містяться в дисертаційній роботі схвалені та використовуються в: ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ» (акт впровадження від 24.12.2019 року) і ТОВ «МДЕМ» (акт впровадження від 23.12.2019 року). Математичні моделі для трудомісткості робіт з розробки КД суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона, запропоновані в роботі, були використані при створенні інженерної методики статистичної обробки емпіричних даних для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом у проектах розробки КД корпусів суден, що дозволило підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден в умовах впливу випадкових зовнішніх факторів та знизити незаплановані фінансові витрати при виконанні таких проектів.

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі програмного забезпечення автоматизованих систем, на кафедрі морського приладобудування, у навчально-дослідному інституті новітньої корабельної інженерії, Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею. Усі результати, викладені у роботі, отримані автором особисто. У роботах, що написані в співавторстві, автором особисто отримані наступні результати:

В [14] автору належить обґрунтування використання мережевої діаграми PERT для управління часом проектів розробки КД суден та модифікація математичної моделі оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден на основі трьох точок і β -розподілу трудомісткості робіт

на математичну модель оцінювання трудомісткості робіт на основі довірчих інтервалів трудомісткості робіт.

В [15] автору належить обґрунтування використання нормалізуючих перетворень Джонсона для оцінювання довірчих інтервалів математичного сподівання тривалості робіт в проектах розробки КД суден.

В [16] автору належить обґрунтування можливість використання довірчих інтервалів, побудованих на основі нормалізуючого перетворення Джонсона, для оцінювання відхилень трудомісткості робіт при управління часом проектів розробки КД суден.

В [17] автором отримано рівняння трансформованого еліпсу передбачення для двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у подібних наборах даних без припущення про їх нормальний розподіл.

В [18] виконано побудову рівняння нелінійної регресії для двовимірного негаусівського набору даних трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє урахувати кореляцію між трудомісткістю робіт і масою секцій та зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії.

В [19] автору належать наступні результати:

- побудовано нелінійну регресійну модель для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ;
- побудовано рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона

сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден;

– побудовано рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден;

В [20] побудовано негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден і маси цих секцій на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B , яка дає змогу не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а надалі провести кращу нормалізацію емпіричних даних порівняно з наявними моделями, побудованими на основі щільності одновимірних розподілів.

Апробація результатів. Основні теоретичні положення дисертаційної роботи і отримані з їх використанням практичні результати доповідались і обговорювались на наступних конференціях: VII, VIII, X, XIII, XIV, XV Міжнародних науково-практичних конференціях «Управління проектами: стан та перспективи» (м. Миколаїв, 2011, 2012, 2014, 2017, 2018, 2019 рр.); II, III, IV, VIII, IX, XI Міжнародних науково-технічних конференціях «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (м. Миколаїв, 2011, 2012, 2013, 2017, 2018, 2020 рр.); Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (м. Миколаїв, 2012 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика» (м. Миколаїв, 2012 р.); XX Міжнародній конференції з автоматичного управління «АВТОМАТИКА/ AUTOMATICS-2013» (м. Миколаїв, 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній Internet-конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку» (Черкаси, 2015 р.); II науково-

практичній Internet-конференції «Проблеми моделювання та розроблення інформаційних систем» (Дрогобич, 20 травня 2017 р.) VI, VII Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій пам'яті професора Ю.П. Кунченка «Обробка сигналів і негаусівських процесів» (Черкаси: ЧДТУ, 2017, 2019 рр.); V міжнародній науковій конференції «Передові інформаційні системи і технології, AIST–2017» (Суми, 17–19 травня, 2017 р.); XVIII Міжнародній конференції з математичного моделювання МКММ–2017 (Херсон, 18-22 вересня 2017 р.) II всеукраїнській науково-практичній конференції «Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів» (Миколаїв, 18-20 жовтня 2017 р.).

Публікації. Основні теоретичні результати дисертаційної роботи викладені в 7 статтях у фахових виданнях України та одній статті у періодичному науковому виданні Словацької республіки, яка входить до Європейського Союзу, також у 22 тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів з висновками, висновків, списку використаних джерел з 73 найменувань і 2 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 145 сторінок. Робота містить 18 рисунків, 11 таблиць. У додатках наведені допоміжні статистичні дані, документи про впровадження результатів роботи.

РОЗДІЛ 1

ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ ПРИ УПРАВЛІННІ ЧАСОМ ПРОЕКТІВ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН

1.1 Оцінювання трудомісткості робіт, як базовий процес управління часом проектів розробки конструкторської документації суден

В наш час спостерігається постійне зростання морських вантажоперевезень (табл. 1.1) [1]. Для забезпечення попиту у таких перевезеннях провідні суднобудівні країни постійно збільшують кількість нових суден, переданих замовникам. Наприклад, у 2017 році було побудовано суден загальним об'ємом 64984 тисяч брутто-реєстрових тон (табл. 1.2) [1]

Таблиця 1.1 – Динаміка міжнародних морських перевезень, окремі роки (млн. завантажених тон)

Рік	Сира нафта, нафтопродукти та газ	Основні масові вантажі	Інші сухі вантажі	Загалом (усі види вантажів)
2010	2772	2259	3378	8409
2011	2794	2392	3599	8785
2012	2841	2594	3762	9197
2013	2829	2761	3924	9514
2014	2825	2988	4030	9843
2015	2932	2961	4131	10024
2016	3055	3041	4193	10289
2017	3146	3196	4360	10702

Таблиця 1.2 – Постачання нових суден: основні типи суден та країни їх будівництва, 2017 год (тис. бр.-рег. т)

	Китай	Республіка Корея	Японія	Філіппіни	Інші країни світу	Усі країни світу
Нафтові танкери	5330	10859	1835	472	1213	19709
Балкери	11982	640	7713	480	236	21051
Судна для генеральних вантажів	588	75	186		233	1082
Контейнеровоз и	3105	5873	1408	974	451	11811
Судна для скраплених газів	708	3973	439	52	12	5184
Танкери для хімічних продуктів	654	6	531		137	1328
Судна постачання морських платформ	409	473	145		647	1674
Пароми та пасажирські судна	166		197	1	1174	1538
Інші типи суден	395	609	482		121	1607
Усі судна	23337	22508	12936	1979	4224	64984

Зростаюча необхідність у збільшенні об'єму будівництва нових суден призводить до скорочення строків виконання проектів будівництва суден та вимагає покращення управління цими проектами в сучасних умовах.

Загалом, проект будівництва судна можна поділити на такі фази:

- прийняття рішення про будівництво судна, пошук виконавця і укладання контракту на будівництво;
- проектування судна і передача конструкторської документації на підприємство;
- будівництво судна і передача його замовнику.

В свою чергу, фазу проектування судна і передачі конструкторської документації на підприємство можна поділити на такі проекти:

- базовий проект;
- клас-проект;
- проект розробки конструкторської документації судна.

Як правило, замовник судна прагне скоротити весь час фази проектування судна, але, більш за все, це стосується проекту розробки конструкторської документації. Відповідно, стиснутий строк проекту розробки КД потребує підвищеної уваги до процесів управління часом цього проекту.

В наш час управління проектами, у тому числі проектами розробки КД суден, виконується за міжнародними стандартами. Одним з таких стандартів є «Керівництво до зводу знань із управління проектами (Керівництво PMBOK®)» [13]. Відповідно до [13] усі процеси управління проектами розподілені на групи процесів управління та області знань з управління проектами. На сьогодні існує п'ять груп процесів управління (група процесів ініціації, група процесів планування, група процесів виконання, група процесів моніторингу і управління, група процесів завершення) та дев'ять областей знань з управління проектами (управління інтеграцією, управління змістом, управління часом, управління вартістю, управління якістю, управління людськими ресурсами, управління комунікаціями, управління ризиками, управління закупками). В табл. 1.3 показано взаємозв'язок між групами процесів управління проектами та областями знань з управління проектами [13].

Таблиця 1.3 – Розподіл процесів управління проектами по областям знань і групам [13]

Области знаний	Группы процессов управления проектом				
	Группа процессов инициации	Группа процессов планирования	Группа процессов исполнения	Группа процессов мониторинга и управления	Группа процессов завершения
4. Управление интеграцией проекта	4.1 Разработка Устава проекта	4.2 Разработка плана управления проектом	4.3 Руководство и управление исполнением проекта	4.4 Мониторинг и управление работами проекта 4.5 Осуществление общего управления изменениями	4.6 Завершение проекта или фазы
5. Управление содержанием проекта		5.1 Сбор требований 5.2 Определение содержания 5.3 Создание ИСР		5.4 Подтверждение содержания 5.5 Управление содержанием	
6. Управление сроками проекта		6.1 Определение операций 6.2 Определение последовательность и операций 6.3 Оценка ресурсов операций 6.4 Оценка длительности операций 6.5 Разработка расписания		6.6 Управление расписанием	
7. Управление стоимостью проекта		7.1 Оценка стоимости 7.2 Определение бюджета		7.3 Управление стоимостью	
8. Управление качеством проекта		8.1 Планирование качества	8.2 Обеспечение качества	8.3 Контроль качества	
9. Управление человеческими ресурсами проекта		9.1 Разработка плана управления человеческими ресурсами	9.2 Набор команды проекта 9.3 Развитие команды проекта 9.4 Управление командой проекта		
10. Управление коммуникациями проекта	10.1 Определение заинтересованных сторон	10.2 Планирование коммуникаций	10.3 Распределение информации 10.4 Управление ожиданиями заинтересованных сторон	10.5 Подготовка отчетов об исполнении	
11. Управление рисками проекта		11.1 Планирование управления рисками 11.2 Идентификация рисков 11.3 Качественный анализ рисков 11.4 Количественный анализ рисков 11.5 Планирование реагирования на риски		11.6 Мониторинг и управление рисками	
12. Управление закупками проекта		12.1 Планирование закупок	12.2 Осуществление закупок	12.3 Управление закупочной деятельностью	12.4 Закрытие закупок

Після виконання групи процесів ініціації проекту розробки КД судна виконується група процесів планування проекту, яка охоплює практично усі області знань з управління проектами (табл. 1.3, рис. 1.1). Результати виконання процесів цієї групи є основою для своєчасного завершення робіт проекту без перевищення його бюджету.

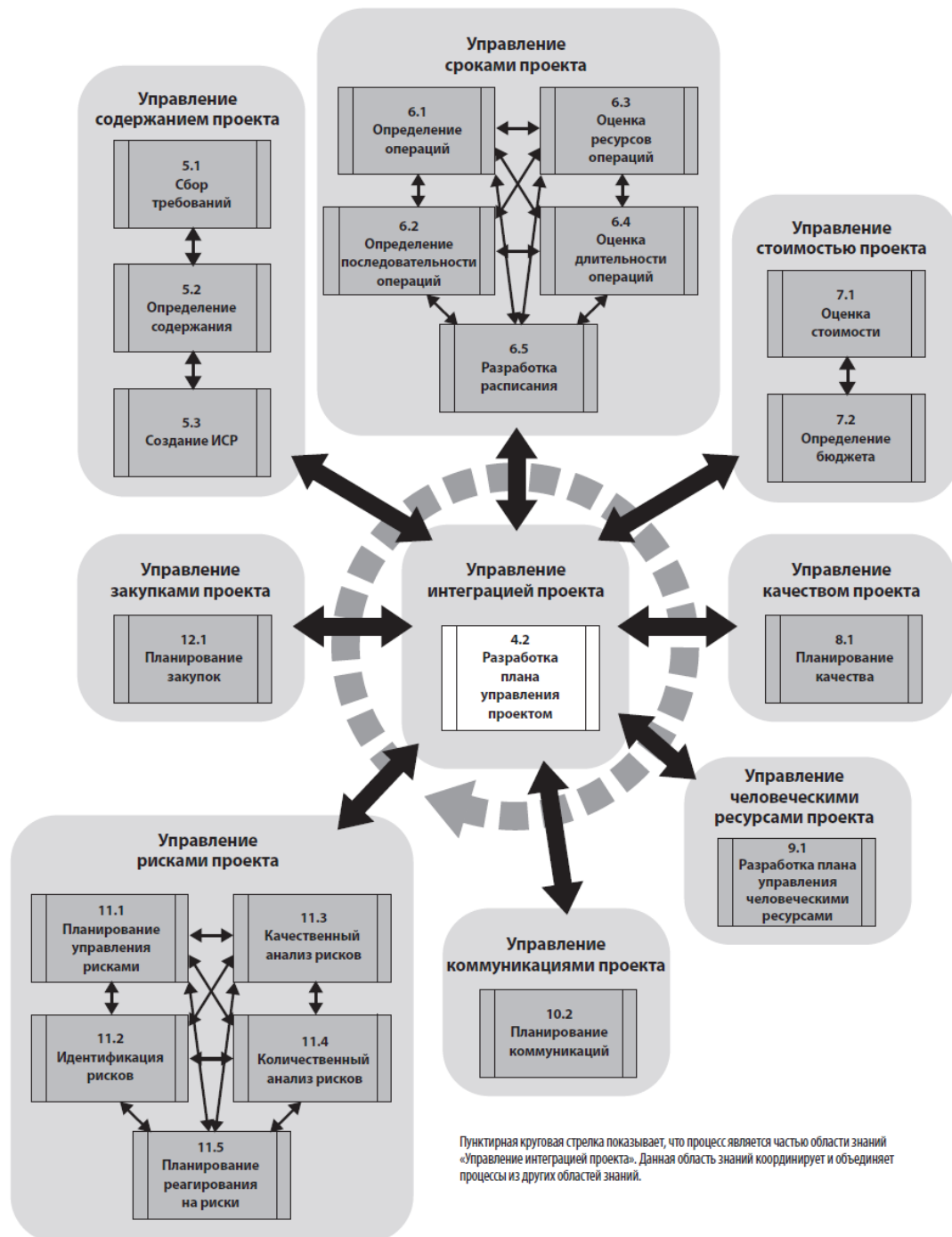


Рисунок 1.1 – Группа процесів планування проекту [13]

При плануванні проекту розробки КД судна важливе значення мають процеси, які відносяться до області знань «Управління часом проекту» (рис. 1.2) [13]. Метою виконання цих процесів є отримання розкладу проекту з достовірними оцінками часових інтервалів кожної роботи і проекту в цілому та управління цим розкладом.

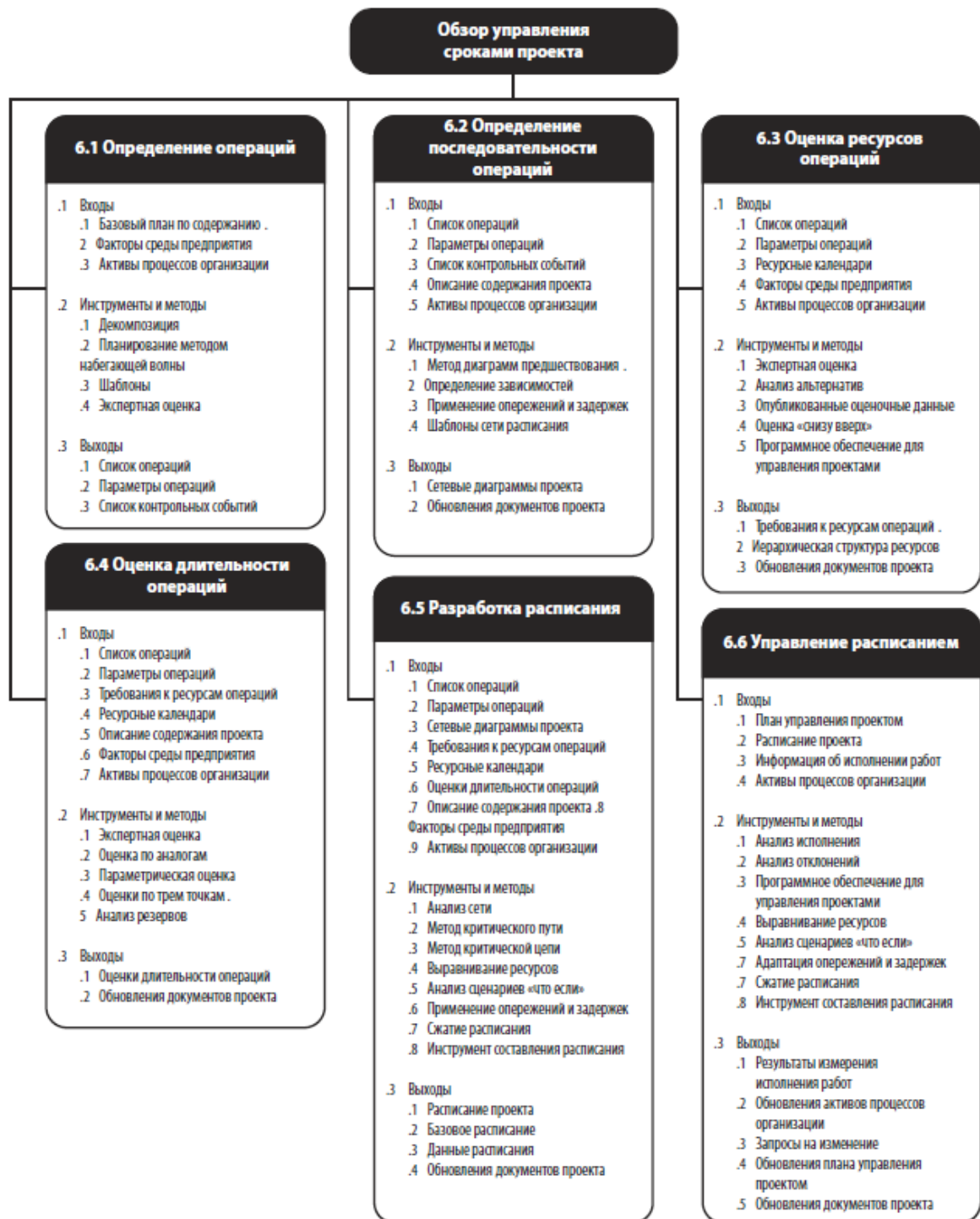


Рисунок 1.2 – Загальна схема управління часом проекту [13]

При плануванні розкладу проекту розробки КД судна використовують оцінки часу робіт, отримані в результаті виконання процесу «6.4 Оцінювання часу робіт» (рис. 1.2, 1.3). Відповідно до [13] «Оцінювання часу робіт – це процес приблизного визначення кількості робочих періодів, які ймовірно знадобляться для виконання окремих робіт при запланованих ресурсах». А кількість робочих періодів напряму залежить від трудомісткості робіт. Отже, основою для отримання оцінок часу робіт є оцінки трудомісткості робіт з розробки КД суден. Зрозуміло, що висока достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден при плануванні розкладу проекту дозволяє зменшити ймовірність виникнення випадків перевищення трудомісткості робіт на етапі виконання проекту. Тобто, можна стверджувати, що вирішення задачі достовірного оцінювання трудомісткості робіт дозволяє отримати достовірні оцінки часу робіт і, відповідно, отримати достовірний розклад проекту з розробки КД судна.



Рисунок 1.3 – Блок-схема даних при оцінюванні часу робіт [13]

Згідно [13] задачу достовірного оцінювання трудомісткості робіт можна вирішити використанням математичних моделей, які входять до складу наступних методів:

- експертне оцінювання;
- оцінювання за аналогами;
- параметричне оцінювання;
- оцінювання по трьом точкам;
- аналіз резервів.

Але використання зазначених моделей і методів при плануванні розкладу проекту розробки КД судна може привести до зниження достовірності оцінювання трудомісткості робіт. По-перше, це обумовлено складністю проектування сучасних суден і розробки конструкторської документації у тому числі. По-друге, в сучасних проектних організаціях розробляються проекти для різних типів суден, які мають суттєві конструктивні відмінності, а це не дозволяє менеджерам з управління проектами отримати достатній досвід або накопичити нормативну базу підприємства для попереднього оцінювання трудомісткості робіт.

Отже, задача оцінювання трудомісткості робіт є складовою процесів управління часом проектів розробки КД суден. Вона вирішується при плануванні розкладу проекту, а отримані оцінки трудомісткості робіт використовуються для обчислення часу виконання робіт. В свою чергу, достовірні оцінки часу виконання робіт дозволяють отримати достовірну оцінку часу виконання проекту і розробити обґрунтований розклад проекту.

Слід зазначити, що проекти розробки КД суден мають ряд відмінностей, які не дозволяють використовувати в повному обсязі існуючі методи і моделі управління часом взагалі та, в тому числі, моделі оцінювання трудомісткості робіт, що призводить до низької достовірності оцінювання часу робіт. До таких відмінностей можна віднести наступні відмінності.

Складність об'єкту проектування. Сучасні морські транспортні та спеціалізовані судна можна вважати одними з самих складних і наукоємних об'єктів для проектування і виготовлення. Корпуси суден і їх надбудови – це найскладніші металоконструкції, які насичені електрообладнанням, трубопроводами, судовими системами і механізмами. Вочевидь, проектувальнику необхідно виконати великий об'єм робіт за короткий відрізок часу.

Врахування специфіки суднобудівної верфі. В процесі розробки КД судна враховується технологічне оснащення суднобудівної верфі на якій буде будуватись судно, а це впливає на об'єм і перелік конструкторських документів та, відповідно, на трудомісткість робіт з розробки КД.

Вплив випадкових факторів. При оцінюванні трудомісткості робіт з розробки КД судна менеджер проекту повинен враховувати можливість впливу випадкових факторів на строки виконання робіт. До випадкових факторів можна віднести:

- затримки з передачею вхідних даних для розробки КД від генерального замовника КД;
- зміни в технічному завданні, які вносяться в процесі розробки КД і викликають необхідність переробки випущеної документації;
- зміни у складі виконавців робіт та ін.

Відповідно, менеджери з управління проектами повинні враховувати вищезазначені відмінності при оцінюванні трудомісткості робіт з розробки КД.

Таким чином, наявність специфічних відмінностей у проектах розробки КД суден не дозволяє використовувати існуючі методи і моделі для оцінювання часу робіт з розробки КД суден у повному обсязі і, відповідно, для оцінювання трудомісткості цих робіт, що робить актуальним вирішення задачі удосконалення або створення нових моделей для оцінювання трудомісткості робіт.

