

УДК 615.8:57.089 (075.8)

В.Д. Кузовик, Л.О. Кошева, В.Л. Кучеренко

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

*Запропоновано методику оцінювання рівня якості процесу ремонту медичного обладнання, яка дозволяє виявити впливові фактори, оцінити їх кількісні показники, що забезпечує необхідний рівень ефективності експлуатації медичного обладнання.*

**Ключові слова:** технологічний процес, рівень якості, дисперсійний та регресійний аналіз, фактори впливу.

### Вступ

Проблема розробки та впровадження ефективних систем ремонту медичного обладнання (МО) являється актуальною, тому що якість ремонту суттєво впливає на результат оцінки стану здоров'я людини. Від того, наскільки якісно виконані ремонтні роботи для того чи іншого медичного обладнання залежить вірогідність результатів біомедичного діагнозу. При цьому, основний напрямок досліджень полягає в розробці новітнього технологічного процесу ремонту (ТПР) медичного обладнання в складі біомедичних систем, яке розміщене на пересувних медичних комплексах (ПМК), і призначене для своєчасного діагностування стану здоров'я людини та ефективного лікування. Таким чином, рівень експлуатаційної ефективності ПМК суттєво залежить від рівня експлуатаційної надійності МО, який, в свою чергу, залежить від ступеня якості проведення ремонтних робіт в технологічному процесі. Аналізуючи існуючі технологічні процеси ремонту МО, встановлено, що вони мають ряд суттєвих недоліків, які негативно впливають на ефективність експлуатації ПМК. До таких недоліків можна віднести:

- низький рівень автоматизації технологічних процесів, що не дає можливості отримати необхідний рівень якості ремонтних робіт;
- висока собівартість проведення ремонтних робіт, що негативно впливає на рівень ефективності технологічного процесу;
- низький рівень продуктивності технологічного процесу ремонту МО.

Вказані недоліки прямим чи опосередкованим чином негативно впливають на процес експлуатації медичного обладнання ПМК, а також на вірогідність поставленого діагнозу пацієнтам. Розробка та впровадження новітнього технологічного процесу ремонту медичного обладнання на ПМК дозволить усунути зазначені недоліки. В представленій статті наведені результати досліджень щодо визначення необхідного рівня якості виконання ремонтних робіт.

**Мета статті.** Показати шляхи практичного забезпечення необхідного рівня якості за рахунок впровадження методів та засобів автоматизації, які полягають у використанні комп'ютеризованої інформаційної системи.

**Постановка проблеми.** Для визначення необхідних і достатніх умов забезпечення встановленого рівня якості ремонтних робіт вирішується задача розробки математичної моделі технологічного процесу ремонту МО.

Така модель представляється у вигляді регресійних рівнянь для оцінювання рівня якості та ефективності виконання ремонтних робіт в технологічному процесі.

### Основна частина

Мета регресійного моделювання технологічного процесу ремонту медичного обладнання полягає в дослідженні впливу множини факторів на величину деякого критерію (відгуку), який прийнятий для оцінювання рівня якості виконаних робіт з ремонту МО. Методика побудови регресійної моделі для оцінювання рівня якості виконання ремонтних робіт в технологічному процесі складається з наступних етапів:

1. Визначення показника якості виконання ремонтних робіт в технологічному процесі.
2. Проведення інженерного аналізу ТПР блоків медичного діагностичного обладнання з метою виявлення факторів, що впливають на якість ремонту.
3. Проведення дисперсійного аналізу факторів, які впливають на якість виконання ремонтних робіт в технологічному процесі.
4. Планування та проведення повного факторного експерименту.
5. Визначення коефіцієнтів регресії та перевірка їх значущості.
6. Побудова регресійної моделі технологічного процесу ремонту медичного обладнання та пере-

вірка її адекватності.

7. Отримання регресійного рівняння для оцінювання якості ремонтних робіт в технологічному процесі.

