

МЕТОД ВИБОРУ СПОСОБУ Й ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Лузан С.О. к.т.н., доц.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Запропонований метод вибору способу й оптимізації технології відновлення деталей, що включає етапи визначення економічної доцільності відновлення, визначення застосовності способів відновлення, вибір оптимального способу по комплексному техніко-економічному критерію.

Введення. Ремонт засобів транспорту полягає в економічно обґрунтованому усуненні несправностей і відновленні їх ресурсу після періоду експлуатації, іншими словами у вторинному виробництві виробів з існуючого ремонтного фонду.

У машинобудуванні, яка належить до провідних галузей промисловості, діє система заходів щодо змісту техніки в справному стані. Ця система має планово-запобіжний характер і включає два види впливів. Впливи першого виду виконуються в плановому порядку й спрямовані на зменшення інтенсивності зношування деталей за рахунок попередження і своєчасного виявлення несправностей при технічному обслуговуванні. Впливи другого виду необхідні для усунення несправностей засобів транспорту й відновленні їх ресурсу шляхом заміни або відновлення зношених деталей. Тому головне завдання ремонтного виробництва полягає в ефективному відновленні надійності машин у результаті найбільш повного використання залишкової довговічності деталей.

Аналіз публікацій і досліджень. Задача вибору способу відновлення деталей уперше була поставлена і вирішена В.А. Шадричевим і надалі багаторазово видозмінювалась іншими авторами й вирішувалась різними методами [1].

У цей час існує три основні методи вибору процесу відновлення деталей, що відрізняються різним ступенем обліку технічних і економічних показників. Перший метод заснований на визначенні повної собівартості відновлення деталі різними способами й зіставленні їх результатів. Згідно із другим методом рівняються між собою комплексні величини у вигляді відносин технологічних витрат до ресурсу деталі нової й відновленої. У якості базового показника ухвалюють таке відношення для нової деталі. Третій метод ураховує значення комплексного показника як функції трьох критеріїв: застосовності, довговічності й техніко-економічного.

До недоліків першого методу є відсутність обліку технічного стану й післяремонтного наробітку відновленої деталі й непорівнянність результатів розрахунків. Другий і третій методи дозволяють застосовувати способи, які

при малій собівартості відновлення забезпечують і малу довговічність у порівнянні з нормативним наробітком машини.

Критерії оцінки процесу відновлення деталей мають велике значення для ремонтного виробництва, тому безупинно уточнюються [1]. Так В.В. Єфремов запропонував у якості критерію вибору раціонального способу відновлення деталей співвідношення витрат і наробітку машини. В.І. Казарцев визначив умову раціональності вибору відновлення тим або іншим способом у наступному виді:

$$\frac{C_e i_e}{I_e} \leq \frac{C_n i_n}{I_n} \quad (1)$$

де C_e і C_n – вартість відновлення зношеної й виготовлення нової деталі відповідно; i_e і i_n – інтенсивність зношування відновленої й нової деталі; I_e і I_n – величина граничного зношування відновленої й нової деталі.

В.А. Шадричевим запропоновані для оцінки обраного способу відновлення деталей приватні критерії: застосовності, довговічності й економічності. Остаточний вибір способу проводиться за допомогою техніко-економічного критерію, що зв'язує довговічність деталі з економікою її відновлення, по формулі

$$C_e \leq k_d C_n \quad (2)$$

де k_d – коефіцієнт довговічності відновленої деталі, дорівнює відношенню довговічності відновленої й нової деталі.

Критерії (1) і (2), по суті, схожі. Е.Л. Воловик увів умову, згідно з яким сума наведених витрат при відновленні конструктивно-технологічних параметрів зношених деталей до рівня нових повинна бути мінімальною.

Труднощі застосування комплексних вартісних критеріїв викликали необхідність застосування приватних критеріїв.

