

УДК 656.225

Г. І. ШЕЛЕХАНЬ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Залізничні станції та вузли», Український державний університет залізничного транспорту, м. Фейєрбаха, 7, 61050, м. Харків, Україна, тел. +38 (057) 730 10 42, ел. пошта shelekhان@email.ua, ORCID 0000-0002-6640-6084

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО РОЗРАХУНКУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНОПОТОКІВ У СИСТЕМІ «СОРТУВАЛЬНА СТАНЦІЯ – ВАНТАЖНА СТАНЦІЯ – РАЙОННІ ПАРКИ ПОРТУ»

**Мета.** Метою статті є підвищення ефективності процесу обробки вагонопотоків у системі «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту» шляхом удосконалення наукового підходу до розрахунку його раціональних параметрів. **Методика.** Для визначення раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі визначено заходи з підвищення ефективності технології обробки вагонопотоків, що будуть застосовані у системі. Для отримання результатів їх впровадження створено математичну модель, яка відображає величину ефективності цих заходів. У якості критерію оптимальності прийнято мінімум доли експлуатаційних витрат на обробку вагонопотоків у системі. Керуючими параметрами є обсяги вагонопотоків з пріоритетною і звичайною обробкою, кількість груп вагонів, що подаються у районні парки порту, та кількість вагонів у кожній такій подачі. Обмеження на керуючі параметри визначили область допустимих рішень у вигляді системи лінійних нерівностей. **Результати.** Запропоновано технологію перерозподілу вагонопотоку між сортувальною та припортовою вантажною станцією на основі пріоритетності обслуговування вагонів призначенням у морські порти. Сформовано математичну модель щодо визначення її раціональних параметрів. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано науковий підхід до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту», що базується на мінімізації доли експлуатаційних витрат на обробку вказаних потоків за рахунок застосування пріоритетності їх обслуговування з моменту закінчення розпуску составів на сортувальній станції до моменту подачі груп вагонів у районні парки портів. **Практичне значення.** Перерозподіл роботи з обробки вагонопотоків призначенням у морські порти дозволяє скоротити тривалість знаходження вагонів на припортовій вантажній станції за рахунок виключення необхідності повторної їх переробки, скоротити непродуктивний час в очікуванні виконання технологічних операцій, зменшити тривалість виконання тих технологічних операцій на вантажній станції, які залежать від числа та порядку постановки вагонів у составі.

*Ключові слова:* технологія роботи; пріоритетність обробки; групи вагонів; розформування составів.

**Цель.** Целью статьи является повышение эффективности процесса обработки вагонопотоков в системе «Сортировочная станция – грузовая станция – районные парки порта» путем усовершенствования научного подхода к расчету рациональных параметров. **Методика.** Для определения рациональных параметров процесса обработки вагонопотоков в системе определены мероприятия по повышению эффективности технологии обработки вагонопотоков, которые будут проведены в системе. Для получения результатов их внедрения создана математическая модель, отображающая величину эффективности этих мероприятий. В качестве критерия оптимальности принят минимум доли эксплуатационных расходов на обработку вагонопотоков в системе. Управляющими параметрами являются объемы вагонопотоков с приоритетной и обычной обработкой, количество групп вагонов, которые подаются в районные парки порта, и количество вагонов в каждой такой подаче. Ограничения на управляющие параметры определили область допустимых решений в виде системы линейных неравенств. **Результаты.** Предложена технология перераспределения вагонопотоков между сортировочной и припортовой грузовой станцией на основе приоритетности обслуживания вагонов назначением в морские порты. Сформирована математическая модель по определению ее рациональных параметров. **Научная новизна.** Впервые предложен научный подход к расчету рациональных параметров процесса обработки вагонопотоков в системе «Сортировочная станция – грузовая станция – районные парки порта», основанный на минимизации доли эксплуатационных затрат на обработку указанных потоков за счет применения приоритетности их обслуживания с момента окончания роспуска составов на сортировочной станции до момента подачи групп вагонов в районные парки портов. **Практическое значение.** Перераспределение работы по обработке вагонопотоков назначением в морские порты позволяет сократить продолжительность нахождения вагонов на припортовой грузовой станции за счет исключения необходимости повторной их переработки, сократить непродуктивное время в ожидании выполнения технологических операций, уменьшить продолжительность выполнения тех технологических операций на грузовой станции, которые зависят от числа и порядка постановки вагонов в составе.

