

УДК 656.073.37

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОРОЖНІМИ ВАГОНАМИ
ПРИПОРТОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА**

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, В. О. Вергелес

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОРОЖНИМИ
ВАГОНАМИ ПРИПОРТОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА**

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, В. О. Вергелес

**IMPROVING THE PROCESS OF SUPPLYING OF PORT RAILWAY NODE WITH
EMPTY RAILCARS**

Dr. of Tech. Sc. Professor T. V. Butko, V. O. Vergeles

У статті розглядаються перспективи розвитку транзитних перевезень через портові станції України та вдосконалення технології роботи припортових станцій в аспекті підведення порожніх вагонів. Побудовано динаміку, запропоновано автоматизовану технологію процесу надходження порожніх вагонів під навантаження із судна.

Ключові слова: вантажні операції, порожні вагони, групи, станції, накопичення, простий, ефективність, судна.

В статье рассмотрены перспективы развития транзитных перевозок через портовые станции Украины и, как следствие, - необходимость усовершенствования технологии работы припортовых станций в аспекте подвода порожних вагонов. Построена динамика распределения количества поданных порожних вагонов. Благодаря этому возможно наблюдать изменение эксплуатационных расходов при различных технологиях работы.

Ключевые слова: грузовые операции, порожние вагоны, группы, станции, накопление, простой, эффективность, судна.

The article deals with the prospects for the development of transit through Ukrainian port station and as a result - the need to improve the technology of port work stations in the aspect of the supply of empty railcars. Dynamics of distribution of the number of empty freight railcars have built. This makes it possible to observe a change in operating costs for different work technologies. Ukraine as a transit state has a significant future development of rail and water transport system. One of the important tasks is the development of transport nodes at points of transshipment from rail to water transport and in the opposite direction, improving the technology of their work. In Ukraine there are 19 such transport hubs, five of them are Maritime transport gateway for existing and future demand. We form a mathematical model as a mathematical programming model with objective function, which consists of operating costs for individual components of the technological process per group of empty cars and the corresponding system of constraints that takes into account technical, technological and regulatory conditions.

Keywords: cargo operations, empty railcars, groups, stations, storage, accumulation, performance, ships.

Вступ. Відповідно до тенденцій світового економічного розвитку у найближчому майбутньому очікується суттєве зростання товарообміну у напрямку Європа – країни Азіатсько-Тихоокеанського регіону. За прогнозами, збільшується перевезення транзитних вантажів за участю залізничного і морського транспорту. У зв'язку з цим Україна має потенційні можливості для залучення додаткових транзитних потоків через свою територію за цими напрямками. За розрахунками, вантажообіг Євразійського транспортного коридору становитиме 40-50 млн тонн за рік.

Доцільно вважати, що першочерговим завданням інтеграції української транспортної системи в європейську є відповідний розвиток національної мережі, її транспортно-комунікаційної інфраструктури та розбудова логістичних систем. Наслідком цього є необхідність у забезпеченні умов для збільшення транзитних та експортно-імпортних потоків при суттєвому підвищенні якості обслуговування.

На даному етапі контейнеризація – це пріоритетний напрямок розвитку всесвітньої системи перевезень. Частка перевезення сухих вантажів у контейнерах

по Україні досягла вже 65 %. Згідно з прогнозами, до 2017 року вона складе 80 %. Таким чином, завдання формування автоматизованих технологій щодо забезпечення порожнім рухомим складом (зокрема фітінговими платформами) морських портів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень.

Забезпечення зовнішньоекономічних і транзитних зв'язків, прискорення інтеграції у світовий транспортний ринок – пріоритетні задачі залізничного транспорту України. Це підвищує роль і значимість удосконалювання перевезень зовнішньоторговельних вантажів, виконаних через сухопутні прикордонні переходи й морські порти, зокрема вимагає прискорення їхньої переробки в транспортних вузлах, утворених на стиках залізничного й морського транспорту.

Цим питанням присвячено ряд наукових робіт [1, 3, 6], але в них недостатньо уваги було приділено завданням щодо формування автоматизованої технології підводу порожніх вагонів для навантаження з морських суден.

Мета. Формування автоматизованої технології процесу надходження порожніх вагонів під навантаження із суден.

Виклад основного матеріалу.

