

УДК 656.212

В. В. МАЛАШКІН<sup>1\*</sup>

1\* Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 371-51-03, ел. пошта malaxa79@mail.ru, ORCID 0000-0002-5650-1571

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ РЕАЛІЗАЦІЇ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЧЕРГОВОСТІ ЗАХОДІВ ПО УДОСКОНАЛЕННЮ ЇХ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Одними з основних напрямків підвищення ефективності роботи залізничних станцій є удосконалення їх конструктивних параметрів і технології роботи. При цьому особливу актуальність здобуває проблема ефективного техніко-економічного керування станціями, основне завдання якого – приймати економічно обгрунтовані рішення як при оперативному керуванні, так і при плануванні організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності роботи станцій.

Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій у різних експлуатаційних умовах є імітаційне моделювання станційних процесів на ЕОМ. Для цього доцільно використовувати ергатичну функціональну модель, в яких людина бере безпосередню участь у моделюванні, виконуючи функції диспетчера станції. Така модель найбільш точно враховує фактори пов'язані з поведінкою людини і дозволяє у процесі моделювання імітувати процеси прийняття управлінських рішень.

За допомогою ергатичної функціональної моделі можна отримати кількісні та якісні показники роботи станції у різних експлуатаційних умовах, які є основою для визначення найкращого варіанту її технічного оснащення і технології роботи за мінімальними приведеними витратами. Реалізація визначеного ефективного організаційно-технічного заходу, як правило, розбивається на декілька етапів, оскільки даний процес потребує значних інвестиційних вкладень. Черговість виконання організаційно-технічних заходів впливає на ефективність функціонування залізничної станції на різних етапах і на загальний економічний ефект.

У статті розглядається методика визначення раціональної черговості заходів по удосконаленню техніко-технологічних параметрів вантажної станції з метою підвищення ефективності її функціонування та отримання максимального економічного ефекту. Для отримання показників роботи станції за допомогою ергатичної моделі виконана її ідентифікація та перевірка адекватності. Задача вибору раціональної черговості реалізації організаційно-технічних заходів вирішена методами динамічного програмування. Отримане раціональне рішення дозволяє скоротити приведені витрати, пов'язані з реконструкцією і функціонуванням станції на 31 %. Подібне рішення може бути отримане для технічних станцій будь-якої складності, а розроблена методика та ергатична функціональна модель можуть бути покладені в основу сучасної системи підтримки прийняття рішень для керівництва залізниці.

*Ключові слова:* імітаційне моделювання, ергатична модель станції, колійний розвиток, технологічний процес, динамічне програмування.

Одними из основных направлений повышения эффективности работы железнодорожных станций является совершенствование их конструктивных параметров и технологии работы. При этом особую актуальность приобретает проблема эффективного технико-экономического управления станциями, основная задача которого – принимать экономически обоснованные решения, как при оперативном управлении, так и при планировании организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности работы станций.

Эффективным средством анализа и оценки показателей функционирования станций в различных эксплуатационных условиях является имитационное моделирование станционных процессов на ЭВМ. Для этого целесообразно использовать эргатическую функциональную модель, в которых человек принимает непосредственное участие в моделировании, выполняя функции диспетчера станции. Такая модель наиболее точно учитывает факторы, связанные с поведением человека, и позволяет в процессе моделирования имитировать процессы принятия управленческих решений.

С помощью эргатической функциональной модели можно получить количественные и качественные показатели работы станции в различных эксплуатационных условиях, которые являются основой для определения наилучшего варианта ее технического оснащения и технологии работы с минимальными приведенными затратами. Реализация определенного эффективного организационно-технического мероприятия, как правило, разбивается на несколько этапов, поскольку данный процесс требует значительных инвестицион-

них вкладень. Очередность выполнения организационно-технических мероприятий влияет на эффективность функционирования железнодорожной станции на различных этапах и на общий экономический эффект.

В статье рассматривается методика определения рациональной очередности мероприятий по совершенствованию технико-технологических параметров грузовой станции с целью повышения эффективности ее функционирования и получения максимального экономического эффекта. Для определения показателей работы станции с помощью эргатической модели выполнена ее идентификация и проверка адекватности. Задача выбора рациональной очередности реализации организационно-технических мероприятий решена методами динамического программирования. Полученное рациональное решение позволяет сократить приведенные затраты, связанные с реконструкцией и функционированием станции, на 31 %. Подобное решение может быть получено для технических станций любой сложности, а разработанная методика и эргатическая функциональная модель могут быть положены в основу современной системы поддержки принятия решений для руководства железной дороги.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, эргатическая модель станции, путевое развитие, технологический процесс, динамическое программирование.

One of the main ways of increasing the efficiency of the railway stations is to improve their design parameters and technologies. In this particularly urgent problem of effective technical and economic control stations, whose main task – to make economically sound decisions, both at the operational management and the planning of organizational and technical measures aimed at improving the efficiency of power plants.

Effective means of analysis and evaluation indicators of the stations in a variety of operating conditions is a simulation of plant processes on a computer. To do this, it is advisable to use ergatic functional model, in which a person is directly involved in modeling, acting as the Station Manager. This model takes into account the factors most closely associated with human behavior, and allows the simulation process to simulate the processes of decision-making.

With ergatic functional model can obtain quantitative and qualitative indicators of the station in various operating conditions, which are the basis for determining the best variant of its technical equipment and technology to work with minimal reduced costs. The implementation of certain effective organizational and technical measures are usually divided into several stages, since this process requires a significant investment. Prioritization of organizational and technical measures affect the performance of the railway station at various stages and the overall economic effect.