*Ключевые слова:* технология работы; приоритетность обработки; группы вагонов; расформирование составов.

**Purpose.** The aim of the article is to improve the processing of traffic volumes in the «Marshaling yard - freight station - the port railway yard» by improving the scientific approach to the calculation of rational parameters. Methods. To determine the rational parameters of the process handling traffic volumes in the system identified measures to increase the efficiency of processing technologies traffic volumes, which will be held in the system. To obtain the results of their impletion created a mathematical model that shows the value of the effectiveness of these measures. The optimality criterion is adopted by at least a share of operating costs in the processing of traffic volumes in the system. Control parameters are the volume of traffic volumes with priority and conventional treatment, the number of groups of cars, which are served in the port area of the park, and the number of cars in each such filing. Restrictions on the control parameters define the area of feasible solutions in the form of a system of linear inequalities. Results. The technology of the redistribution of traffic volumes between sorting and port freight station on the basis of priority of service cars destination seaports. Formed mathematical model to determine its rational parameters. Scientific novelty. First proposed a scientific approach to the calculation of rational parameters of the processing of traffic volumes in the «Marshaling yard - freight station - the port railway yard» based on the minimization of the proportion of operating costs for processing these streams through the use of their priority service since the end of the dissolution of the formulations to the yard the moment the group of cars in the port railway yard. The practical significance. Redistribution Job processing traffic volumes appointment seaports reduces the length of time the cars on the portside freight station by eliminating the need to recycling, reduce unproductive time waiting for technological operations, to reduce the duration of the process steps in the loading station.

*Keywords:* working technology; priority treatment; groups of cars; braking up of trains.

## Вступ

За даними 2014 року у морських торговельних портах України спостерігається тенденція зростання експортних вантажопотоків (рис. 1), які з загальних 148 млн. тонн переробки вантажів склали 103 млн. тонн, тобто 70 %, що на 10,7 % більше за попередній рік. З них у категорії тарно-штучних вантажів з 31 млн. тонн було перевезено у контейнерах близько 30 %, з них морськими суднами перевезено на 5 % більше, ніж попереднього року [7].

Від ефективності функціонування морських портів, рівня їх технологічного та технічного оснащення залежить конкурентоспроможність вітчизняного транспортного комплексу на світовому ринку [9]. Для цього необхідне впровадження ефективної взаємодії портів та прилеглих станцій, що передбачає узгодженість обробки технологічних потоків вантажів при передачі їх зі станції на адресу порту та забезпечує скорочення тривалості їх простою.

Тривалість знаходження вагонів на станціях складається з тривалості виконання безпосередньо технологічних операцій та тривалості очікування виконання цих операцій. Для скорочення часу знаходження вагонів на станціях перш за все необхідно скоротити непродуктивні простой в очікуванні операцій за рахунок удосконалення технології роботи станцій та перерозподілу роботи між станціями, що задіяні в обробці одних і тих же вагонопотоків. Однією з причин виникнення таких непродуктивних елементів простою є необхідність повторної переробки вагонів на станціях, які є кінцевим пунктом прямування вагонів.

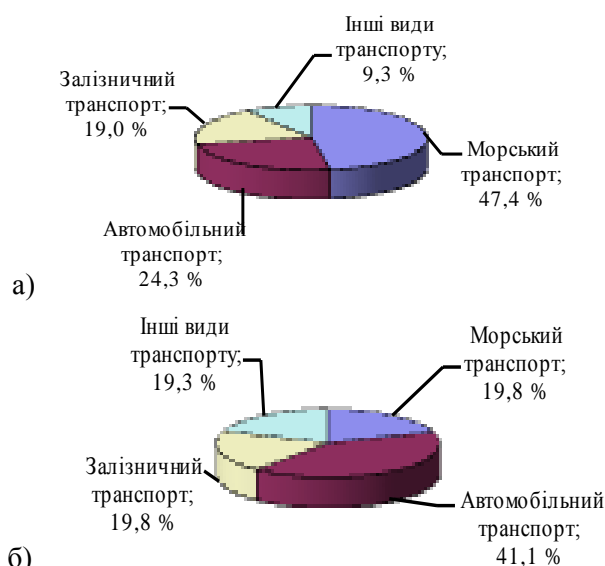


Рис. 1. Розподіл експорту (а) та імпорту (б) товарів в Україні за видами їх транспортування у 2014 році