8. Отримання та представлення результатів моделювання.

Реалізація етапів представленої методики оцінювання рівня якості технологічного процесу ремонту медичного обладнання у складі пересувних медичних комплексів здійснюється за розробленим алгоритмом, представленим на рис. 1.

Відповідно до розробленої методики, етапи алгоритму мають наступну сутність. Оціночним параметром якісного виконання робіт з ремонту прийнята статистична імовірність повернення МО на повторний ремонт  $\Omega_{\delta}(H)$ , яка може бути представлена як:

$$\Omega_{\delta}(H) = \omega_1(H) + \omega_2(H),$$

де  $\omega_1(H) = \frac{m}{N}$  – частота повернення МО на повторний ремонт;  $m$  – кількість МО, що прийшли на повторний ремонт протягом одного року;  $N$  – загальна кількість МО, що ремонтуються протягом одного року;  $\omega_2(H) = \frac{n_1 + n_2}{N}$  – частота повернення МО на

повторний ремонт у межах медичного підприємства;  $n_1$  – кількість МО, що повернені на ремонт після перевірки на вихідному контролі технологічного процесу ремонту;  $n_2$  – кількість МО, що повернені на ремонт в гарантійний період. Враховуючи викладене, можна представити:

$$\Omega_{\delta}(H) = \frac{1}{N} (m + n_1 + n_2).$$

Якщо позначити  $\Omega_{\delta}$  – розрахункова статистична імовірність повернення МО на повторний ремонт,  $\Omega_0$  – встановлена статистична імовірність повернення МО на повторний ремонт або критерій оцінювання рівня якості виконання ремонтних робіт, то для досягнення необхідного та достатнього рівня якості ремонтних робіт, необхідно, щоб виконувалась умова

$$\Omega_{\delta} < \Omega_0, (\Omega_0 < 1\%).$$

Наступним етапом дослідження є проведення інженерного аналізу ТПР МО. Технологічний процес ремонту представляється у вигляді структури, елементи якої складають основні етапи виконання ремонтних робіт: дефектація на вхідному контролі, ремонт, регулювання і налаштування, вихідний контроль виконаної роботи. Одним із результатів інженерного аналізу є визначення факторів, що впливають на якість виконання ремонтних робіт. В подальшому для кожного з факторів знаходиться функціональна залежність від параметрів технологі-

чного процесу ремонту. Врешті, визначено, що рівень якості виконання ремонтних робіт залежить від таких параметрів:

