

Приходько Н.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кудін О.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН НА ОСНОВІ ДВОВИМІРНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЖОНСОНА

У статті вперше побудовано негаусівську ймовірнісну модель для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден на основі щільності двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Це нормалізуюче перетворення враховує кореляцію між випадковими змінними двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт. Використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B дає змогу врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних та провести кращу нормалізацію емпіричних даних порівняно з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів. Завдяки використанню двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B можна зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, що дає змогу підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки конструкторської документації суден.

У статті вдосконалено рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дає змогу підвищити достовірність оцінювання вибіркової середньої трудомісткості робіт залежно від маси секцій корпусів суден порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

У статті також удосконалено рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації корпусів секцій суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B , що дає змогу зменшити ширину зазначеного інтервалу порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними перетвореннями.

Ключові слова: негаусівська ймовірнісна модель, інтервал передбачення, довірчий інтервал, нелінійна регресія, двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона, конструкторська документація судна.

Постановка проблеми. У процесі управління часом проектів розробки конструкторської документації (КД) суден трапляються випадки перевищення фактичної трудомісткості робіт щодо планової трудомісткості. Наприклад, під час оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу контейнеровозу було отримано значення планової трудомісткості проекту 2281 година, а фактична трудомісткість становила 2981 годину. Це свідчить про низьку достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден під час використання методів і математичних моделей оцінювання такої трудомісткості. Тому виникає необхідність у побудові математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден, які дадуть змогу підвищити достовірність оцінювання тру-

домісткості робіт у процесі управління часом проектів розробки КД суден.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На практиці для оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден використовують в основному два методи – експертний метод і метод оцінювання за трьома точками [1].

Експертний метод оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден заснований на власному досвіді менеджера проектів. Цей метод не завжди дає змогу отримати оцінки трудомісткості робіт із високою достовірністю через суб'єктивність експертних суджень менеджера проектів.

У процесі оцінювання трудомісткості робіт за трьома точками у проектах розробки КД суден використовується математична модель методу

PERT (Program Evaluation and Review Technique) [2]. Основою математичної моделі цього методу є β -розподіл. Але реальний розподіл трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден, як правило, є негаусівським і не завжди може бути описаний β -розподілом [3].

У деяких суднобудівних проектно-конструкторських бюро (СПКБ) з метою оцінювання трудомісткості робіт проектів розробки КД суден побудовані емпіричні діаграми залежності трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден від маси цих секцій. Маючи дані про трудомісткість робіт із розробки КД секцій корпусів суден і маси цих секцій, можна побудувати нелінійні рівняння регресії трудомісткості робіт, в яких маса секцій є фактором, а трудомісткість робіт є залежною змінною, а також довірчі інтервали і інтервали передбачення цієї регресії [4].

У процесі побудови нелінійних регресійних рівнянь для двовимірних негаусівських даних (наприклад, СОСОМО, ISBSG) використовуються нормалізуючі перетворення на основ десяткового логарифму [5; 6] або нормалізуючі перетворення Джонсона [7]. Але ці рівняння побудовані на основі одновимірних нормалізуючих перетворень і не враховують кореляцію між випадковими величинами [8].

Якщо у процесі побудови рівняння нелінійної регресії для двовимірних негаусівських даних використовувати двовимірні нормалізуючі перетворення, враховуючи кореляцію між випадковими величинами, то можна підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт шляхом зменшення ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії [4].

Постановка завдання. Ціллю статті є підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден шляхом побудови математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден на основі двовимірних нормалізуючих перетворень. Задля досягнення цілі необхідно вирішити такі задачі.

1) побудувати негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден;

2) удосконалити рівняння нелінійної регресії та границь її довірчих інтервалів на основі двовимірного нормалізуючого перетворення;

3) удосконалити рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення.

Виклад основного матеріалу дослідження.