The article discusses the method of determining the sequence of rational measures to improve the technical and technological parameters cargo station in order to improve its efficiency and to maximize the economic benefit. To determine the performance of the station using ergatic model made its identification and verification of adequacy. The task of choosing a rational prioritization of organizational and technical measures solved using dynamic programming. Received a rational solution reduces given the costs associated with the reconstruction and operation of the station, at 31%. Such a solution can be obtained for the technical operations of any complexity, and the method developed and ergatic functional model can be the basis for modern decision support system for the management of the railway.

*Keywords:* simulation, model ergatic station gridiron, process, dynamic programming.

## Вступ

В сучасних умовах, які характеризуються нестабільністю обсягів перевезень, необхідністю зниження собівартості переробки вагонів і експлуатаційних витрат залізничного транспорту, виникає необхідність підвищення ефективності роботи залізничних станцій. В якості основних напрямків підвищення роботи залізничних станцій можна виділити удосконалення їх конструктивних параметрів і технології роботи. У цьому зв'язку особливу актуальність здобуває проблема ефективного техніко-економічного керування станціями, основне завдання якого – приймати економічно обґрунтовані рішення як при оперативному керуванні, так і при плануванні організаційно-технічних заходів (ОТЗ), спрямованих на підвищення

ефективності роботи станцій [1].

Останнім часом для рішення вказаної проблеми на залізничному транспорті розробляються і впроваджуються сучасні системи підтримки прийняття рішень (СППР), які на основі аналізу наявної інформації про об'єкт керування (станції, диспетчерській дільниці і т.п.) пропонують для особи, що приймає рішення (ОПР) найбільш раціональний (у більшості випадків економічно вигідний) варіант його дій по керуванню даним об'єктом [2-4]. Однією з основних проблем, що виникають при розробці такого роду систем, є проблема прогнозування техніко-експлуатаційних показників функціонування об'єкта при реалізації того або іншого управлінського рішення. Так, у роботі [2] розглядається методика побудови СППР для оптимізації розподілу матеріально-технічних і фінансових

ресурсів між підрозділами залізничної мережі. При цьому проблема прогнозування результатів роботи окремих підрозділів залізної дороги вирішується з використанням апарата нечіткої логіки. При вирішенні оптимізаційних задач по ефективному розподілу обмеженого ресурсу СППР використовує спеціальну базу даних, яка формується на основі статистичних даних про роботу об'єктів залізничної мережі.

Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій у різних умовах може служити імітаційне моделювання станційних процесів на ЕОМ. У роботах [3, 4] розглянуті СППР, що дозволяють прогнозувати роботу залізничних станцій у тих або інших умовах, на підставі чого ухвалювати обґрунтовані рішення по керуванню їх функціонуванням. В основі кожної із запропонованих СППР лежить імітаційна модель станції, що використовує при моделюванні дані про техніко-технологічні параметри станції, а також інформацію про прогнозовані умови роботи.

Заслугує також уваги досвід залізниць Німеччини. У роботі [5] автори розглядають моделюючий імітаційний комплекс Railsys, який використовується для оцінки ефективності капіталовкладень у розвиток інфраструктури залізничних станцій і ділянок. У комплекс Railsys входять імітаційні моделі різних станцій і ділянок залізничної мережі. Кожна така модель відображає технічне оснащення і технологію роботи певного об'єкта.

Однією з основних проблем, що виникають при створенні моделей залізничних станцій, є імітація діючих систем керування, основною ланкою яких є людина-диспетчер. Вирішити дану проблему можливо за допомогою використання системи інтегрованих моделей для синтезу і аналізу залізничних станцій [6-9]. Вказані моделі дозволяють адекватно формалізувати як колійний розвиток залізничних станцій, так і їх технологію роботи будь-якої складності. Таким чином, при розробці СППР, призначених для дослідження і оптимізації роботи залізничних станцій, доцільно використовувати ергатичну модель [7], у яких людина бере безпосередню участь при моделюванні, виконуючи функції диспетчера. Така модель найбільш точно враховує фактори пов'язані з поведінкою людини і дозволяє у процесі моделювання імітувати процеси прийняття управлінських рішень.

### Постановка задачі

Ефективність використання запропонованої ергатичної функціональної моделі залізничної

станції (ФМС) доведена в роботах [7, 8]. За допомогою ФМС можна отримати кількісні та якісні показники роботи станції у різних експлуатаційних умовах, які є основою для визначення найкращого варіанту її технічного оснащення і технології роботи за мінімальними приведеними витратами.

Реалізація визначеного ефективного організаційно-технічного заходу (ОТЗ), як правило, виконується не за один крок, а розбивається на декілька етапів, оскільки цей процес потребує значних інвестиційних впливів і певним чином впливає на роботоспроможність станції. Очевидно, що від порядку виконання ОТЗ на окремих етапах залежить ефективність функціонування залізничної станції. У цьому зв'язку поставлена задача розробки методики визначення раціональної черговості реалізації ОТЗ з метою отримання максимального ефекту від удосконалення техніко-технологічних параметрів станції.

### Основна частина

Рішення поставленої задачі розглянемо на прикладі удосконалення колійного розвитку і технології роботи приймально-відправного парку (ПВП) однієї з вантажних станцій України, колійний розвиток якого наведений на рис. 1.

Колійний розвиток ПВП вантажної станції, налічує п'ять колій, які призначені для:

- прибуття поїздів у розформування;
- накопичення порожніх та навантажених вагонів;
- відправлення сформованих поїздів.