А.Н. Батищев увів комбінований критерій φ_{ki} , що відбиває енерго-, трудомісткість, наведені витрати й довговічність деталі

$$\varphi_{ki} = \frac{K_{1i} K_{2i} K_{3i}}{k_{di}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$K_{3i} = Z_{ei} / C_n,$$

де K_{1i} , K_{2i} , K_{3i} – відповідно коефіцієнти енерго-, трудомісткості й економічності технологічного процесу відновлення деталі i -м способом; k_{di} – коефіцієнт довговічності відновленої i -м способом деталі; Z_{ei} – витрати на відновлення деталі i -м способом; C_n – ціна нової деталі.

Коефіцієнт довговічності у вираженні (3) визначається по відношенню не до вартості нової деталі, а нормативному ресурсу відремонтованого агрегату.

Показники довговічності, уведені складовою частиною в обсяг змісту критеріїв відновлення деталей, утрудняють їхнє застосування заводськими фахівцями. Розробка технологічних процесів відновлення деталі з урахуванням величин післяремонтного наробітку вимагає тривалих досліджень зміни розмірів, зазорів і натягів у сполученнях, форми й взаємного розташування поверхонь і інших параметрів під час експлуатації відремонтованих агрегатів. Тільки тривалість таких досліджень перевищує прийнятні строки технологічної підготовки відбудовного виробництва [1].

Мета дослідження. Розробити метод вибору способу й оптимізації технології відновлення деталей, що включає етапи визначення економічної доцільності відновлення, визначення застосовності способів відновлення, вибір оптимального способу по комплексному техніко-економічному критерію.

Результати дослідження. На основі виконаного аналізу критеріїв вибору способу й критеріїв оцінки технології відновлення деталей машин пропонується наступна структурна схема методу вибору способів і оптимізації технології відновлення деталі, рис. 1

