

УДК 629.4.083:629.4.027.5

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ НА ПОТОКОВІЙ ЛІНІЇ

І.Д. Борзилов

Кандидат технічних наук, професор*

Контактний тел.: (057) 730-10-35

В.Г. Равлюк

Старший викладач*

Контактний тел.: (057) 730-10-35

О.О. Матвієнко

Асистент*

Контактний тел.: (057) 730-10-35

*Кафедра «Вагони»

Українська державна академія залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха 7, м. Харків, Україна 61050

Представлена динамічна модель технологічного процесу ремонту колісних пар на потоковій лінії по кореляційній функції входу та взаємній кореляційній функції входу та виходу. Відзначено, що організація технологічного процесу повинна враховувати значення математичних очікувань та дисперсій вихідних змінних, задаючи закон зміни вхідних змінних й змінних, що характеризують внутрішній стан системи ремонту

1. Постановка проблеми

Істотне скорочення простою вагонів у ремонті, підвищення продуктивності праці робітників досягається введенням поточкових методів ремонту. На багатьох вагоноремонтних заводах і в передових депо обладнані поточкові лінії з ремонту колісних пар. Але практика поточкового ремонту показала, що існує проблема між продуктивністю лінії та тактом, яка зберігається лише до певної межі.

При організації поточкового процесу ремонту колісних пар необхідно враховувати ряд випадкових факторів, що змінюють умови його функціонування.

До таких факторів ставляться перебої в забезпеченнях матеріалів, комплектуючих виробів, перебоїв з забезпеченням електроенергією, відмови устаткування та ін.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні роки виконано достатньо досліджень, присвячених моделюванню технологічних процесів ремонту простих об'єктів [1-3].

Встановлена послідовність технологічних операцій при ремонті колісних пар, яка повинна відповідати схемі, зазначеній на рис.1, а витрати часу по операціях — діючим типовим технічно обґрунтованим нормам часу на ремонт і формування вагонних колісних пар з урахуванням внесення в них підприємствами коректив, що забезпечують підвищення продуктивності праці та високу якість виконуваних робіт [4].

В той же час, досліджень, що спрямовані на створення моделей ремонту складних об'єктів, таких як колісні пари вагонів з великою кількістю несправностей у важливих елементах щодо безпеки руху, проводиться надто мало. У останніх дослідженнях і публікаціях щодо моделей процесу ремонту об'єктів також не в повній мірі ураховуються фактори технологічного процесу.