У процесі побудови рівняння нелінійної регресії для двовимірних негаусівських даних на першому етапі виконують перетворення двовимірного негаусівського вектора $\mathbf{P} = \{Y, X\}^T$ на двовимірний гаусівський вектор $\mathbf{T} = \{Z_Y, Z_X\}^T$ за допомогою нормалізуючого перетворення

$$\mathbf{T} = \Psi(\mathbf{P}), \quad (1)$$

Використовуючи формули, наведені в [8], на другому етапі будують рівняння лінійної регресії для гаусівського вектора \mathbf{T} , а також довірчі інтервали й інтервали передбачення лінійної регресії. На третьому етапі виконують побудову рівняння нелінійної регресії, її довірчих інтервалів і інтервалів передбачення, використовуючи зворотне перетворення для (1) [1]:

$$\mathbf{P} = \Psi^{-1}(\mathbf{T}), \quad (2)$$

Для перетворення двовимірного негаусівського вектора \mathbf{P} на двовимірний гаусівський вектор \mathbf{T} у роботі [1] використано двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства S_B . Вибір перетворення Джонсона сімейства S_B зумовлений тим, що більшість двовимірних векторів трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден можна нормалізувати перетворенням Джонсона сімейства S_B , яке в загальному вигляді представляється як:

$$\mathbf{T} = \gamma + \eta \mathbf{h}[\lambda^{-1}(\mathbf{P} - \phi)] \sim N_m(0_m, \mathbf{S}), \quad (3)$$

де $\gamma, \eta, \phi, \lambda$ – параметри перетворення Джонсона; $\gamma = (\gamma_Y, \gamma_X)^T$; $\eta = \text{diag}(\eta_Y, \eta_X)$; $\phi = (\phi_Y, \phi_X)^T$; $\lambda = \text{diag}(\lambda_Y, \lambda_X)$; $\mathbf{h}[(g_Y, g_X)] = \{h_1(g_Y), h_2(g_X)\}^T$, а $h_i(g)$ – функція перетворення:

$$h_i(g) = \ln[g/(1-g)];$$

\mathbf{S} – коваріаційна матриця

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

В (3) $g = (x - \phi)/\lambda$, де x може бути або значеннями фактору X , або значеннями залежної змінної Y .

Оцінювання вектору параметрів виконується за методом максимальної правдоподібності:

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

де $\theta = \{\gamma, \eta, \phi, \lambda\}$ – вектор параметрів перетворення Джонсона; $l_B(\theta)$ – логарифмічна функція максимальної правдоподібності. Ця функція отримана на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B :

$$f_B(Y, X) = \frac{\eta_X \eta_Y \lambda_X \lambda_Y}{2\pi (X - \phi_X)(Y - \phi_Y)(\lambda_X + \phi_X - X)(\lambda_Y + \phi_Y - Y) \sqrt{1 - S_{Z_X Z_Y}^2}} \times \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{1 - S_{Z_X Z_Y}^2} [Z_X^2 + Z_Y^2 - 2S_{Z_X Z_Y} Z_X Z_Y] \right\}\right], \quad (4)$$

Щільність двовимірного розподілу Джонсона сімейства S_B є ймовірнісною моделлю трудо-

місткості робіт із розробки КД суден з урахуванням кореляції між фактором і залежною змінною.

На основі (4) побудована логарифмічна функція максимальної правдоподібності:

$$l_b(\theta) = n \ln \eta_x + n \ln \eta_y + n \ln \lambda_x + n \ln \lambda_y - n \ln 2\pi - \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \varphi_x) - \sum_{i=1}^n \ln(y_i - \varphi_y) - \sum_{i=1}^n \ln(\lambda_x + \varphi_x - x_i) - \sum_{i=1}^n \ln(\lambda_y + \varphi_y - y_i) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \ln(1 - S_{Z_x Z_y}^2) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{1 - S_{Z_x Z_y}^2} [Z_{X_i}^2 + Z_{Y_i}^2 - 2S_{Z_x Z_y} Z_{X_i} Z_{Y_i}] \right\}, \quad (5)$$

На другому етапі після нормалізації даних виконується побудова рівняння лінійної регресії, яке можна представити у вигляді:

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_X, \quad (6)$$

де \hat{Z}_Y – результат передбачення лінійної регресії для Z_X ; \hat{b}_0, \hat{b}_1 – оцінки для параметрів лінійної регресії b_0, b_1 .

На основі рівняння лінійної регресії (6) і двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B отримано рівняння нелінійної регресії для трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден залежно від маси цих секцій:

$$Y = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left[1 + e^{-(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} \right]^{-1}, \quad (7)$$

На третьому етапі можна отримати рівняння границь довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, які будуються на основі рівняння [6] і перетворення (2).