Оскільки задача скорочення тривалості простою вагонів, і як наслідок – мінімізації експлуатаційних витрат, відноситься до усіх структурних підрозділів системи «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту» (СС-ВС-РП), то вирішення задачі у територіальному, функціональному та технологічному відношенні має охоплювати сукупність усіх об'єктів. На сьогодні системи управління об'єктами подібних систем з обробки вагонопотоків є недостатньо ефективними, оскільки технологія взаємодії між ними здійснюється на основі єдиних технологічних процесів роботи припортових станцій та портів без урахування характеру та обсягів вантажопотоків, що над-

ходять на адресу портів. Це стає причиною неорганізованого руху вантажопотоків у системі і відсутності обґрунтування розподілу робіт між технічними потужностями. Крім того, з'являються випадки зустрічного руху потоків або нераціональної їх організації.

Згідно [5] сортувальну роботу слід максимально концентрувати на найбільш технічно оснащених сортувальних станціях вузла, скорочуючи обсяги повторної переробки вагонів на наступних станціях. Особливо актуальним це є для організації вагонопотоків у тих районах місцевої роботи, які обслуговуються безгірковими вантажними станціями. Питаннями управління вагонопотоками і розробкою плану формування вантажних поїздів займалися такі вчені, як В. М. Акулінічев, К. А. Бернгард, В. Я. Болотний, І. І. Васильєв, Є. О. Ветухов, П. С. Грунтов, В. О. Персіанов, М. В. Правдін, О. О. Смехов, Є. О. Сотніков, М. Ф. Трихунков, Н. Н. Шабалін.

Аналіз наукових досліджень з питань удосконалення процесу обробки вагонопотоків на технічних станціях [1, 3, 6, 8] показує: 1) при розрахунку плану формування поїздів недостатньо враховується оснащеність станцій; 2) зіставлення витрат вагоно-годин на станціях формування відбувається з економією вагоно-годин при прослідкуванні саме попутних технічних станцій без переробки; 3) значна увага приділяється оптимізації процесу розформування составів з гірки і значно менше – пошуку ефективних рішень з раціонального розподілу сортувальної роботи між станціями та питанням составоутворення з урахуванням можливої повторної переробки вагонів у кінцевих пунктах прямування вагонів.

### Мета

Метою статті є підвищення ефективності процесу обробки вагонопотоків у системі СС-ВС-РП шляхом удосконалення наукового підходу до розрахунку його раціональних параметрів.

### Методика

Для удосконалення підходу до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків призначенням у морські порти у системі СС-ВС-РП необхідно визначити заходи з підвищення ефективності технології обробки вагонопотоків, що будуть застосовані у системі, а потім для отримання результатів їх впровадження створити математичну модель, яка б відображала величину ефективності цих заходів. У якості критерію оптимальності моделі слід прийняти мінімум долі експлуатаційних

витрат на обробку вагонопотоків у системі СС-ВС-РП. Підвищення ефективності процесу обробки вагонопотоків у системі засновано на пріоритетності обслуговування та перерозподілі роботи між сортувальною та прилеглою припортовою станціями, тому в якості керуючих параметрів обрано обсяги вагонопотоків з пріоритетною і звичайною обробкою, відповідно цим обсягам – кількість груп вагонів, що подаються у районні парки порту, та кількість вагонів у кожній такій подачі. Розрахунок параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі буде відбуватися при застосуванні виразів-рівнянь залежності кожного виду долі експлуатаційних витрат від зазначених параметрів управління. Обмеження, покладені на керуючі параметри, сформуєть область допустимих рішень задачі.

### Результати

Керуючись визначеннями терміну «система», викладених у [2, 4], під системою слід розуміти технологічно узгоджений комплекс організаційних транспортних структур та технічних пристроїв з переробки та переміщення вагонопотоків, об'єктами якої є припортова вантажна станція, що знаходиться у взаємодії з опорною сортувальною станцією або станціями, та порт.

Процес обробки вагонопотоків у системі СС-ВС-РП складається з трьох основних етапів відповідно до числа основних об'єктів у системі: обробка на сортувальній станції, на припортовій вантажній станції та у порту.