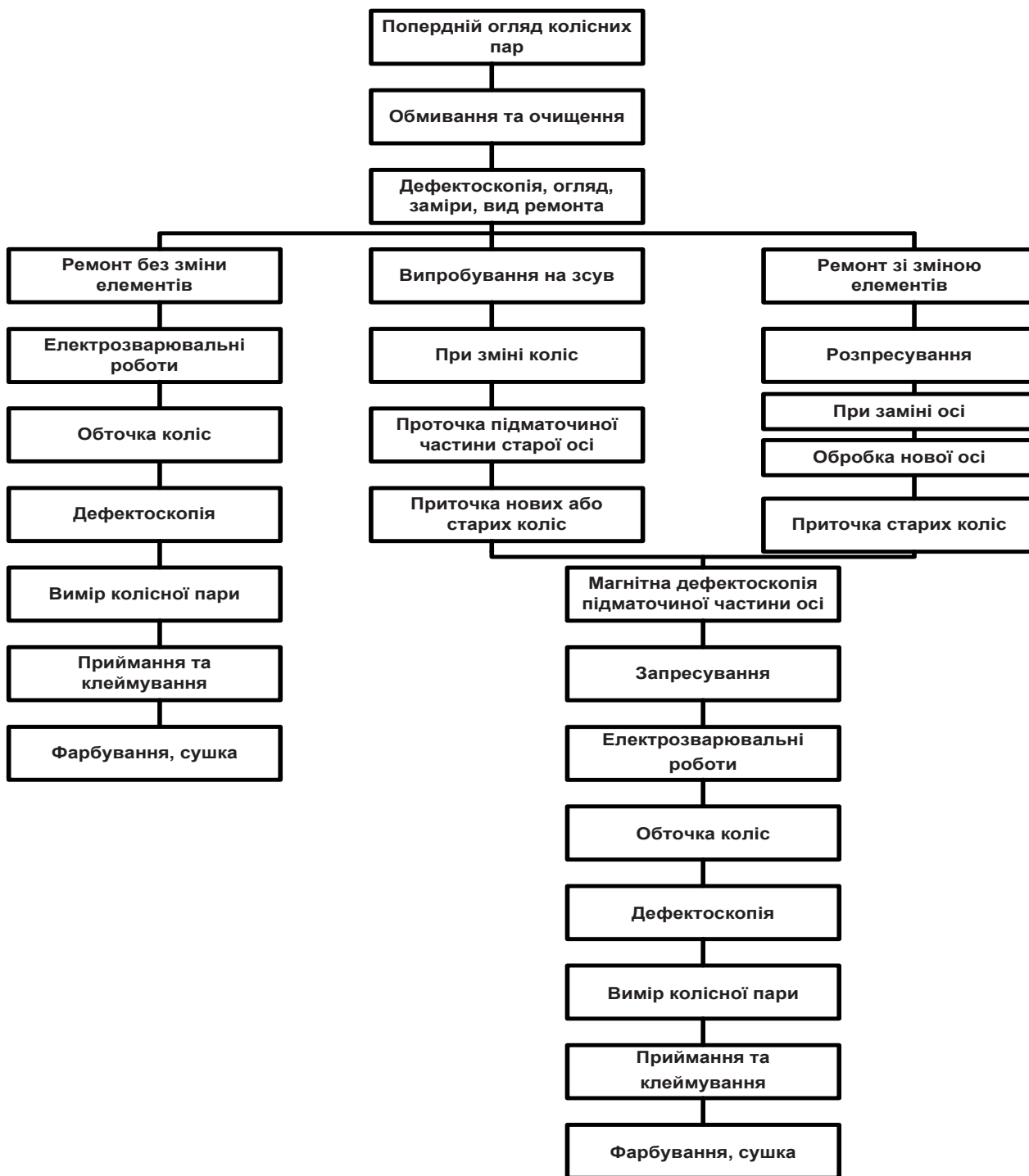


Рисунок 1. Технологічна схема видів ремонту колісних пар

3. Постановка завдання

Фактори невизначеності, які завжди існують у технологічних процесах, вносять елемент ризику в їх планування.

Якщо не врахувати ці фактори у детермінованих моделях, то це часто приводить до порушення технології ремонту.

У зв'язку із цим виникає необхідність розробки математичної моделі поточкових методів ремонту колісних пар для того, щоб можна було науково-обґрунтовано планувати обсяги їх ремонту.

4. Виклад основного матеріалу дослідження

На вході ремонту колісної пари діє векторна випадкова функція $x(s)$ зі складовими $x_1(s), x_2(s), \dots, x_n(s)$, а на виході його є векторна випадкова функція $y(t)$ зі складовими $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.

Відповідно до принципу суперпозиції рівняння для j -ї складової вихідної змінної об'єкта ремонту [2-4] маємо

$$y_j(t) = \sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_{ji}(t, \tau) x_i(\tau) d\tau, \quad (1)$$

де $g_{ji}(t, \tau)$ - вагова функція, що представляє собою реакцію ремонту колісної пари на j -му виході в момент t на i -й вхідний вплив у момент τ .

Помноживши обидві частини рівняння (1) на вхідну змінну $x(s)$ та міркуючи, що математичні очікування $y_j(t)$ та $x_i(s)$ для усіх j та i дорівнюють нулю, тобто

$$M\{y_j(t)\} = 0 \quad (j=1, 2, \dots, m),$$

$$M\{x_i(s)\} = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

одержимо наступний вираз

$$K_{y_j x_k}(t, s) = \sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_{ji}(t, \tau) K_{x_i x_k}(t, s) dt, \quad (2)$$

де s - параметри системи.