Для двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B рівняння границь довірчих інтервалів нелінійної регресії має вигляд:

$$Y_{ДІ} = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left\{ 1 + \exp \left[- \left(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y \pm t_{\alpha/2, N-2} S_{Z_y} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(Z_{X_i} - \bar{Z}_X)^2}{S_{Z_x Z_x}}} \right) / \hat{\eta}_Y \right] \right\}^{-1}, \quad (8)$$

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

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_X; \quad S_{Z_y}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}_{Y_i} - \bar{Z}_Y)^2;$$

$$\bar{Z}_Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{Z}_{Y_i}; \quad S_{Z_x Z_x} = \sum_{i=1}^N (Z_{X_i} - \bar{Z}_X)^2.$$

Рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії будуються на основі рівняння [6] і перетворення (2).

Для двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії має вигляд:

$$Y_{ІІ} = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left\{ 1 + \exp \left[- \left(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y \pm t_{\alpha/2, N-2} S_{Z_y} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(Z_{X_i} - \bar{Z}_X)^2}{S_{Z_x Z_x}}} \right) / \hat{\eta}_Y \right] \right\}^{-1}, \quad (9)$$

Приклад побудови рівняння нелінійної регресії та її довірчих інтервалів і інтервалів передбачення. У процесі побудови рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден на основі дво-

вимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B використано дані з табл. 1.

Побудову нелінійної регресії здійснено за методом, запропонованим у роботі [9] та пов'язаним із послідовним видаленням викидів емпіричних даних із застосуванням квадрату відстані Махаланобіса та інтервалів передбачення нелінійної регресії. У результаті використання цього методу після видалення двовимірних викидів у двовимірному векторі залишилося: 30 рядків при нормалізації на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B , 35 рядків при нормалізації на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства S_B та 51 рядок при нормалізації на основі десяткового логарифму.

Результати побудови рівняння нелінійної регресії, довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B наведено на рис. 1.

Оцінки параметрів перетворення Джонсона здійснено методом максимальної правдоподібності з використанням логарифмічної функції максимальної правдоподібності (5). У результаті нормалізації отримані такі значення параметрів двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B :

$$\hat{\gamma}_X = 0,2651; \quad \hat{\eta}_X = 0,7792; \quad \hat{\varphi}_X = 6,209; \quad \hat{\lambda}_X = 230,728; \\ \hat{\gamma}_Y = 0,0446; \quad \hat{\eta}_Y = 0,3808; \quad \hat{\varphi}_Y = 30,9; \quad \lambda_Y = 48,2$$

Оцінки параметрів лінійної регресії для нормалізованих даних за цим перетворенням знайдено за методом найменших квадратів:

$$\hat{b}_0 = 0; \quad \hat{b}_1 = 0,5055.$$

На рис. 1 по осі абсцис відкладено масу секцій корпусів суден (тонни), а по осі ординат – трудомісткість робіт із розробки КД цих секцій (години). Точками позначено емпіричні дані. Суцільною лінією позначено нелінійну регресію. Довгим пунктиром позначено верхню і нижню границі інтервалів передбачення нелінійної регресії. Коротким пунктиром позначено верхню і нижню границі інтервалів передбачення нелінійної регресії.

Отримані результати було порівняно з результатами рівнянь нелінійної регресії, довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, побудованих на основі одновимірних нормалізуючих перетворень Джонсона сімейства S_B та десяткового логарифму відповідно (рис. 2 та 3). Всі позначки на рис. 2 та 3 ідентичні позначкам на рис. 1.