Тупикові колії № 7 і № 9 використовуються для відстою поїзних локомотивів та заїзду маневрових локомотивів під состави при їх перестановці. До ПВП станції примикають чотири підходи:

- підхід Ч (перегін між ПВП і сусідньою станцією примикання);
- парки «Рудний» і «Вугільний»;
- станція розвантаження вагонів №1 (СРВ-1);
- парк «Зерновий».

У правій частині парку розташована витяжна колія № 10а, до якої примикає парк «Зерновий». В даному парку виконується процес розформування составів з зерновими вантажами методом осаджування.

Для визначення кількісної оцінки показників роботи вантажної станції у різних умовах експлуатації необхідно, щоб ергатична ФМС максимально їй відповідала і відображала як технічне оснащення станції, так і технологію її роботи. З цією метою виконано ідентифікацію ФМС і перевірено її адекватність реальному

об'єкту. За результатами комплексного обстеження ПВП станції формалізовані технічне оснащення і технологічний процес роботи, розроблена відповідна інформаційна модель

(рис. 2), а також визначені чисельні характеристики розподілу випадкових величин, які характеризують вхідний потік поїздів і систему їх обслуговування в ПВП.

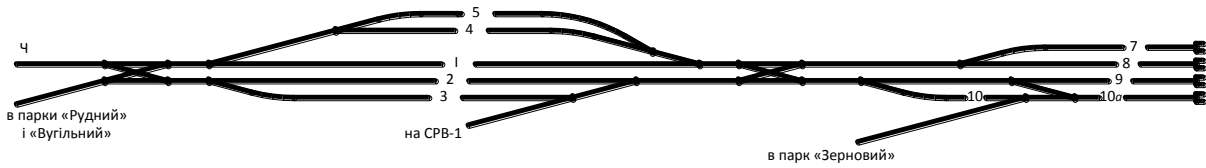


Рис. 1. Схема приймально-відправного парку вантажної станції

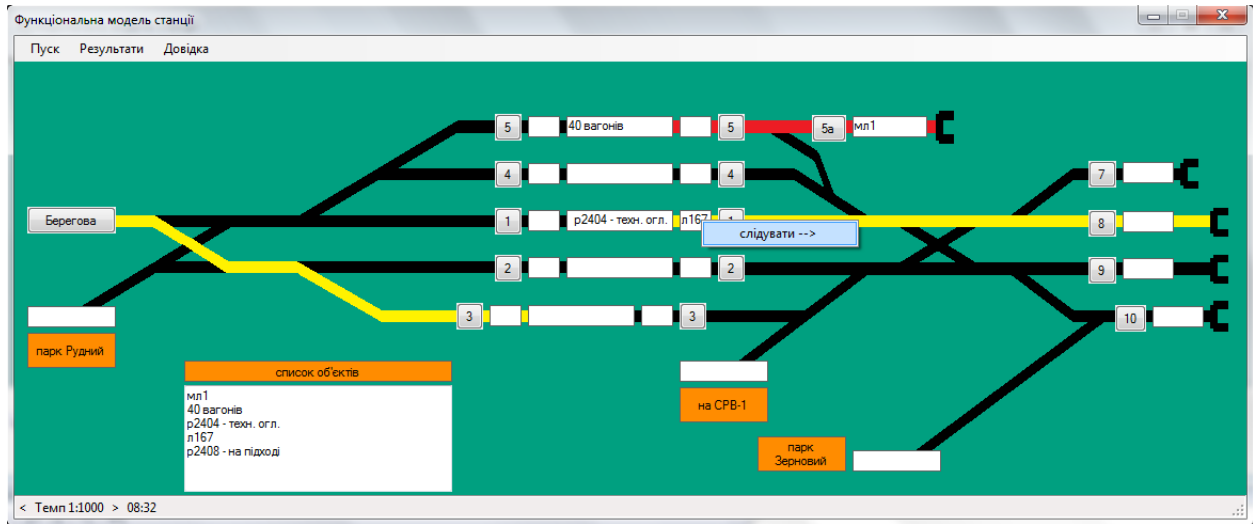


Рис. 2. Інформаційна модель приймально-відправного парку вантажної станції

Інтенсивність вхідного потоку заявок характеризується середньою величиною інтервалу їх надходження  $\bar{T}$ . Інтервал між заявками з кожного напрямку є випадковою величиною з деяким законом розподілу. Числові характеристики величини  $\bar{T}$  для кожного підходу та закон її розподілу наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Параметри вхідного потоку заявок**

Підхід	$M[I]$ , хв.	$\sigma[I]$ , хв.	$v[I]$	Розподіл
станція примикання	91,67	49,46	0,54	Ерланга, $k = 1$
парк «Рудний»	30,78	11,98	0,39	Ерланга, $k = 2$
СРВ-1	179,00	31,08	0,17	Ерланга, $k = 3$
парк «Зерновий»	151,73	21,66	0,14	Ерланга, $k = 3$

Основними параметрами составів є кількість вагонів у них  $N_{\text{ваг}}$  і кількість відцепів  $N_{\text{в}}$ . Як показав аналіз результатів спостереження над роботою ПВП кількість вагонів у составі поїзда є випадковою величиною. Гістограми розподі-

лу вказаних величин наведено на рис. 3.