1.2 Аналіз існуючих методів і моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден і напрями їх удосконалення

Як вже зазначалось у п.1.1, наявність специфічних відмінностей у проектах розробки КД суден не дозволяє використовувати у повному обсязі існуючі моделі і методи оцінювання трудомісткості робіт у таких проектах. Проведення аналізу існуючих методів оцінювання трудомісткості робіт дозволяє визначити недоліки існуючих методів і визначити напрями їх удосконалення.

На сьогодні відомо п'ять методів оцінювання трудомісткості робіт [13]: експертний метод; метод оцінювання за аналогами; метод оцінювання за трьома точками (PERT); метод параметричного оцінювання; метод аналізу резервів. Але не всі ці методи можна використовувати для оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден.

Експертний метод оцінювання трудомісткості робіт. Експертний метод оцінювання використовується у тих випадках, коли складно або зовсім неможливо отримати кількісні оцінки при безпосередньому вимірюванні параметрів, наприклад, при вирішенні задач прогнозування, планування, оперативного управління і контролю. В методі експертного оцінювання можна виділити дві основні задачі [21]:

- генерування експертних оцінок;
- перевірка погодженості експертних оцінок і отримання середньої експертної оцінки.

Генерування експертних оцінок трудомісткості робіт може виконуватись методом мозкового штурму, методом Дельфи [22], методом анкетного опитування експертів, методом аналогій [23]. Але, частіше за все, генерування оцінок трудомісткості робіт з розробки КД суден виконує одна

людина – менеджер з управління проектом. Тому достовірність оцінок менеджера з управління проектів суттєво залежить від його виробничого досвіду.

Перевірка погодженості експертних оцінок і отримання середньої експертної оцінки може виконуватись статистичними методами робастного оцінювання даних, методами непараметричної статистики та ін. [24].

В проектах розробки КД суден методами експертного оцінювання можна визначити трудомісткість вирішення конструкторських задач (наприклад, розробка 3D-моделі секцій корпусу судна або випуск і корегування складального креслення) та скласти загальний календарний план проекту. Складання докладних календарних планів є проблематичним тому, що вимагає великої кількості кваліфікованих експертів і тривалого процесу обробки результатів експертизи. Крім того, в результаті використання експертних методів можуть виникати значні розбіжності між запланованою та фактичною трудомісткістю робіт. Наприклад, на розробку КД секцій корпусу двокорпусного дослідницького судна (Додаток А, таблиця А.1) була запланована трудомісткість у 6568 годин, а фактична трудомісткість дорівнювала 9566 годин. Тобто, фактична трудомісткість перевищила планову на 2998 годин або 46% від планової трудомісткості. Аналогічна відмінність була і при виконанні робіт з розробки КД секцій корпусу контейнеровозу (Додаток А, таблиця А.2). У цьому випадку була запланована трудомісткість у 2281 годин, а фактична трудомісткість дорівнювала 2981 годин. Тобто, фактична трудомісткість перевищила планову на 700 годин або 31% від планової трудомісткості.

Метод оцінювання за аналогами. Метод оцінювання за аналогами передбачає наявність різних нормативних документів: державних або галузевих стандартів; стандартів організацій; інших нормативних документів з різним ступенем укрупнення показників [25]. Як правило, основне місце в нормативній базі СПКБ займають стандарти, які відображають особливості оцінювання трудомісткості робіт у цьому

проектно-конструкторському бюро. Використання методу оцінювання за аналогами для отримання оцінок трудомісткості робіт з розробки КД суден пов'язано з проблемою вибору адекватних аналогів.

Метод оцінювання трудомісткості робіт по трьом точкам. Метод оцінювання трудомісткості робіт по трьом точкам є основною складовою методу PERT (Program Evaluation and Review Technique – метод оцінювання і аналізу програм) [2, 3]. В методі оцінки трудомісткості робіт по трьом точкам робиться припущення про випадкове значення трудомісткості робіт і приймаються три оцінки трудомісткості: найбільш ймовірна оцінка трудомісткості роботи – m ; оптимістична оцінка трудомісткості – a ; песимістична оцінка трудомісткості – b . В методі PERT робиться припущення, що розподіл трудомісткості роботи відповідає β -розподілу. На підставі такого припущення і трьох оцінок трудомісткості роботи обчислюється середня очікувана трудомісткості роботи T_o по формулі [3]:

$$T_o = \frac{a + 4m + b}{6}. \quad (1.1)$$

Для середньої очікуваної трудомісткості робіт також обчислюється дисперсія трудомісткості роботи D_o по формулі [3]:

$$D_o = \frac{(b - a)^2}{36} \quad (1.2)$$

Отже, маючи значення середньої очікуваної трудомісткості кожної роботи у проекті і побудувавши мережеву модель послідовності робіт можна визначити критичний шлях проекту. Тоді середня трудомісткість проекту буде дорівнювати сумі середніх трудомісткостей робіт, розташованих на критичному шляху проекту.

В методі PERT прийнято, що середня трудомісткість проекту має нормальний розподіл. Це припущення дозволяє визначити ймовірність виконання проекту або його частини у заданий термін. Для отримання значення ймовірності виконання проекту обчислюють кількість стандартних відхилень від середньої величини по формулі [3]:

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sigma_{T_E}}, \quad (1.3)$$

де T_S – сумарна трудомісткість робіт на критичному шляху;

T_E – сумарна трудомісткість виконання конкретної роботи і всіх попередніх робіт;

$\sigma_{T_E} = \sqrt{\sum D_{O_i}}$ – стандартне відхилення для проекту.

По значенню Z за допомогою статистичної таблиці [3, табл. А5-2] знаходять ймовірність виконання проекту в заплановані строки.

Таким чином, метод PERT враховує ймовірнісний характер трудомісткості робіт. Але розподіл трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден не завжди відповідає β -розподілу, а іноді розподіл трудомісткості робіт взагалі не можливо визначити. Наприклад, параметри розподілу трудомісткостей робіт з розробки КД секцій корпусів суден у проекті дослідницького судна (Додаток А, таблиця А.1) і у проекті контейнеровозу (Додаток А, таблиця А.2) мають такі значення (табл. 1.4). Наведені параметри розподілів трудомісткості робіт суттєво відрізняються від нормального розподілу.

Метод параметричного оцінювання. При використанні метода параметричного оцінювання трудомісткість роботи обчислюють як добуток трудомісткості елементарної виробничої операції помноженої на кількість елементарних виробничих операцій [25]. Такий метод, частіше за все, використовується при визначенні трудомісткості робіт на виробництві. Його використання для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні

часом проектів розробки КД суден може привести до отримання оцінок трудомісткості робіт з низькою достовірністю тому, що продуктивність труда конструктора залежить від множини об'єктивних та суб'єктивних факторів і не має фіксованого числового значення.

Таблиця 1.4. – Параметри розподілу трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден у проекті дослідницького судна (Додаток А, таблиця А.1) і у проекті контейнеровозу (Додаток А, таблиця А.2)

Параметри розподілу	Проекті дослідницького судна (Додаток А, таблиця А.1)		Проект контейнеровозу (Додаток А, таблиця А.2)	
	Планова трудомісткість	Фактична трудомісткість	Планова трудомісткість	Фактична трудомісткість
Середнє	119,4182	173,9273	42,2407	55,2037
Дисперсія	6669,9888	9718,4947	317,9976	941,4215
Стандартне відхилення	81,67	98,5824	17,8325	30,6826
Асиметрія	2,6684	0,4781	0,6089	0,4956
Ексцес	12,3551	2,6061	2,9858	2,3227

Метод аналізу резервів. В методі аналізу резервів визначається резерв на непередбачені обставини як [2]:

- а) відсоток від оцінюваної діяльності;
- б) фіксована кількість робочих періодів (годин, днів, тижнів);
- в) за допомогою кількісного аналізу ризиків порушення графіку робіт.

Якщо використовувати метод аналізу резервів при управлінні часом проектів розробки КД суден, то необхідно залучати експертів для визначення відсотка від оцінюваної трудомісткості робіт або визначення фіксованої кількості робочих періодів для обчислення додаткової трудомісткості у зв'язку з непередбаченими обставинами. При складанні докладного розкладу проекту необхідно залучати багато експертів з відповідною кваліфікацією, яких важко знайти.

Таким чином, використання будь-якого з вище означених методів і їх математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден не дозволяє отримати оцінки трудомісткості з необхідним рівнем достовірності тому, що всі наведені методи використовують експертні оцінки трудомісткості робіт, ґрунтовані на власному досвіді менеджера з управління.

В деяких сучасних СПКБ для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден використовуються залежності трудомісткості від маси цих секцій, створені на основі результатів експертного оцінювання (див. Додаток А, табл. А.1, А.2). Ці дані, як правило, є двовимірними випадковими величинами з негаусівським розподілом (табл. 1.4).

Маючи емпіричні дані попередніх проектів можна побудувати математичні моделі для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та маси секцій, які скоріш за все будуть нелінійні. Використання нелінійних математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт, побудованих на основі даних попередніх проектів дозволить підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден.

Сьогодні при оцінюванні трудомісткості робіт у різноманітних проектах використовуються регресійні рівняння. Побудова таких моделей (зокрема COCOMO, ISBSG) виконується шляхом нормалізації емпіричних даних на основі десяткового логарифму. Але в деяких випадках нормалізуюче перетворення на основі десяткового логарифму не дозволяє адекватно нормалізувати емпіричні дані, що приводить до зменшення достовірності оцінювання трудомісткості робіт. Підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації судна можна за рахунок застосування інших перетворень, наприклад, перетворення Джонсона [26].

Отже, використання існуючих методів і їх математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден не дозволяє отримати оцінки трудомісткості з необхідним рівнем достовірності тому, що всі наведені методи не враховують особливості проектів з розробки КД суден та використовують експертні оцінки трудомісткості робіт, основані на власному досвіді менеджерів з управління проектами. Підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден можна за рахунок побудови математичних моделей трудомісткості робіт на основі даних попередніх проектів. Такими моделями можуть бути нелінійні регресійні моделі трудомісткості робіт, побудовані на основі нормалізуючих перетворень (наприклад, перетворень Джонсона).

1.3 Обґрунтування необхідності проведення досліджень

Аналіз сучасних методів і математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден показав, що основними методами та математичними моделями оцінювання трудомісткості є:

- методи експертного оцінювання і математичні моделі обробки експертної інформації та визначення узгодженості думок експертів;
- метод PERT і математична модель оцінювання трудомісткості робіт по трьом точкам (1.1 – 1.3), яка основана на β -розподілі трудомісткості робіт.

Такі методи і математичні моделі не завжди дозволяють отримати оцінки трудомісткості робіт з розробки КД суден з високою достовірністю, а закон розподілу трудомісткості робіт не завжди є β -розподілом [14]. Частіше за все, закон розподілу трудомісткості робіт з розробки КД суден є негаусівським з невідомою щільністю розподілу. Одним зі шляхів

підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден є побудова регресійних моделей трудомісткості робіт з використанням даних про трудомісткість завершених проектів.

Отже виникає необхідність у побудові математичних моделей, які дозволять підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден. Такими моделями можуть бути регресійні моделі для оцінювання трудомісткості робіт в залежності від одного або декількох факторів. Скоріш за все ці моделі будуть нелінійними, а тому при їх побудові будуть використовуватись нормалізуючі перетворення (наприклад, нормалізуюче перетворення Джонсона).

Для побудови математичних моделей трудомісткості робіт з розробки КД суден з метою підвищення достовірності оцінювання трудомісткості необхідно вирішити наступні задачі:

- вибрати нормалізуючі перетворення для нормалізації двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт з розробки КД суден;
- побудувати математичні моделі для трансформованого еліпсу передбачення на основі вибраного нормалізуючого перетворення для видалення двовимірних викидів даних про трудомісткість робіт з розробки КД суден;
- побудувати рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі вибраного нормалізуючого перетворення, які дозволять підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден, а також зменшити ширину довірчих інтервалів та ширину інтервалів передбачення нелінійної регресії порівняно з іншими нормалізуючими перетвореннями;
- розробити методику для оцінювання середньої трудомісткості робіт та її застосування при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден на основі побудованих математичних моделей.

– розробити методику оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден, як випадкової величини, та її застосування при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

Отже, існує необхідність проведення досліджень для побудови математичних моделей, які дозволять підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден. Такими моделями можуть бути регресійні моделі для оцінювання трудомісткості робіт в залежності від одного або декількох факторів. Скоріш за все ці моделі будуть нелінійними, а тому при їх побудові можуть бути використані нормалізуючі перетворення (наприклад, нормалізуюче перетворення Джонсона).

1.4 Висновки за розділом 1

В РОЗДІЛІ 1 було проаналізовано сучасні методи і математичні моделі для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден. На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

1. Задача оцінювання трудомісткості робіт є складовою процесів управління часом проектів розробки КД суден. Вона вирішується при плануванні розкладу проекту, а отримані оцінки трудомісткості робіт використовуються для обчислення часу виконання робіт. В свою чергу, достовірні оцінки часу виконання робіт дозволяють отримати достовірну оцінку часу виконання проекту і розробити обґрунтований розклад проекту.

2. Наявність специфічних відмінностей у проектах розробки КД суден не дозволяє використовувати існуючі методи і моделі для оцінювання часу робіт з розробки КД суден у повному обсязі і, відповідно, для оцінювання трудомісткості цих робіт, що робить актуальним вирішення задачі

удосконалення або створення нових моделей для оцінювання трудомісткості робіт.

3. Використання існуючих методів і їх математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден не дозволяє отримати оцінки трудомісткості з необхідним рівнем достовірності тому, що всі наведені методи не враховують особливості проектів з розробки КД суден та використовують експертні оцінки трудомісткості робіт, основані на власному досвіді менеджерів з управління проектами. Підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден можна за рахунок побудови математичних моделей трудомісткості робіт на основі даних попередніх проектів. Такими моделями можуть бути нелінійні регресійні моделі трудомісткості робіт, побудовані на основі нормалізуючих перетворень.

4. Існує необхідність проведення нових досліджень для побудови математичних моделей, які дозволять підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден. Такими моделями можуть бути регресійні моделі для оцінювання трудомісткості робіт в залежності від одного або декількох факторів. Скоріш за все ці моделі будуть нелінійними, а тому при їх побудові можуть бути використані нормалізуючі перетворення (наприклад, нормалізуюче перетворення Джонсона).

Результати досліджень, наведені у поточному розділі, опубліковані автором в [14–16].

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА НЕГАУСІВСЬКОЇ ЙМОВІРНІСНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН

2.1 Нормалізуючі перетворення та щільності ймовірності Джонсона

Існують випадки, коли неможливо теоретично обґрунтувати закон розподілу випадкової величини для експериментальних даних. У цих випадках виконується підбір аналітичної моделі закону розподілу [27]. Зазвичай підбір аналітичної моделі закону розподілу виконується на основі розподілів Пірсона, але в останній час цю задачу вирішують на основі розподілів Джонсона. Перевагою розподілів Джонсона є те, що при їх використанні можна перетворити (нормалізувати) негаусівську випадкову величину x до випадкової величини z з гаусівським розподілом або розподілом, наближеним до гаусівського. Завдяки такому перетворенню до нормалізованих даних можна застосувати більшість статистичних методів, критеріїв і оцінок.

В загальному випадку нормалізуюче перетворення Джонсона має вигляд [28]:

$$z = \gamma + \eta h(x, \varphi, \lambda);$$

$$\eta > 0; -\infty < \gamma < \infty; \lambda > 0; -\infty < \varphi < \infty, \quad (2.1)$$

де $h(x, \varphi, \lambda)$ – функція перетворення;

$\gamma, \eta, \varphi, \lambda$ – параметри нормалізуючого перетворення Джонсона;

x – негаусівська випадкова величина;

z – нормалізована гаусівська випадкова величина.

Джонсоном було запропоновано три сімейства функції $h(x, \varphi, \lambda)$ – сімейство S_L , сімейство S_B та сімейство S_U .

Для нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_L функція $h(x, \varphi, \lambda)$ має вигляд:

$$h(x, \varphi, \lambda) = \ln \left(\frac{x - \varphi}{\lambda} \right), \quad x > \varphi.$$

Функція щільності ймовірності для перетворення Джонсона сімейства S_L задається як:

$$f_L(x) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}(x - \varphi)} \exp \left\{ -\frac{\eta^2}{2} \left[\frac{\gamma - \eta \ln \lambda}{\eta} + \ln(x - \varphi) \right]^2 \right\};$$

$$x > \varphi; \quad \eta > 0; \quad -\infty < \gamma < \infty; \quad \lambda > 0; \quad -\infty < \varphi < \infty.$$

Для нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B функція $h(x, \varphi, \lambda)$ має вигляд:

$$h(x, \varphi, \lambda) = \ln \left(\frac{x - \varphi}{\lambda + \varphi - x} \right), \quad \varphi < x < \varphi + \lambda. \quad (2.2)$$

Функція щільності ймовірності для перетворення Джонсона сімейства S_B задається як:

$$f_B(x) = \frac{\eta \lambda}{\sqrt{2\pi}(x - \varphi)(\lambda + \varphi - x)} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\gamma + \eta \ln \left(\frac{x - \varphi}{\lambda + \varphi - x} \right) \right]^2 \right\}. \quad (2.3)$$

Для нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_U функція $h(x, \varphi, \lambda)$ має вигляд:

$$h(x, \varphi, \lambda) = \operatorname{Arsh}\left(\frac{x - \varphi}{\lambda}\right), \quad -\infty < x < \infty.$$

Функція щільності ймовірності для перетворення Джонсона сімейства S_U задається як:

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

Нормалізацію емпіричних негаусівських даних на основі нормалізуючих перетворень Джонсона виконують в два етапи. На першому етапі визначають яке сімейство розподілу Джонсона можна використати. На другому етапі визначають оцінки параметрів відповідного перетворення Джонсона.

При визначенні сімейства розподілів Джонсона для емпіричних даних зазвичай використовують діаграма запропонована Джонсоном, на площині з квадрату асиметрії A^2 і ексцесу ε . Один з варіантів діаграми Джонсона наведено в роботі [29] і зображено на рис. 2.1.

При визначенні сімейства перетворення Джонсона для нормалізації емпіричних даних на основі діаграми Джонсона (рис. 2.1) використовують наступне правило. Якщо точка, визначена координатами (A^2, ε) , знаходиться в критичній області, то нормалізуюче перетворення Джонсона не використовується. Якщо точка, визначена координатами (A^2, ε) , знаходиться між лінією верхньої границі критичної області і лінією S_L , то використовується нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B . Якщо точка, визначена координатами (A^2, ε) , знаходиться вище лінії S_L , то

використовується нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_U . При попаданні точки на лінію S_L використовується нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_L .

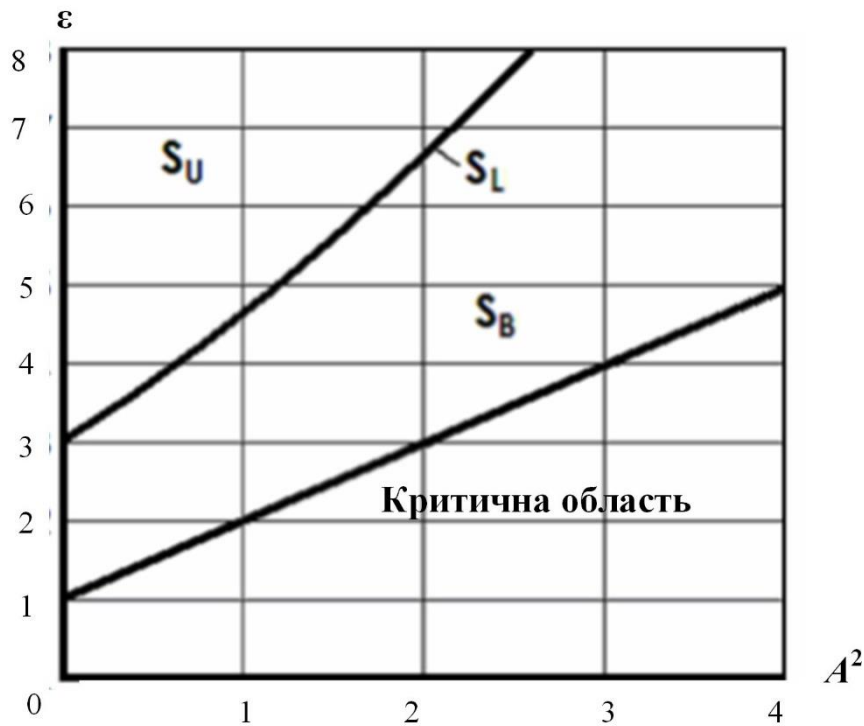


Рисунок 2.1 – Діаграма для визначення сімейства перетворення Джонсона при $A^2 < 4$

На практиці зустрічаються такі набори емпіричних даних, у яких квадрат асиметрії більше 4 ($A^2 > 4$). Для таких випадків в роботі [30] побудована нелінійна залежність ексцесу від асиметрії в квадраті для $A^2 \in [0, 27]$:

$$\varepsilon(A^2) = 7,2315 \cdot 10^{-6} A^8 - 6,9860 \cdot 10^{-4} A^6 + 4,5460 \cdot 10^{-2} A^4 + 1,7979 A^2 + 2,9891.$$

Верхня границя критичної області обчислюється за рівнянням [31]:

$$\varepsilon = A^2 + 1. \quad (2.4)$$

Діаграма для вибору сімейства нормалізуючого перетворення Джонсона для випадку $A^2 \in [0, 27]$ наведено на рис. 2.2.