Для реальних умов, коли кореляційні та взаємні кореляційні функції розраховуються за результатами спостережень на інтервалі T , система рівнянь (4) прийме вигляд

$$K_{y_j x_k}(t, s) = \sum_{i=1}^n \int_{t-T}^t g_{ji}(t, \tau) K_{x_i x_k}(t, s) dt, \quad (3)$$

Із отриманих рівнянь видно, що динамічною характеристикою лінійного складного технологічного процесу ремонту колісних пар є вагові функції $g_{ji}(t, \tau)$ для всіх $j=1, 2, \dots, m$ і $i=1, 2, \dots, n$.

Ці вагові функції можуть бути отримані із системи інтегральних рівнянь (3). Для цього необхідно знати кореляційні функції вхідних випадкових функцій $x_i(s)$, взаємні кореляційні функції змінних $x_i(s)$ і $x_k(s)$, а також взаємні кореляційні функції вихідні $y_j(t)$ та вхідних $x_i(s)$ змінних для всіх $j=1, 2, \dots, m$ і $i=1, 2, \dots, n$.

На першій позиції лінії (див. рис. 2а) діють випадкові функції $x_0(t)$, а на виході цієї позиції $x_1(t)$. Вихід першої позиції $x_1(t)$ є входом другої позиції ремонту, а на виході маємо випадкову функцію $x_2(t)$ та ін. На виході останньої позиції діє випадкова функція та на виході із цієї позиції

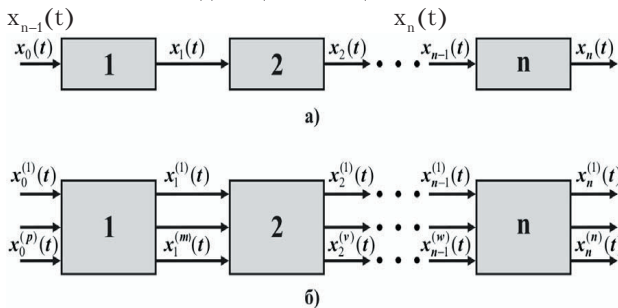


Рисунок 2. Схема потокових ліній ремонту колісних пар без заміни елементів (а) та з заміною елементів (б)

У загальному випадку, коли вихідна змінна потокової лінії ремонту колісних пар лінійно залежить від вхідних змінних всіх позицій ремонту, рівняння динамічної моделі потокової лінії аналогічно рівнянню формули (1).

Для розглянутої потокової лінії ремонту колісних пар, яка складається із простих лінійних і лінійно зв'язаних об'єктів, отримаємо

$$x_n(t) = \sum_{p=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_{np}(t, \tau) x_p(\tau) dt, \quad (4)$$

де $g_{np}(t, \tau)$ - вагова функція, що представляє собою вхідну змінну ремонту колісної пари в момент часу t на p -й вхідній, що діє в момент τ .

Динамічні характеристики потокової лінії ремонту колісних пар визначаються із системи інтегральних рівнянь, що у даному випадку має вигляд

$$K_{x_n x_g}(t, s) = \sum_{p=1}^{n-1} \int_{t-T}^{\infty} g_{np}(t, \tau) K_{x_p x_g}(t, s) dt, \quad (5)$$

Для потокових ліній ремонту колісних пар з заміною елементів, кожна з вихідних змінних (тривалість, трудомісткість ремонту та ін.) залежить від декількох вхідних змінних цього об'єкта (обсяг ремонту, модернізації та ін.). У загальному випадку потокова лінія при цьому виді ремонту колісних пар являє собою технологічний процес, що складається з ряду з'єднаних між собою позицій (див. рис. 2б).

На виході першої позиції потокової лінії діє векторна випадкова функція $x_0(t)$ зі складовими $x_0^{(1)}(t), x_0^{(2)}(t), \dots, x_0^{(p)}(t)$ та на виході з цієї позиції маємо векторну випадкову функцію $x_1(t)$ зі складовими $x_1^{(1)}(t), x_1^{(2)}(t), \dots, x_1^{(m)}(t)$.