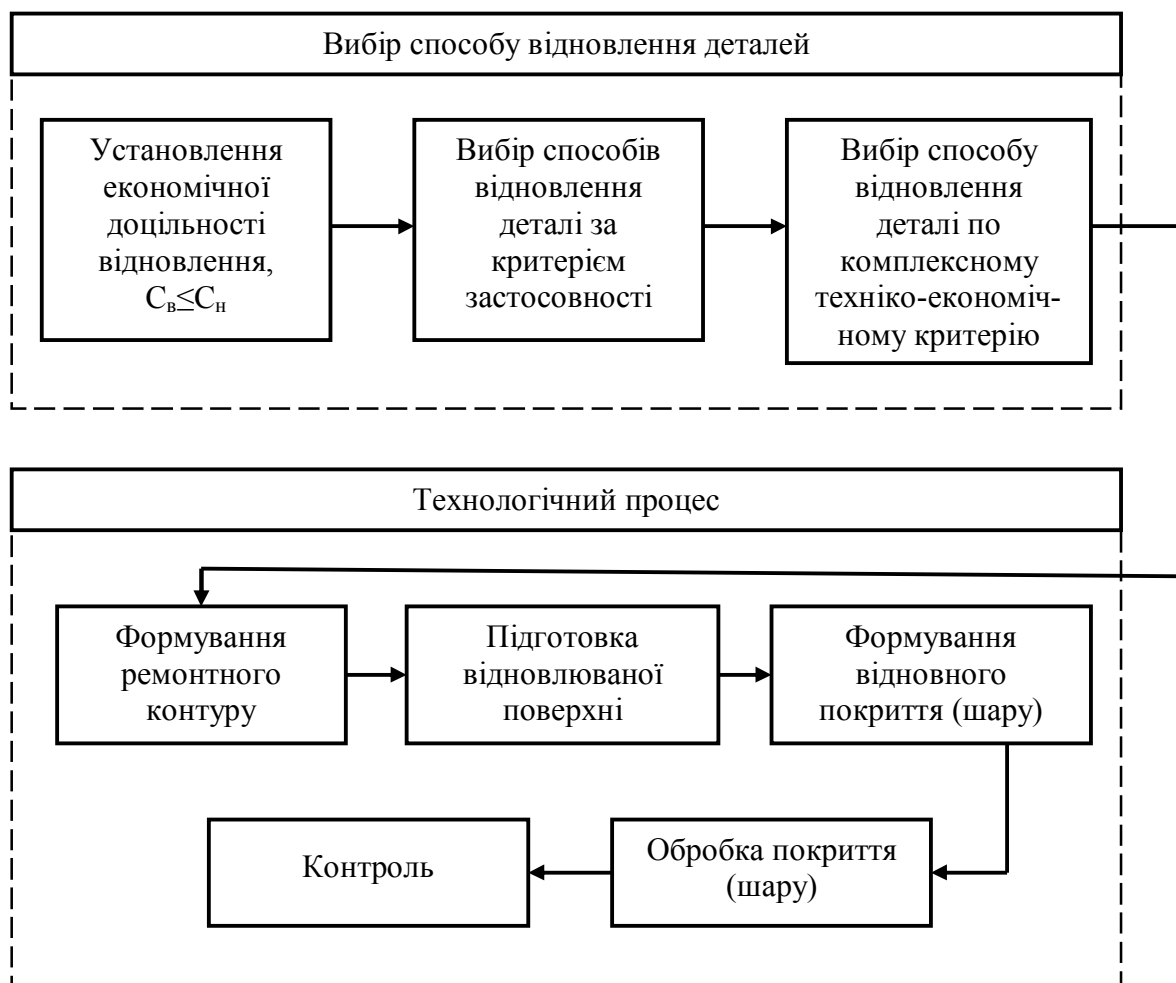


Рис. 1. Структурна схема методу вибору способу й оптимізації технології відновлення деталі

1. Установлення економічної доцільності відновлення деталей

Відомо, що на сьогоднішній день ресурс відремонтованої транспортної техніки в порівнянні з новою становить не більш 50% (хоча за ДСТ 23.465-79 повинен бути не нижче 80%), швидкість зношування деталей після ремонту зростає в 1,6-2,0 рази. Тому, безупинно проводяться роботи з удосконалювання технологій відновлення деталей з метою одержання їх коефіцієнта довговічності не менш одиниці. У зв'язку в цим для забезпечення економічної доцільності відновлення деталей необхідно, щоб собівартість їх відновлення C_v не перевищувала собівартості виготовлення нових C_n , тобто повинне виконуватися умова:

$$C_v \leq C_n \quad (4)$$

Розглянутий нами метод газополум'яного напилювання дозволяє багаторазово підвищувати ресурс деталей шляхом нанесення покриттів, наприклад, з порошкових матеріалів системи Ni-Cr-B-Si і забезпечити виконання виразу (4).

2. Визначення застосування способів відновлення деталей

Критерій застосовності або технологічний критерій, запропонований, В.А. Шадричевим, дозволяє визначити застосовність способів відновлення до конкретних деталей. Вибір способу відновлення залежить від конструктивно-технологічних особливостей і умов роботи деталей, величини їх зносів, експлуатаційних властивостей самих способів, що визначають довговічність відремонтованих деталей, і вартості їх відновлення [2]. Конструктивно-технологічні особливості деталей визначаються: їх структурними характеристиками – геометричною формою й розмірами, матеріалом і термообробкою, поверхневою твердістю, точністю виготовлення й шорсткістю поверхні; характером сполучення (типом посадки); умовами роботи – характером навантаження, родом і видом тертя, величиною зношування за експлуатаційний період. Знання структурних характеристик деталей, умов роботи й експлуатаційних властивостей способів дозволяє в першому наближенні розв'язати питання про застосування того або іншого з них для відновлення конкретної деталі. Такий аналіз дозволяє встановити, які з деталей можуть відновлюватися всіма або декількома способами і які по своїх структурних характеристиках допускають тільки один спосіб відновлення. На думку В.А. Шадричева критерій застосування не може бути виражений числом і є по суті попереднім, оскільки при його допомозі не можна розв'язати питання вибору раціонального способу відновлення деталей, в випадку, коли способів може бути кілька. Критерій застосовності дозволяє класифікувати деталі по способах відновлення й виявити перелік деталей, відновлення яких можливо різними способами.