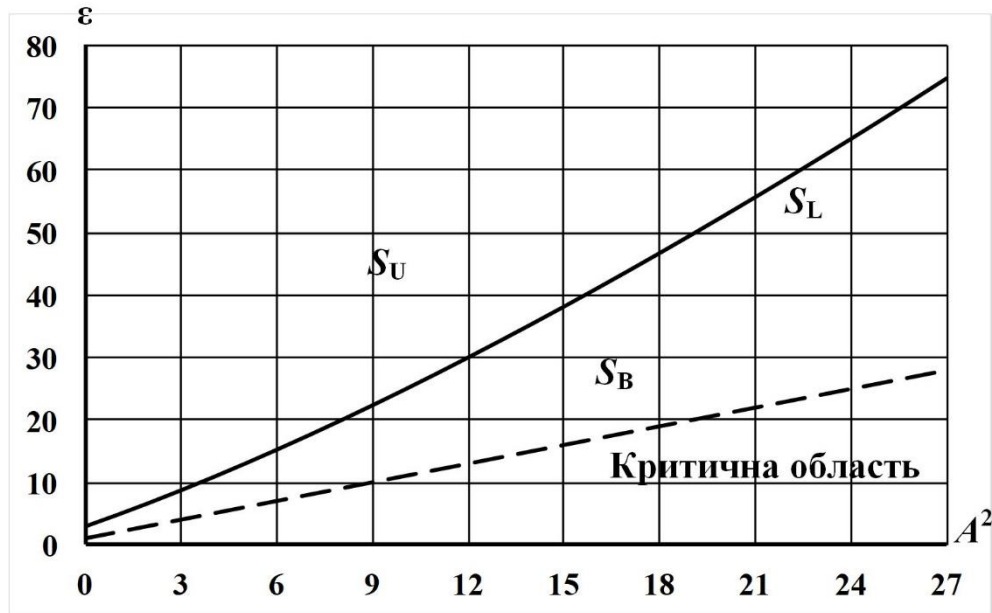


Рисунок 2.2. – Діаграма для визначення сімейства перетворення Джонсона для випадків $A^2 \in [0, 27]$

В роботі [32] описано емпіричні набори даних для яких оцінка A^2 може приймати значення більш ніж 27 і доходити до 40. Для таких випадків в цій роботі побудована аналітична залежність:

$$\begin{aligned} \varepsilon(A^2) = & 3,59 \cdot 10^{-6} A^8 - 4,8805 \cdot 10^{-4} + 4,1655 \cdot 10^{-2} A^4 + \\ & + 1,8203 A^2 + 2,9658. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Верхня границя критичної області для випадку $A^2 > 27$ обчислюється також за рівнянням (2.4). Діаграма для вибору сімейства нормалізуючого перетворення Джонсона для випадку $A^2 \in [0, 40]$ наведено на рис. 2.3.

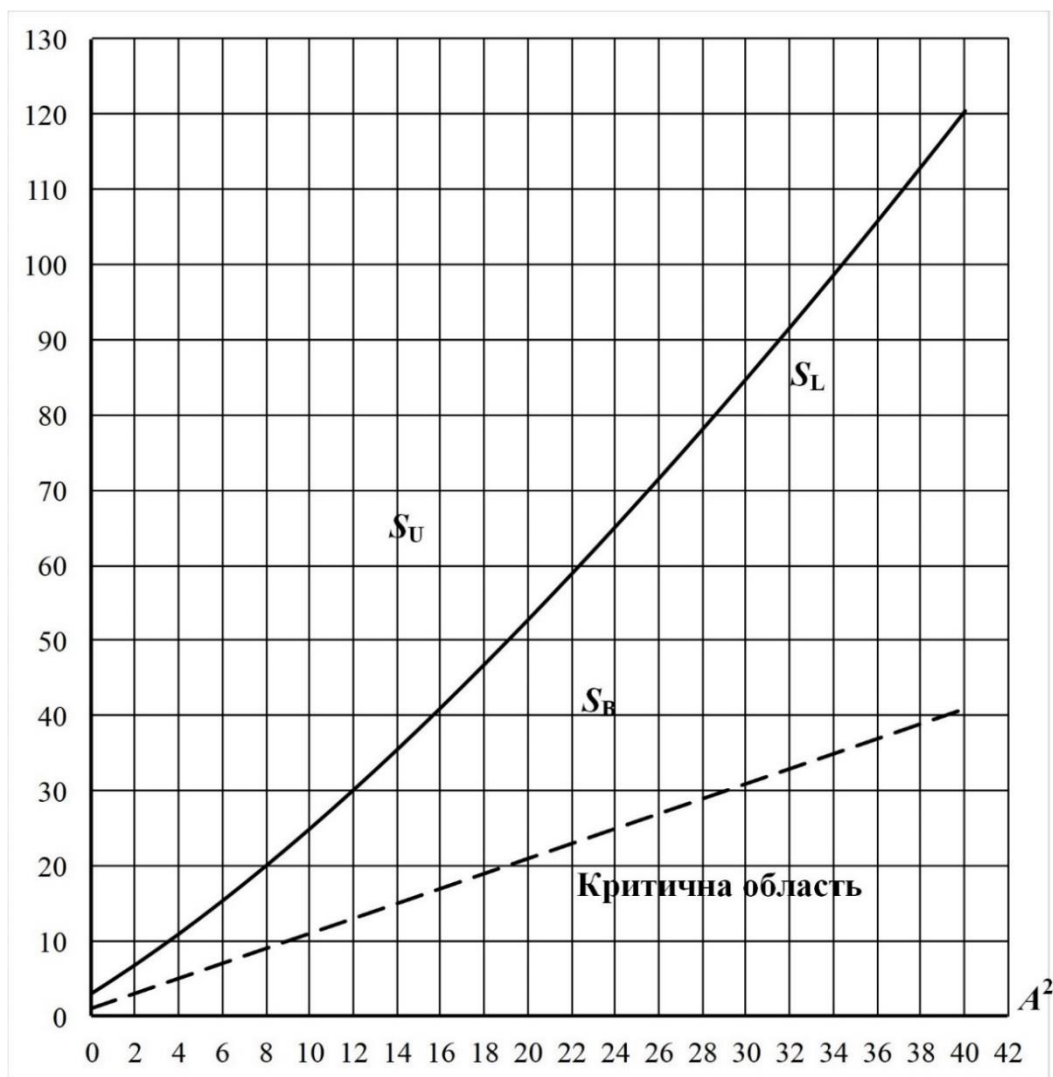


Рисунок 2.3. – Діаграма для визначення сімейства перетворення Джонсона для випадків $A^2 \in [0, 40]$

В дисертації для визначення сімейства нормалізуючого перетворення Джонсона буде використовуватись рівняння (2.5).

Далі в роботі буде використовуватись нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B тому, що переважна більшість комбінацій (A^2, ϵ) двовимірних емпіричних даних, які відображають залежність трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусу судна від маси цих секцій знаходиться в області S_B .

В наш час при нормалізації двовимірних негаусівських даних використовують, як правило, одновимірні нормалізуючі перетворення [29, 33, 34]. В роботі [35] описано нормалізацію негаусівського багатовимірною

вектору даних $\mathbf{P} = \{Y, X_1, X_2, \dots, X_i\}^T$ у гаусівський багатовимірний вектор $\mathbf{T} = \{Z_Y, Z_{X_1}, Z_{X_2}, \dots, Z_{X_i}\}^T$ на основі багатовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона, що дозволяє врахувати кореляцію між випадковими величинами, та зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії. Отже, двовимірний негаусівський вектор трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден (Y) та маси секцій (X) $\mathbf{X} = \{Y, X\}^T$ можна перетворити у двовимірний гаусівський вектор трудомісткості робіт $\mathbf{Z} = \{Z_Y, Z_X\}^T$ на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволить врахувати кореляцію між випадковими величинами, та зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, а це, в свою чергу, приведе до підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден. Двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B є одним з випадків багатовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B . Його можна представити у вигляді:

$$\mathbf{Z} = \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\eta} \mathbf{h}[\boldsymbol{\lambda}^{-1}(\mathbf{X} - \boldsymbol{\phi})] \sim N_m(0_m, \mathbf{S}), \quad (2.6)$$

де $\boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\lambda}$ – параметри перетворення Джонсона;

$$\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_Y, \gamma_X)^T;$$

$$\boldsymbol{\eta} = \text{diag}(\eta_Y, \eta_X);$$

$$\boldsymbol{\phi} = (\phi_Y, \phi_X)^T;$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \text{diag}(\lambda_Y, \lambda_X);$$

$$\mathbf{h}[(g_Y, g_X)] = \{h_1(g_Y), h_2(g_X)\}^T, \text{ а } h_i(g) - \text{функція перетворення,}$$

$$h_1(g_Y) = \ln \frac{Y - \varphi_Y}{\lambda_Y + \varphi_Y - Y},$$

$$h_2(g_X) = \ln \frac{X - \varphi_X}{\lambda_X + \varphi_X - X};$$

S – коваріаційна матриця

$$S = \begin{pmatrix} S_{Z_Y}^2 & S_{Z_Y Z_X} \\ S_{Z_Y Z_X} & S_{Z_X}^2 \end{pmatrix},$$

де $S_{Z_Y}^2$ – дисперсія нормалізованих значень трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден;

$S_{Z_X}^2$ – дисперсія нормалізованих значень мас секцій корпусів;

$S_{Z_Y Z_X}$ – кореляція між нормалізованими значеннями трудомісткості робіт і нормалізованими значення мас секцій корпусу.

Для двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона (2.6) існує зворотнє перетворення. Його можна представити у загальному вигляді, як [18]:

$$\mathbf{X} = \boldsymbol{\varphi} + \lambda \mathbf{h}^{-1} \left[\boldsymbol{\eta}^{-1} (\mathbf{Z} - \boldsymbol{\gamma}) \right]. \quad (2.7)$$

Щільність двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B можна представити у вигляді:

$$f_B(X, Y) = \frac{\eta_X \eta_Y \lambda_X \lambda_Y}{2\pi (X - \varphi_X)(Y - \varphi_Y)(\lambda_X + \varphi_X - X)(\lambda_Y + \varphi_Y - Y)} \times \\ \times \exp \left(-\frac{1}{2} \left\{ \left[\gamma_X + \eta_X \ln \left(\frac{X - \varphi_X}{\lambda_X + \varphi_X - X} \right) \right]^2 + \left[\gamma_Y + \eta_Y \ln \left(\frac{Y - \varphi_Y}{\lambda_Y + \varphi_Y - Y} \right) \right]^2 \right\} \right). \quad (2.8)$$

Отже, для нормалізації двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки КД корпусів суден та маси секцій можна застосувати двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволить врахувати кореляцію між випадковими величинами, та зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, а це, в свою чергу, приведе до підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден.

2.2 Побудова негаусівської ймовірнісної моделі для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден

При нормалізації двовимірних негаусівських даних зазвичай використовуються одновимірні нормалізуючі перетворення. При такому підході не враховується кореляція між випадковими даними. Якщо при нормалізації двовимірних негаусівських даних трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден використати двовимірне нормалізуюче перетворення, яке враховує кореляцію між випадковими величинами, то можна підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, а також в подальшому зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт [35].

На основі (2.8) щільність двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B з урахуванням кореляції між випадковими величинами можна представити у вигляді:

$$f_B(X, Y) = \frac{\eta_X \eta_Y \lambda_X \lambda_Y}{2\pi (X - \varphi_X)(Y - \varphi_Y)(\lambda_X + \varphi_X - X)(\lambda_Y + \varphi_Y - Y) \sqrt{S_{Z_X}^2 S_{Z_Y}^2 - S_{Z_X Z_Y}^2}} \times$$

$$\times \exp \left(-\frac{1}{2} \left\{ \frac{S_{Z_X}^2 S_{Z_Y}^2}{S_{Z_X}^2 S_{Z_Y}^2 - S_{Z_X Z_Y}^2} \left[\frac{(Z_X - m_{Z_X})^2}{S_{Z_X}^2} + \frac{(Z_Y - m_{Z_Y})^2}{S_{Z_Y}^2} - \frac{2S_{Z_X Z_Y} (Z_X - m_{Z_X})(Z_Y - m_{Z_Y})}{S_{Z_X}^2 S_{Z_Y}^2} \right] \right\} \right). \quad (2.9)$$

Враховуючи те, що в результаті нормалізації двовимірного негаусівського вектора буде отримано двовимірний гаусівський вектор з нульовими математичними сподіваннями і одиничними дисперсіями випадкових величин, функцію (2.9) можна записати у вигляді:

$$f_B(Y, X) = \frac{\eta_X \eta_Y \lambda_X \lambda_Y}{2\pi (X - \varphi_X)(Y - \varphi_Y)(\lambda_X + \varphi_X - X)(\lambda_Y + \varphi_Y - Y) \sqrt{1 - S_{Z_Y Z_X}^2}} \times \\ \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{1}{1 - S_{Z_Y Z_X}^2} (Z_Y^2 + Z_X^2 - 2S_{Z_Y Z_X} Z_Y Z_X) \right] \right\}. \quad (2.10)$$

Функція (2.10), побудоване на основі щільності ймовірності двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , враховує кореляцію між трудомісткістю робіт з розробки КД секцій корпусів суден і масою цих секцій. Воно є ймовірнісною моделлю трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден. Функція (2.10) використовується для побудови логарифмічної функції правдоподібності, яка необхідна для оцінювання параметрів двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B методом максимальної правдоподібності. Це дозволяє підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден завдяки урахуванню кореляції між масою секцій корпусів суден та трудомісткістю робіт з розробки КД цих секцій і, в подальшому, знизити ширини довірчих

інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден.

На другому етапі нормалізації двовимірному негаусівському вектору трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та маси секцій $\mathbf{X}$ у гаусівський двовимірний вектор нормалізованих значень $\mathbf{Z}$ необхідно оцінити вектор параметрів перетворення Джонсона сімейства S_B . Оцінювання вектора параметрів перетворення Джонсона виконується за методом максимальної правдоподібності

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \arg \max_{\boldsymbol{\theta}} l_B(\boldsymbol{\theta}), \quad (2.11)$$

де $\boldsymbol{\theta} = \{\gamma, \eta, \phi, \lambda\}$ – вектор параметрів перетворення Джонсона;

$l_B(\boldsymbol{\theta})$ – логарифмічна функція максимальної правдоподібності.

Логарифмічна функція максимальної правдоподібності побудована на основі (2.10). Її можна представити, як:

$$\begin{aligned} l_B(\boldsymbol{\theta}) = & N \ln \eta_X + N \ln \eta_Y + N \ln \lambda_X + N \ln \lambda_Y - N \ln 2\pi - \sum_{i=1}^N \ln(X - \phi_X) - \\ & - \sum_{i=1}^N \ln(Y - \phi_Y) - \sum_{i=1}^N \ln(\lambda_X + \phi_X - X) - \sum_{i=1}^N \ln(\lambda_Y + \phi_Y - Y) - \\ & - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \ln(1 - S_{Z_Y Z_X}^2) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{1 - S_{Z_Y Z_X}^2} (Z_Y^2 + Z_X^2 - 2S_{Z_Y Z_X} Z_Y Z_X) \right], \end{aligned} \quad (2.12)$$

де N – об'єм вибірки.

Логарифмічна функція максимальної правдоподібності (2.12), побудована на основі (2.10), враховує кореляцію між трудомісткістю робіт з розробки КД секцій корпусу судна і відповідних мас секцій корпусу судна, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт у порівнянні з одновимірним нормалізуючим перетворенням Джонсона

сімейства S_B завдяки врахуванню кореляції між залежною змінною і фактором.

При нормалізації двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден для (Додаток А, табл. А.2) оцінювання параметри нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B проводилось методом максимальної правдоподібності (2.11) з використанням логарифмічної функції максимальної правдоподібності (2.12). Було отримано такі параметри перетворення Джонсона: $\hat{\gamma}_X = 0,138$; $\hat{\eta}_X = 0,5134$; $\hat{\phi}_X = 5,798$; $\hat{\lambda}_X = 202,4237$; $\hat{\gamma}_Y = 0,081$; $\hat{\eta}_Y = 0,613$; $\hat{\phi}_Y = 19,6$; $\hat{\lambda}_Y = 61,278$. Отриманий після нормалізації двовимірний гаусівський вектор було перевірено на відповідність нормальному закону розподілу за допомогою критерію χ^2 Пірсона. Для нормалізованих даних о масах секцій корпусів суден критерій $\chi^2 = 7,39287$ при $\chi^2_{кр} = 9,48773$. Для нормалізованих даних о трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден критерій $\chi^2 = 2,73054$ при $\chi^2_{кр} = 9,48773$.

Отже, побудовано негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B , яка дозволяє не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а надалі провести кращу нормалізацію емпіричних даних у порівнянні з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів, а також, в подальшому, підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

2.3 Побудова трансформованого еліпса передбачення для вилучення викидів двовимірного вектора трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден

В емпіричних вибірках іноді з'являються окремі значення випадкової величини, які суттєво відрізняються від переважної більшості значень цієї величини [24]. Їх називають «забруднюючими значеннями», «аномальними значеннями» або «викидами». В двовимірних негаусівських емпіричних даних трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу судна та маси секцій також зустрічаються такі викиди.

Відомо, що для статистичного аналізу двовимірних даних використовується еліпс [35–38]. Наприклад, за допомогою еліпсу передбачення виявляються двовимірні викиди даних. Тому його можна використати при визначенні двовимірних викидів у двовимірних векторах трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу судна. Статистичні методи виявлення двовимірних викидів, ґрунтовані на еліпсі передбачення, використовують припущення про апроксимацію даних двовимірним розподілом Гауса [39, 40]. Але таке припущення виконується тільки в окремих випадках. Тому виникає необхідність в побудові трансформованого еліпсу передбачення для наборів даних з розподілом, які суттєво відрізняються від нормального.

В роботі [38] було запропоновано метод побудови трансформованого еліпсу передбачення для двовимірних негаусівських даних, який складається з трьох етапів. На першому етапі двовимірні негаусівські дані нормалізуються за допомогою двовимірного бієктивного нормалізуючого перетворення. На другому етапі отримують рівняння еліпсу передбачення для нормалізованих даних. На третьому етапі будується рівняння трансформованого еліпсу передбачення для двовимірних негаусівських даних за допомогою зворотного перетворення.

Рівняння еліпсу передбачення для двовимірного нормалізованого вектору $\mathbf{Z} = \{Z_Y, Z_X\}^T$ трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден в загальному вигляді можна представити, як:

$$(\mathbf{Z} - \mathbf{m}_Z)^T \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{Z} - \mathbf{m}_Z) = \frac{2(N^2 - 1)}{N(N - 2)} F_{2, N-2, \alpha}, \quad (2.13)$$

де $F_{2, N-2, \alpha}$ – квантиль F -розподілу;

N – об'єм вибірки;

$\mathbf{m}_Z$ – вектор середніх значень,

$$\mathbf{m}_Z = (m_{Z_Y}, m_{Z_X})^T;$$

α – рівень значимості;

$\mathbf{S}$ – коваріаційна матриця (див. 2.6).

Рівняння (2.13) можна представити у вигляді

$$\begin{aligned} & \frac{S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2}{S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2 - S_{Z_Y Z_X}^2} \left[\frac{(Z_Y - m_{Z_Y})^2}{S_{Z_Y}^2} + \frac{(Z_X - m_{Z_X})^2}{S_{Z_X}^2} - \right. \\ & \left. - \frac{2S_{Z_Y Z_X} (Z_Y - m_{Z_Y})(Z_X - m_{Z_X})}{S_{Z_Y}^2 S_{Z_Y}^2} \right] = \frac{2(N^2 - 1)}{N(N - 2)} F_{2, N-2, \alpha}. \end{aligned} \quad (2.14)$$

На третьому етапі виконується побудова рівняння трансформованого еліпсу передбачення для двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусу судна $\mathbf{X}$ на основі рівняння еліпсу передбачення для нормалізованих даних (2.14) та нормалізуючого перетворення (2.6)

$$\begin{aligned}
& \frac{[\psi_Y(Y) - m_{Z_Y}]^2}{S_{Z_Y}^2} + \frac{[\psi_X(X) - m_{Z_X}]^2}{S_{Z_X}^2} - \\
& - \frac{2S_{Z_Y Z_X} [\psi_Y(Y) - m_{Z_Y}] [\psi_X(X) - m_{Z_X}]}{S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2} = \\
& = \frac{2(N^2 - 1)(S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2 - S_{Z_Y Z_X}^2)}{N(N - 2)S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2} F_{2, N-2, \alpha}.
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Рівняння трансформованого еліпсу передбачення для двовимірних негаусівських даних трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусу судна та маси цих секцій з урахуванням (2.6) можна записати як:

$$\begin{aligned}
& \frac{\left[\left(\gamma_Y + \eta_Y \ln \frac{Y - \phi_Y}{\lambda_Y + \phi_Y - Y} \right) - m_{Z_Y} \right]^2}{S_{Z_Y}^2} + \frac{\left[\left(\gamma_X + \eta_X \ln \frac{X - \phi_X}{\lambda_X + \phi_X - X} \right) - m_{Z_X} \right]^2}{S_{Z_X}^2} - \\
& - \frac{2S_{Z_Y Z_X} \left[\left(\gamma_Y + \eta_Y \ln \frac{Y - \phi_Y}{\lambda_Y + \phi_Y - Y} \right) - m_{Z_Y} \right] \left[\left(\gamma_X + \eta_X \ln \frac{X - \phi_X}{\lambda_X + \phi_X - X} \right) - m_{Z_X} \right]}{S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2} = \\
& = \frac{2(N^2 - 1)(S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2 - S_{Z_Y Z_X}^2)}{N(N - 2)S_{Z_Y}^2 S_{Z_X}^2} F_{2, N-2, \alpha}.
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Для емпіричного двовимірного вектору даних трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та маси цих секцій для контейнеровозу (Додаток А, табл. А.2) побудовано трансформований еліпс передбачення для рівня значимості $\alpha = 0,005$ (рис. 2.4).

На рис. 2.4 по осі абсцис відкладено маси секцій в тонах, а по осі ординат – трудомісткість робіт з розробки КД цих секцій в годинах. Суцільною лінією зображено трансформований еліпс передбачення і колами зображено емпіричні дані двовимірного вектору трудомісткості

робіт. Як видно з рис. 2.4 двовимірні викиди даних відсутні при рівні значимості $\alpha = 0,005$.

Отже, отримано рівняння трансформованого еліпсу передбачення (2.16) для двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B .