Оцінка динамічних характеристик технологічного процесу значно спрощується, якщо прийняти вхідні й вихідні змінні стаціонарними та стаціонарно зв'язаними. У цьому випадку рівняння ремонту колісних пар з заміною елементів може бути записане в такий спосіб

$$y(t) = \sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_{ji}(\tau) x_i(t, \tau) dt, \quad (6)$$

Динамічні характеристики при цьому виді ремонту колісних пар знаходяться із системи інтегральних рівнянь

$$K_{y_j x_i}(t) = \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_{jk}(\tau) K_{x_k x_i}(t, \tau) dt, \quad (7)$$

Для одержання динамічних характеристик по кожній із вихідних змінних необхідно вирішувати окремо п систем рівнянь (9).

На основі статистичних методів побудови лінійної динамічної моделі технологічного процесу ремонту колісних пар без заміни елементів, можна сказати, що їхнє практичне виконання вимагає значного збору інформації з кожного об'єкта під час його нормального функціонування та статистичного оброблення цієї інформації.

Побудова динамічної моделі ремонту колісних пар з заміною елементів, пов'язане із ще більшими труднощами, тому що обсяг інформації та обчислювальних робіт значно зростає. У цьому випадку необхідно вирішити в першу чергу питання про ступінь нелінійності конкретного технологічного процесу.

Коли ступінь нелінійності значний та немає необхідної точності при аналізі виробничого процесу шляхом застосування лінійної моделі, використовують метод лінеаризації, що дає можливість застосовувати методи лінійних перетворень випадкових функцій для ремонту колісних пар з заміною елементів. Найбільш прийнятним для поставлених завдань є метод статистичної лінеаризації, що полягає в тому, що виконується заміна нелінійно - зв'язаних випадкових функцій статично еквівалентною лінійною залежністю. Найчастіше для практичних цілей статистична еквівалентність приймається для зв'язків, що мають

однакові моменти першого та другого порядків при тому ж законі розподілу аргументу.

Так, у найпростішому випадку для двох випадкових величин - вхідний x і вихідний y , зв'язаних залежністю $y=f(x)$, - при статистичній лінеаризації ставиться завдання замінити випадкову величину у випадковою величиною z , що є лінійною функцією x , що мала б таке ж математичне очікування та дисперсію, як і випадкова величина у

$$M\{z\} = M\{y\}, \quad (8)$$

$$D\{z\} = D\{y\}, \quad (9)$$

$$z = K_0 x_0 + K_1 x_1, \quad (10)$$

де x_0 - початкове значення.

Ці умови є основою для визначення коефіцієнтів

$$K_0 = \frac{M\{y\}}{M\{x\}}; \quad K_1 = \frac{\pm \sigma_y}{\sigma_x} \quad (11)$$

Для динамічних об'єктів звичайно потрібне рівність взаємних кореляційних функцій або рівність дисперсійних функцій [2].

Нехай потокова лінія ремонту колісних пар або їх елементів складається з n позицій. На вході першої маємо x_0 , z_1 випадкову величину, що характеризує внутрішній стан зі змінних першої позиції, на виході якої маємо випадкову величину x_1 . Для другої позиції маємо випадкові величини x_1 , z_2 і x_2 , що характеризують відповідно вхідну змінну, параметр стану другої позиції та вихідну змінну та ін.

Як характеристику продуктивності приймемо тривалість операції, яку для i -ої позиції позначимо через T_i .

Час операції розчленуємо на дві складові: T_{A_i} - постійний час, що не залежить від необхідної якості й $\frac{T_{B_i}}{\delta_i}$ - змінний час, що залежить від заданої якості вихідної змінної x_i

$$T_i = T_{A_i} + \frac{T_{B_i}}{\delta_i}, \quad (12)$$

де δ_i - величина поля допуску.

При визначенні характеристик позиції за результатами нормальної експлуатації коефіцієнт регресії T_{B_i} та значення T_{A_i} для кожної з позицій обумовлені кореляційними методами.