При надходженні загального вагонопотоку  $K$ , що у процесі переробки на сортувальній станції буде адресовано на припортову вантажну станцію, має ділитися на пріоритетний ( $k_1$ ) та звичайний ( $k_2$ ). Під пріоритетним вагонопотоком слід розуміти той, що виділяється в окремий напрямок обробки і складається з вагонів на адресу вантажних фронтів причалів порту з великими обсягами переробки. Виділення пріоритетного вагонопотоку забезпечує прискорення процесу доставки вагонів під навантаження на судна, зменшує простій суден в очікуванні навантаження та дефіцит порожніх вагонів на залізницях України, який спостерігається в останні роки [7]. При переробці вагонів на сортувальній станції слід виділити окремі колії сортувального парку для накопичення подач вагонів пріоритетної обробки призначенням на окремі причали порту, на яких після виконання розформування составів сформувувати укрупнені групи вагонів та відправляти у складі передаточних поїздів на вантажну припортову станцію. Решта вагонопотоку, що був перероб-

лений на сортувальній станції, слід обробляти згідно існуючої технології роботи станції.

Такий порядок пріоритетного обслуговування вагонів дає можливість скоротити тривалість знаходження цих вагонів на вантажній станції, виключаючи необхідність повторної їх переробки для детального підбору за причалами у районних парках, особливо за відсутності гіркових сортувальних пристроїв на станції. Це дає можливість перестановки подач з-під составу у парку приймання безпосередньо у районні парки, що дозволить скоротити непродуктивний час в очікуванні виконання технологічних операцій з вагонами з моменту закінчення технічного огляду та розмітки вагонів у парку приймання до моменту подавання груп вагонів у районні парки, а також зменшити тривалість виконання тих технологічних операцій на вантажній станції, які залежать від числа та порядку постановки вагонів у составі. До таких операцій слід віднести розмітку вагонів за причалами у парку приймання, що займає близько 33 % тривалості обробки составу передаточного поїзда по прибутті, підборку груп вагонів по причалам (ця операція фактично буде зводитись до підборки укрупнених відцепів вагонів по окремим причалам або вантажним фронтам причалів), розстановку груп вагонів у районних парках, перестановку вагонів по окремим вантажним фронтам причалів.

Зазначене вище зумовлює необхідність представлення процесу обробки вагонів призначенням у морські порти у вигляді моделі з метою пошуку ефективних рішень по організації руху вагонопотоків. Задача раціоналізації процесу обробки вагонопотоків є задачею вибору таких параметрів технології, які б забезпечували виконання заданих обсягів перевезень з високим рівнем якості і мінімальними витратами часу та матеріальних ресурсів за заданий період планування.

Модель транспортної системи має відображати особливості процесу руху вагонопотоків від моменту їх надходження на сортувальну станцію до моменту виходу з системи, під яким розуміється подача вагонів з припортової станції у районні парки портів. Враховуючи те, що запропонована технологія обробки вагонопотоків охоплює тривалість знаходження вагонів призначенням на вантажні fronti порту з моменту закінчення розпуску составів на сортувальній станції до моменту подавання вагонів з вантажної станції у районні парки порту, до подальшого розгляду функціонування системи СС-ВС-РП приймаємо ті параметри, що відносяться безпосередньо до вказаного періоду знаходження вагонопотоків у системі.

Раціональні параметри процесу обробки вагонопотоків у системі СС-ВС-РП пропонується визначати за умови мінімізації долі експлуатаційних витрат на обробку вказаних потоків.

$$E = E_{np} (k_1, n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) + E_n (k_1, n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) \quad (1)$$

де  $E_{np}$  – доля експлуатаційних витрат, пов'язаних з простоем вагонів призначенням у порт, грн;

$E_n$  – доля експлуатаційних витрат паливно-енергетичних ресурсів при обробці зазначених вище вагонів, грн;

$k_1$  – обсяги вагонопотоків на адресу порту, що переробляються на сортувальній станції з пріоритетом окремого призначення ( $K_1$ ), ваг.;

$k_2$  – обсяги вагонопотоків на адресу припортової станції, що переробляються на сортувальній станції у числі загальних вагонопотоків ( $K_2$ ), ваг.;

$n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}$  – відповідно число та величина груп вагонів потоку  $K_1$  на адресу порту, сформованих на сортувальній станції;

$n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}$  – відповідно число та величина подач вагонів потоку  $K_2$  на адресу порту, сформованих на сортувальній станції.