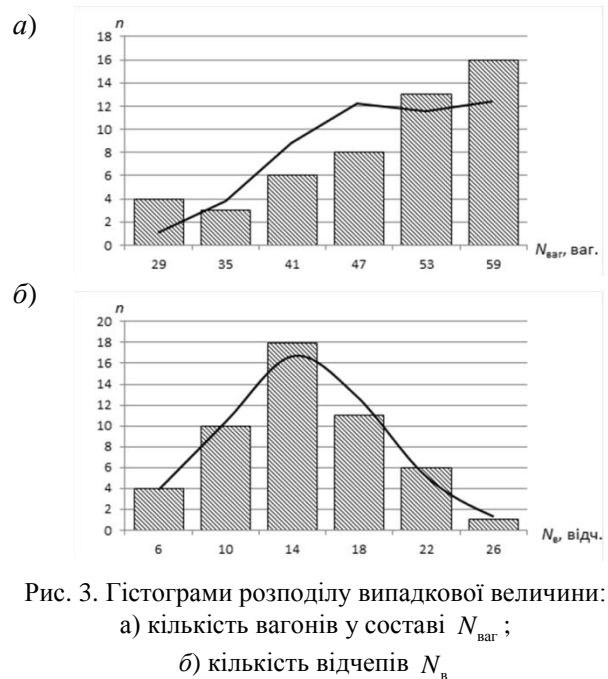


Рис. 3. Гістограми розподілу випадкової величини: а) кількість вагонів у составі  $N_{\text{ваг}}$ ; б) кількість відцепів  $N_{\text{в}}$

Аналіз результатів хронометражних спостережень тривалості певних технологічних операцій виявив їх функціональні залежності від параметрів составів ( $N_{\text{ваг}}$  і  $N_{\text{в}}$ ), яка були ви-

значені методами регресійного аналізу. Так, значення найбільш тривалих операцій технічного огляду  $\tau_{то}$  і розформування  $T_p$  визначаються за допомогою виразів

$$\tau_{тоi} = \frac{N_{ваг} \cdot t_i}{k_{гр}},$$

$$T_p = 178,338 - 5,671 \cdot \ln(N_{ваг}) - 118,117 \cdot \ln(N_{ваг}) - 1,927 \cdot \ln(N_{ваг}) \cdot n(N_{ваг}) + 2,240 \cdot \ln(N_{ваг})^2 + 22,207 \cdot \ln(N_{ваг})^2,$$

де  $N_{ваг}$  – кількість вагонів у составі поїзда;

$t_i$  – тривалість огляду одного вагона бригадою ПТО;

$k_{гр}$  – кількість груп в бригаді ПТО.

Параметри випадкових величин (математичне очікування, середнє квадратичне відхилення) і закони розподілу тривалості технологічних операцій, для яких не встановлені функціональні зв'язки з параметрами составів, визначені на основі методів математичної статистики.

Адекватність ергатичної ФМС ПВП вантажної станції підтверджена на основі статистичного аналізу вибірок значень часу знаходження вагонів на станції, які були отримані на реальній станції  $X$  та у результаті моделювання її роботи  $Y$ . За допомогою критерію Ван-дер-Вардена встановлено, що ці вибірки належать одній генеральній сукупності, внаслідок чого можна затверджувати, що розроблена ергатична модель адекватна реальній станції.

Аналіз конструкції колійного розвитку ПВП і технології його роботи дозволив виявити певні недоліки. Так, існуючі приймально-відправні колії парку № 2, № 4 і № 5 не обладнані контактною мережею, що ускладнює подачу по цим коліям поїзних локомотивів (електровозів) з тупикових колій № 8 і № 9 у вхідну горловину

ПВП. Такі операції виконуються за допомогою додаткових маневрових локомотивів (тепловозів), які подають поїзні локомотиви під готові до відправлення состави.

Разом з недоліками в конструкції колійного розвитку та технічному оснащенні станції в умовах поступового збільшення обсягів переробки (рис. 4) виникла необхідність у поетапній розбудові ПВП – будівництві приймально-відправних колій № 24, № 26 і № 28, які забезпечать потрібну переробну спроможність вантажної станції (рис. 5).

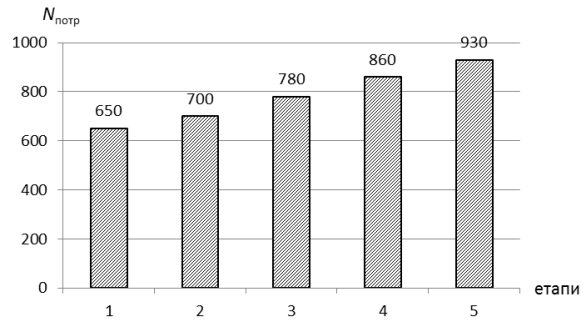


Рис. 4. Поетапний зріст потрібної переробної спроможності станції

За допомогою ФМС приймально-відправного парку вантажної станції можна одержати кількісні значення параметрів, що характеризують кожний з можливих варіантів ОТЗ, спрямованих на удосконалення конструкції і технології його роботи. Кожний варіант можна укрупнено охарактеризувати двома інтегральними показниками: кількісним – витрати на реалізацію варіанта і якісним – переробна спроможність. У більшості випадків на реалізацію ОТЗ, на кожному етапі виділяється певний ліміт ресурсів (грошових, матеріальних, трудових і т.п.). Необхідно зазначити, що після виконання всього комплексу ОТЗ вантажна станція повинна забезпечувати встановлену переробну спроможність.