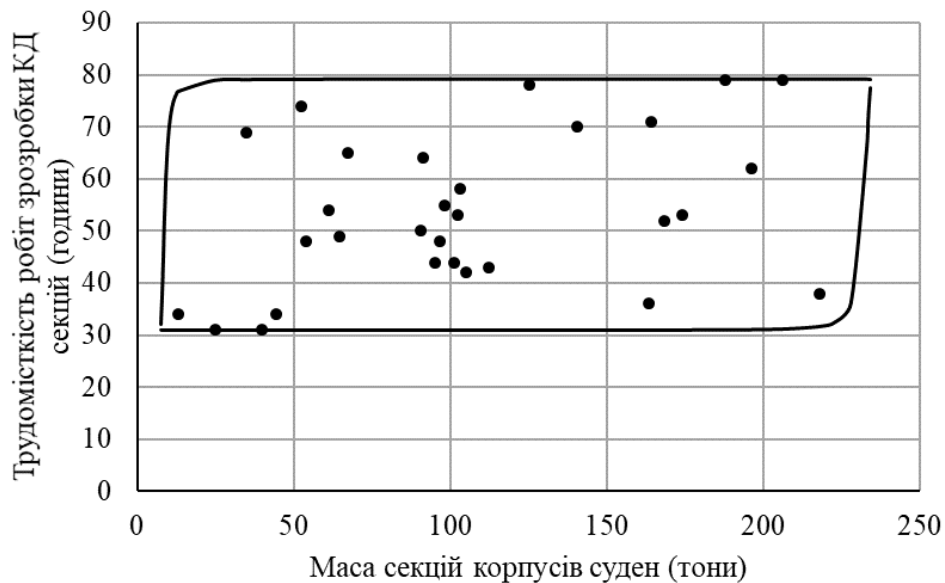


Рисунок 2.4 – Трансформований еліпс передбачення для двовимірного вектору трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів контейнеровозу та маси цих секцій (Додаток А, табл. А.2) при $\alpha = 0,005$

Використання (2.16) дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у двовимірних негаусівських векторах трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та маси цих секцій без припущення про їх нормальний розподіл та в подальшому підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден. А це, в свою чергу, дозволяє підвищити достовірність оцінювання тривалості робіт при складанні розкладу проектів розробки КД суден.

2.4 Висновки за розділом 2

Таким чином, на підставі проведених досліджень, результати яких викладено у попередніх підрозділах, можна зробити наступні висновки:

1. Існують випадки, коли неможливо теоретичне обґрунтування закону розподілу емпіричних даних. Для таких випадків виконують підбір аналітичної моделі закону розподілу або на основі розподілів Пірсона, або на основі розподілів Джонсона. Перевагою розподілів Джонсона є можливість перетворення негаусівської випадкової величини у гаусівську випадкову величину, або у випадкову величину з розподілом, наближеним до гаусівського. А до випадкової величини з гаусівським розподілом можна застосувати більшість статистичних методів, критеріїв і оцінок.

2. Для нормалізації двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки КД корпусів суден можна застосувати двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволить врахувати кореляцію між випадковими величинами. Надалі врахування кореляції дозволить зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, що, в свою чергу, приведе до підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден та, відповідно, тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден.

3. Вперше побудовано негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B , яка дозволяє не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а надалі провести кращу нормалізацію емпіричних даних у порівнянні з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів. Також це дозволяє в подальшому підвищити достовірність оцінювання

трудомісткості і, відповідно, тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

4. Отримано рівняння трансформованого еліпса передбачення для двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у подібних наборах даних без припущення про їх нормальний розподіл. У подальшому це дозволяє підвищити достовірність оцінювання трудомісткості і, відповідно, тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден.

Результати досліджень у поточному розділі автором опубліковано в [24, 25].

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА НЕЛІНІЙНИХ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН

3.1 Побудова рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B

При управлінні часом проектів розробки КД суден спостерігаються випадки низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден [41–51]. Випадки низької достовірності оцінювання трудомісткості є однією з причин перевищення планової трудомісткості окремих робіт та загальної трудомісткості деяких проектів розробки КД суден. Наприклад, випадки низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, як правило, обумовлені впливом випадкових зовнішніх факторів та використанням експертного методу оцінювання трудомісткості, ґрунтованого на власному досвіді менеджерів проектів.

Одним зі шляхів підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт є побудова рівняння регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона. Проблема побудови рівняння регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден полягає в тому, що випадкові величини у двовимірному векторі X , який складається з одновимірного вектору трудомісткості робіт із розробки КД секцій і одновимірного вектору відповідних мас секцій, є

негаусівськими випадковими величинами. Відповідно, рівняння регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій, скоріш за все, буде нелінійним.

Приклад 1. Для проекту дослідницького судна (Додаток А, табл. А.1) оцінки статистичних параметрів для маси секцій мають наступні значення: мінімальна маса секції корпусу $X_{\min} = 5,9$ тон; максимальна маса секції $X_{\max} = 155,9$ тон; середня маса секції $\bar{X} = 75,5$ тон; дисперсія для маси секцій $D_X = 1635,4$; середньоквадратичне відхилення для маси секцій $\sigma_X = 40,44$; асиметрія для маси секцій $A_X = 0,4602$; ексцес для маси секцій $\varepsilon_X = 2,3635$. Оцінки статистичних параметрів для фактичної трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу мають наступні значення: мінімальна трудомісткість $Y_{\min} = 17$ годин; максимальна трудомісткість $Y_{\max} = 402$ години; середня трудомісткість $\bar{Y} = 173,93$ години; дисперсія для трудомісткості $D_Y = 9718,5$; середньоквадратичне відхилення для трудомісткості $\sigma_Y = 98,6$; асиметрія для трудомісткості $A_Y = 0,4781$; ексцес для трудомісткості $\varepsilon_Y = 2,6061$. Коефіцієнт кореляції між фактичною трудомісткістю робіт і масою секцій $r_{YX} = 0,3844$.

Приклад 2. Для проекту контейнеровозу (Додаток А, табл. А.2) мінімальна маса секції корпусу $X_{\min} = 6,15$ тон; максимальна маса секції $X_{\max} = 217,82$ тон; середня маса секції $\bar{X} = 104,13$ тони; дисперсія для маси секцій $D_X = 3539,54$; середньоквадратичне відхилення для маси секцій $\sigma_X = 59,5$; асиметрія для маси секцій $A_X = 0,2164$; ексцес для маси секцій $\varepsilon_X = 1,8214$. Оцінки статистичних параметрів для фактичної трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу судна мають наступні значення: мінімальна трудомісткість $Y_{\min} = 12$ годин; максимальна трудомісткість $Y_{\max} = 124$ години; середня трудомісткість $\bar{Y} = 55,2$ годин; дисперсія для трудомісткості $D_Y = 941,42$; середньоквадратичне відхилення для трудомісткості $\sigma_Y = 30,683$; асиметрія для трудомісткості $A_Y = 0,4956$;

ексцес для трудомісткості $\varepsilon_Y = 2,3227$. Коефіцієнт кореляції між фактичною трудомісткістю робіт і масою секцій $r_{YX} = 0,5237$.

В наведених вище прикладах трудомісткість робіт із розробки КД секцій корпусів суден і маса цих секцій є негаусівськими випадковими величинами, які мають значення коефіцієнта детермінації суттєво менше одиниці, що свідчить про слабкий лінійний зв'язок або, скоріш за все, його відсутність між випадковими змінними X (маса секцій) та Y (трудомісткість робіт). Відповідно до цього можна зробити припущення, що рівняння регресії двовимірних негаусівських даних трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден і маси цих секцій буде нелінійним.

При побудові рівняння нелінійної регресії двовимірних негаусівських даних (наприклад, COCOMO, ISBSG), як правило, використовують нормалізуючі перетворення на основі десяткового логарифму [52–54] або нормалізуючі перетворення Джонсона [53, 55]. Але ці методи використовують одновимірні нормалізуючі перетворення, які не враховують кореляцію між двовимірними випадковими величинами. Якщо для побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден використати двовимірні нормалізуючі перетворення Джонсона, які враховують кореляцію між трудомісткістю робіт із розробки КД секцій і масою цих секцій, то це може привести до зменшення ширин довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії [18, 20]. Відповідно, зменшення ширин довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії дозволяє підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден.

Побудова рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B складається з трьох етапів [55]. На першому етапі виконується нормалізація негаусівського двовимірного вектора X за перетворенням (2.6). Параметри нормалізуючого перетворення

Джонсона сімейства S_B знаходяться при вирішенні задачі (2.11) методом максимальної правдоподібності з використанням логарифмічної функції максимальної правдоподібності (2.12). В результаті нормалізації отримується двовимірний гаусівський вектор $\mathbf{Z}$.

На другому етапі виконується побудова рівняння лінійної регресії на основі двовимірного гаусівського вектора $\mathbf{Z}$:

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_X, \quad (3.1)$$

де Z_Y – результат передбачення лінійної регресії для Z_X ;

$\hat{b}_0, \hat{b}_1$ – оцінки для параметрів лінійної регресії b_0, b_1 ;

$$\hat{Z}_Y = \hat{\gamma}_Y + \hat{\eta}_Y \ln \frac{\hat{Y} - \hat{\phi}_Y}{\hat{\lambda}_Y + \hat{\phi}_Y - \hat{Y}};$$

$$Z_X = \hat{\gamma}_X + \hat{\eta}_X \ln \frac{X - \hat{\phi}_X}{\hat{\lambda}_X + \hat{\phi}_X - X};$$

$\hat{\gamma}_Y, \hat{\eta}_Y, \hat{\phi}_Y, \hat{\lambda}_Y, \hat{\gamma}_X, \hat{\eta}_X, \hat{\phi}_X, \hat{\lambda}_X$ – оцінки параметрів двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B .

Оцінки параметрів лінійної регресії знаходяться з використанням метода найменших квадратів за допомогою наступних формул [63]:

$$\hat{b}_0 = \frac{\sum_{i=1}^N z_{x_i}^2 \cdot \sum_{i=1}^N z_{y_i} - \sum_{i=1}^N z_{x_i} \cdot \sum_{i=1}^N z_{x_i} z_{y_i}}{N \sum_{i=1}^N z_{x_i}^2 - \left(\sum_{i=1}^N z_{x_i} \right)^2}; \quad (3.2)$$

$$\hat{b}_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N z_{x_i} z_{y_i} - \sum_{i=1}^N z_{x_i} \cdot \sum_{i=1}^N z_{y_i}}{N \sum_{i=1}^N z_{x_i}^2 - \left(\sum_{i=1}^N z_{x_i} \right)^2}. \quad (3.3)$$

На третьому етапі виконується побудова рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден з використанням зворотного перетворення (2.7).

Після проведення відповідних перетворень рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден можна представити у вигляді:

$$\hat{Y} \left[1 + e^{(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} \right] = \hat{\phi}_Y + \hat{\phi}_Y e^{(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} + \hat{\lambda}_Y e^{(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y}$$

або

$$\hat{Y} = \hat{\phi}_Y + \hat{\lambda}_Y \frac{e^{(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y}}{\left[1 + e^{(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} \right]}. \quad (3.4)$$

Рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден (3.4) можна представити у вигляді:

$$\hat{Y} = \hat{\phi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left[1 + e^{-(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} \right]^{-1}. \quad (3.5)$$

Після побудови рівняння лінійної регресії нормалізованої трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден можна побудувати довірчі інтервали лінійної регресії на основі рівняння [52]:

$$Z_{YDI} = \hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2, N-2} S_{Z_Y} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(Z_X - \bar{Z}_X)^2}{S_{Z_X Z_X}}}, \quad (3.6)$$

де $t_{\alpha/2, N-2}$ – квантиль t-розподілу Стюдента з рівнем значущості $\alpha/2$ та $N-2$ ступенями свободи;

$$S_{Z_Y}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}_Y - \bar{Z}_Y)^2;$$

$$\bar{Z}_Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{Y_i};$$

$$S_{Z_X Z_X} = \sum_{i=1}^N (Z_X - \bar{Z}_X)^2.$$

Інтервали передбачення лінійної регресії можна побудувати на основі рівняння [52]:

$$Z_{YII} = \hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2, N-2} S_{Z_Y} \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(Z_X - \bar{Z}_X)^2}{S_{Z_X Z_X}}}. \quad (3.7)$$

Побудову довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден виконують на основі зворотного перетворення (2.7), що приводить до необхідності виконання подальших дій.

Для побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден застосовано метод, описаний в роботі [57]. Цей метод полягає у послідовному видаленні двовимірних викидів емпіричних даних із використанням трансформованого еліпсу передбачення (2.16) або квадрату відстані Махаланобіса [58, 59] та інтервалів передбачення нелінійної регресії (3.7). Як правило, для видалення всіх двовимірних викидів необхідно виконати декілька розрахункових ітерацій. Після видалення всіх викидів емпіричних даних можна побудувати рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, довірчі інтервали і інтервали передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт з урахуванням кореляції між трудомісткістю робіт і масою секцій корпусів суден. Більш детальний опис процесу

побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт, довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії можна представити наступною послідовністю кроків.

Крок 1. Для видалення двовимірних викидів емпіричних даних спочатку проводиться перетворення двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт із розробки КД секцій X у двовимірний гаусівський вектор Z з використанням логарифмічної функції максимальної правдоподібності (2.12), побудованої на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B , та знаходяться параметри перетворення $\gamma, \eta, \phi, \lambda$.

Крок 2. Для двовимірного гаусівського вектора Z будується верхня і нижня границі еліпсу передбачення, ординатами яких є корені рівняння (2.15). При цьому використовується рівень значущості $\alpha = 0,005$. Завдяки побудові трансформованого еліпсу передбачення (2.16) для двовимірного негаусівського вектора X трудомісткості робіт визначаються двовимірні викиди емпіричних даних, якщо вони є.

Крок 3. На третьому кроці будується рівняння лінійної регресії (3.3) для двовимірного гаусівського вектора Z на основі оцінок параметрів лінійної регресії (3.2) та (3.3). Для побудованої лінійної регресії трудомісткості робіт можна побудувати довірчі інтервали (3.6) та інтервали передбачення лінійної регресії (3.7). Після побудови рівняння лінійної регресії, довірчих інтервалів лінійної регресії і інтервалів передбачення лінійної регресії виконується побудова рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден відповідно до (3.6) та довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії для рівня значущості $\alpha = 0,05$. Усі пари даних негаусівського двовимірного вектора X , які виходять за межі інтервалів передбачення нелінійної регресії є двовимірними викидами і підлягають видаленню.

Крок 4. Двовимірні викиди емпіричних даних трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, визначені з використанням

трансформованого еліпсу передбачення і інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт, видаляються з двовимірного негаусівського вектора X і виконується наступна ітерація визначення двовимірних викидів у зміненому векторі X , починаючи з кроку 1. Визначення двовимірних викидів зупиняється після тієї ітерація, яка не виявила викидів.

Відсутність викидів свідчить про завершення процесу побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії. Наприклад, завдяки видаленню двовимірних викидів із двовимірного вектора трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу контейнеровозу (Додаток А, табл. А.2) отримано 29 значень двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Двовимірний вектор трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу контейнеровозу

Номер секції	Маса секції (тони)	Трудомісткість робіт (години)	Номер секції	Маса секції (тони)	Трудомісткість робіт (години)
1	2	3	4	5	6
4208	6,15	20,00	3999	67,24	65,00
4209	13,08	34,00	3199	90,43	50,00
4103	24,83	31,00	3499	91,25	64,00
4301	34,15	24,00	3806	95,31	44,00
3925	39,81	31,00	3023	96,54	48,00
3924	44,15	26,00	3624	98,35	55,00
3623	44,36	34,00	3801	101,06	44,00
3024	53,91	48,00	3804	102,35	53,00
3989	61,13	54,00	3799	103,14	58,00

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
3802	64,58	49,00	4202	105,19	42,00
3489	112,36	43,00	3321	174,14	53,00
3622	140,51	70,00	3122	187,88	79,00
3723	163,5	36,00	3422	196,15	62,00
3322	164,27	71,00	4101	206,16	79,00
3921	168,53	52,00	—	—	—

В процесі проведення досліджень побудовано рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден (3.6), довірчих інтервалів лінійної регресії (3.6) і інтервалів передбачення лінійної регресії (3.7) та довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії з використанням зворотного перетворення (2.7) на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B та урахуванням кореляції між трудомісткістю робіт (X) і масою секцій (Y). Якість побудованого рівняння нелінійної регресії визначалася за допомогою наступних критеріїв якості:

- середня відносна помилка MMRE (Mean Magnitude of Relative Error);
- відсоток прогнозованих значень, для яких відносна помилка MRE (Magnitude of Relative Error) менше 0,25, Pred(0,25) (Percentage of Prediction).

Середню відносну помилку MMRE розраховано за рівнянням [60]

$$\text{MMRE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}. \quad (3.9)$$

Відсоток прогнозованих значень, для яких відносна помилка

$$\text{MRE} = \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \text{ менше } 0,25, \text{ Pred}(0,25) \text{ розраховано за рівнянням [53]:}$$

$$\text{Pred}(0,25) = \frac{k}{n}, \quad (3.10)$$

де n – об'єм вибірки;

k – кількість значень вибірки, для яких $\text{MRE} \leq 0,25$.

Для побудови нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B використано емпіричні дані щодо трудомісткості робіт з розробки КД контейнеровозу (Додаток А, табл. А.2).

На рис. 3.1 представлено рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт, довірчі інтервали і інтервали передбачення нелінійної регресії, побудованих на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B .

Після видалення двовимірних викидів залишилось 29 значень. В результаті нормалізації двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт $\mathbf{X}$ до двовимірного гаусівського вектору трудомісткості робіт $\mathbf{Z}$ отримано наступні оцінки параметрів двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B : $\hat{\gamma}_X = 0,138$; $\hat{\eta}_X = 0,5134$; $\hat{\phi}_X = 5,798$; $\hat{\lambda}_X = 202,4237$; $\hat{\gamma}_Y = 0,081$; $\hat{\eta}_Y = 0,613$; $\hat{\phi}_Y = 19,6$; $\hat{\lambda}_Y = 61,278$. Оцінки параметрів рівняння лінійної регресії для нормалізованих даних за цим перетворенням знайдено за (3.2) і (3.3): $\hat{b}_0 = 0$; $\hat{b}_1 = 0,8334$.

Для рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B отримано наступні значення критеріїв якості (3.9 – 3.10): $\text{MMRE} = 0,1841$; $\text{Pred}(0,25) = 0,7931$.

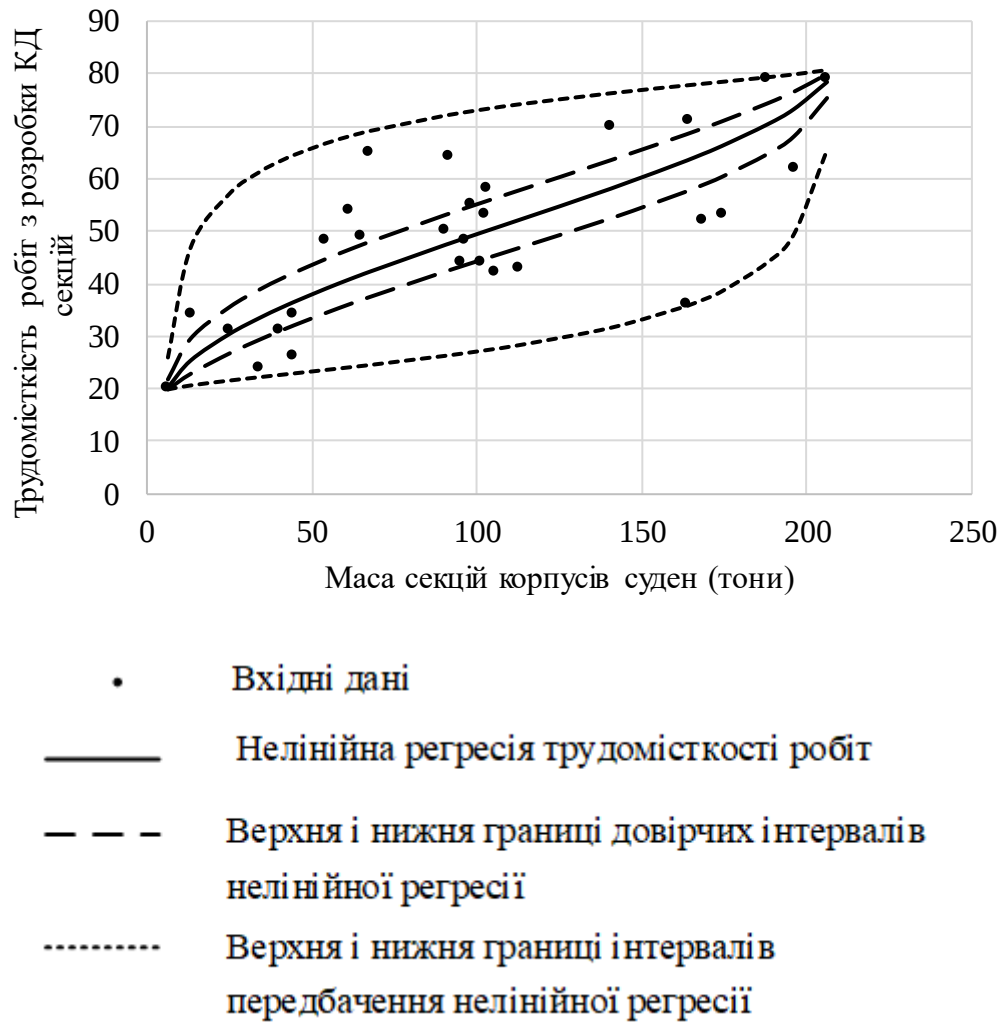


Рисунок 3.1 – Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B

Отримані значення критеріїв якості рівняння нелінійної регресії дозволяють зробити висновок про адекватність побудованого рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден.

Отже, побудовано рівняння нелінійної регресії, довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт в залежності від маси секцій у порівнянні з

відповідними рівняннями, які отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Використання зазначених оцінок вибіркового середнього трудомісткості робіт дозволяє, в свою чергу, підвищити достовірність оцінювання середніх часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

3.2 Побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_b

При управлінні технічними, організаційними та економічними системами виникає необхідність у передбаченні (прогнозуванні) деяких параметрів таких систем [61]. Задачі з передбачення параметрів вирішуються завдяки побудові математичних моделей систем, зокрема регресійних моделей, які дозволяють передбачити значення залежної змінної регресійної моделі (відгуку) від значення однієї або більше пояснюючих змінних (факторів). Як правило, відгук є негаусівською випадковою величиною, а регресійна модель, скоріш за все, буде нелінійною.