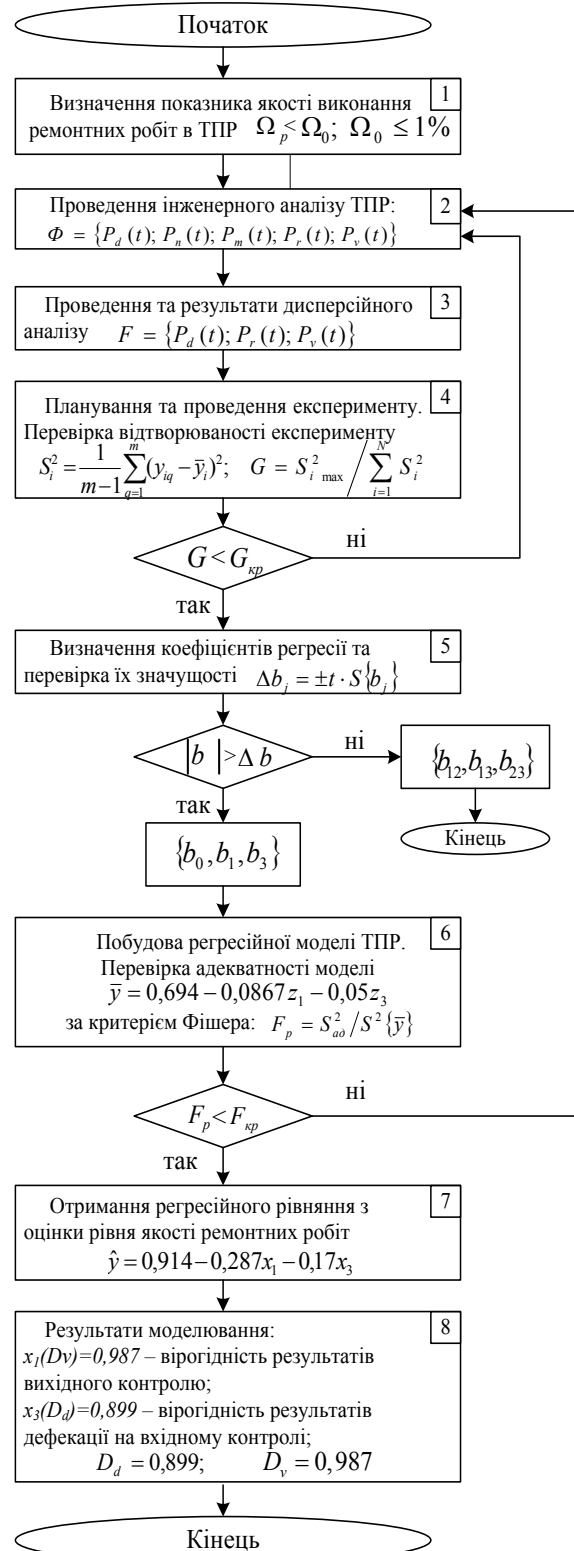


Рис. 1. Алгоритм оцінювання рівня якості ремонтних робіт в технологічному процесі

$P_d(t)$  – ймовірність того, що при дефектації на вхідному контролі не допущений брак;  $P_n(t)$  – ймо-

вірність того, що порушена технологія ремонту;  $P_m(t)$  – ймовірність того, що ремонтні роботи виконані не в повному обсязі;  $P_r(t)$  – ймовірність помилки оператора при налаштуванні та регулюванні;  $P_v(t)$  – ймовірність того, що на вихідному контролі не допущений брак.

В результаті проведеного інженерного аналізу визначена множина факторів  $\{\Phi\}$ , що впливають на якість проведення ремонтних робіт:

$$\Phi = \{P_d(t), P_n(t), P_m(t), P_r(t), P_v(t)\}.$$

Як показує аналіз, ступінь впливу кожного з приведених факторів на якісний показник  $\Omega_\delta(H)$  є різним. Тому наступним етапом представленої методики є проведення дисперсійного аналізу, в результаті якого визначаються фактори, ступінь впливу яких на якість виконання ремонтних робіт є суттєвим.

Для аналізу та оцінки статистичних даних щодо вибраних факторів, розроблений алгоритм. Процес реалізації алгоритму базується на застосуванні методу випадкового балансу Сатерздайта [1, 2]. За допомогою зазначеного методу для технологічного процесу ремонту МО визначені наступні три фактори, вплив яких на якість ремонтних робіт в технологічному процесі є найбільш суттєвим:

$$F = \{P_d(t), P_r(t), P_v(t)\}.$$

Відповідно до наступного етапу представлено алгоритм здійснюється планування та проведення трифакторного експерименту [3]. Для цього визначені наступні фактори:

–  $x_1(D_v)$  – вірогідність результатів вихідного контролю в технологічному процесі ремонту МО;

–  $x_2(D_r)$  – вірогідність результатів вимірювання контрольних параметрів при налаштуванні та регулюванні МО;

–  $x_3(D_d)$  – вірогідність результатів вимірювання при дефектації на вхідному контролі технологічного процесу ремонту МО.

Як було зазначено, в якості відгуку регресійної моделі визначений параметр  $\Omega_\delta$ . При проведенні експерименту систематизуються дані, які визначають, з певним рівнем ймовірності, функціональні зв'язки між факторами та відгуком.