У процесі порівняння інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт

Вхідні емпіричні дані для побудови нелінійної регресії

| Маса секцій (т) | Тривалість робіт (години) | Маса секцій (т) | Тривалість робіт (години) | Маса секцій (т) | Тривалість робіт (години) |
|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| 6,15 | 20 | 64,58 | 49 | 144,78 | 124 |
| 13,08 | 34 | 67,24 | 65 | 145,69 | 112 |
| 24,83 | 31 | 86,64 | 98 | 148,06 | 84 |
| 33,97 | 16 | 90,32 | 21 | 159,06 | 103 |
| 34,15 | 24 | 90,43 | 50 | 163,5 | 36 |
| 35,07 | 69 | 91,25 | 64 | 164,27 | 71 |
| 37,07 | 17 | 95,31 | 44 | 166,01 | 121 |
| 37,14 | 17 | 96,54 | 48 | 168,53 | 52 |
| 37,15 | 12 | 98,35 | 55 | 168,68 | 82 |
| 37,22 | 18 | 101,06 | 44 | 174,14 | 53 |
| 37,25 | 13 | 102,35 | 53 | 179,03 | 17 |
| 37,65 | 12 | 103,14 | 58 | 180,14 | 95 |
| 39,81 | 31 | 105,19 | 42 | 180,94 | 111 |
| 44,15 | 26 | 107,37 | 93 | 187,88 | 79 |
| 44,36 | 34 | 110,69 | 107 | 196,15 | 62 |
| 52,39 | 74 | 112,36 | 43 | 206,16 | 79 |
| 53,91 | 48 | 125,43 | 78 | 216,81 | 30 |
| 61,13 | 54 | 140,51 | 70 | 217,82 | 38 |

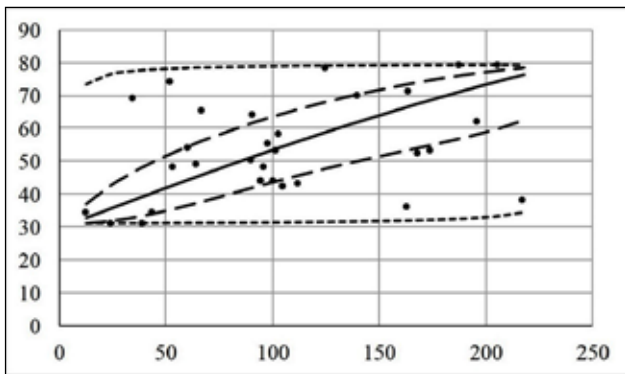


Рис. 1. Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B

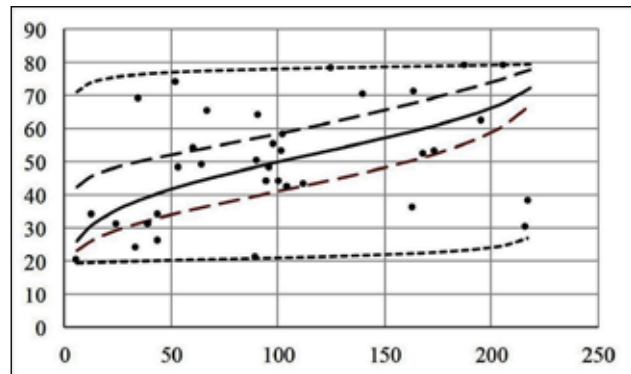


Рис. 2. Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства S_B

із розробки КД секцій корпусів суден отримані такі результати (рис. 1–3). Найменша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії є у разі використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B (рис. 1). На початку нелінійної регресії ширина інтервалів передбачення, побудованих на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства S_B , менше на 17,79% щодо ширини інтервалів передбачення, побудованих на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства S_B , в середині нелінійної регресії – менше на 16,82%, наприкінці нелінійної регресії – менше на 14,72%. Приблизно такі самі результати отримано для ширин довірчих інтервалів регресії. Нелінійна регресія на основі двовимірного перетворення Джон-

сона сімейства S_B виявилась кращою порівняно з моделями на основі одновимірних перетворень також за середньою величиною відносної похибки MMRE і процентом передбачених значень $Pred(0,25)$. Для двовимірного перетворення Джонсона $MMRE = 0,2266$ і $Pred(0,25) = 0,6667$. Для одновимірного перетворення Джонсона $MMRE = 0,3028$ і $Pred(0,25) = 0,6571$. Для перетворення на основі десятичного логарифму $MMRE = 0,4016$; $Pred(0,25) = 0,4118$.