В суднобудуванні при плануванні і управлінні часом проектів розробки КД суден виникають задачі попереднього оцінювання трудомісткості конструкторських робіт з урахуванням впливу випадкових непередбачених факторів. До таких факторів можна віднести затримки при передачі вхідної інформації для розробки КД, внесення змін у технічне завдання під час виконання проекту або зміни у складі виконавців проекту та інше. Випадкові фактори можуть суттєво збільшити трудомісткість виконання конструкторських робіт і проекту загалом. У зв'язку з цим задача підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД

секцій корпусів суден при плануванні і управлінні часом проектів розробки КД суден на основі нелінійних регресійних моделей трудомісткості робіт є актуальною. В п. 3.1 було показано, що можна підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій завдяки використанню рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт, побудованого на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B з урахуванням кореляції між трудомісткістю робіт і масою секцій корпусів суден. Відповідно, можна зробити припущення що побудова нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B з урахуванням кореляції між трудомісткістю робіт і масою секцій корпусів суден дозволить передбачити (спрогнозувати) значення трудомісткості робіт з більшою достовірністю у порівнянні з наявними методами.

Для побудови нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден необхідно спочатку перейти до лінійної регресійної моделі на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а після побудови лінійної регресійної моделі трудомісткості робіт перейти до нелінійної регресійної моделі завдяки використанню зворотного перетворення.

Лінійну регресійну модель для даних, що нормалізовані на основі перетворення Джонсона сімейства S_B , можна записати у вигляді [19]:

$$Z_Y = \hat{Z}_Y + \varepsilon = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_X + \varepsilon, \quad (3.11)$$

де ε – випадкове відхилення або помилка, гаусівська випадкова величина з нульовим математичним сподіванням і дисперсією D_ε .

Рівняння (3.11) можна представити у вигляді:

$$\gamma_Y + \eta_Y \ln \frac{Y - \phi_Y}{\lambda_Y + \phi_Y - Y} = \hat{Z}_Y + \varepsilon. \quad (3.12)$$

Після виконання відповідних перетворень з рівняння лінійної регресійної моделі (3.12) можна отримати рівняння нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій, яке має вигляд:

$$Y = \phi_Y + \lambda_Y \left[1 + e^{-(\hat{Z}_Y + \varepsilon - \gamma_Y)/\eta_Y} \right]^{-1}. \quad (3.13)$$

Оцінки параметрів двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B отримано в п. 3.1 при побудові рівняння нелінійної регресії. Їх значення такі: $\hat{\gamma}_X = 0,138$; $\hat{\eta}_X = 0,5134$; $\hat{\phi}_X = 5,798$; $\hat{\lambda}_X = 202,4237$; $\hat{\gamma}_Y = 0,081$; $\hat{\eta}_Y = 0,613$; $\hat{\phi}_Y = 19,6$; $\hat{\lambda}_Y = 61,278$. Оцінки параметрів рівняння лінійної регресії для нормалізованих даних за цим перетворенням знайдено в п. 3.1 за (3.2) і (3.3). Вони мають такі значення: $\hat{b}_0 = 0$; $\hat{b}_1 = 0,8334$.

Для моделі нелінійної регресії умовне очікування є нелінійною функцією однієї чи більше незалежних змінних, а випадкова складова – негаусівська випадкова величина. Значення випадкової складової можна отримати завдяки моделюванню методом виключення. Зазвичай метод виключення використовується для моделювання безперервних випадкових величин з відомими умовним негаусівським розподілом у вигляді функції щільності ймовірності. Це основна проблема при моделюванні залежної змінної нелінійної регресії [62].

В [62] запропоновано нову методику для моделювання залежної змінної нелінійної регресії без застосування негаусівської функції щільності ймовірності. Методика базується на біективних мультिवаріантних нормалізуючих перетвореннях. Перед використанням методики необхідно

побудувати рівняння нелінійної регресії та його інтервали передбачення на основі багатовимірною нормалізуючого перетворення. Після цього методика виконується за п'ять етапів:

1) визначається результат розрахунку нелінійного регресійного рівняння та визначаються значення границь інтервалу передбачення нелінійної регресії для значень однієї чи більше незалежних змінних;

2) нормалізовані значення розраховуються на основі нормалізуючого перетворення;

3) значення гаусівської випадкової величини для нормалізованих значень меж інтервалу передбачення (з нульовим середнім та дисперсією, рівною одиниці для системи перетворення Джонсона) моделюється методом виключення;

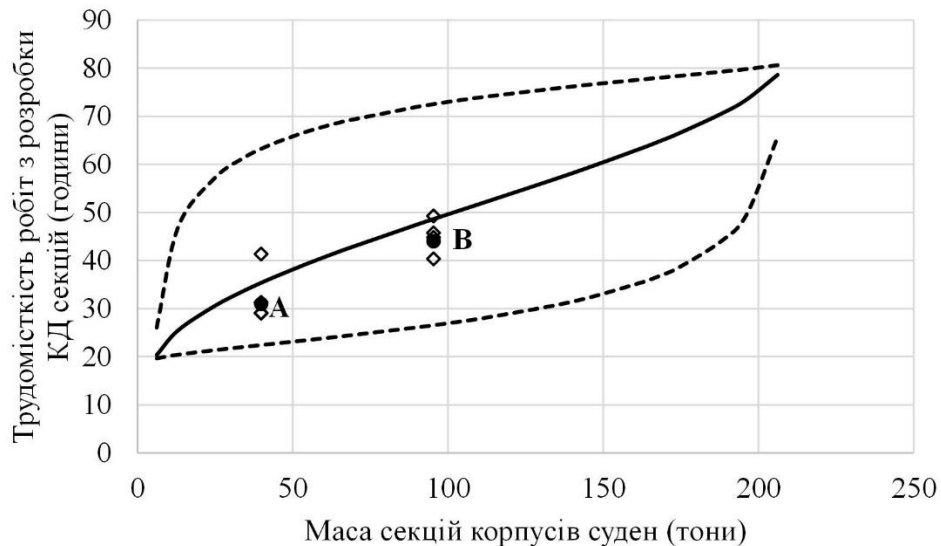
4) обчислюється значення нормалізованої залежної змінної лінійної регресії як сума нормалізованого значення передбачення за рівнянням лінійної регресії та змодельованого значення гаусівської випадкової величини;

5) значення залежної змінної нелінійної регресії визначається шляхом застосування зворотного перетворення до значення нормалізованої залежної змінної.

За цією методикою виконано моделювання залежної змінної нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, побудованої на основі двовимірною нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B (рис. 3.2) [63–65].

На рис. 3.2 по осі абсцис відкладено масу секцій корпусів суден (тони), а по осі ординат – трудомісткість робіт із розробки КД цих секцій (години). Суцільною лінією позначено нелінійну регресію. Довгим пунктиром позначено верхню і нижню границі довірчих інтервалів нелінійної регресії. Коротким пунктиром позначено верхню і нижню границі інтервалів передбачення нелінійної регресії. Ромбами позначено значення залежної змінної, змодельовані за допомогою нелінійної регресійної моделі (3.13) без

застосування негаусівської функції щільності ймовірності. Колами позначено точки (А, В) двовимірного вектору емпіричних даних трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден. Для моделювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден використано генератор випадкових чисел [66].



- Вхідні дані
- Нелінійна регресія трудомісткості робіт
- ◇ Значення залежної змінної, змодельовані за допомогою нелінійної регресійної моделі
- Верхня і нижня границі інтервалів передбачення нелінійної регресії

Рис. 3.2 – Результати моделювання залежної змінної нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден

При моделюванні трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден використано наступні вхідні дані для точки А:

- маса секції $X_A = 39,8 \text{ т}$;
- трудомісткість робіт із розробки КД секції $Y_A = 31 \text{ година}$;
- нормалізована маса секції $Z_{X,A} = -1,1134$;

- нормалізована трудомісткість робіт $Z_{Y,A} = -2,3069$;
- значення лінійної регресії $\hat{Z}_{Y,A} = -0,0485$;
- верхня границя інтервалу передбачення лінійної регресії $Z_{III,Y,A}^B = 1,3336$;
- нижня границя інтервалу передбачення лінійної регресії $Z_{III,Y,A}^H = -2,4593$;
- значення нелінійної регресії $\hat{Y}_A = 39,027$;
- верхня границя інтервалу передбачення нелінійної регресії $Y_{III,A}^B = 77,521$
- нижня границя інтервалу передбачення нелінійної регресії $Y_{III,A}^H = 30,967$.

При моделюванні трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден використано наступні вхідні дані для точки **В**:

- маса секції $X_B = 95,31 \text{ т}$;
- трудомісткість робіт із розробки КД секції $Y_B = 44$ годин;
- нормалізована маса секції $Z_{X,B} = 0,096$;
- нормалізована трудомісткість робіт $Z_{Y,B} = 0,096$;
- значення лінійної регресії $\hat{Z}_{Y,B} = -0,0485$;
- верхня границя інтервалу передбачення лінійної регресії $Z_{III,Y,B}^B = 1,8114$;
- нижня границя інтервалу передбачення лінійної регресії $Z_{III,Y,B}^H = -1,9084$;
- значення нелінійної регресії $\hat{Y}_B = 52,068$;
- верхня границя інтервалу передбачення нелінійної регресії $Y_{III,B}^B = 78,939$;
- нижня границя інтервалу передбачення нелінійної регресії $Y_{III,B}^H = 31,184$.

Параметри перетворення Джонсона сімейства S_B для незалежної змінної (маса секцій корпусів суден), які отримано в п. 3.1: $\gamma_x = 0,2651$; $\eta_x = 0,7792$; $\phi_x = 6,209$; $\lambda_x = 230,728$.

Параметри перетворення Джонсона сімейства S_B для залежної змінної (трудомісткість робіт із розробки КД секцій корпусів суден): $\gamma_y = 0,0446$; $\eta_y = 0,3808$; $\phi_y = 30,9$; $\lambda_y = 30,9$.

Отже, побудовано нелінійну регресійну модель для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє зменшити ширину інтервалів передбачення нелінійної регресії і, тим самим, підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден у порівнянні з наявними (або відповідними) моделями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

3.3 Порівняння результатів побудови нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B з результатами побудови нелінійних регресійних моделей на основі одновимірних перетворень

Для порівняння результатів побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B з результатами побудови рівнянь нелінійної регресії трудомісткості робіт на основі одновимірних нормалізуючих перетворень було обрано одновимірне перетворення на основі десяткового логарифму і одновимірне перетворення Джонсона сімейства S_B .

При побудові рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден з використанням одновимірного

перетворення на основі десяткового логарифму застосовувались наступні рівняння:

$$Z_X = \lg X ;$$

$$Z_Y = \lg Y .$$

Рівняння лінійної регресії при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму побудовано за (3.1 – 3.3). Параметри рівняння лінійної регресії мають значення: $\hat{b}_0 = 0,4357$; $\hat{b}_1 = 0,6467$. Довірчі інтервали лінійної регресії трудомісткості робіт побудовані за (3.6), а інтервали передбачення лінійної регресії побудовані за (3.7).

Рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден побудовано з використанням зворотного перетворення:

$$\hat{Y} = 10^{\hat{Z}_Y} .$$

Довірчі інтервали і інтервали передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт побудовано з використанням зворотного перетворення:

$$Y_{дл} = 10^{Z_{дл}} ,$$

$$Y_{пл} = 10^{Z_{пл}} .$$

На рис. 3.3 представлено результати побудови рівняння нелінійної регресії з використанням одновимірного перетворення на основі десяткового логарифму, а також довірчі інтервали і інтервали передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів

суден. У якості даних для побудови рівняння нелінійної регресії використано 51 значення двовимірного вектора трудомісткості робіт, отриманих після видалення двовимірних викидів при побудові нелінійної регресії трудомісткості робіт з використанням одновимірного перетворення на основі десяткового логарифму.

Для рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, побудованого на основі одновимірного нормалізуючого перетворення з використанням десяткового логарифму отримано наступні значення критеріїв якості за (3.9 – 3.11): $MMRE = 0,4016$; $Pred(0,25) = 0,4118$.

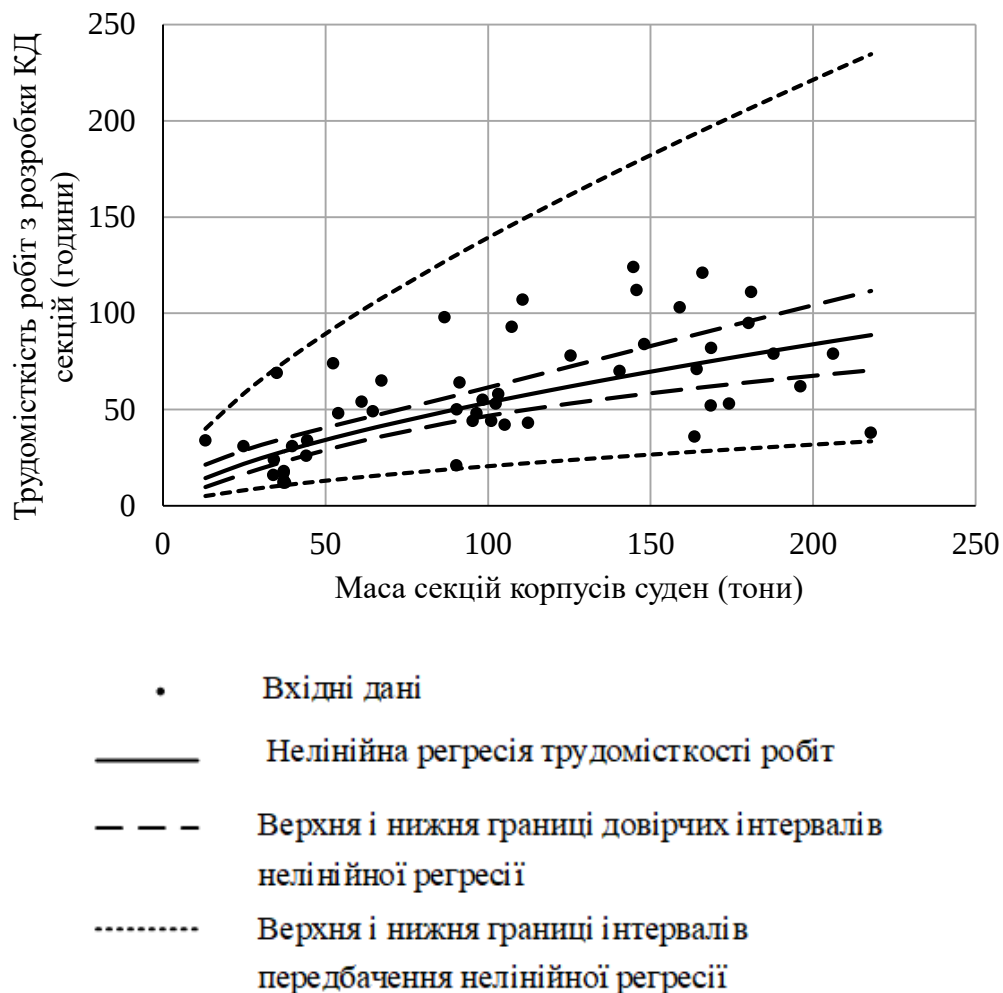


Рисунок 3.3 – Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден на основі одновимірного перетворення з використанням десяткового логарифму

При побудові рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт на основі одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B нормалізовані дані розраховано за рівняннями (3.12) та (3.13).

Оцінювання параметрів одновимірного перетворення Джонсона сімейства S_B виконувалось за методом максимальної правдоподібності [57] при вирішенні задачі (2.9) з використанням логарифмічної функції максимальної правдоподібності (2.11):

$$l_B(\theta_X) = N \ln \eta_X + N \ln \lambda_X - 0,5N \cdot \ln 2\pi - \sum_{i=1}^N \ln(X - \varphi_X) - \\ - \sum_{i=1}^N \ln(\lambda_X + \varphi_X - X) - 0,5 \cdot \sum_{i=1}^N \left[\gamma_X + \eta_X \ln \left(\frac{X - \varphi_X}{\lambda_X + \varphi_X - X} \right) \right]^2.$$

Для залежної змінної Y (трудомісткість робіт) логарифмічна функція максимальної правдоподібності буде мати такий же вигляд після заміни позначок параметрів перетворення Джонсона X і змінної X на змінну Y та позначки параметрів перетворення Джонсона Y .

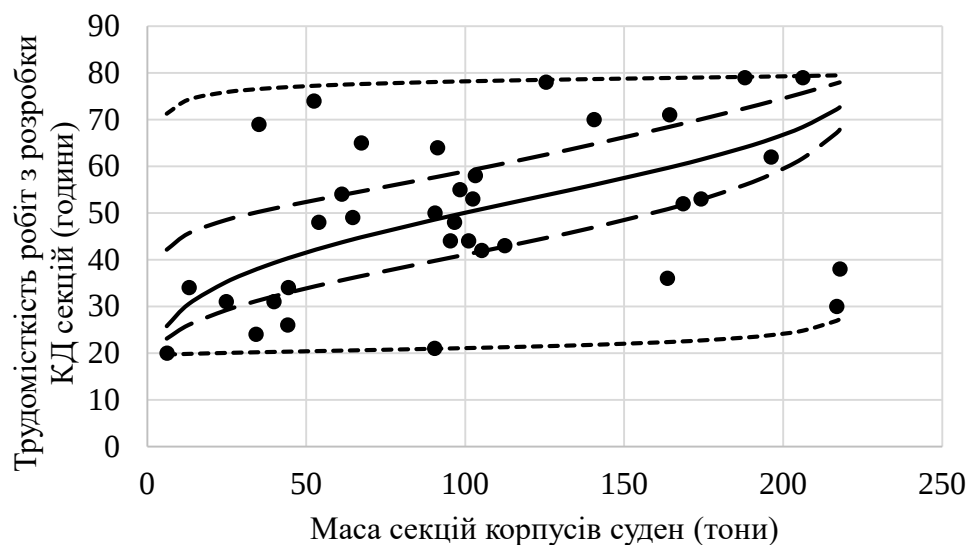
Було отримано такі значення параметрів одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B : $\hat{\gamma}_X = 0,1554$; $\hat{\eta}_X = 0,626$; $\hat{\varphi}_X = 3,0683$; $\hat{\lambda}_X = 221,9643$; $\hat{\gamma}_Y = -0,0171$; $\hat{\eta}_Y = 0,5156$; $\hat{\varphi}_Y = 19,5481$; $\hat{\lambda}_Y = 60,0758$.

Рівняння лінійної регресії у випадку використання одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B побудовано за (3.1 - 3.3). Коефіцієнти рівняння лінійної регресії мають значення: $\hat{b}_0 = 0$; $\hat{b}_1 = 0,4505$.

Рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден побудовано за (3.6). На рис. 3.4 представлено результати побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт на

основі одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B та довірчі інтервали і інтервали нелінійної регресії. У якості даних для побудови нелінійної регресії використано 35 значень двовимірного вектору трудомісткості робіт, які залишились після видалення двовимірних викидів.

Для рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, побудованого на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства S_B отримано наступні значення критеріїв якості (3.9 – 3.11): $MMRE = 0,3032$; $Pred(0,25) = 0,6571$.



- Вхідні дані
- Нелінійна регресія трудомісткості робіт
- - - - Верхня і нижня границі довірчих інтервалів нелінійної регресії
- Верхня і нижня границі інтервалів передбачення нелінійної регресії

Рисунок 3.4 – Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства S_B

Критерії якості нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, побудованої на основі двовимірного

нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , критерії якості нелінійної регресії трудомісткості робіт, побудованої на основі одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B та критерії якості нелінійної регресії трудомісткості робіт, побудованої на основі одновимірного нормалізуючого перетворення з використанням десятичного логарифму, представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Критерії якості нелінійної регресії трудомісткості робіт

Нормалізуюче перетворення	<i>MMRE</i>	Pred(0,25)
Двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B	0,1841	0,7931
Одновимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B	0,3032	0,6571
Одновимірне нормалізуюче перетворення на основі десятичного логарифму	0,4016	0,4118

Порівняння критеріїв якості побудованих рівнянь нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій (табл. 3.2) дозволяє зробити висновок про перевагу використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для побудови нелінійної регресії трудомісткості робіт у порівнянні з одновимірним нормалізуючим перетворенням Джонсона сімейства S_B та одновимірним нормалізуючим перетворенням з використанням десятичного логарифму.

В процесі дослідження виконано порівняння ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден. При порівнянні ширин довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії отримано наступні результати.

Порівняння ширин довірчих інтервалів при найменших значеннях маси секцій.

Найменша ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{дл} = 1,7702$). Середня за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму ($\Delta_{дл} = 11,6127$; збільшення відносно довірчого інтервалу нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 6,56 рази). Найбільша ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{дл} = 19,1028$; збільшення відносно довірчого інтервалу нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 10,79 рази).

Порівняння ширин довірчих інтервалів при середніх значеннях маси секцій.

Найменша ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{дл} = 10,7625$). Середня за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму ($\Delta_{дл} = 14,4392$; збільшення відносно довірчого інтервалу нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 1,34 рази). Найбільша ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{дл} = 17,8709$; збільшення відносно довірчого інтервалу

нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 1,66 рази).

Порівняння ширин довірчих інтервалів при найбільших значеннях маси секцій.

Найменша ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{дл} = 4,5796$). Середня за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{дл} = 10,0971$; збільшення відносно довірчого інтервалу нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 2,2 рази). Найбільша ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму ($\Delta_{дл} = 41,1394$; збільшення відносно довірчого інтервалу нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 8,98 рази).

Отже, на початку значень маси секцій найвужча ширина довірчих інтервалів нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден спостерігалась при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , наступна за значенням ширина довірчого інтервалу спостерігалась при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а найбільша за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігалась при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму. В середині значень маси секцій найвужча ширина довірчих інтервалів нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден спостерігалась при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового

логарифму, наступна за значенням ширина довірчого інтервалу спостерігалась при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а найбільша за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігалась при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . В кінці значень маси секцій найвужча ширина довірчих інтервалів нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден спостерігалась при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , наступна за значенням ширина довірчого інтервалу спостерігалась при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а найбільша за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігалась при використанні нормалізуючого перетворення на основі десятичного логарифму.