М.А. Масино запропонував методику визначення застосовності способів відновлення деталей з визначенням чисельних значень коефіцієнта застосовності для конкретних груп деталей [3]. Однак, як відзначає автор,

установити чисельні значення коефіцієнта застосовності на основі яких-небудь математичних обчислень чи ледь можливо й доцільно. У цьому випадку рекомендується вдатися до деякої аналогії з основними поняттями теорії ймовірностей. У тому випадку, якщо той або інший спосіб відновлення може бути застосований до деталей даної групи за аналогією з достовірною подією, можна привласнити коефіцієнту застосовності чисельне значення, рівне 1. У тому випадку, якщо цей спосіб до деталей даної групи не застосуємо за аналогією з неможливою подією, можна привласнити коефіцієнту застосовності чисельне значення, рівне 0. У випадку, якщо не є даних, що спростовують можливість застосування способу, а також підтверджувальних його застосовність, можна запропонувати рівну ймовірність того й іншого й на підставі цього умовно привласнити коефіцієнту застосовності чисельне значення, рівне $\frac{1}{2}$.

З викладеного видно, що на цьому етапі визначається тільки принципова можливість застосування способів відновлення без обліку ресурсу відновлених деталей і економічної ефективності відновлення.

3. Вибір оптимального способу відновлення деталей

Вибір оптимального способу відновлення деталей з урахуванням їх ресурсу й економічної доцільності пропонується робити по комплексному техніко-економічному критерію, який являє собою добуток інтенсивності зношування ($I_{уз}$) відбудовного покриття на питомі витрати по його напилюванню ($З_{об.уд}$):

$$K_e = I_{уз} З_{об.уд} \quad (5)$$

Критерій економічної ефективності технологічного процесу нанесення відновного покриття зручно представити як питомі витрати на напилювання одиниці об'єму покриття. Це дозволяє порівнювати різні способи нанесення покриттів з економічної точки зору.

Річні витрати по нанесенню покриття становлять

$$З_i = E_n K_i + C_i \quad (6)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт окупності капітальних вкладень; K_i – капітальні витрати (вартість технологічного встаткування, оснащення); C_i – витрати на матеріал покриття, технологічні матеріали й електроенергію; i – номер варіанта способу нанесення покриття.

Тоді витрати при нанесенні покриття на одну деталь становлять

$$З_{уді} = \frac{З_i}{N_i} = \frac{E_n K_i + C_i}{N_i} \quad (7)$$

де N_i – кількість деталей, відновлюваних протягом року.

$$N_i = \frac{\Phi_i}{T_{ни}} \quad (8)$$

де Φ_i – дійсний річний фонд часу роботи встаткування з урахуванням втрат

часу по організаційних причинах, на простої, огляди й ремонти; T_{ni} – час нанесення покриття.

Підставляючи вираження (8) в (7) одержуємо наступну формулу

$$Z_{yoi} = \frac{T_{ni}(E_n K_i + C_i)}{\Phi_i} = T_{ni} \left(\frac{E_n K_i}{\Phi_i} + \frac{C_i}{\Phi_i} \right) \quad (9)$$

Аналізуючи вираження (9) робимо вивід, що перший доданок у дужках являє собою капітальні витрати, віднесені до однієї години дійсного фонду роботи встаткування, іншими словами – питомі капітальні вкладення. Другий доданок є технологічною собівартістю години роботи встаткування, тобто питомі витрати на нанесення покриття.

Якщо представити час нанесення покриття T_{ni} у наступному виді

$$T_{ni} = \frac{F_i h_i}{Q_i} \quad (10)$$

де F_i - сумарна площа відновлюваної поверхні, см^2 ; h_i – товщина покриття, см ; Q_i – продуктивність нанесення покриття, $\text{см}^3/\text{хв}$.

Тоді вираження для визначення витрат при нанесенні покриття на одну деталь (9) приймає вид

$$Z_{yoi} = \frac{F_i h_i}{60 Q_i} \left(\frac{E_n K_i}{\Phi_i} + C_{mi} \right) \quad (11)$$

де $C_{mi} = \frac{C_i}{\Phi_i}$ - технологічна собівартість години роботи встаткування.