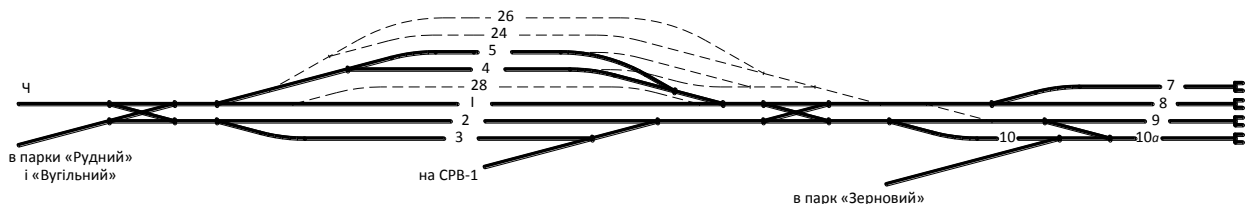


Рис. 5. Схема колійного розвитку ПВП станції з варіантами реконструкції

Рішення задачі вибору певної черговості виконання ОТЗ, яка забезпечить мінімальні приведені витрати, пов'язані з реалізацією варіантів ОТЗ і функціонуванням залізничної станції, базується на принципах динамічного програму-

вання [10]. Необхідно відмітити, що методи динамічного програмування у транспортній галузі достатньо широко застосовуються при рішенні задач, пов'язаних з визначенням раціональної етапності розвитку або реконструкції

об'єктів залізничного транспорту. Так, у роботах [11, 12] методами динамічного програмування вирішується задача поетапної модернізації технічного оснащення залізничних станцій з метою їх адаптації до заданих розмірів руху. У [13] на основі динамічного програмування розроблені методики по визначенню оптимальної етапності реконструкції роздільних пунктів для пропуску довгосоставних вантажних поїздів на двоколійних лініях.

При формалізації задачі станція або її окрема підсистема розглядається як складна система, що складається з множини елементів – колійний розвиток, система обслуговування, система керування та ін. Комплекс заходів  $\gamma_i$ , спрямованих на підвищення ефективності функціонування станції, у загальному випадку передбачає проведення робіт на кожному такому елементі у певній черговості

$$\gamma_i = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_j\}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

де  $\Omega_j$  – можливий ОТЗ на певному елементі станції (реконструкція горловин, зміна числа колій, кількості виконавців технологічних операцій і ін.);

$n$  – загальна кількість ОТЗ.

На реалізацію кожного із заходів  $\Omega_j$  комплексу  $\gamma_i$  потрібні певні витрати  $Z(\Omega_j)$ . З іншого боку, реалізація заходу  $\Omega_j$  дозволяє одержати певне значення показника ефективності функціонування системи  $\Psi(\Omega_j)$ . Необхідно відмітити, що інвестиції на реалізацію заходів  $\Omega_j$ , виділяюся, як правило, не одноразово, а поетапно. У цьому зв'язку виконання загального комплексу ОТЗ  $\gamma_i$  розбивається на етапи  $t_z$

загальною тривалістю  $T = \sum_{z=1}^w t_z$ .

Конкретні значення показників  $Z(\Omega_j)$  і  $\Psi(\Omega_j)$  отримуються за результатами моделювання роботи станції. Таким чином, сумарні витрати по відповідній черговості виконання комплексу ОТЗ  $\gamma_i$  визначаються як

$$Z(\gamma_i) = \sum_{j=1}^n Z(\Omega_j), \quad \Omega_j \in \gamma_i.$$

Значення показника ефективності по всім варіантам  $\gamma_i$  буде однаковим і складає

$$\Psi(\gamma_i) = \sum_{j=1}^n \Psi(\Omega_j), \quad \Omega_j \in \gamma_i.$$

Набір можливих варіантів складає множину  $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k\}$ . Рішенням задачі є така підмножина  $\Gamma^* = \{\gamma_1^*, \gamma_2^*, \dots, \gamma_m^*\}$ , для елементів якої виконується умова

$$Z(\gamma_1^*) = Z(\gamma_2^*) = \dots = Z(\gamma_m^*) \rightarrow \min.$$

Вказана задача у викладеній постановці є задачею динамічного програмування [10]. При постановці задачі визначення раціональної черговості виконання ОТЗ, спрямованих на удосконалення конструкції і технології роботи ПВП вантажної станції, кожний варіант ОТЗ оцінювався по двом показникам:  $Z(\Omega_j)$  – приведені витрати  $E_i$  при реалізації даного заходу  $\Omega_j$ , млн. грн./рік;  $\Psi(\Omega_j)$  – переробна спроможність приймально-відправного парку  $N_i$ , яка може бути досягнута при реалізації ОТЗ  $\Omega_j$ , вагонів/добу.

Приймально-відправний парк станції розглядається як фізична система  $S$ , стан якої характеризується набором певних техніко-технологічних показників. Процедура зміни стану ПВП в момент  $t$  є управлінням  $U_m^{i \rightarrow j}(t)$ , в результаті якого реалізується  $m$ -ий варіант ОТЗ і виконується перехід системи  $S$  із стану  $i$  в стан  $j$ . Кожному періоду  $t$  ( $t \neq 0$ ) експлуатації системи в стані  $S_i$  відповідає певна величина приведених експлуатаційних витрат  $C_{i,i}$ . Для переходу системи ПВП в наступний стан  $S_i \rightarrow S_j$  ( $i \neq j$ ) потрібні інвестиційні вкладення у розмірі  $K_{i \rightarrow j}$ .

Рішення поставленої оптимізаційної задачі зводиться до пошуку такого набору управлінь  $U_m^{i \rightarrow j}(t)$  ( $i=0,1,\dots,n-1$ ,  $j=1,2,\dots,n$ ,  $t \in [0;T]$ ,  $m=1,2,\dots,z$ ), який би забезпечив за розрахунковий період  $T$  мінімум величини приведених витрат, пов'язаних з функціонуванням ПВП вантажної станції, тобто

$$E = \left( \int_0^T (K_i \cdot \alpha_t) dt + \int_p^T (C_i \cdot \alpha_t) dt \right) \rightarrow \min, \quad p > 0,$$

де  $K_t$ ,  $C_t$  – відповідно інвестиційні вкладення і експлуатаційні витрати у момент  $t$ , грн.;

$\alpha_t$  – коефіцієнт дисконтування витрат, який при постійній нормі дисконту дорівнює  $(1+r)^{-t}$  ( $r$  – величина дисконтної ставки,  $r = 0,12$ );

$T$  – період розрахунку, роки.