У разі використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B при побудові рівнянь нелінійної регресії та границь її довірчих інтервалів і інтервалів передбачення враховується кореляція між двовимірними емпіричними даними, що дає змогу отримати менші ширини

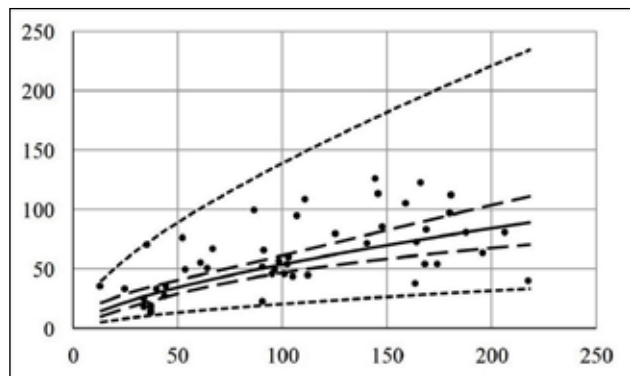


Рис. 3. Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі одновимірного перетворення з використанням десятичного логарифму

довірчих інтервалів і інтервалів передбачення порівняно з одновимірним нормалізуючим перетворенням Джонсона сімейства S_B та нормалізуючим перетворенням на основі десятичного логарифму і підвищити завдяки цьому достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден.

Висновки. Уперше 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 дає змогу не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а в подальшому провести кращу нормалізацію емпіричних даних порівняно з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів.

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 суден, що дає змогу підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт залежно від маси секцій порівняно 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 суден, що дає змогу зменшити ширину зазначеного інтервалу порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

Список літератури:

1. 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.
2. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками : Монография. Воронеж : «Научная книга», 2010. 284 с.
3. Приходько С.Б., Кудин О.А. Модели и методы управления временем в проектах разработки конструкторской документации судна. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2011. № 1 (436). С. 149–154.
4. Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Makarova L.M., Kudin O.O., Smykodub T.G. Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate normalizing transformations. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон : ХНТУ, 2017. Вип. 3(62). Т. 1. С. 333–337.
5. Oigny S, Bourque P, Abran A., Fournier B. Exploring the relation between effort and duration in software engineering projects. *In proc. of the World Computer Congress*, Aug. 2000. P. 175–178.
6. Bates D.M., Watts D.G. Nonlinear regression analysis and its applications. Wiley, 1988. 384 p.
7. Johnson R.A., Wichern D.W. Applied multivariate statistical analysis. Pearson Prentice Hall, 2007. 800 p.
8. Гур'янова Л.С., Клебанова Т.С., Сергієнко О.А., Прокопович С.В. Економетрика : навчальний посібник. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. 384 с.
9. 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 : Сімфоня Форте, 2019. С. 20.

Prykhodko N.V., Kudin O.O. MATHEMATICAL MODELS TO ESTIMATE EFFORTS OF THE DEVELOPMENT OF SHIP DESIGN DOCUMENTATION ON THE BASIS OF THE JONSON BEVARIATE NORMALIZING TRANSFORMATION

The important problem of increase of confidence of estimating the efforts of the ship design documentation development is solved. The scientific novelty of obtained results is that a non-Gaussian probabilistic model and the non-linear regression equation for estimating the efforts of the ship design documentation development on the basis of the Johnson bivariate probability density function and the Johnson bivariate normalizing transformation of S_B family are firstly built.

Also the equation for borders of the confidence and prediction intervals of the non-linear regression for estimating the efforts of the ship design documentation development on the basis of the Johnson bivariate probability density function and the Johnson bivariate normalizing transformation of S_B family are developed.

The widths of the confidence and prediction intervals of this non-linear regression based on the Johnson multivariate transformation are less for more data rows than for linear regression and non-linear regressions following the univariate transformations, both decimal logarithm and the Johnson. Also the values of the mean magnitude of relative error and of percentage of prediction are better for non-linear regression equation on the basis of the Johnson multivariate transformation in comparison with all previous equations, both linear and non-linear, based on univariate transformations. This may be explained best bivariate normalization by the Johnson bivariate normalizing transformation of S_B family.

The Johnson bivariate normalizing transformation of S_B family takes into account the correlation between the random variables of the bivariate non-Gaussian vector of the efforts of the ship design documentation development. Using the Johnson bivariate normalizing transformation of the S_B family allows taking into account the real distribution of empirical bivariate data. The Johnson bivariate normalizing transformation of the S_B family allows taking into account to reduce the confidence and prediction intervals of the non-linear regression compared to the Johnson univariate normalizing transformation of the S_B family and the univariate normalizing transformation based on the decimal logarithm.

Key words: *non-Gaussian probabilistic model, prediction interval, confidence interval, non-linear regression, Johnson bivariate normalizing transformation, ship design documentation.*