Україна як транзитна держава має значну перспективу розвитку залізнично-водної транспортної системи. Одним з важливих завдань стає розвиток транспортних вузлів в місцях перевалки вантажів із залізничного на водний транспорт та у зворотному напрямку, удосконалення технології їх роботи. В Україні налічується 19 таких транспортних вузлів, п'ять із них є морськими транспортними воротами для нинішніх і перспективних вантажопотоків. До важливих морських портів відноситься Одеса, Іллічівськ та Південний – на Чорному морі, Маріуполь на Азовському та Ізмаїл на Дунаї. Через порти Чорного та Азовського морів здійснюються зовнішньоекономічні зв'язки. У

перспективі потік вантажів у напрямку країн Кавказу та Центральної Азії повинен зростати. Основними вантажами будуть залізна руда, кокс, кам'яне вугілля, добрива, хімікати, чорні метали та ін., імпортованими – машини, устаткування, будівельні матеріали, кольорові метали, вогнетривкі матеріали та нетрадиційний вантажопотік – зрідженого газу.

Важливою ланкою в цьому процесі є удосконалення технології подавання і пошуку порожніх вагонів відповідного типу у порти.

Подавання вагонів одного типу під навантаження може відбуватися за такою технологією:

а) групи необхідних порожніх вагонів для даного роду вантажу зі станцій, відкритих для вантажних операцій (*BCi*), в регіоні залізниці або декількох сусідніх залізниць подаються на сортувальну станцію (*CC*), де відбувається їх накопичення на состав із порожніх вагонів (порожній маршрут); состав однотипних порожніх вагонів подається на передпортову вантажну станцію (*BCII*) і далі на вантажний фронт, де відбувається їх навантаження із судна;

б) групи необхідних порожніх вагонів для даного роду вантажу із станцій, відкритих для вантажних операцій (*BCi*), в регіоні залізниці або декількох сусідніх залізниць подаються на сортувальну станцію, де вони у складі сформованого поїзда в останній третині від хвоста відповідно до вимог (96) (п. 15.32) подаються далі до передпортової вантажної станції (*BCII*) і далі окремими групами надходять на вантажний фронт;

в) поєднання варіантів а) і б) у різних комбінаціях.

Виконання заявки починається з введення даних про рід вагонів, їхню кількість та рід вантажу, що перевозиться, після чого відбувається безпосередньо пошук вагонів під навантаження, їхня доставка відправнику навантаження. В

залежності від місцезнаходження вагонів визначається час, необхідний на їх пошук.

Для дослідження загальної тенденції підведення порожніх вагонів, зокрема фітінгових платформ, було наведено статистичні спостереження щодо обсягу контейнерів, що вивантажувались із судна, сформована динаміка їх розподілу за 2015 рік в умовах портів Одеса, Іллічівськ регіональної філії "Одеська залізниця", яку наведено на рис. 1, 2.

Поряд з динамікою обсягів кількості вагонів по місяцях наведено основні характеристики, а саме: N – середнє значен-

ня, σ – середнє квадратичне відхилення, K_H – коефіцієнт нерівномірності.

Коефіцієнти нерівномірності відповідно дорівнюють $K_H = 2,45$ та $K_H = 1,88$, що свідчить про наявність сезонних коливань.

Для формування автоматизованої технології слід враховувати, що вартість простою судна за одиницю часу перевищує вартість простою вагонів, тому кожен варіант технології надходження порожніх вагонів на припортову станцію повинен забезпечити безперебійне вивантаження вантажу із суден в порожні вагони.