Отримане вираження (11) дозволяє визначити витрати на нанесення покриття необхідної товщини на задану площу відновлюваної поверхні або, інакше кажучи, технологічну собівартість нанесення покриття.

Для зручності порівняльної оцінки різних способів нанесення відновного покриття одержимо вираження без обліку геометричних характеристик покриття (площі й товщини), тобто розділимо витрати по нанесенню покриття на його обсяг, тобто $V_i = F_i h_i$

$$Z_{об. yoi} = \frac{1}{60 Q_i} \left(\frac{E_n K_i}{\Phi_i} + C_{mi} \right) \quad (12)$$

Формула (12) являє собою багатопараметричну техніко-економічну модель, що дозволяє визначити витрати на одержання одиниці об'єму відбудовного покриття, що і є критерієм економічної ефективності технологічного процесу.

Мінімум $Z_{об. yoi}$ буде свідчити про високу економічну ефективність технологічного процесу відновлення деталей. У той же час мінімальний рівень витрат не завжди може відповідати необхідній довговічності відновленої деталі. Тому вибір оптимального технологічного процесу відновлення деталей слід робити по комплексному техніко-економічному

критерію K_e (5), що враховує інтенсивність зношування нанесеного покриття:

$$I_{uz} = \frac{G_1 - G_2}{\gamma \cdot F \cdot t} \quad (13)$$

де G_1 - вага деталі (зразка) до випробування; G_2 - вага деталі (зразка) після випробування; F - площа відновленої поверхні; t - час випробування.

Завдання вибору способу відновлення деталі, що відповідає комплексному техніко-економічному критерію, і структури технологічного процесу можливо розв'язати на основі графового представлення можливих варіантів комбінації технологічних операцій, що забезпечують мінімальне значення цільової функції.

Морфологічна матриця основних операцій і відповідний граф варіантів технологічного процесу відновлення деталей представлені в табл.1 і на рис.2.

Безліч вершин графа відповідає безлічі складових операцій. Горизонтальні ряди вершин графа відповідають підмножині видів $i = n$ операції j -го типу. Обрана підмножина вершин, узятих по одній з кожного ряду графа, визначає один з варіантів технологічного процесу.

Найкоротший шлях L_{i+1} між зазначеними вершинами визначається шляхом розв'язку рекурентного рівняння в кожній вершині графа [1].

$$L_{i+1} = \min(\text{по всім } i, \text{ по всім } n)[L_{(i+1)-1} + L_i] \quad (14)$$

де i – кроки розв'язку; n – число видів технологічної операції j -го типу;

L_i – витрати на виконання i -ї операції за умови, що відповідна ділянка графа обрана оптимальним образом; L_{i+1} – витрати, віднесені до $i+1$ операціям; $L_{(i+1)-1}$ – витрати, віднесені до приєднання $(i+1)$ -ї операції процесу до i його операціям.

Обрані на графові напрямки руху з його вершин позначаються стрілками. Вибір оптимального способу відновлення (вершина 36) проводиться в напрямку від 1-го ряду до 2-му за критерієм застосовності й від 2-го до 3-му ряду по комплексному техніко-економічному критерію.

Далі напрямком розрахунків здійснюється від вершин нижнього ряду 7 до вершини 36 ряду 3, виконуючи умову оптимальної комбінації операцій на попередніх кроках з операціями на наступному кроці, іншими словами забезпечуючи мінімальні витрати на попередню операцію. Таким чином, рухаючись від наступного типу операції до попереднього в напрямку до вершини 36 забезпечується одержання найменших витрат на відновлення деталі. Довжину кожного ребра графа розглядаємо як витрати на виконання наступної операції.

Оптимізація завдання виражається в пошуку найкоротшого шляху з вершини 36 в одну з вершин нижнього ряду 7 графа й відповідно підмножина вершин на цьому шляху визначає оптимальний склад операцій технологічного процесу. Значення цільової функції проставляється у верхній вершині графа 36.