Порівняння ширин інтервалів передбачення при найменших значеннях маси секцій.

Найменша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{III} = 6,4102$). Середня за значенням ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні нормалізуючого перетворення на основі десятичного логарифму ($\Delta_{III} = 34,8713$; збільшення відносно інтервалу передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 5,44 рази). Найбільша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{III} = 51,6174$; збільшення відносно інтервалу передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 8,05 рази).

Порівняння ширин інтервалів передбачення в середині діаграм нелінійної регресії.

Найменша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{III} = 45,9643$). Середня за значенням ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{III} = 57,1177$; збільшення відносно інтервалу передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 1,24 рази). Найбільша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму ($\Delta_{III} = 117,3745$; збільшення відносно інтервалу передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 2,55 рази).

Порівняння ширин інтервалів передбачення в кінці діаграм нелінійної регресії.

Найменша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{III} = 14,934$). Середня за значенням ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B ($\Delta_{III} = 52,1784$; збільшення відносно інтервалу передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 3,49 рази). Найбільша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігається при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму ($\Delta_{III} = 201,0539$;

збільшення відносно інтервалу передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі двовимірного перетворення Джонсона в 13,46 рази).

Отже, при найменших значеннях маси секцій нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден спостерігалась мінімальна за значенням ширина довірчих інтервалів при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , середня за значенням ширина довірчого інтервалу спостерігалась при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а максимальна за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігалась при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму. При середніх значеннях маси секцій нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден спостерігалась мінімальна за значенням ширина довірчих інтервалів при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму, середня за значенням ширина довірчого інтервалу спостерігалась при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а максимальна за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігалась при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . При найбільших значеннях маси секцій нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден спостерігалась мінімальна за значенням ширина довірчих інтервалів при використанні двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , середня за значенням ширина довірчого інтервалу спостерігалась при використанні одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , а максимальна за значенням ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії трудомісткості робіт спостерігалась при використанні нормалізуючого перетворення на основі десяткового логарифму.

Таким чином, використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для побудови рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден, довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії дозволяє врахувати кореляцію між фактором і відгуком та отримати менші ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення порівняно з одновимірним нормалізуючим перетворенням Джонсона сімейства S_B та нормалізуючим перетворенням на основі десяткового логарифму. Завдяки цьому можна підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден.

На підставі викладеного вище можна зробити наступні висновки.

Побудовані рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт в залежності від маси секцій у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

Побудовані рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації суден, що дозволяє зменшити ширину зазначеного інтервалу у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. А це, в свою чергу, дозволяє підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт та, відповідно, тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден.

3.4 Висновки за розділом 3

1. При плануванні тривалості робіт і складанні розкладу проектів розробки КД суден трапляються випадки низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт, які є однією з причин перевищення планової трудомісткості окремих робіт та загальної трудомісткості таких проектів. Одним з шляхів підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден є побудова рівняння регресії трудомісткості.

В даній роботі побудовано рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволило використати дані попередніх проектів і виключити фактор суб'єктивного оцінювання трудомісткості на базі власного досвіду менеджера з управління проектами. Використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , дозволило зменшити ширини довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії у порівнянні з ширинами довірчих інтервалів і інтервали передбачення нелінійної регресії, побудованої на основі одновимірних нормалізуючих перетворень. А це, в свою чергу, дозволило підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден.

2. **Удосконалено** рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт в залежності від маси секцій у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Використання зазначених оцінок вибіркового середнього трудомісткості робіт дозволяє, в

свою чергу, підвищити достовірність оцінювання середніх часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

3. Побудовано рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє зменшити ширину зазначеного інтервалу у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Вказане скорочення ширини інтервалу передбачення нелінійної регресії дозволяє, в свою чергу, підвищити достовірність оцінювання часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

4. Побудовано нелінійну регресійну модель для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє зменшити ширину інтервалів передбачення нелінійної регресії та, тим самим, підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден у порівнянні з наявними моделями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

Результати досліджень у поточному розділі автором опубліковано в [27, 33, 61].

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН

4.1 Методика оцінювання середньої трудомісткості робіт та її застосування для управління часом проектів з розробки конструкторської документації суден

Оцінювання середньої трудомісткості робіт є однією з основних задач при управлінні часом проектів розробки КД суден, а саме при плануванні часу робіт і складанні розкладу проекту [67, 68]. Перед оцінюванням трудомісткості робіт складається попередній перелік і послідовність робіт проекту у вигляді мережевої діаграми, що дозволяє оцінити не тільки середню трудомісткість окремих робіт, а й середню трудомісткість проекту розробки КД судна в цілому.

В процесі виконання проекту розробки КД судна проводяться контрольні оцінювання середньої трудомісткості робіт для прийняття рішень по корегуванню розкладу проекту і забезпеченню своєчасного виконання контракту. Тому існує необхідність у створенні методики достовірного оцінювання середньої трудомісткості робіт, яка дозволить проводити оцінювання трудомісткості і, відповідно, тривалості робіт на основі статистичних даних у попередніх проектах. Така методика створена завдяки використанню нелінійної регресії трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі двовимірного перетворення Джонсона.

Методика оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД суден розроблена на основі нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій

(3.13), побудованої з використанням двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Вона складається з **трьох** етапів.

Перший етап. На першому етапі обчислюється оцінка середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден для відомої маси секцій за наступним рівнянням:

$$\hat{Y} = 19,6 + 61,278 \left\{ 1 + e^{\left[0,8334 \left(0,138 + 0,5134 \ln \frac{X - 5,798}{202,424 + 5,798 - X} \right) - 0,081 \right] / 0,613} \right\}^{-1}, \quad (4.1)$$

де $\hat{Y}$ – оцінка середньої трудомісткості робіт з розробки КД секції в годинах;

X – маса секції в тонах.

Значення маси секцій обирається в межах між мінімальним значенням маси секцій 6 тон і максимальним значенням маси секцій 207 тон.

Додатково до оцінки середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден визначаються оцінки нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів середньої трудомісткості робіт за наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} \hat{Z}_{y_{дл}} &= 0,833 \left(0,138 + 0,513 \ln \frac{X - 5,798}{202,424 + 5,798 - X} \right) \pm \\ &\pm 2,052 \cdot 0,573 \sqrt{0,034 + \frac{\left(0,138 + 0,513 \ln \frac{X - 5,798}{202,424 + 5,798 - X} \right)^2}{29}}; \\ \hat{Y}_{дл} &= \frac{(61,278 + 19,6) \exp \left(\frac{\hat{Z}_{y_{дл}} - 0,081}{0,613} \right) + 19,6}{1 + \exp \left(\frac{\hat{Z}_{y_{дл}} - 0,081}{0,613} \right)}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Оцінки нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів середньої трудомісткості робіт за (4.2) використовуються на другому і третьому етапах методики.

Другий етап. На другому етапі отримані оцінки середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден (нелінійна регресія) за (4.1) та довірчих інтервалів нелінійної регресії трудомісткості робіт за (4.2) використовуються для складання мережових діаграм проекту розробки КД суден та отримання наступних оцінок:

- середньої трудомісткості робіт у проекті;
- максимально можливої середньої трудомісткості робіт у проекті;
- мінімально можливої середньої трудомісткості робіт у проекті.

Оцінка середньої трудомісткості робіт на критичному шляху мережової діаграми є оцінкою середньої трудомісткості робіт проекту.

Третій етап. На основі мережових діаграм проекту, побудованих за оцінками середньої трудомісткості робіт та довірчих інтервалів нелінійної регресії трудомісткості робіт, будуються відповідні мережеві діаграми розкладу проекту. Перед побудовою мережової діаграми розкладу проекту необхідно перетворити трудомісткість робіт, представлену у годинах, в тривалість робіт, представлену у робочих днях, за рівнянням:

$$t_p = e_p / 8 , \quad (4.3)$$

де t_p – час виконання роботи в робочих днях;

e_p – трудомісткість роботи в годинах.

Слід зазначити, що час виконання роботи t_p , який обчислено в робочих днях на основі трудомісткості роботи за (4.3), не є тривалістю роботи в календарних днях. А тривалість роботи в календарних днях та дата початку виконання роботи і дата завершення виконання роботи є основними величинами для складання мережової діаграми розкладу проекту і контролю строків виконання робіт. Дати початку і завершення виконання роботи визначаються послідовно, починаючи з першої роботи на кожному шляху мережової діаграми. Для цього до дати початку роботи додається час виконання роботи в робочих днях за (4.3) відповідно до календаря. Це

дозволяє обчислити дату завершення поточної роботи. Наступний робочий день стає датою початку другої роботи.

Приклад використання методики оцінювання середньої трудомісткості робіт і побудови мережевої діаграми розкладу проекту.

Після виконання першого етапу методики за наведеними вище рівняннями (4.1) та (4.2) отримано оцінки середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден (нелінійна регресія) та довірчих інтервалів нелінійної регресії, які наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден (нелінійна регресія) та довірчих інтервалів нелінійної регресії

Код секції	Маса секції	Трудомісткість робіт з розробки КД секцій корпусів суден (години)		
		Середня	Нижня границя довірчих інтервалів	Верхня границя довірчих інтервалів
1	2	3	4	5
3024	53,91	39,16	34,34	44,54
3989	61,13	40,94	36,02	46,36
3802	64,58	41,77	36,79	47,19
3999	67,24	42,39	37,38	47,82
3199	90,43	47,56	42,29	53,00
3499	91,25	47,74	42,45	53,18
3806	95,31	48,61	43,28	54,04
3023	96,54	48,87	43,53	54,30
3624	98,35	49,26	43,89	54,68

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5
3801	101,06	49,83	44,43	55,25
3804	102,35	50,10	44,69	55,52
3799	103,14	50,27	44,85	55,68

Після обчислення оцінок середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден (нелінійна регресія) та довірчих інтервалів нелінійної регресії переходять до другого етапу.

На другому етапі побудовано фрагмент мережевої діаграми проекту розробки КД судна за оцінками середньої трудомісткості робіт (рис. 4.1).

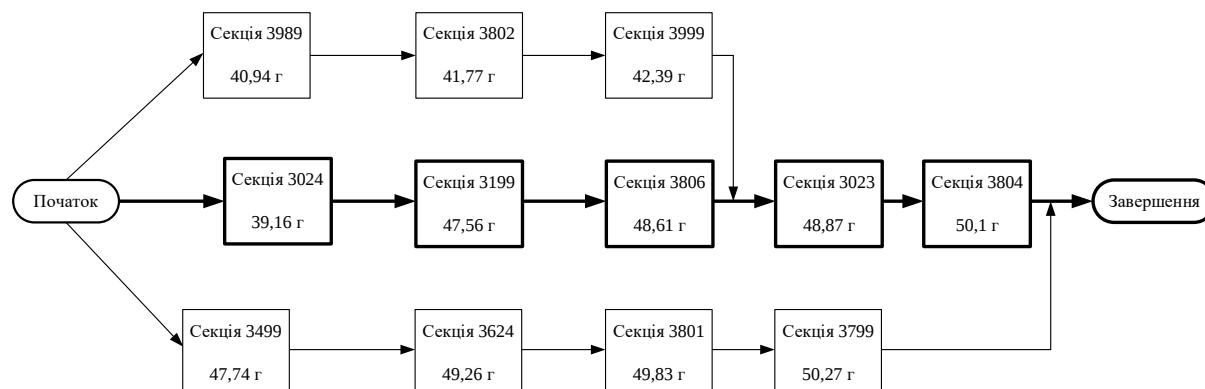


Рисунок 4.1 – Мережева діаграма проекту розробки КД секцій корпусу судна, побудована за оцінками середньої трудомісткості робіт

На рис. 4.1 товстими лініями виділено роботи, які знаходяться на критичному шляху мережевої діаграми. Середня трудомісткість робіт проекту (сума середніх трудомісткостей робіт, розташованих на критичному шляху) становить 234,3 години.

Побудовано фрагмент мережевої діаграми проекту розробки КД судна за оцінками максимально можливої середньої трудомісткості робіт відповідно до значень верхньої границі довірчих інтервалів нелінійної регресії (рис. 4.2).

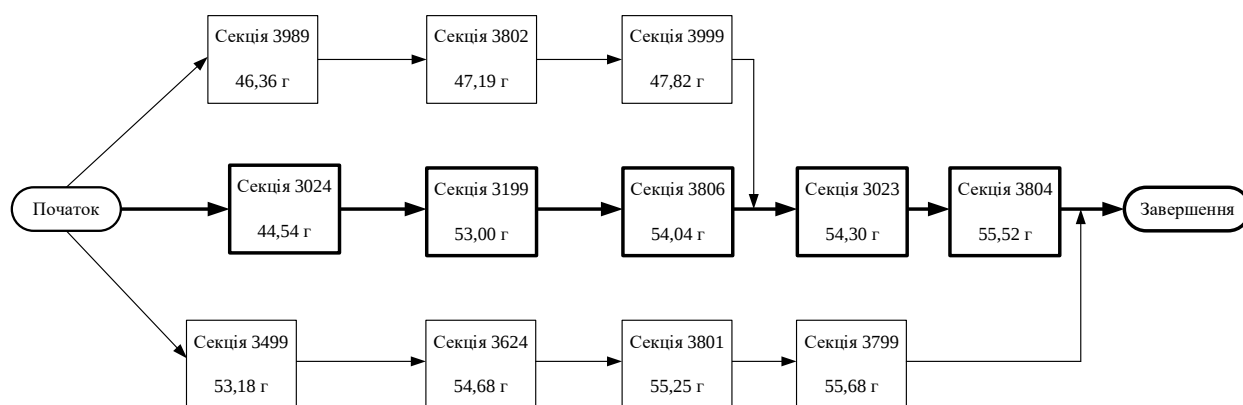


Рисунок 4.2 – Мережева діаграма проекту розробки КД секцій корпусу судна, побудована за оцінками максимально можливої середньої трудомісткості робіт

Максимально можлива середня трудомісткість робіт проекту (сума середніх трудомісткостей робіт, розташованих на критичному шляху) становить 261,4 години.

Побудовано фрагмент мережевої діаграми проекту розробки КД судна за оцінками мінімально можливої середньої трудомісткості робіт відповідно до значень нижньої границі довірчих інтервалів нелінійної регресії (рис. 4.3).

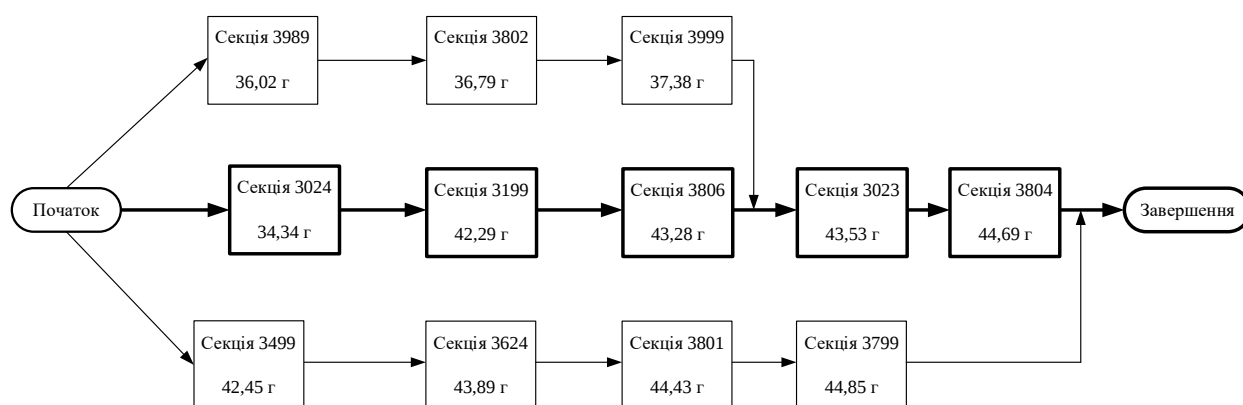


Рисунок 4.3 – Мережева діаграма проекту розробки КД секцій корпусу судна, побудована за оцінками мінімально можливої середньої трудомісткості робіт

Мінімально можлива середня трудомісткість робіт проекту (сума середніх трудомісткостей робіт, розташованих на критичному шляху) становить 209,13 години.

На третьому етапі методики після обчислення часу виконання робіт за (4.3) та визначення тривалості робіт у календарних днях будується розклад проекту. Фрагмент розкладу проекту представлено на рис. 4.4.

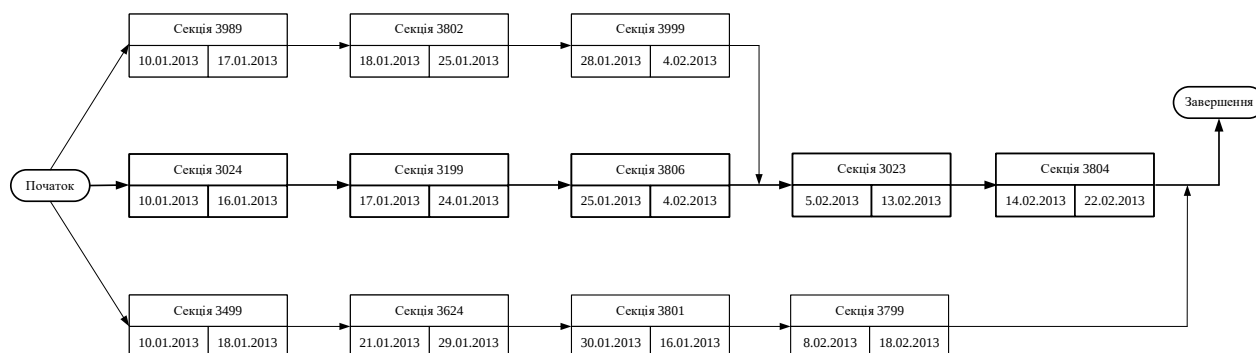


Рисунок 4.4 – Розклад проекту з розробки КД секцій корпусу судна, складений з використанням оцінок середньої трудомісткості робіт, отриманих із нелінійної регресії трудомісткості

На рис. 4.4 в кожному прямокутнику наведено наступні дані. У верхньому прямокутнику наведено код секції корпусу у проекті. У нижніх прямокутниках представлено дату початку виконання роботи і дату завершення роботи, розраховані за оцінками середньої трудомісткості, отриманими з використанням нелінійної регресії трудомісткості робіт, побудованої на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Суцільними лініями позначені лінії з'єднання робіт відповідно до послідовності їх виконання. Товстими лініями виділено роботи, які знаходяться на критичному шляху мережевої діаграми.

При використанні значень трудомісткості робіт, які відповідають значенням максимально можливої середньої трудомісткості робіт,

розташованим на верхній границі довірчих інтервалів нелінійної регресії, можна побудувати мережеву діаграму розкладу проекту з максимально можливими строками виконання робіт (рис. 4.5).

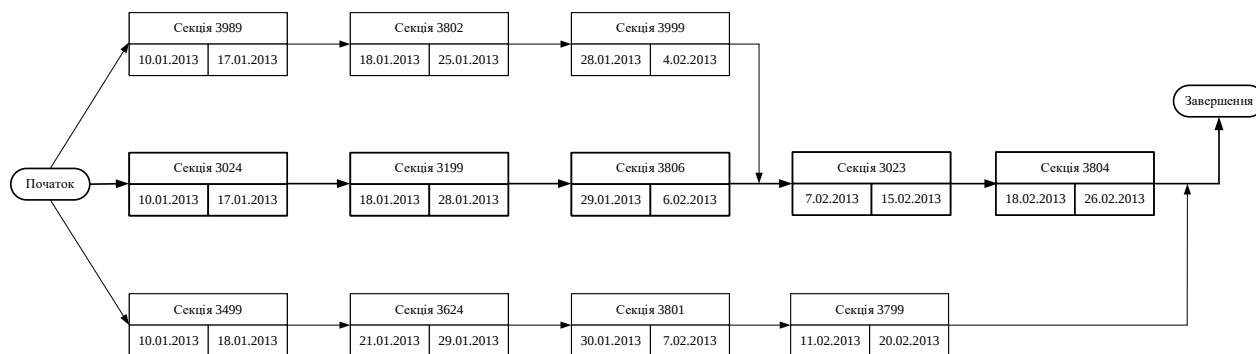


Рисунок 4.5 – Розклад проекту з розробки КД секцій корпусу судна, складений з використанням оцінок максимально можливої середньої трудомісткості робіт

При використанні значень трудомісткості робіт, які відповідають значенням мінімально можливої середньої трудомісткості робіт, розташованим на нижній границі довірчих інтервалів нелінійної регресії, можна побудувати мережеву діаграму розкладу проекту з мінімально можливими строками виконання робіт (рис. 4.6).

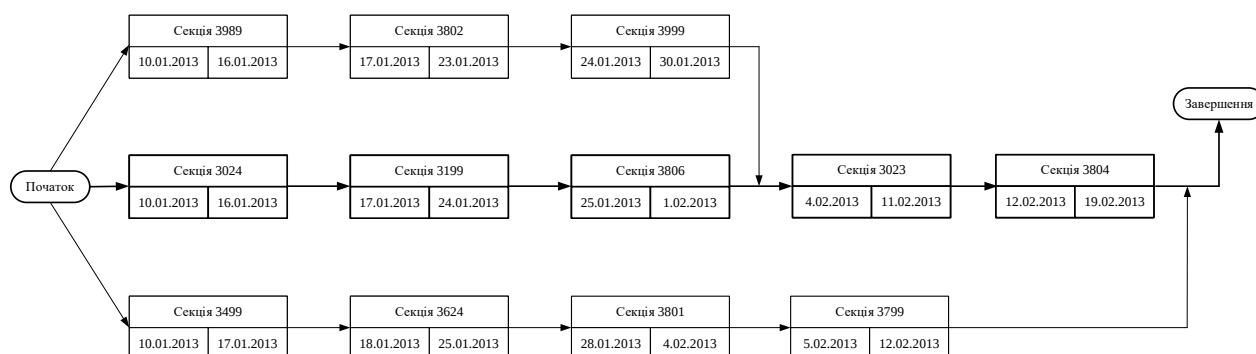


Рисунок 4.6 – Розклад проекту з розробки КД секцій корпусу судна, складений з використанням оцінок мінімально можливої середньої трудомісткості робіт

Для порівняння на рис. 4.7 наведено мережеву діаграму розкладу проекту розробки КД секцій корпусів суден з використанням оцінок трудомісткості на основі власного досвіду менеджера проектів та на основі фактичної трудомісткості робіт.