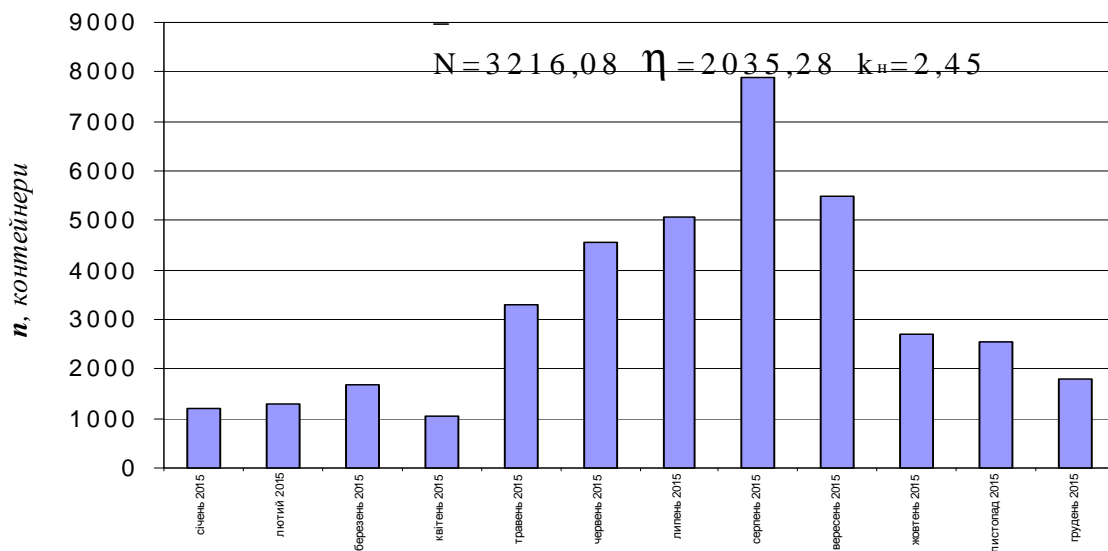


Рис. 1. Динаміка розподілу навантаження контейнерів із судна у вагони порту Одеса по місяцях 2015 року

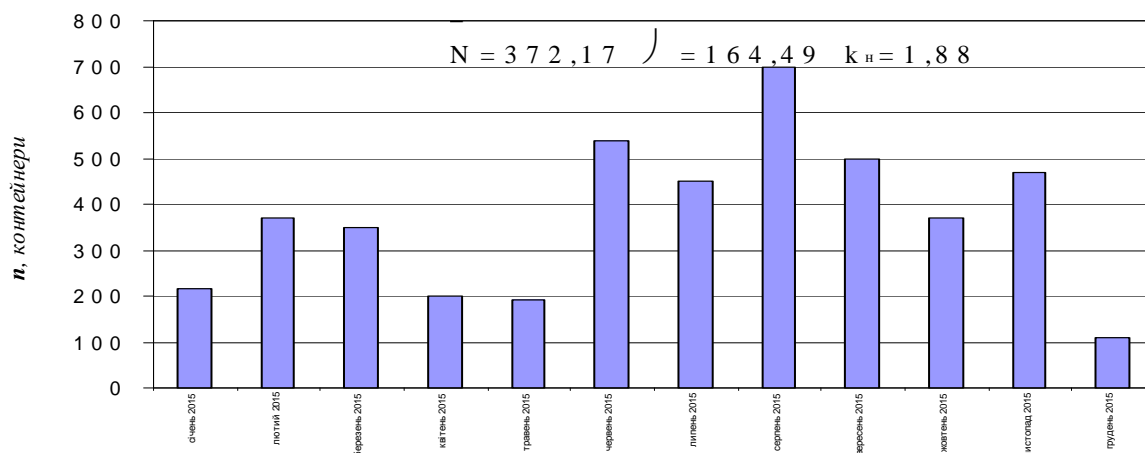


Рис. 2. Динаміка розподілу навантаження контейнерів із суден у вагони у порту Іллічівськ по місяцях 2015 року

Для вибору раціонального варіанта технологічного процесу доцільно порівняти сумарний час на доставку необхідної кількості порожніх вагонів на вантажний фронт у порту або експлуатаційні витрати по кожному варіанту та визначити основні чинники, що впливають на вибір варіанта в конкретних умовах, які склалися.

Виходячи із принципів системного аналізу, формалізуємо технологію надходження порожніх вагонів під навантаження із суден, тобто розглядаємо станції, відкриті для вантажних операцій (BC_i), сортувальну станцію (CC), передпортову станцію ($BC_{П}$) та морський порт як систему взаємопов'язаних підсистем (рис. 3).