Час ремонту колісної пари на потоковій лінії (тривалість технологічного циклу) з обліком всіх x і z складе

$$T_{k.n} = \sum_{i=1}^{n-1} T_i^x + \sum_{j=1}^n T_j^z \quad (13)$$

або

$$T_{k.n} = T_A + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{T_{B_i}^x}{\delta_i^x} + \sum_{j=1}^n \frac{T_{A_j}}{\delta_j^z}, \quad (14)$$

де $T_A = \sum_{i=1}^{n-1} T_{A_i}$ - сумарний постійний час, що не залежить від необхідної якості по всіх позиціях потокової лінії (витрати часу на обслуговування устаткування, перерви, частково підготовчо-заклучний та допоміжний час).

Граничні відхилення вихідної змінної, характеризуються величиною поля допуску δ , пов'язані із числовою характеристикою випадкової величини

x_i (середнім квадратичним відхиленням) наступним відношенням

$$\delta_i = \frac{2t}{K_i} \sigma_{x_i}, \quad (15)$$

де t - аргумент функції Лапласа (приймається $\Phi(t) = 0,9973$, для якого $t = 3$);

K_i - коефіцієнт відносного розсіювання, що залежить від щільності ймовірності вихідної змінної i -ої позиції.

Якщо щільність ймовірності x_i нормальна, то $K = 1$, і тоді для $t = 3$

$$\delta_i = 6 \delta_i, \quad (16)$$

Відповідно до виразу (15) перепишемо рівняння для T_i слідуючим чином

$$T_i = T_{A_i} + \frac{K_i T_{B_i}}{2 t_i \sigma_{x_i}}, \quad (17)$$

Якщо щільність ймовірності змінних на вході кожної з позиції нормальна, то

$$T_i = T_{A_i} + \frac{T_{B_i}}{6 \sigma_{x_i}}, \quad (18)$$

Тоді для потокової лінії ремонту колісних пар будемо мати

$$T_{k.n} = T_A + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{T_{B_i}^x}{6 \sigma_{x_i}} + \sum_{j=1}^n \frac{T_{B_j}^z}{6 \sigma_{z_j}}, \quad (19)$$

і, коли $x_i (i=0, 1, \dots, n-1)$ та $z_j (j=0, 1, \dots, n)$ розподілені нормально,

$$T_{k.n} = T_A + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{T_{B_i}^x}{6 \sigma_{x_i}} + \sum_{j=1}^n \frac{T_{B_j}^z}{6 \sigma_{z_j}}. \quad (20)$$

Розв'язок полягає у визначенні мінімуму загального часу ремонту об'єкта на потоковій лінії тобто мінімуму $T_{k.n}$ при значеннях σ_i , що забезпечують необхідну якість ремонту.

В загальному випадку для розв'язку застосовується метод кусочно-лінійної апроксимації, що дозволяє представити функцію у вигляді ламаної лінії, кожний відрізок якої запишеться у вигляді прямої

$$T = K_{ii} + m_{ii} \delta_i, \quad (21)$$

де

$$K_{ii} = \frac{f_i(\delta_i, l-1) \delta_{ii} - f_i(\delta_{ii}, \delta_i, l-1)}{\delta_{ii} - \delta_i, l-1}, \quad i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (22)$$

$$m_{ii} = \frac{f_i(\delta_i) \delta_{ii} - f_i(\delta_i, l-1)}{\delta_{ii} - \delta_i, l-1}, \quad l = 0, 1, \dots, p; \quad (23)$$

де p - число ділянок розбиття функції $f_i(\delta_i) = T$;

δ_{ii} - точки, у яких збігаються значення опуклої функції $f_i(\delta_i)$ з її кусочно-лінійним наближенням.

Аналогічно виконується кусочно-лінійна апроксимація для реєстрації критерію оптимізації щодо припустимих відхилень змінних, що характеризують тривалість технологічного циклу потокової лінії.