Таблиця 1. Морфологічна матриця основних операцій технологічного процесу відновлення деталей машин

№ етапу	Операція		Координати вершин
	Тип	Вид	
1	Визначення номенклатури способів відновлення деталей	<ol style="list-style-type: none"> 1. Газополум'яне напилювання. 2. Інтегроване газополум'яне напилювання. 3. Плазмове напилювання. 4. Детонаційне напилювання. 5. Металізація електродугова. 6. Осталевання. 7. Вібродугове наплавлення. 8. Наплавлення під шаром флюсу. 9. Хромування. 10. Наплавлення у вуглекислому газі. 11. Ручне наплавлення. 	<ol style="list-style-type: none"> 1-1 1-2 1-3 1-4 1-5 1-6 1-7 1-8 1-9 1-10 1-11
2	Вибір способів відновлення деталі за критерієм застосування	<ol style="list-style-type: none"> 1. Газополум'яне напилювання. 2. Інтегроване газополум'яне напилювання. 3. Плазмове напилювання. 4. Детонаційне напилювання. 5. Металізація електродугова. 7. Вібродугове наплавлення. 10. Наплавлення у вуглекислому газі. 	<ol style="list-style-type: none"> 2-1 2-2 2-3 2-4 2-5 2-7 2-10
3	Вибір способу відновлення деталі по комплексному техніко-економічному критерію	<ol style="list-style-type: none"> 2. Інтегроване газополум'яне напилювання. 	<ol style="list-style-type: none"> 3-6
4	Формування ремонтного контуру	<ol style="list-style-type: none"> 1. Видалення поверхневого шару на технологічно максимальну або мінімально необхідну глибину. 2. Оброблення й видалення дефектів. 	<ol style="list-style-type: none"> 4-4 4-8
5	Підготовка відновлюваної поверхні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Струйно-абразивна. 2. Механічні способи: <ul style="list-style-type: none"> - нарізування рваного різьблення; - фрезерування насічки, канавок клиноподібної форми; - нарізування кільцевих канавок; - голкофрезерування. 3. Хімічне травлення. 4. Електроіскрова обробка. 	<ol style="list-style-type: none"> 5-3 5-5 5-7 5-9
6	Формування відновного покриття (шару)	<ol style="list-style-type: none"> 2. Інтегроване газополум'яне напилювання. 	<ol style="list-style-type: none"> 6-6
7	Обробка покриття	<ol style="list-style-type: none"> 1. Гостріння. 2. Фрезерування. 3. Шліфування. 4. Полірування. 	<ol style="list-style-type: none"> 7-2 7-4 7-6 7-8