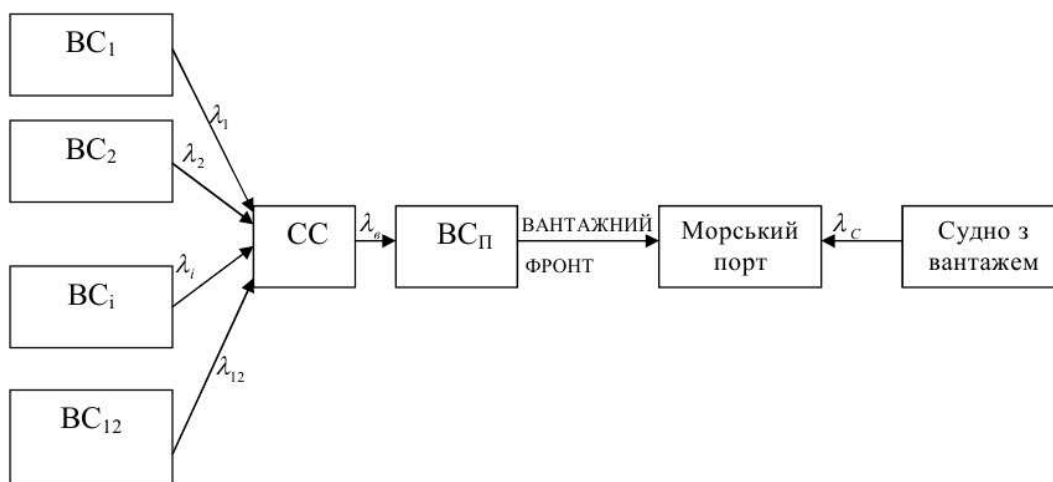


Рис. 3. Завантажений оргграф надходження порожніх вагонів у припортовому залізничному вузлі (λ_i - інтенсивність надходження порожніх вагонів; λ_B - інтенсивність надходження порожніх маршрутів; λ_c - інтенсивність надходжень судів до порту)

Модель вибору стратегії розподілу порожніх вагонів у залізнично-водному вузлі повинна складатись із цільової функції, яка являє сумарні експлуатаційні витрати або сумарний час простою рухомого складу, включаючи простій суден, і відповідної системи обмежень, що характеризує конструктивні і технологічні параметри вузла. Складова цільової функції, що включає експлуатаційні витрати в процесі надходження порожніх вагонів з ВС_i на СС, однакова по кожному варіанту, тому при порівнянні її можна не враховувати.

Сформуємо математичну модель, як модель математичного програмування із цільовою функцією, яка складається з експлуатаційних витрат на окремі складові технологічного процесу, що припадають на групу порожніх вагонів, і відповідної системи обмежень, яка враховує технічні, технологічні і нормативні умови.

Розглядаємо структуру складової цільової функції, що відповідає за питомі експлуатаційні витрати при формуванні состава на СС, в який включено порожні вагони в останню третину хвоста, що відповідає вимогам ПТЕ (п.15.32)

Уявімо кожен станцію ВС_i як джерело, що генерує випадкову дискретну величину X_{ij} - кількість порожніх вагонів даного типу з імовірністю P_{ij} з функцією розподілу $F_i(x) = \sum P_{ij}$, тоді їх середнє значення:

$$X_i = \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} X_{ij},$$

де n_i - кількість усіх порожніх вагонів на ВС_i.

Пошук потрібних порожніх вагонів даного типу відбувається на станціях, відкритих для вантажних операцій в

регіоні залізниці або декількох наближених залізниць, при цьому станції ВС_i функціонують незалежно одна від одної, що дозволяє використовувати центральну граничну теорему Ляпунова. Спираючись на цю теорему припустимо, що кількість порожніх вагонів X_{ij} по всіх станціях ВС_i є імовірнісною величиною X , що генерується одним джерелом S і підпорядкована нормальному закону розподілу із щільністю

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

де X і σ – відповідно середнє значення і стандартне відхилення кількості порожніх вагонів у групі.

Як показали дослідження, час між надходженням груп порожніх вагонів t на СС є також випадковою величиною, з достатнім ступенем надійності, підпорядкованою розподілу Ерланга 2-го порядку із щільністю

$$f(x) = (2\lambda)^2 \cdot t e^{-2\lambda t}$$

де λ – інтенсивність надходження груп порожніх вагонів на СС:

$$\lambda = \frac{1}{T},$$

де t – математичне очікування часу між надходженням двох послідовних груп порожніх вагонів.