На рис. 4.7 в кожному прямокутнику наведено наступні дані. У верхньому прямокутнику наведено код секції корпусу у проекті. У середніх прямокутниках представлено дату початку виконання роботи і дату завершення роботи, розраховані за оцінками трудомісткості, отриманими на основі власного досвіду менеджера проектів. У нижніх прямокутниках представлено фактичну дату початку виконання роботи і фактичну дату завершення роботи.

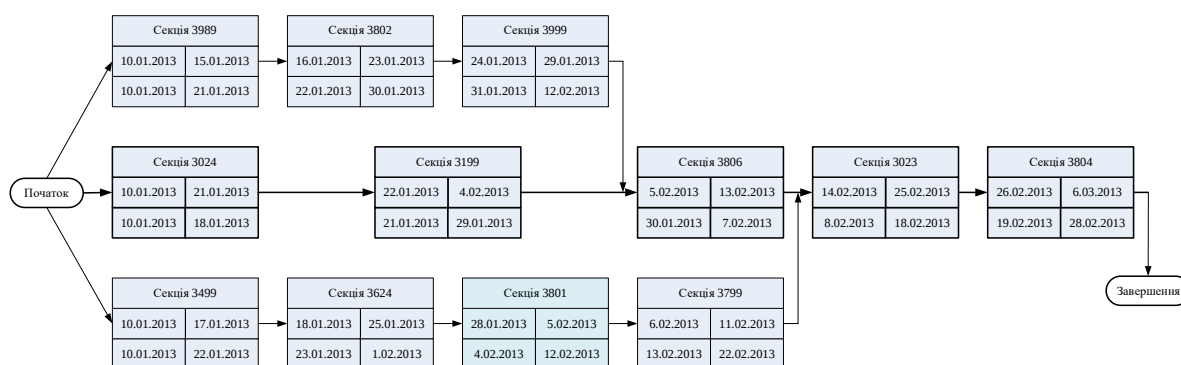


Рисунок 4.7 – Розклад проекту з розробки КД секцій корпусу судна, складений з використанням оцінок трудомісткості робіт, отриманих на основі власного досвіду менеджера проектів та фактичної трудомісткості

При порівнянні дати початку і завершення робіт з розробки КД секцій корпусу судна отримані на основі власного досвіду менеджера з управління проектами та отримані на основі нелінійної регресії трудомісткості робіт із фактичними датами початку і завершення робіт, то можна зробити наступний висновок. Дати, отримані на основі нелінійної регресії трудомісткості робіт, більш наближені до фактичних дат початку і завершення робіт ніж дати, отримані на основі власного досвіду менеджера

проектів. А це, відповідно, вказує на більш високу достовірність оцінювання трудомісткості робіт на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона, ніж оцінювання на основі власного досвіду менеджера проектів.

Впровадження даної методики в ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ» (акт впровадження від 24.12.2019 року) і ТОВ «МДЕМ» (акт впровадження від 23.12.2019 року) дозволило підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден і скоротити час виконання проектів на 4% – 7%.

4.2 Методика оцінювання трудомісткості робіт, як випадкової величини, та її застосування при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден

Оцінки трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден можна отримати завдяки застосуванню методів імітаційного моделювання. Наприклад, методу Монте-Карло [72]. Основна ідея комп'ютерного моделювання трудомісткості робіт методом Монте-Карло полягає у тому, що для отримання оцінок трудомісткості використовується нелінійна регресійна модель трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден (3.13), побудована на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Вона дозволяє виконати комп'ютерне моделювання значень трудомісткості робіт з урахуванням впливу непередбачених факторів. Таке моделювання рекомендується виконувати при складанні розкладу проектів з розробки КД суден та управлінні часом таких проектів. Результати моделювання трудомісткості можна використовувати при попередніх розрахунках трудомісткості проекту і плануванні часу виконання проекту.

В рівнянні (3.13) змінна ε є гаусівською випадковою величиною з нульовим математичним сподіванням і дисперсією $D_{\varepsilon} = 1,81$. Вона відображає випадкове відхилення трудомісткості робіт, яке виникає в результаті впливу непередбачених факторів.

Оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден за нелінійною регресійною моделлю трудомісткості, побудованою на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , складається з двох частин.

В **першій частині** обчислюється оцінка середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден за (4.1) для відомої маси секцій і верхня та нижня границі інтервалів передбачення нелінійної регресії за наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} \hat{Z}_{III} &= 0,833 \left(0,138 + 0,513 \ln \frac{X - 5,798}{202,424 + 5,798 - X} \right) \pm \\ &\pm 2,052 \cdot 0,573 \sqrt{1 + 0,034 + \frac{\left(0,138 + 0,513 \ln \frac{X - 5,798}{202,424 + 5,798 - X} \right)^2}{29}}; \\ \hat{Y}_{III} &= \frac{(61,278 + 19,6) \exp \left(\frac{Z_{III} - 0,081}{0,613} \right) + 19,6}{1 + \exp \left(\frac{Z_{III} - 0,081}{0,613} \right)}. \end{aligned} \quad (4.4)$$

За рівняннями (4.4) обчислюються граничні значення трудомісткості робіт (обмеження) при моделюванні.

У **другій частині** виконується комп'ютерне моделювання випадкової змінної ε та обчислення значення трудомісткості робіт з розробки КД секції корпусу судна для заданої маси.

У нелінійній регресійній моделі трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден трудомісткість є нелінійною функцією маси секцій, випадкова складова – негаусівська випадкова величина. Для отримання

значення випадкової складової можна використати метод виключення, але його використання пов'язано з деякими обмеженнями. Як правило метод виключення використовується для моделювання безперервних випадкових величин з відомим умовним негаусівським розподілом у вигляді функції щільності ймовірності. У випадку трудомісткості робіт з розробки КД секцій щільність ймовірності розподілу трудомісткості невідома.

В [56] була запропонована нова методика для моделювання залежної змінної нелінійної регресії без застосування негаусівської функції щільності ймовірності. Вона базується на мультиваріантних нормалізуючих перетвореннях. Ця методика використовується при комп'ютерному моделюванні випадкової змінної ε і складається з **двох** етапів.

На **першому етапі** виконується моделювання гаусівської випадкової величини ε з нульовим математичним сподіванням та дисперсією 1,81 методом виключення [73].

На **другому етапі** визначається оцінка трудомісткості робіт з розробки КД секцій рівняння нелінійної регресійної моделі (3.13) та параметрів перетворення Джонсона сімейства S_B , визначених при побудові нелінійної регресійної моделі (3.13) в п. 3.2:

$$\hat{Y} = 19,6 + 61,278 \left\{ 1 + e^{\left[0,8334 \left(0,138 + 0,5134 \ln \frac{X - 5,798}{202,424 + 5,798 - X} \right) + \varepsilon - 0,081 \right] / 0,613} \right\}^{-1}, \quad (4.5)$$

де X – відома маса секції;

ε – гаусівська випадкова величина з нульовим математичним сподіванням та дисперсією 1,81, змодельована методом виключення.

Наприклад, для секції 3806 з масою $X = 95,31$ т було отримано значення $\varepsilon = 0,0256$. Відповідно, оцінка трудомісткості роботи з розробки КД секції корпусу судна за (4.5) $\hat{Y} = 49,25$ годин. При перетворенні трудомісткості роботи у час виконання роботи за (4.3) отримано оцінку часу

виконання роботи у 6,2 робочих днів. В залежності від дати закінчення попередньої роботи можна визначити дату початку і закінчення роботи з розробки КД секції 3806 та тривалість цієї роботи в календарних днях.

Отже, нелінійна регресійна модель трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, побудована на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , дозволяє отримати оцінки трудомісткості робіт, як випадкової величини, методом Монте-Карло та використовувати ці оцінки при управлінні часом проектів розробки КД суден.

4.3 Використання методик оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден для оцінювання середньої трудомісткості за методом PERT

Оцінки середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, отримані з використанням нелінійної регресійної моделі трудомісткості за (4.1), побудованої на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , та інтервали передбачення нелінійної регресії за (4.4) можна використати при оцінюванні середньої трудомісткості робіт за (1.1) методу PERT [69–71].

В процесі досліджень було виконано розрахунки трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден за удосконаленим методом PERT з використанням нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт, побудованої на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B .

Результати оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, отримані за удосконаленим методом PERT, наведено в табл. 4.2 та на рис. 4.8.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, отримані за удосконаленим методом PERT

Номер секції	Трудомісткість робіт з розробки КД секцій корпусів суден (години)				
	Фактична	Середня	Нижня границя інтервалів передбачення	Верхня границя інтервалів передбачення	Розрахована за удосконаленим методом PERT
1	2	3	4	5	6
4208	20,0	20,36	19,68	26,09	21,20
4209	34,0	25,50	20,45	46,99	28,24
4103	31,0	30,55	21,38	57,13	33,45
4301	24,0	33,67	22,05	61,34	36,34
3925	31,0	35,36	22,44	63,21	37,85
3924	26,0	36,58	22,74	64,43	38,92
3623	34,0	36,64	22,75	64,48	38,97
3024	48,0	39,16	23,41	66,68	41,12
3989	54,0	40,94	23,92	68,03	42,62
3802	49,0	41,77	24,16	68,61	43,31
3999	65,0	42,39	24,35	69,03	43,82
3199	50,0	47,56	26,14	71,99	48,06
3499	64,0	47,74	26,21	72,08	48,21
3806	44,0	48,61	26,55	72,50	48,91
3023	48,0	48,87	26,66	72,62	49,13
3624	55,0	49,26	26,82	72,80	49,44
3801	44,0	49,83	27,06	73,06	49,91
3804	53,0	50,10	27,18	73,18	50,13
3799	58,0	50,27	27,25	73,26	50,27
4202	42,0	50,71	27,44	73,45	50,62
3489	43,0	52,22	28,14	74,07	51,85
3622	70,0	58,25	31,51	76,20	56,79
3723	36,0	63,60	35,67	77,69	61,29

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
3322	71,0	63,79	35,85	77,74	61,46
3921	52,0	64,88	36,90	78,01	62,40
3321	53,0	66,36	38,48	78,36	63,72
3122	79,0	70,45	43,96	79,22	67,50
3422	62,0	73,44	49,53	79,78	70,51
4101	79,0	78,59	65,67	80,60	76,77

На рис. 4.8 суцільною лінією зображено нелінійну регресію трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, побудовану на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Довгим пунктиром зображено лінію середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій, розраховану за удосконаленим методом PERT, з використанням рівняння (1.1), значень оптимістичної і песимістичної оцінок трудомісткості робіт, розташованих на верхній і нижній границях інтервалів передбачення нелінійної регресії, та значень найбільш ймовірної оцінки трудомісткості, розташованих на лінії нелінійної регресії трудомісткості. Коротким пунктиром зображено верхню і нижню границі інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт. Точками зображено емпіричні дані фактичної трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден.

Для нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, побудованої на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , та середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій, розрахованої за удосконаленим методом PERT, обчислено статистичні критерії: середня відносна помилка MMRE; відсоток прогнозованих значень, для яких відносна помилка MRE менше 0,25, Pred(0,25);. Результати обчислення статистичних критеріїв представлено у табл. 4.3.

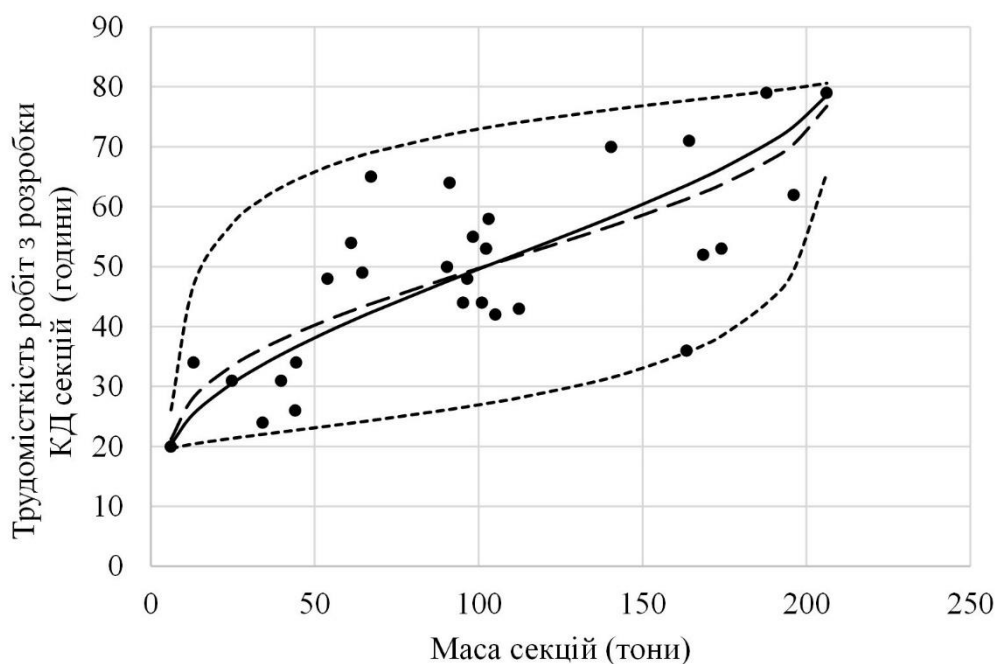


Рисунок 4.8 – Нелінійна регресія трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден і її інтервали передбачення та середні трудомісткості робіт, розраховані за удосконаленим методом PERT

Отже, можна удосконалити рівняння (1.1) для оцінювання середньої трудомісткості робіт методу PERT шляхом заміни трьох оцінок трудомісткості робіт, отриманих на основі власного досвіду менеджера проектів, на відповідні оцінки, отримані з використанням нелінійної регресії трудомісткості робіт та її інтервалів передбачення, побудованих на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B .

Таблиця 4.3 – Результати обчислення статистичних критеріїв

Спосіб розрахунку середньої тривалості робіт	MMRE	Pred(0,25)
Середні тривалості робіт за (п. 3.1)	0,1841	0,7931
Середні тривалості робіт за (1.1)	0,1888	0,8621

Використання удосконалення методу PERT для оцінювання середньої трудомісткості робіт показано на прикладі оцінювання тривалості робіт з розробки КД секцій корпусів суден. Використання цього удосконалення дозволяє підвищити достовірність оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД суден у порівнянні з традиційним методом PERT. Про підвищення достовірності оцінювання тривалості свідчать найкраще значення $Pred(0,25)$, отримане в результаті розрахунку середньої тривалості удосконаленого методу PERT (табл. 4.3). Значення $Pred(0,25)$ покращено на 9%. Тому пропонується надалі використовувати оцінювання тривалості робіт за удосконаленим методом PERT із застосуванням границь інтервалів передбачення нелінійної регресійної моделі.

4.3 Висновки за розділом 4

1. Використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B при побудові нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден дозволяє отримати оцінки середньої трудомісткості робіт на основі статистичних даних проектів за методикою, описаною в цьому розділі.

2. Нелінійна регресійна модель трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, побудована на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , дозволяє отримати оцінки трудомісткості робіт, як випадкової величини, методом Монте-Карло та використовувати ці оцінки при управлінні часом проектів розробки КД суден.

3. Оцінки середньої трудомісткості робіт з розробки КД секцій корпусів суден, отримані з використанням нелінійної регресії трудомісткості, побудованої на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , та інтервали передбачення нелінійної

регресії можна використати при оцінюванні середньої трудомісткості робіт за методом PERT.

Встановлено, що можна удосконалити оцінювання середньої трудомісткості робіт за методом PERT (1.1) шляхом заміни трьох оцінок трудомісткості робіт, отриманих на основі власного досвіду менеджера проектів, на відповідні оцінки, отримані з використанням нелінійної регресії трудомісткості робіт та її інтервалів передбачення, побудованих на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Використання удосконалення методу PERT для оцінювання середньої трудомісткості робіт показано на прикладі оцінювання тривалості робіт з розробки КД секцій корпусів суден. Використання цього удосконалення дозволяє підвищити достовірність оцінювання середньої трудомісткості робіт з розробки КД суден у порівнянні з традиційним методом PERT. Про підвищення достовірності оцінювання трудомісткості свідчать найкращі значення $Pred(0,25)$, отримані в результаті розрахунку середньої трудомісткості удосконаленого методу PERT (табл. 4.3). Значення $Pred(0,25)$ покращено на 9%. Тому пропонується надалі використовувати оцінювання трудомісткості робіт за удосконаленим методом PERT із застосуванням границь інтервалів передбачення нелінійної регресії.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальну **науково-прикладну задачу** підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден завдяки створенню та удосконаленню математичних моделей трудомісткості робіт на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Проведений аналіз існуючих методів і моделей оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден показав, що відомі методи і моделі оцінювання трудомісткості робіт використовують оцінки, які призначаються здебільшого однією людиною – менеджером з управління проектами. Існують випадки низької достовірності оцінювання трудомісткості робіт, що призводить до низької достовірності оцінювання тривалості виконання робіт і перевищення запланованого часу виконання проектів. Для підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден запропоновано використання рівнянь нелінійної регресії та нелінійних регресійних моделей трудомісткості робіт, побудованих на базі статистичних даних виконаних проектів.

2. *Вперше* побудовано негаусівську ймовірнісну модель для трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B , що дозволяє не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а надалі провести кращу нормалізацію емпіричних даних у порівнянні з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів, а також в подальшому підвищити достовірність оцінювання трудомісткості

робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден.

3. *Удосконалено* рівняння трансформованого еліпса передбачення для двовимірного негаусівського вектора трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє визначити наявність двовимірних викидів у подібних наборах даних без припущення про їх нормальний розподіл. Також це удосконалення дозволяє в подальшому підвищити достовірність оцінювання трудомісткості і, відповідно, тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден.

4. *Удосконалено* рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт в залежності від маси секцій у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Використання зазначених оцінок вибіркового середнього трудомісткості робіт дозволяє, в свою чергу, підвищити достовірність оцінювання середніх часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

5. *Удосконалено* рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден, що дозволяє зменшити ширину зазначеного інтервалу у порівнянні з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями. Вказане скорочення ширини інтервалу передбачення нелінійної регресії дозволяє, в свою чергу, підвищити достовірність оцінювання часових інтервалів розкладу проекту розробки конструкторської документації суден.

6. *Отримала подальший розвиток* регресійна модель для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дозволяє зменшити ширину інтервалів передбачення нелінійної регресії та, тим самим, підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден у порівнянні з наявними моделями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

7. Проведено порівняння результатів побудови рівняння нелінійної регресії та нелінійної регресійної моделі для оцінювання трудомісткості робіт на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B з результатами побудови нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден на основі одновимірних нормалізуючих перетворень. Виявлено, що використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона покращує критерій якості нелінійної регресії $Pred(0,25)$ у порівнянні з використанням одновимірних нормалізуючих перетворень.

8. Розроблено методики оцінювання середньої трудомісткості робіт з використанням рівняння нелінійної регресії трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації секцій корпусів суден, побудованого на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B та довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії.

9. Розроблено методику для оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден з використанням нелінійної регресійної моделі трудомісткості робіт, побудованої на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B .

10. Практичне використання розроблених математичних моделей оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден дозволило підвищити достовірність

оцінювання трудомісткості робіт та скоротити час виконання проектів на 4% – 7%.

11. Результати дисертаційного дослідження у вигляді математичних моделей оцінювання трудомісткості робіт мають перспективу подальшого використання при управлінні проектами розробки конструкторської документації суден. Це підтверджено актами впровадження результатів дослідження в ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ» (акт впровадження від 24.12.2019 року) і ТОВ «МДЕМ» (акт впровадження від 23.12.2019 року) дозволило підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки КД суден і скоротити час виконання проектів на 4% – 7%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конференції організації об'єднаних націй із торгівлі і розвитку UNCTAD. Обзор морского транспорта. 2018 год. // Организация Объединенных Наций, 2018 год. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018_ru.pdf
2. Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Рассел Д. Арчибальд; Пер. с англ. Мамонтова Е.В.; Под ред. Баженова А.Д., Арефьева А.О. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
3. Клиффорд Ф. Грей. Управление проектами: Практическое руководство. / Клиффорд Ф. Грей, Эрик У. Ларсен // Пер. с англ. – М.: Издательство «Дело и сервис», 2003. – 528 с.
4. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами Научно–практическое издание. — М.: СИНТЕГ — ГЕО, 1997. — 188 с.
5. Бурков, В.Н. Метод сетевого программирования в задачах управления проектами / В. Н. Бурков, И. В. Буркова // «Управление большими системами». – 2010. – Выпуск 30.1. – С. 40–61
6. Баркалов, С.А. Математические основы управления проектами: Учебное пособие / С.А.Баркалов, В.И.Воропаев, Г.И.Секлетова и др., Под ред. В.Н. Буркова – М.: Высшая школа, 2005. – 423 с
7. Бушуев, С.Д., Бушуева Н.С., Бабаев И.А., Яковенко В.Б., Гриша Е.В., Дзюба С.В., Войтенко А.С. Креативные технологии управления проектами и программами: Монография. / С.Д. Бушуев С.Д., Н.С. Бушуева, И.А. Бабаев, В.Б. Яковенко, Е.В. Гриша, С.В. Дзюба, А.С. Войтенко. – К.: «Саммит–Книга», 2010. – 768 с.
8. Бушуев С.Д. Життєвий цикл хмарних технологій управління проектами та програмами /С.Д. Бушуев, Р.Ф. Ярошенко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. – № 3(39). – С. 5–10.

9. Бушуева, Н.С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития: монография / Н.С. Бушуева. – К.: Наук. світ, 2007. – 199 с.

10. «Управління проектами»: навчальний посібник / Уклад.: Л.Є. Довгань, Г.А.Мохонько, І.П.Малик. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 420 с.

11. Кошкин, К.В. Организация компьютеризированных интегрированных производств в судостроении: Монография. / К.В. Кошкин. – Николаев: УГМТУ, 1999. – 220 с.