При плануванні експерименту реалізуються всі можливі комбінації значень факторів на всіх вибраних для дослідження рівнях. Перевірка відтворюваності експерименту здійснюється на основі властивості однорідності вибірових дисперсій. Оцінки дисперсій середнього арифметичного в кожному рядку плану експерименту визначаються за формулою:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{q=1}^m (y_{iq} - \bar{y}_i)^2,$$

де  $y_{iq}$  – результат q-го досліджу;  $\bar{y}_i$  – середнє зна-

чення відгуку по повторних дослідях;  $m = 2$  – кількість паралельних дослідів;  $i$  – номер рядка матриці плану. Однорідність дисперсій перевіряється за критерієм Кохрена  $G$  [4]. Якщо  $G > G_{кр}$ , то експеримент вважається невідтворюваним. В такому випадку необхідно збільшувати кількість паралельних дослідів для того, щоб була можливість варіювання більшими значеннями вибірових дисперсій, що потребує корекції кількості факторів при проведенні інженерного аналізу. У нашому випадку експеримент є відтворюваним, тому наступним етапом є визначення коефіцієнтів регресії.

Незалежні оцінки коефіцієнтів регресії обчислюємо наступним чином:

$$\begin{cases} b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{0i} \bar{y}_i = 0.694; & b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{1i} \bar{y}_i = -0.08625; \\ b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{2i} \bar{y}_i = -0.02; & b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{3i} \bar{y}_i = -0.05; \\ b_{12} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{1i} z_{2i} \bar{y}_i = -0.015; \\ b_{13} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{1i} z_{3i} \bar{y}_i = -0.0287; \\ b_{23} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{2i} z_{3i} \bar{y}_i = 0.040. \end{cases}$$

Всі коефіцієнти, внаслідок ортогональності плану, визначаються з однаковою дисперсією

$$S^2\{b_j\} = \frac{1}{Nm} S^2\{\bar{y}\} = 1,45 \cdot 10^{-4}.$$

Перевірка гіпотези про значущість коефіцієнтів регресії за критерієм Ст'юдента, значення якого  $t_{\epsilon\delta} = 3600$  при ступенях вільності  $t_1 = 1$  і  $t_2 = 8$  і рівні значущості  $\alpha = 5\%$ , дає наступні результати:

$$t(b_0) = 47759 > t_{\epsilon\delta}; \quad t(b_1) = 5948 > t_{\epsilon\delta};$$

$$t(b_3) = 3448 > t_{\epsilon\delta}.$$

Емпіричне значення критерію Ст'юдента

$$t = \frac{|b|}{S\{b\}}$$

для решти коефіцієнтів регресії менше  $t_{\epsilon\delta}$ , що свідчить про статистичну незначущість цих коефіцієнтів, тобто  $b_2 = b_{12} = b_{13} = b_{23} = 0$ , тобто відсутній функціональний зв'язок фактора  $x_2$  та парних взаємодій з відгуком  $y(\Omega_p)$ .

Таким чином, регресійна модель технологічного процесу ремонту, за якою можна проводити оцінювання якості проведення ремонтних робіт має наступний вид:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_{j=1}^N b_j x_j + \sum_{i,j=1}^N b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^N b_{jj} x_j^2.$$

Після проведення розрахунків, регресійна модель набуде вигляду:

$$\hat{y}=0,694-0,086z_1-0,05z_3.$$

Адекватність моделі перевіряється за критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{S_{\hat{a}\hat{a}}^2}{S_{\hat{a}\hat{a}}^2} = 1,91 < F_{\hat{\epsilon}\hat{\delta}}.$$

Враховуючи виконання нерівності, модель вважається адекватною.

При перетворенні відносних факторів  $z_1$  і  $z_3$  у абсолютні значення  $x_1$  і  $x_3$ , регресійна модель набуде вигляду:

$$\hat{y}=0,914-0,287x_1-0,17x_3.$$

Розрахунки показали, що для дотримання умови  $\Omega_{\hat{\delta}} < \Omega_0$  необхідно мати значення  $D_d=0,899$  та  $D_v=0,987$ .