Кожна складова критерію раціоналізації представляє собою добуток величини експлуатаційних витрат на вартість одиниці таких витрат та визначається на кожному етапі процесу обробки вагонів.

$$E = e_{np}^{cc} \left( \sum_{i=1}^a t_{np\ i}^{cc\ 1n} (k_1, n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) + \sum_{j=1}^b t_{np\ j}^{cc\ 2n} (k_1, n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) \right) + e_{np}^{ac} \left( \sum_{f=1}^c t_{np\ f}^{ac\ 1n} (k_1, n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) + \sum_{h=1}^d t_{np\ h}^{ac\ 2n} (k_1, n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) \right) + e_n \left( g_n^{1n} (n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}) + g_n^{2n} (n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) + \sum_{l=1}^{\Delta n_{nod}} g_{n\ l}^{od} (n_{nod}^{1n}, n_{nod}^{2n}) \right) + e_{ei} \left( g_{ei}^{1n} (n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}) + g_{ei}^{2n} (n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) + \sum_{s=1}^{\Delta n_{nod}} g_{ei\ s}^{od} (n_{nod}^{1n}, m_{gaz}^{1n}, n_{nod}^{2n}, m_{gaz}^{2n}) \right) \rightarrow \min,$$

де  $e_{np}^{cc}$  – вартість простою транзитного вагону з переробкою на сортувальній станції, грн;

$t_{np\ i}^{cc\ 1n}, t_{np\ j}^{cc\ 2n}$  – доля загальної тривалості простою відповідно  $i$ -тих та  $j$ -тих вагонів відповідно

потоків  $K_1$  і  $K_2$  на сортувальній станції за добу, год,

$a, b$  – кількість технологічних операцій, у тому числі міжопераційних простоїв, з вагонами відповідно вагонопотоків  $K_1$  і  $K_2$  на сортувальній станції;

$e_{np}^{ec}$  – вартість простою вагонів на вантажній станції, грн.;

$t_{np f}^{ec 1n}, t_{np h}^{ec 2n}$  – тривалість простою відповідно  $f$ -тих та  $h$ -тих вагонів відповідно потоків  $K_1$  і  $K_2$  на вантажній станції, год.;

$c, d$  – кількість технологічних операцій, у тому числі міжопераційних простоїв, з вагонами відповідно вагонопотоків  $K_1$  і  $K_2$  на вантажній станції;

$e_n$  – вартість дизельного палива, грн./кг;

$g_n^{1n}, g_n^{2n}$  – доля витрат дизельного палива при виконанні технологічних операцій у системі СС-ВС-РП відповідно з вагонопотоками  $K_1$  і  $K_2$ , кг, визначається як сума витрат по кожному з наступних етапів обробки вагонопотоків

$$\begin{aligned} g_n^{1n} &= g_n^{cc 1n} + g_n^{cc-ec 1n} + g_n^{pn 1n} \\ g_n^{2n} &= g_n^{cc-ec 2n} + g_n^{ec 2n} + g_n^{pn 2n}; \end{aligned} \quad (3)$$

1) при формуванні подач вагонів потоку  $K_1$  на сортувальній станції

$$g_n^{cc 1n} = b_n^{cc} \sum_{k=1}^V t_{nep k}^{cc}, \quad (4)$$

де  $b_n^{cc}$  – середні питомі витрати палива маневровими локомотивами при формуванні подач вагонів на сортувальній станції, кг/год;

$t_{nep k}^{cc}$  – тривалість  $k$ -тих перестановок вагонів потоку  $K_1$  при формуванні подач, год,  
 $t_{nep}^{cc} = f(m_{eaz}^{1n})$ ;

$V$  – кількість перестановок вагонів при формуванні подач вагонів з пріоритетного потоку  $K_1$  на сортувальній станції;

2) при формуванні сформованих подач з потоку  $K_1$  і  $K_2$  з сортувальної на вантажну станцію за умови використання тепловозної тяги

$$\begin{aligned} g_n^{cc-ec 1n} &= b_n^p \sum_{v=1}^{n_{nod}^{1n}} t_{p v}^{1n}, \\ g_n^{cc-ec 2n} &= b_n^p \sum_{w=1}^{n_{nod}^{2n}} t_{p w}^{2n}, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $b_n^p$  – середні питомі витрати палива тепловозами при русі подач вагонів у складі переда-

точного поїзда з сортувальної на вантажну станцію, кг/год;