Обмеження цієї задачі полягають у наступному.

Сумарна вартість реалізації обраного комплексу ОТЗ в  $i$ -му стані системи не повинна перевищувати загальної величини інвестиційних вкладень, передбаченої на  $t$ -му кроці  $K_t$ , тобто

$$\sum_{m=1}^Y K_{m_i} \leq K_t,$$

де  $Y$  – кількість можливих ОТЗ в  $i$ -му стані системи.

Величина кроку  $t$  повинна бути не меншою за тривалість  $t_{\min}$ , значення якої залежить від часу на підготовчі операції та виконання ОТЗ, тобто

$$t \geq t_{\min}.$$

Переробна спроможність системи на  $t$ -му кроці  $N_t$  повинна забезпечувати задане значення  $N_t^{\text{потр}}$  та бути не меншою, ніж на попередньому кроці, тобто

$$\begin{cases} N_t(U_{i \rightarrow j}) \geq N_t^{\text{потр}} \\ N_t(U_{i \rightarrow j}) \geq N_{t-1}(U_{i \rightarrow j}) \end{cases}$$

Задача вибору черговості виконання ОТЗ вирішується у два етапи. На першому етапі виконується процедура вибору умовно-оптимальних переходів з використанням рекурентного співвідношення

$$E_{t,j} = \min [E_{t-1,i} + \Delta E_{t,j}(U_m^{i \rightarrow j})],$$

$$(i = 0, 1, \dots, n-1, j = 1, 2, \dots, n,$$

$$t \in [0; T], m = 1, 2, \dots, z)$$

де  $E_{t-1,i}$  – мінімальні загальні приведені витрати в  $i$ -му стані ПВП у кінці  $(t-1)$ -го кроку;

$\Delta E_{t,j}(U_m^{i \rightarrow j})$  – приріст критерію ефективності на  $t$ -му кроці при переході від  $i$ -го до  $j$ -го варіанту ОТЗ;

$z$  – загальна кількість ОТЗ.

На другому етапі по умовно-оптимальним рішенням визначається безумовно оптимальне рішення. Можливі ОТЗ, стани ПВП та переходи між ними представлені у вигляді графу, який зображений на рис. 6.

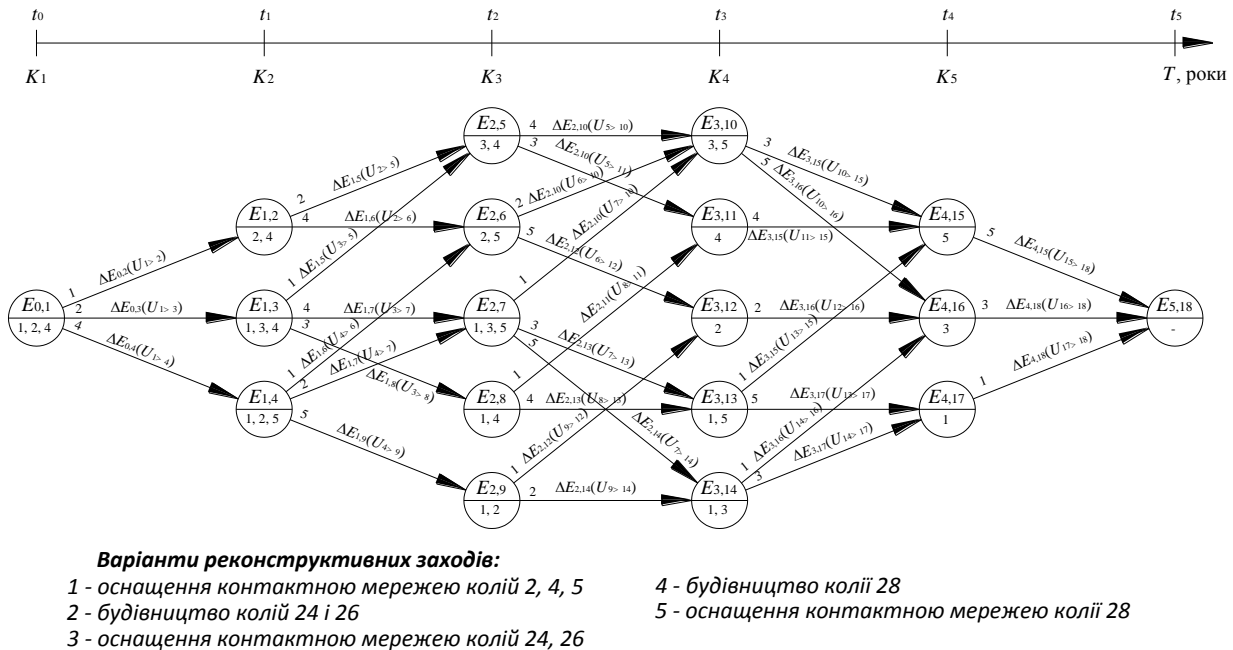


Рис. 6. Граф станів ПВП вантажної станції за період  $T$  в залежності від черговості виконання варіантів ОТЗ

Для усунення виявлених недоліків в конструкції і технології роботи ПВП вантажної станції розглянутий ряд можливих реконструктивних і організаційних заходів  $\Omega_j$ :

- 1) оснащення контактною мережею колій № 2, № 4 і № 5;
- 2) будівництво колій № 24 і № 26;

- 3) оснащення контактною мережею колій № 24 і № 26;
- 4) будівництво колії № 28;
- 5) оснащення контактною мережею колії № 28.