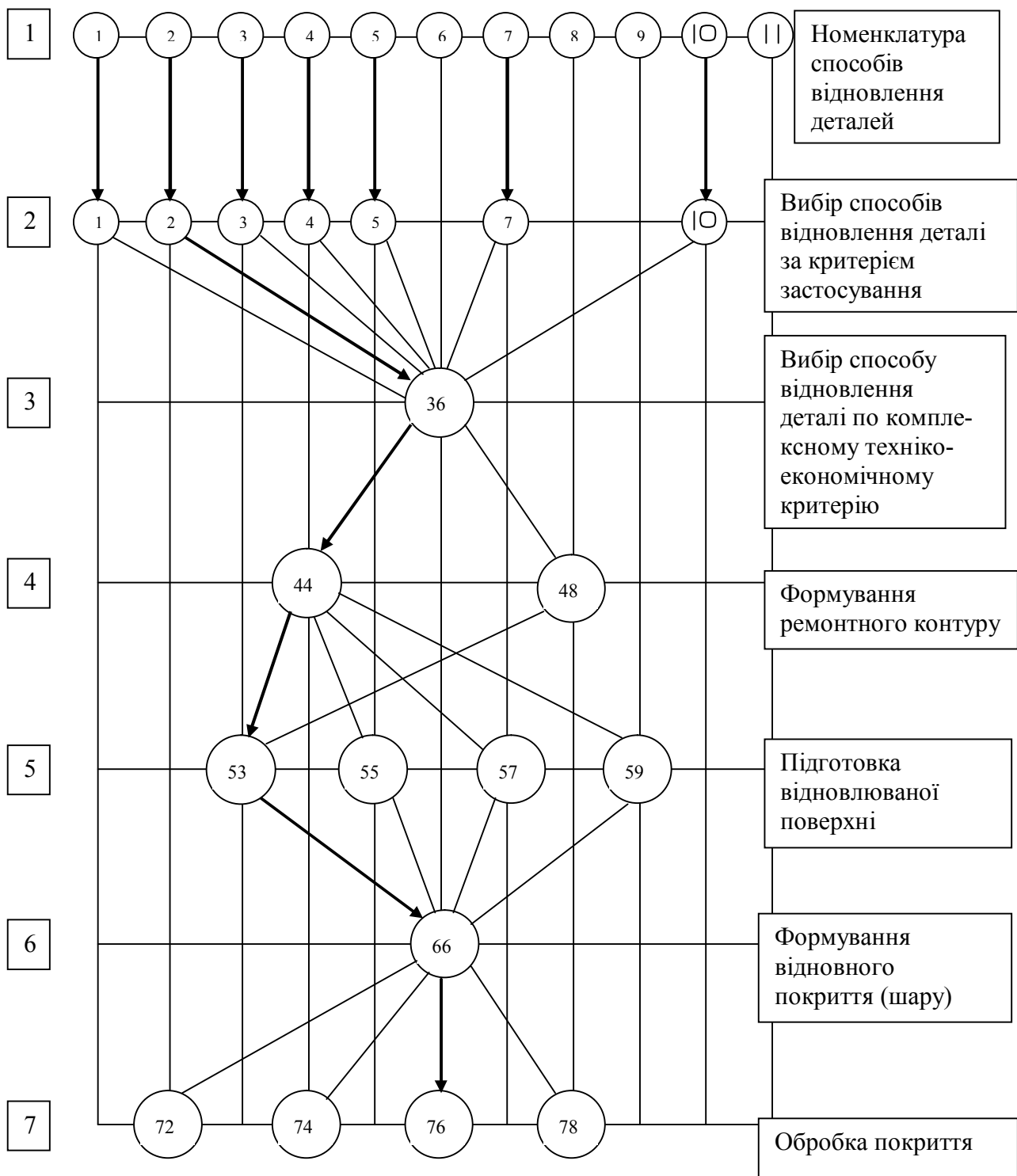


Рис. 2. Граф варіантів технологічного процесу відновлення деталей

Висновки. На підставі викладеного можна зробити висновок, що запропонований метод вибору способу й оптимізації технології відновлення деталі забезпечує необхідну надійність деталі при найменших витратах на свою реалізацію. У випадку, якщо технологічні можливості підприємства не дозволяють освоїти найбільш оптимальний технологічний процес відновлення деталі, то шляхом виключення нездійснених операцій цього техпроцесу можна вибрати інший, найбільш близький до оптимального.

Список використаних джерел

1. Восстановление деталей машин : [справочник] / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. Шадричев В.А. Основы технологии автостроения и ремонта автомобилей / Шадричев В.А. – Л. : Машиностроение, 1976. – 560 с.
3. Масино М.А. Повышение долговечности автомобильных деталей при ремонте / Масино М.А. – М. : Транспорт, 1972. – 148 с.

Аннотация

МЕТОД ВЫБОРА СПОСОБА И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

Лузан С.А., к.т.н., доц.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Предложен метод выбора способа и оптимизации технологии восстановления деталей, включающий этапы определения экономической целесообразности восстановления, определения применимости способов восстановления, выбор оптимального способа по комплексному технико-экономическому критерию.

Summary

METHOD OF THE SELECTION WAY AND OPTIMIZATION TO TECHNOLOGIES OF RECOVERING THE DETAILS, SUPPLING INCREASING TO RELIABILITY OF THE FACILITIES TRANSPORT

Luzan S., c.t.s.

Kharikovskiy national car-road university

The offered method of the selection way and optimization to technologies of recovering the details, inclusive stages of the determination to economic practicability of reconstruction, determinations to applicability of the ways reconstruction, selection of the optimum on complex technical-economic criterion.