Отримана регресійна модель технологічного процесу ремонту медичного обладнання дозволяє прогнозувати середньостатистичне значення ймовірності повернення медичного обладнання на повторний ремонт. Ймовірність повернення на повторний ремонт в основному залежить від вірогідності результатів дефектації на входному контролі та вірогідності результатів вихідного контролю. Для прикладу, використовуючи розроблену регресійну модель, можна побудувати графічні залежності рівня якості виконання ремонтних робіт від вказаних факторів.

Крім досліджуваних факторів на якість ремонтних робіт може впливати такий фактор як рівень кваліфікації оператора. На рис. 2. представлено графік залежності параметру  $P_d(t)$  від рівня кваліфікації фахівців при певній вірогідності результатів вимірювання апаратури, що використовується на цьому етапі або, іншими словами, від вірогідності результатів контролю.

Із графіку на рис. 2. видно, що для того, щоб підвищити імовірність недопущення браку при дефектації з існуючого рівня до бажаного, необхідно підвищити як кваліфікацію фахівців, які працюють на цьому етапі, до 6-го розряду, так, і обладнати цей етап новою апаратурою. Тобто, на графіку робоча

точка параметру  $P_d(t)$  повинна переміститися з точки С у точку D.

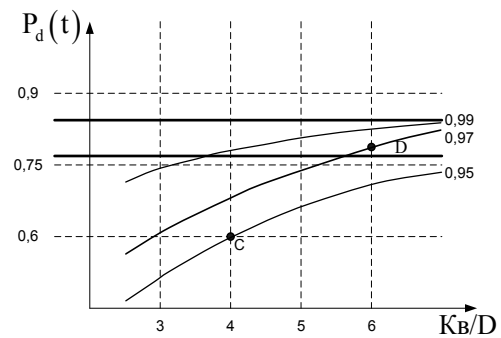


Рис. 2. Графік залежності  $P_d(t) = f(\text{Кв.}; D)$

## Висновки

На основі викладеного можна заключити, що із застосуванням розробленої регресійної моделі можна визначити якісні та кількісні характеристики рівня якості виконання ремонтних робіт в технологічному процесі. Одним із шляхів практичного забезпечення необхідного рівня якості є впровадження методів та засобів автоматизації, які полягають у використанні комп'ютеризованої інформаційної системи.

## Список літератури

1. Гаек Я. Теория ранговых критериев / Я. Гаек, З. Шидак. – М.: Наука, 1971. – 375 с.
2. Попов А.А. Вероятностная оценка качества функционирования реального технологического процесса / А.А. Попов, И.М. Павленко. – К.: Знание, 1982. – 200 с.
3. Моисеев Н.Н. Оптимизация и исследование операций. / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1975. – 526 с.
4. Володарський Є.Т. Статистична обробка даних: навч. посіб / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева. – К. Книж. в-во НАУ, 2008. – 308 с.

Надійшла до редколегії 19.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕМОНТА МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.Д. Кузовик, Л.А. Кошева, В.Л. Кучеренко

*Предложена методика оценивания уровня качества процесса ремонта медицинского оборудования, которая позволяет определить влияющие факторы, что обеспечивает необходимый уровень эффективности эксплуатации медицинского оборудования.*

**Ключевые слова:** технологический процесс, уровень качества, дисперсионный и регрессионный анализ, факторы влияния.

## METHOD OF EVALUATION OF QUALITY LEVEL OF MEDICAL EQUIPMENT REPAIR PROCESS

V.D. Kuzovik, L.A. Koshevaya, V.L. Kucherenko

*Method of evaluation of quality level medical equipment repair process, which allows to define influences, that provides the necessary level of efficiency of exploitation of medical equipment is offered*

**Keywords:** technological process, quality level, dispersion and regressive analysis, factors of influencing.