12. Голенко–Гинзбург, Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками: Монография. / Д.И. Голенко–Гинзбург. – Воронеж: «Научная книга», 2010. – 284 с.

13. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®) Шестое издание, 2004. Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073–3299 USA/США.

14. Приходько С.Б. Модели и методы управления временем в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2011. – № 1 (436). – С. 149–154.

15. Приходько, С.Б. Выбор нормализующего преобразования для оценки продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судна / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2011. – № 4 (439). – С. 140–145.

16. Приходько, С.Б. Интервальное оценивание отклонений продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судов. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Международный журнал об инновациях в судостроении «Shipbuilding &

Marine Infrastructure (Судостроение и морская инфраструктура)». – Миколаїв: НУК, 2014. – № 2(2). – С. 103–110. (Crossref).

17. Приходько, С.Б. Побудова трансформованих еліпсів передбачення на основі нормалізуючих перетворень для двовимірних негаусових даних. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.О. Кудін, Т.Г. Смикодуб // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон: ХНТУ, 2017. – № 21. – С. 134–138.

18. Prykhodko, S.B. Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate normalizing transformations. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, L.M. Makarova, O.O. Kudin, T.G. Smykodub. // Вісник Херсонського національного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип. 3(62). – Т. 1. – С.333–337.

19. Приходько, Н.В. Нелінійна регресійна модель для оцінювання трудомісткості робіт в суднобудівних проектах на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона / Н.В. Приходько, Л.М. Макарова, О.О. Кудін // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Київ: Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2019. – Том 30(69) № 3. – С 148–152. – ISSN: 2663–5941

20. Приходько, Н.В. Математичні моделі для оцінювання трудомісткості розробки конструкторської документації суден на основі двовимірного перетворення Джонсона / Н.В. Приходько, О.О. Кудін // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Київ: Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2019. – Том 30(69) № 4. – С. 106–111. ISSN: 2663–5941

21. Коваленко, И.И. Экспертные оценки в управлении инновационными проектами: Учеб. пособие / И.И. Коваленко, С.В. Драган, М.А. Рыхальский. – Николаев: НУК, 2007. – 168с.

22. Ватазаров, И.С. Экспертные оценки и их применение в энергетике. / И.С. Ватазаров, И.Г. Горлов, Е.В. Минаев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 188 с.

23. Коваленко, И.И. Системные исследования методов генерации информации при проведении экспертизы проектов. / И.И. Коваленко, О.А. Кудин // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2004. – № 2(395). – 170 с. – С. 151–157.

24. Коваленко, И.И. Нетрадиционные методы статистического анализа данных: Учебное пособие / И.И. Коваленко, А.П. Гожий. – Николаев: Издательство «Илион», 2006. – 116 с.

25. Нормирование труда специалистов НИИ и КБ: Межотраслевые методические рекомендации. / Всесоюзный научный центр по орг. труда, Московский авиац. ин-т; сост. В.И. Кочетков – М.: «Экономика», 1990. – 142с.

26. Приходько, С.Б. Розробка нелінійної регресійної моделі тривалості програмних проектів на основі нормалізуючого перетворення Джонсона / С. Б. Приходько, А. В. Пухалевич // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2012. – № 4 (56). – С.90–93.

27. Коваленко, І.І. Сучасні методи статистичного аналізу даних: Навчальний посібник / І.І. Коваленко, С.Б. Приходько, Л.О. Латанская. – Миколаїв: НУК, 2011. – 192 с.

28. Кендалл, М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стюарт // Пер. с англ. В.В. Сазонов, А.Н. Ширяев; под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: "Наука", 1966. – 588 с.

29. Буркатовская, Ю.Б. Применение распределений Джонсона к задаче классификации аэрокосмических изображений / Ю.Б. Буркатовская, Н.Г. Марков, А.С. Морозов, А.П. Серых. // Известия Томского политехнического университета. – Томск:ТПУ, 2007. – Т.311. № 4. – С.76–80

30. Приходько, С.Б. Аналитическая зависимость для выбора распределения Джонсона семейства SL [Текст] / С.Б. Приходько, Л.Н. Макарова // Вестник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ, 2012. – №2 (45). – С. 101–104.

31. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. /А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

32. Приходько, С.Б. Аналитическая зависимость для выбора семейства распределений Джонсона /С.Б. Приходько, Л.Н. Макарова, А.С. Приходько //Проблеми інформаційних технологій. – Херсон: ХНТУ, 2016. – № 20. – С. 105–110.

33. Гур'янова Л.С. Економетрика : навчальний посібник для студентів напряму підготовки "Економічна кібернетика" всіх форм навчання / Л.С. Гур'янова, Т.С. Клебанова, О.А. Сергієнко, С.В. Прокопович. – Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 384 с.

34. Руська, Р. В. Економетрика : навчальний посібник /Р. В. Руська. – Тернопіль: Тайп, 2012. – 224 с.

35. Prykhodko N.V. Constructing the non-linear regression models on the basis of multivariate normalizing transformations / N. V. Prykhodko, S. B. Prykhodko // Electronic modeling. – 2018. – Т.40. – № 6. – P.99–108. – ISSN 0204–3572. – DOI: 10.15407/emodel.40.06.101 <https://doi.org/10.15407/emodel.40.06.101>

36. Stanfield, P.M. Multivariate input modeling with Johnson distributions / P.M. Stanfield, J.R. Wilson, G.A. Mirka, N.F. Glasscock, J.P. Psihogios, J.R. Davis // Proceedings of the 28th Winter simulation conference WSC'96, December 8–11, 1996, Coronado, CA, USA, ed. S.Andradyttir, K.J.Healy, D.H.Withers, and B.L.Nelson, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 1996, pp. 1457–1464.

37. Prykhodko, S.B. Detecting outliers in bivariate non-gaussian data on the basis of normalizing transformations. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, O.O. Kudin, N.G. Smykodub // VI Міжнародна науково-практична конференція «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвячена пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. (Черкаси, 24–26 травня 2017 р.). – Черкаси: ЧДТУ, 2017. – С. 131–133.

38. Prykhodko, S.B. Detecting bivariate outliers on the basis of normalizing transformations for non-Gaussian data. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, L.M. Makarova, O.O. Kudin, T.G. Smykodub, A.S. Prykhodko // Advanced Information Systems and Technologies. Proceedings of the V International Scientific Conference, Sumy, Ukraine, May 17–19, 2017. pp. 95–97.

39. Zucchini, W., Schmidt, M. & Gadow, K. von. 2001. A model for the diameter–height distribution in an uneven-aged beech forest and a method to assess the fit of such models. *Silva Fennica* 35(2): 169–183.

40. Кендалл, М. Статистические выводы и связи. / М. Кендалл, А. Стьюарт. // Пер. с англ. Л.И. Гальчука, А.Т. Терехина под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: "НАУКА", 1973. – 899 с.

41. Приходько, С.Б. Оцінювання тривалості робіт на основі нормалізуючих перетворень для управління часом у проектах розробки конструкторської документації судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Інновації в суднобудування та океанотехніці: Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції (Миколаїв, 5 – 7 жовтня 2011 р.). – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 635–637.

42. Приходько, С.Б. Оценка доверительных интервалов продолжительности работ в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. (Миколаїв, 23 – 25 травня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 28–30.

43. Приходько, С.Б. Применение оценок доверительных интервалов продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судна. /С.Б. Приходько, О.А. Кудин //Комп'ютерні науки: освіта, наука, практика: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. (Миколаїв, 14 – 16 червня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 123–127.

44. Приходько, С.Б. Використання перетворення Джонсона при оцінюванні тривалості операцій в проектах розробки конструкторської документації судна. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали VIII міжнародної науково–практичної конференції (Миколаїв, 18 – 21 вересня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 162–163.

45. Приходько, С.Б. Интервальная оценка продолжительности операций в проектах разработки конструкторской документации судна на основе преобразований Джонсона. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали III міжнародної науково–технічної конференції (Миколаїв, 4 – 6 жовтня 2012 р.). – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 592–594.

46. Приходько, С.Б. Интервальное оценивание отклонений продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Автоматика/Automatics–2013: матеріали XX міжнародної конференції з автоматичного управління (Миколаїв, 25–27 вересня 2013 р.). – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 316–317.

47. Приходько, С.Б. Интервальное оценивание отклонений продолжительности работ для управления временем рабочего проекта судна. /С.Б. Приходько, О.А. Кудин / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали IV міжнародної науково–технічної конференції (Миколаїв, 9–11 жовтня 2013 р.). – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 494 – 496.

48. Приходько, С.Б. Оценивание трудоемкости работ в проектах разработки конструкторской документации судов при воздействии непрогнозируемых возмущающих факторов. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали X міжнародної науково–практичної конференції. (Миколаїв, 16–19 вересня 2014 р.). – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 226–229.

49. Приходько, С.Б. Автоматизированная система управления временем в проектах разработки конструкторской документации судов. / С.Б. Приходько, О.А. Кудин // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. (Черкаси, 16–20 березня 2015 р.). – Черкаси, 2015. – С. 71–73.

50. Приходько, С.Б. Побудова нелінійного регресійного рівняння для оцінювання тривалості розробки 3D-моделей секцій корпусів суден. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.А. Кудин // Проблеми моделювання та розробки інформаційних систем: матеріали II науково-практичної інтернет-конференції (Дрогобич, 20 травня 2017 року). – Дрогобич: ДДПУ ім. І. Франка, 2017. – С. 65–69.

51. Приходько, С.Б. Нелінійні регресійні моделі оцінювання тривалості робіт при управлінні часом проектів розробки конструкторської документації суден. / С.Б. Приходько, О.О. Кудин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С.366–367.

52. D.M. Bates and D.G. Watts. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications. Wiley, 1988, 384 p.

53. T.P. Ryan. Modern regression methods. Wiley, 1997, 529 p.

54. Oligny, S. Exploring the relation between effort and duration in software engineering projects. / S.Oligny, P. Bourque, A. Abran, B. Fournier // In proc. of the World Computer Congress, Aug. 2000. P. 175–178.

55. R.A. Johnson and D.W. Wichern. Applied Multivariate Statistical Analysis. Pearson Prentice Hall, 2007, 800 p.

56. Prykhodko, S.B. Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate bijective normalizing transformations. / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, L.M. Makarova, O.O. Kudin, T.G. Smykodub, // XVIII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ–

2017) [Збірка тез (18–22 вересня 2017 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2017. – С.83–84.

57. Приходько С.Б., Приходько Н.В. Метод покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень. Прикладні науково–технічні дослідження: матеріали III міжнар. наук.–практ. конф., (Івано–Франківськ, 3–5 квітня 2019 р.) Івано–Франківськ: Сімфонія Форте, 2019. С.20.

58. Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды /М. Кундалл, А. Стьюарт. – М.: Издательство "Наука", 1976. – 736 с.

59. Яровий, А.Т. Багатовимірний статистичний аналіз: начально–методичний посібник для студентів математичних та економічних фахів. / А.Т. Яровий, Є.М. Страхов. – Одеса: Астропринт, 2015. – 132 с.

60. Kitchenham, B. An empirical study of maintenance and development estimation accuracy / B. Kitchenham, S.L. Pfleeger, B. McColl, S. Eagan // The Journal of System and Software 64(2002). – p. 57–77 .

61. Айвазян, С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: Издательское объединение "ЮНИТИ", 1998. – 1005 с.

62. Prykhodko, S.B. Modeling a dependent variable of non–linear regression on the basis of normalizing transformations / S.B. Prykhodko, N.V. Prykhodko, K.S. Pugachenko // Контроль і управління в складних системах (КУСС–2016). XIII Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 3–6 жовтня 2016 року. – Вінниця: ВНТУ. ПП «ТД«Едельвейс», 2016. – 254 с. – С.13–15.

63. Приходько С.Б. Нелінійна регресійна модель тривалості розробки конструкторської документації суден на основ перетворення Джонсона. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи: матеріали XIV Міжнародної науково–практичної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2018. – С.91–93.

64. Приходько, С.Б. Нелінійна регресійна модель на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства SB. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2018. – С.388

65. Приходько, С.Б. Комп'ютерне моделювання залежної негаусівської випадкової величини за нелінійною регресійною моделлю на основі нормалізуючого перетворення. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.О. Кудін // Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. Черкаси: ЧДТУ, 2019. С. 176 – 178.

66. Приходько, С.Б. Моделювання гаусівських випадкових величин із використанням перетворення Джонсона / С.Б. Приходько // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2015. – Т. 5, № 1. – С.92–97

67. Приходько, С.Б. Оцінювання тривалості робіт при управлінні часом в проектах розробки конструкторської документації корпусів суден. / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Управління проектами: стан та перспективи. Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С.53–55.

68. Приходько, С.Б. Побудова рівняння трансформованого еліпсу передбачення за даними тривалості робіт з розробки 3D-моделей секцій корпусів суден. / С.Б. Приходько, Н.В. Приходько, О.О. Кудін, Д.В. Кошовий // Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів: матеріали II-ої всеукраїнської науково-практичної конференції (18–20 жовтня 2017 р., м. Миколаїв). – Миколаїв: МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2017. – С.36–37

69. Приходько, С.Б. Модифікація метода PERT на основі нормалізуючих преобразованій для управління временем в проектах разработки конструкторской документации судна. / С.Б. Приходько,

О.А. Кудин // Управління проектами: стан та перспективи. Матеріали VII міжнародної науково–практичної конференції (Миколаїв, 20 – 23 вересня 2011 р.). – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 255–257.

70. Приходько, С.Б. Підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт за методом PERT на основі двовимірного перетворення Джонсона / С.Б. Приходько, О.О. Кудін // Інновації в судобудуванні та океанотехніці : Матеріали XI Міжнародної науково–технічної конференції. у 2 томах. Т. 2. — Миколаїв : НУК, 2020. — 414 с. — С. 156–161

71. Кудін, О.О. Підвищення достовірності оцінювання тривалості робіт за методом PERT на основі регресійного аналізу / О.О. Кудін // Slovak international scientific journal. – Bratislava, 2020. – №46, VOL.1. – 74 p. – pp. 4–8. – ISSN 5782–5319 (Вид. включено до МНБ: Index Copernicus, Global Impact Factor, Scientific Indexing Services, International Scientific Indexing, Open Academic Journals Index)

72. Таха, Х. Введение в исследование операций. 6-е издание / Хемеди А. Таха // Пер. С англ. М.: Издательський дом «Вильямс», 2001. – 912 с.

73. Быков, В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. / В.В. Быков. – М.: «Советское радио», 1971. – 328 стр.

Додаток А

**Емпіричні дані про трудомісткість робіт в проектах розробки
конструкторської документації суден**

Таблиця А.1 –Проект двокорпусного дослідницького судна CV-982 (Компанія «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»).

Код секції	Планова трудомісткість (години)	Фактична трудомісткість (години)	Похибка оцінювання (години)	Маса секції (тони)
1	2	3	4	5
982-901-110	468	370	-98	142,70
982-951-110	468	352	-116	145,50
982-902-110	208	340	132	77,23
982-952-110	208	319	111	78,24
982-903-110	108	154	46	85,62
982-953-110	108	148	40	82,50
982-904-110	96	132,5	36,5	33,25
982-954-110	96	90,5	-5,5	33,25
982-905-110	148	154	6	73,74
982-955-110	148	179	31	75,40
982-906-110	148	194	46	67,30
982-956-110	148	154	6	83,57
982-907-110	168	192	24	124,40
982-957-110	168	204	36	133,90
982-908-110	128	202	74	55,31
982-958-110	128	144	16	61,49
982-909-110	92	101	9	25,54
982-959-110	92	114	22	24,63
982-910-110	108	188	80	41,81
982-960-110	144	223	79	155,90
982-911-110	44	102	58	155,90
982-961-110	148		127	91,15

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5
982-912-110	108	183	75	51,36
982-962-110	108	226	118	55,22
982-913-110	108	156	48	56,68
982-963-110	108	187	79	17,21
982-914-110	108	106	-2	25,67
982-964-110	60	70	10	21,10
982-915-110	112	215	103	75,58
982-965-110	112	212	100	78,18
982-916-110	96	127	31	60,44
982-966-110	49	46	-3	14,02
982-917-110	25	24	-1	14,02
982-967-110	49	56	7	5,92
982-918-110	25	28	3	9,64
982-968-110	144	240	96	138,40
982-926-110	44	31	-13	138,40
982-976-110	88	152	64	74,16
982-927-110	88	134	46	83,90
982-919-110	88	219	131	116,53
982-920-110	88	222	134	117,23
982-921-110	144	226	82	135,80
982-971-110	44	114	70	135,80
982-922-110	144	328	184	78,19
982-923-110	44	51	7	78,26
982-924-110	144	337	193	78,39
982-925-110	44	44	0	78,41
982-928-110	96	111	15	40,62

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5
982-978-110	24	45	21	40,62
982-929-110	144	233	89	49,51
982-979-110	40	17	-23	49,51
982-931-110	144	221	77	50,93
982-981-110	40	83	43	50,93
982-932-110	168	388	220	59,54
982-982-110	168	402	234	60,36
Загалом:	6568	9566	2998	

Таблиця А.2 – Проект контейнеровозу CV-1800 (Компанія «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»)

Код секції корпусу	Планова трудомісткість (години)	Фактична трудомісткість (години)	Похибка оцінювання (години)	Маса секції (тони)
1	2	3	4	5
3021	62	93	31	107,37
3022	62	124	62	144,78
3023	44	48	4	96,54
3024	44	48	4	53,91
3121	52	84	32	148,06
3122	52	79	27	187,88
3123	24	17	-7	37,07
3124	24	17	-7	37,14
3189	64	121	57	166,01
3199	44	50	6	90,43
3321	60	53	-7	174,14
3322	60	71	11	164,27
3421	54	38	-16	217,82
3422	54	62	8	196,15
3423	24	18	-6	37,22
3424	24	16	-8	33,97
3489	42	43	1	112,36
3499	42	64	22	91,25
3501	48	95	47	180,14
3621	48	82	34	168,68
3622	48	70	22	140,51
3623	32	34	2	44,36

Продовження табл. А.2

1	2	3	4	5
3624	32	55	23	98,35
3721	50	30	-20	216,81
3722	42	17	-25	179,03
3723	42	36	-6	163,5
3724	15	12	-3	37,65
3725	15	13	-2	37,25
3726	15	12	-3	37,15
3779	58	111	53	180,94
3789	32	21	-11	90,32
3799	32	58	26	103,14
3801	46	44	-2	101,06
3802	46	49	3	64,58
3804	34	53	19	102,35
3806	36	44	8	95,31
3921	32	52	20	168,53
3922	32	98	66	86,64
3923	30	78	48	125,43
3924	16	26	10	44,15
3925	16	31	15	39,81
3989	30	54	24	61,13
3999	34	65	31	67,24
4101	88	79	-9	206,16
4102	88	103	15	159,06
4103	40	31	-9	24,83
4202	72	42	-30	105,19
4203	78	107	29	110,69

Продовження табл. А.2

1	2	3	4	5
4204	46	74	28	52,39
4206	72	112	40	145,69
4208	24	20	-4	6,15
4209	24	34	10	13,08
4299	30	69	39	35,07
4301	26	24	-2	34,15
Загалом:	2281	2981	700	

Додаток Б

Акти впровадження результатів дослідження

Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничу практику ТОВ «Марін Дизайн Інжинірінг Миколаїв»


ТОВ «Марін Дизайн Інжинірінг Миколаїв»

Україна, 54030, м. Миколаїв, вул. Спаська, 1 | Тел: +380 (512) 580 680 | Факс: +380 (512) 580 780 | info.mdim@damen.com



З А Т В Е Р Д Ж У Ю
 Директор ТОВ «МДІМ»
 Кандидат наук, доцент О.Ю. Жукова
 « 23 » 12 2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Кудіна Олега Олексійовича

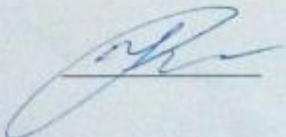
Цим Актом засвідчуємо, що результати дисертаційної роботи Кудіна Олега Олексійовича з дослідження математичних моделей трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації суден для управління відповідними проектами розглянуто та випробувано у виробничій практиці нашого підприємства частково, а саме впроваджено наступне:

- нелінійна регресійна модель оцінювання тривалості робіт з розробки 3D-моделей секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій у проектах розробки робочої конструкторської документації корпусів суден;
- рівняння нижньої і верхньої границь довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії тривалості робіт з розробки 3D-моделей секцій корпусів суден в залежності від маси цих секцій у проектах розробки робочої конструкторської документації корпусів суден;
- методика оцінювання тривалості робіт з розробки 3D-моделей секцій корпусів суден у проектах розробки робочої конструкторської документації корпусів суден.

Ці результати були впроваджені при управлінні проектами розробки робочої конструкторської документації корпусів суден, що розроблялись ТОВ «МДІМ» в 2018–2019 роках.

Впровадження зазначених вище результатів дозволило підвищити достовірність оцінювання тривалості робіт на стадії підготовки контрактів та безпосередньо під час виконання робіт з розробки робочої конструкторської документації корпусів суден, що розроблялись в 2018–2019 роках, та скоротити час виконання проектів на 4% – 5%.

Менеджер портфоліо з інжинірингу
 ТОВ «МДІМ» Кир'янов А.П.



Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничу практику ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ»

А.В. Жеребецький

«24» грудня 2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Кудіна Олега Олексійовича

Ми, що підписалися нижче, директор ТОВ «Сі-Джоб Миколаїв» Жеребецький А.В., та начальник відділу корпусу Кучеренко О.К., цим Актом засвідчуємо, що результати дисертаційної роботи Кудіна Олега Олексійовича були впроваджені при управлінні проектами розробки конструкторської документації корпусів суден, що розроблялись ТОВ «СІ-ДЖОБ МИКОЛАЇВ» в 2018–2019 роках а саме:

– методика оцінювання тривалості робіт з розробки 3D-моделей секцій корпусів суден у проектах розробки конструкторської документації корпусів суден.

Використання результатів дисертаційної роботи при управлінні часом виконання проектів розробки конструкторської документації суден в 2018 – 2019 роках дозволило підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт з розробки конструкторської документації та скоротити час виконання проектів на 6% – 7%.

Начальник відділу корпусу



О.К. Кучеренко