Необхідно відмітити, що деякі варіанти ОТЗ неможливо виконати раніше за реалізацію ін-

ших. Так, наприклад, неможливо обладнати контактною мережею колію № 28 (варіант 5) до її фактичного будівництва (варіант 4). Таким чином, отримано множину варіантів  $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k\}$ ,  $k = 30$ , які відрізняються черговістю виконання ОТЗ  $\Omega_j$  на станції (табл. 2).

Для одержання техніко-експлуатаційних показників, які характеризують функціонування ПВП по кожному з намічених варіантів, виконане моделювання роботи парку з використанням розробленої ергатичної моделі ПВП станції. Для кожного варіанта при певних початкових умовах виконана серія експериментів, за результатами яких визначені середні значення показників функціонування ПВП, у т.ч.: середній час знаходження вагонів на станції  $T_n$ , середній простій поїздів на сусідніх станціях  $T_z$ , переробна спроможність станції  $N_n$ , завантаження виконавців технологічних операцій.

Таблиця 2

**Множина варіантів  $\Gamma$  виконання реконструктивних заходів на станції**

$i$	$\gamma_i = \{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4, \Omega_5\}$				
1	1	2	4	3	5
2	1	2	4	5	3
3	1	2	3	4	5
4	1	4	2	3	5
5	1	4	2	5	3
6	1	4	5	2	3
7	2	1	4	3	5
8	2	1	4	5	3
9	2	1	3	4	5
10	2	4	1	3	5
11	2	4	1	5	3
12	2	4	3	1	5
13	2	4	3	5	1
14	2	4	5	1	3
15	2	4	5	3	1
16	2	3	1	4	5
17	2	3	4	1	5
18	2	3	4	1	5
19	4	1	2	3	5
20	4	1	2	5	3
21	4	1	5	2	3
22	4	2	1	3	5
23	4	2	1	5	3
24	4	2	3	1	5
25	4	2	3	5	1
26	4	2	5	1	3
27	4	2	5	3	1
28	4	5	1	2	3
29	4	5	2	1	3
30	4	5	2	3	1

Витрати на реалізацію кожного варіанта  $\Omega_j$  розраховуються за формулою

$$E_j = (K_t \cdot \alpha_t) + (C_t \cdot \alpha_t).$$

Інвестиційні вкладення  $K_t$  включають витрати, пов'язані з реконструктивними заходами на станції визначаються з виразу

$$K_t = L_k \cdot c_k + L_{km} \cdot c_{km} + N_{sp} \cdot c_{sp},$$

де  $L_k$  – загальна довжина колій, що будуються у ПВП, км;

$L_{km}$  – загальна довжина колій, що обладнуються контактною мережею, км;

$N_{sp}$  – загальна кількість додаткових стрілочних переводів, що укладаються в ПВП;

$c_k$  – вартість спорудження 1 км станційних колій, млн. грн.;

$c_{km}$  – вартість обладнання 1 км станційних колій контактною мережею, млн. грн.;

$c_{sp}$  – вартість укладання одного стрілочного переводу, млн. грн.

Експлуатаційні витрати по варіанту містять у собі витрати, пов'язані з утриманням технічних засобів, а також витрати, пропорційні розмірам руху

$$C_t = E_k + E_{km} + E_{sp} + E_z + E_{nv},$$

де  $E_k, E_{km}, E_{sp}$  – витрати на утримання, відповідно, станційних колій, контактної мережі та стрілочних переводів, млн. грн.;

$E_z$  – витрати, пов'язані з простоем вантажних поїздів на підходах до станції, млн. грн.;

$E_{nv}$  – витрати, пов'язані з простоем вагонів на вантажній станції, млн. грн.

Графічна інтерпретація рішення задачі вибору раціональної черговості виконання ОТЗ, спрямованих на підвищення ефективності функціонування вантажної станції, методом динамічного програмування наведена на рис. 7.

**Висновок**

За допомогою методів динамічного програмування у вихідній множині  $\Gamma$  виділена множина  $\Gamma^*$ , яка включає лише варіанти  $\gamma_i^*$  з мінімальними приведеними витратами, тобто  $Z(\gamma_i^*) \rightarrow \min$ . Отримана множина  $\Gamma^*$  складається лише з 10-го варіанту (див. табл. 2), тобто  $\Gamma^* = \{\gamma_{10}^*\}$ , при цьому  $\gamma_{10}^* = \{2, 4, 1, 3, 5\}$ , а



$Z(\gamma_{10}^*) = 52,837$  млн. грн. Варіант  $\gamma_{10}^*$  відповідає наступній послідовності виконання заходів  $\Omega_j$ :

- 1) будівництво колій № 24 і № 26;
- 2) будівництво колії № 28;
- 3) оснащення контактною мережею колій № 2, № 4 і № 5;
- 4) оснащення контактною мережею колій № 24 і № 26;

5) оснащення контактною мережею колії № 28.

Вказана раціональна черговість виконання ОТЗ на станції забезпечить потрібну її переробну спроможність  $N_t$  на кожному етапі  $t$  зростання добового вагонопотоку, що підлягає переробці, при цьому загальні приведені витрати складатимуть  $E = 52,837$  млн. грн. за весь період  $T$  або 21,1348 млн. грн./рік.