$t_{p v}^{1n}, t_{p w}^{2n}$  – тривалість руху відповідно  $v$ -тих і  $w$ -тих передаточних поїздів від сортувальної станції до припортової вантажної відповідно з вагонами потоку  $K_1$  і  $K_2$ , год;

3) при обробці вагонів потоку  $K_2$  на припортовій вантажній станції (переробка вагонопотоку на сортувальних пристроях, формування подач вагонів по причалам тощо)

$$g_n^{ec 2n} = b_n^{ec} \sum_{w=1}^{n_{nod}^{2n}} (t_{poz w}^{ec} + t_{nep w}^{ec}), \quad (6)$$

де  $b_n^{ec}$  – середні питомі витрати палива маневровими тепловозами при обробці вагонів з потоку  $K_2$  на припортовій вантажній станції, кг/год;

$t_{poz w}^{ec}$  – тривалість переробки  $w$  составів передаточних поїздів на вантажній станції, год.;

$t_{nep w}^{ec}$  – тривалість формування  $w$  подач вагонів по причалам на коліях вантажної станції, год,  $t_{nep}^{ec} = f(m_{eaz}^{2n})$ ;

4) при перестановці сформованих подач вагонів потоків  $K_1$  і  $K_2$  у районні парки порту

$$\begin{aligned} g_n^{pn 1n} &= b_n^{pn} \sum_{v=1}^{n_{nod}^{1n}} t_{pn v}^{1n}, \\ g_n^{pn 2n} &= b_n^{pn} \sum_{w=1}^{n_{nod}^{2n}} t_{pn w}^{2n}, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $b_n^{pn}$  – середні питомі витрати палива тепловозами при перестановці сформованих подач вагонів потоків  $K_1$  і  $K_2$  у районні парки порту, кг/год;

$t_{pn v}^{1n}, t_{pn w}^{2n}$  – тривалість перестановки відповідно  $v$ -тих і  $w$ -тих сформованих подач вагонів потоків відповідно  $K_1$  і  $K_2$  у районні парки порту, год;

$g_n^{od}$  – доля витрат дизельного палива локомотивами вантажної станції при  $l$  одиночних їх переміщеннях між вантажною станцією та портом, кг, визначається у залежності від числа одиночних пробігів тепловозів між станцією та портом

$$g_n^{od} = b_n^{od} \sum_{u=1}^p \Delta n_{nod u} t_{od u}, \quad (8)$$

де  $b_n^{od}$  – середні питомі витрати палива тепловозами при одиночному переміщенні їх між станцією та районними парками, кг/год;

$t_{од\ u}$  – тривалість одиночного пробігу маневрових локомотивів вантажної станції між станцією та  $u$ -тим районним парком порту, год;  
 $p$  – число районних парків у порту;

$\Delta n_{нод\ u}$  – різниця між загальним числом подач потоків  $K_1$  і  $K_2$  з вантажної станції на  $u$ -тий районний парк порту при виділенні пріоритетного вагонопотоку та без нього і числом подач з  $u$ -того районного парку на вантажну станцію при застосуванні типової технології роботи;

$e_{ел}$  – вартість електроенергії, грн/кВт;

$g_{ел}$  – доля витрат електроенергії локомотивами вантажної станції при виконанні технологічних операцій з вагонопотоками у системі СС-ВС-РП при застосуванні електричної тяги, кВт

$$g_{ел} = g_{ел}^m + g_{ел}^{ен}, \quad (9)$$

де  $g_{ел}^m$  – витрати електроенергії безпосередньо на тягу поїздів, кВт,  $g_{ел}^m = f(n_{нод}^{1n}, m_{ваг}^{1n}, n_{нод}^{2n}, m_{ваг}^{2n})$ ;

$g_{ел}^{ен}$  – витрати електроенергії електровозом на власні потреби, кВт;

$g_{ел\ s}^{од}$  – доля витрат електроенергії локомотивами вантажної станції при кожному  $s$ -тому одиночному їх переміщенні між вантажною станцією та портом, кВт, визначаються у залежності від числа одиночних пробігів тепловозів між станцією та портом.