Отже, оптимізація якісних характеристик комплексу технологічного процесу ремонту колісних пар за критерієм максимуму продуктивності зводиться до завдання лінійного програмування - визначенню мінімуму лінійної форми

$$T_{k.n} = T_A + \sum_{i=0}^{n-1} T_i^x + \sum_{j=1}^n T_j^z, \quad (24)$$

При обмеженнях

$$T_i \geq K_{il} - m_{il} \delta_i, \tag{25}$$

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{i=0}^{n-1} x_i \cdot x_n \cdot \sigma_{x_i} \cdot \sigma_{x_n} + \sum_{j=1}^n z_j \cdot x_n \cdot \sigma_{z_j} \cdot \sigma_{x_n} \leq D \{ M [\frac{x_n}{x_0}, \dots \\ & \dots, x_{n-1}, z_1, \dots, z_n] \}; \\ & \sigma_{x_{i_{\min}}} \leq \sigma_{x_i} \leq \sigma_{x_{i_{\max}}} \quad (i=0, 1, \dots, n-1); \\ & \sigma_{z_{j_{\min}}} \leq \sigma_{z_j} \leq \sigma_{z_{j_{\max}}} \quad (j=0, 1, \dots, n), \end{aligned} \right\} \tag{26}$$

Якщо число змінних x_i з невеликі, то доцільно використовувати ітераційний метод, що дозволяє визначити науково обґрунтовану сумарну похибку виконання технологічного процесу ремонту колісних пар із врахуванням можливих обурюючих впливів.

Багатоподобність умов, у яких розвивається технологічний процес ремонту колісних пар вагонів, змушує шукати такі шляхи його організації, при яких впливи, що обурюють, мінімально позначалися б на якості ремонту колісних пар. Для забезпечення синхронності виконання операцій ремонту по позиціях потоку необхідно зіставити необхідну точність виконання графіка ремонту з рівнем обурюючих впливів.

Проведені дослідження показали, що той самий рівень впливу, що обурює, не порушує технологічний процес не потокового виробництва, а на потоковій лінії викликає зрив, що важко передбачити, а ще важче ліквідувати. Тому реальну програму ремонту колісних пар у сучасних умовах вагоноремонтного виробництва рекомендується визначати за формулами

$$P_p = P\eta, \tag{27}$$

де P - потенційна потужність ремонтного цеху (дільниці)

(при ідеальних умовах $P = \frac{D_u}{R}$);

D_u - розрахунковий річний фонд часу цеху (дільниці), год;

R - такт технологічного процесу, год;

$\eta = 1 - \frac{\Delta t}{R}$ - коефіцієнт напруженості планового завдання;

Δt - припустима похибка виконання графіку ремонту.

Значення цього показника може бути отримане в ході аналізу описаної моделі. Для практично реалізованих значень такту потокових ліній з ремонту колісних пар і сучасного рівня організації ремонту на передових ремонтних підприємствах доцільно прийняти $\Delta t = 0,5$ год.

5 Висновок

Таким чином, отримана динамічна модель технологічного процесу ремонту колісних пар на потоковій лінії по кореляційній функції входу та взаємній кореляційній функції входу та виходу.

Необхідно відзначити, що організація виробничого процесу повинна враховувати значення математичних очікувань та дисперсій вихідних змінних, задаючи закон зміни вхідних змінних й змінних, що характеризують внутрішній стан системи ремонту.

Математичні очікування координат процесу ремонту колісних пар характеризують очікуваний режим роботи системи ремонту. Зменшення відхилень може бути досягнуте шляхом підвищення технічного та організаційного рівня системи ремонту. По позиціях ремонту колісних пар необхідно контролювати синхронізацію виробничого процесу, зіставляючи необхідну точність виконання графіку ремонту з рівнем впливів, що обурюють виробничий процес.

Література

- 1 Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов. -М.: Наука, 1964. -248 с.
- 2 Собенин Л.А. Основные направления совершенствования организации производственного процесса ремонта тепловозов. – В кн.: Пути улучшения организации эксплуатации т ремонта электровозов. -М.: Транспорт, 1986 -С. 116-124.
- 3 Бабанін О.Б., Борзилов І.Д., Матвієнко О.О. Методика розрахунку надійності вузлів вагонів, що надходять у плановий ремонт. Харків: Зб. наук. праць / УкрДАЗТ, 2004. -Вип. 58. –С. 20-25.
- 4 Борзилов І.Д., Матвієнко О.О. Ресурсозберігаюча технологія відновлення різьби на шийці осі колісної пари вагона. Залізничний транспорт України. – 2006. -№ 5.- С. 57