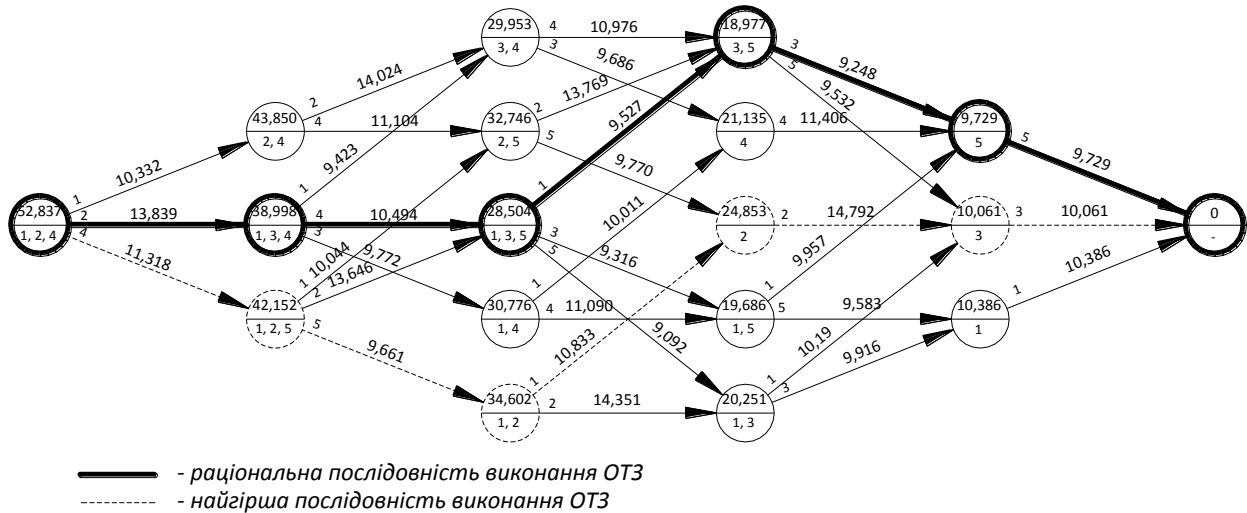


Рис. 7. Вибір черговості виконання реконструктивних заходів у ПВП станції методом динамічного програмування

Таким чином, отримане раціональне рішення дозволяє скоротити приведені витрати, пов'язані з реконструкцією і функціонуванням станції, по відношенню до найгіршого рішення в середньому на 1,53 млн. грн./рік (7%), а по відношенню до початкового стану ПВП – на 9,35 млн. грн./рік (31%). Подібне рішення може бути отримане для технічних станцій любой складності, а розроблена методика та ергатична ФМС можуть бути покладені в основу сучасної системи підтримки прийняття рішень для керівництва залізниці.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бочаров, А. П. Проблемы технологического управления эксплуатационной работой железных дорог Украины [Текст] / А. П. Бочаров, И. М. Кранц, Б. А. Кривоший // Залізничний транспорт України. – 2001. – № 2. – С. 11-14.
2. Ломотько, Д. В. Формування нечіткої бази знань та системи підтримки прийняття рішення у підрозділах залізниць [Текст] / Д. В. Ломотько // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2006. – № 2. – С. 52-58.
3. Гончарук, С. М. Автоматизированная система технико-экономического выбора варианта технологического процесса работы станции [Текст] / С. М. Гончарук и др. // Повышение эффективности работы

ж.д. тр-та Сибири и Дальнего Востока : сб. трудов науч.-практ. конф. – Хабаровск: ДВГУПС – 1999. – С. 60-61.

4. Кутах, А. П. Система имитационного моделирования оценки эффективности новых технологий и организации перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / А. П. Кутах, Т. И. Фурсова // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – № 6 – С. 156-166.

5. Warninghoff C. Nutzung von Simulationen zur Unterstützung der betrieblichen Infrastrukturplanung [Текст] / C. Warninghoff, C. Ferchland // ETR: Eisenbahntechn.–2004. – № 7-8. – С. 490-498.

6. Бобровский, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст] : монография // В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 156 с.

7. Бобровский, В. И. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Вісник Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – Вип. 16. – С. 50-57.

8. Малашкин, В. В. Технико-экономическая оценка схем путевого развития железнодорожных станций на основе их многоуровневого параметрическо-

го анализа [Текст] / В. В. Малашкин // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2010. – Вип. 1. – С. 106-113.

9. Бобровский, В. И. Формализованное представление и расчет планов путевого развития крупных железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, В. В. Малашкин // Вісник Дніпр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – Вип. 31. – С. 226-231.

10. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования [Текст] / Р. Беллман, С. Дрейфус. – Москва: Наука, 1965.

11. Ефименко, Ю. И. Оптимизация путевого развития технических станций в условиях рыночной экономики [Текст] / Ю. И. Ефименко, Н. В. Тулякова // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог в современных условиях: Межвуз. сб. научн. тр. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 1999. –

С. 115-121.

12. Тулякова, Н. В. Оптимизация технического состояния и технологического обеспечения железнодорожных станций в современных условиях [Текст] / Н. В. Тулякова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом : сб. научн. тр. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2002. – С. 141-146.

13. Фуфачева, М. В. Развитие методов этапного овладения перевозками на двухпутных линиях при обращении длинносоставных грузовых поездов [Текст]: дисс. ... канд. техн. Наук : 05.22.08 / Фуфачева Марина Валерьевна. – Иркутск, 2010. – 147 с.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Жуковицьким І. В. (Україна)*

Надійшла до редколегії 09.12.2014.

Прийнята до друку 10.12.2014.