Задача мінімізації долі експлуатаційних витрат на обробку вагонопотоків у системі СС-ВС-РП визначається при наступних обмеженнях:

$$\begin{cases} 0 \leq K_1 \leq K; \\ n_{нод}^{1n\ min} \leq n_{нод}^{1n} \leq n_{нод}^{1n\ max}; \\ m_{ваг}^{1n\ min} \leq m_{ваг}^{1n} \leq m_{ваг}^{1n\ max}; \\ n_{нод}^{2n\ min} \leq n_{нод}^{2n} \leq n_{нод}^{2n\ max}; \\ m_{ваг}^{2n\ min} \leq m_{ваг}^{2n} \leq m_{ваг}^{2n\ max}, \end{cases} \quad (10)$$

де

$$n_{нод}^{1n\ min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_1 \geq 1; \end{cases}$$

$$n_{нод}^{1n\ max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ K_1, & \text{якщо } K_1 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{1n\ min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_1 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{1n\ max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ K_1, & \text{якщо } 1 \leq K_1 < l_{фр}, \\ l_{фр}, & \text{якщо } K_1 \geq l_{фр}; \end{cases}$$

$$n_{нод}^{2n\ min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_2 \geq 1; \end{cases}$$

$$n_{нод}^{2n\ max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ K_2, & \text{якщо } K_2 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{2n\ min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_2 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{2n\ max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ K_2, & \text{якщо } 1 \leq K_2 < l_{фр}, \\ l_{фр}, & \text{якщо } K_2 \geq l_{фр}; \end{cases}$$

де  $l_{фр}$  – умовна місткість вантажних фронтів на причалах порту, ваг.

Оскільки при визначенні мінімуму експлуатаційних витрат на обробку вагонів у системі керуючі параметри є цілочисельними величинами, а залежність вказаних витрат від параметрів керування є лінійною, задача, що розглядається, є задачею лінійного цілочисельного програмування з адитивною цільовою функцією та лінійними обмеженнями.

### Наукова новизна та практична значимість

Вперше запропоновано науковий підхід до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту», що базується на мінімізації долі експлуатаційних витрат на обробку вказаних потоків за рахунок застосування пріоритетності їх обслуговування з моменту закінчення розпуску составів на сортувальній станції до моменту подачі груп вагонів у районні парки портів. Запропонована технологія дозволить скоротити тривалість знаходження вагонів на припортовій вантажній станції за рахунок виключення необхідності повторної їх переробки, скоротити непродуктивний час в очікуванні виконання технологічних операцій, зменшити тривалість виконання тих технологічних операцій на вантажній станції, які залежать від числа та порядку постановки вагонів у составі.

### Висновки

Впровадження удосконаленої технології обробки вагонопотоків підвищить ефективність функціонування залізничного транспорту у сфері перевезення експортно-імпортних ванта-

жів за рахунок прискорення обробки вагонів на шляху прямування у морські порти, а також забезпечить раціональне використання технічних засобів системи СС-ВС-РП.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Акулиничев, В. М. Организация вагонопотоков [Текст] / В. М. Акулиничев. – Москва : Транспорт, 1979. – 224 с.
2. Антонов, А. В. Системный анализ. [Текст] : уч. для вузов / А. В. Антонов. – Москва: Высшая школа, 2004. – 454 с.
3. Бернгард, К. А. Групповые поезда (Вопросы организации вагонопотоков) [Текст] / К. А. Бернгард // Труды ВНИИЖТа. – Москва : Трансжелдориздат, 1953. – Вып. 76. – 168 с.
4. Дегтярев, Ю. И. Системный анализ и исследование операций Системный анализ и исследование операций [Текст] : Уч. для вузов по спец. АСОИУ / Ю. И. Дегтярев. – Москва: Высшая школа, 1996. – 335 с.
5. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст] : затв. : Наказ Укрзалізниці 29.12.2004 р. № 1028-ЦЗ. – Київ: ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 100 с.

6. Сотников, Е. А. Методика расчета организации вагонопотоков [Текст] / Е. А. Сотников, Д. Ю. Левин, А. В. Кутыркин, В. И. Васильев // Железнодорожный транспорт, 1982. – № 4. – С. 13-17.

7. Публікація документів Державної Служби Статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.html](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.html).

8. Совершенствование организации вагонопотоков на железных дорогах [Текст] / под ред. Е. А. Сотникова. // Тр. ЦНИИ.– Москва: Транспорт, 1982. – Вып. 561. – 238 с.

9. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року [Електронний ресурс] : Розп. Каб. Мін. України 11.07.2013 р. № 548. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Козаченко Д. М. (Україна)*

Надійшла до редколегії 18.05.2015.

Прийнята до друку 19.05.2015.