Будемо вважати, що кількість порожніх вагонів у групі X та час між їх надходженням на СС – t є незалежними випадковими величинами. Тоді кількість порожніх вагонів, що надійдуть на СС за час $t=y$ можна розрахувати за формулою:

$$X_t = \int_0^z x f(x) dx \cdot \int_0^y f(t) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \int_0^z x \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \cdot \int_0^y (2\pi)^2 \cdot t \cdot e^{-2\lambda t} dx,$$

де z – максимально можлива кількість вагонів у групі (можна прийняти $z = 18-20$).

Враховуючи пріоритетність переміщення порожніх вагонів у порт, кожна їх група, що надійшла на СС, повинна бути причеплена у хвіст состава, який формується в напрямку ВСП. Це потребує додаткових маневрових операцій і відповідних витрат.

Вагоно-години знаходження групи порожніх вагонів на СС можна вважати наслідком одночасної появи двох незалежних подій: кількості порожніх вагонів X_i і часу їх знаходження на СС – $t_{зн}$. Тоді частина експлуатаційних витрат при формуванні состава з порожніми вагонами у хвості, що припадає на групу порожніх вагонів, складе

$$C'_1 = \frac{C'_{ен} (2\lambda)^2}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^z x \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \cdot \int_0^{t_{форм}} t^2 \cdot e^{-2\lambda t} dt$$

де $t_{форм}$ – середній час на формування состава на СС;

$C'_{ен}$ – вартість вагоно-години при формуванні состава з порожніми вагонами у хвості.

Витрати на початкові, кінцеві, інформаційні операції та переміщення групи порожніх вагонів з СС та ВСП у составі поїзда – C_2 .

Враховуючи, що

$$\bar{X} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^z x \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx,$$

витрати на подачу-прибирання вагонів у порту складуть

$$C'_3 = \frac{\bar{X} \cdot C_{лб} \cdot t_n}{l_\phi},$$

де l_ϕ – довжина вантажного фронту, ваг;

$C_{лб}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи;

t_n – час на подавання-прибирання однієї подачі.

Витрати при навантаженні групи порожніх вагонів у кількості X із судна

$$C'_4 = \frac{\bar{X} \cdot C_\phi}{N_\phi},$$

де N_ϕ – продуктивність вантажного фронту, ваг/год;

C_ϕ – вартість години роботи вантажного фронту у порту.

З імовірністю

$$P_1 = (2\lambda)^2 \int_0^{t_{форм}} t \cdot e^{-2\lambda t} dx \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^z e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx$$

У кожному поїзді, що формується на СС в напрямку ВСП, на вантажний фронт надійдуть не більш ніж z порожніх вагонів. При цьому час надходження груп порожніх вагонів на вантажний фронт у порт буде дорівнювати $t_{форм}$. Для безперебійного процесу вивантаження судна потрібно, щоб кількість порожніх вагонів у групі

$$\bar{X} \geq N_\phi \cdot \bar{t}_{форм}.$$

У цьому випадку штучно створювати резерв порожніх вагонів у порту не потрібно. Надлишок порожніх вагонів може накопичуватись на ВСП, а імовірність такої події буде дорівнювати

$$P_2 = (2\lambda)^2 \int_0^{t_{\text{форм}}} t \cdot e^{-2\lambda t} dx \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma}}\right) \int_0^{N_{\text{форм}}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Щоб запобігти виникненню ефекту спонтанного зростання кількості кинутих порожніх вагонів, процес треба зробити керованим, якщо величина P_2 достатньо велика ($P_2 \geq 0,7$). Зокрема, через повідомлення в інформаційно-керуючій системі треба забезпечити виконання умови

$$\bar{X} = \frac{Q_c}{q_{CT} \cdot t_{\text{форм}}},$$

де Q_c – водотоннажність суден з урахуванням дедвейту; q_{CT} – статистичне навантаження на вагон).

За рахунок надходження груп порожніх вагонів з найближчих вагонів ВСі.

Якщо процес надходження груп порожніх вагонів достатньо сталий, тобто \bar{X} близьке до величини $z = N_{\phi} \cdot \bar{t}_{\text{нор.}}$, а

коефіцієнт варіації $U = \frac{\sigma}{\bar{X}} \in (0,2-0,3)$, то система буде практично самокерованою.

Величина потрібного резерву або надлишок порожніх вагонів при цьому складе

$$R_1 = \frac{3\sigma \cdot Q_c}{q_{CT} \cdot \bar{X}}.$$

У більш загальному випадку, коли $\bar{X} \pi N_{\phi} \cdot K \cdot t_{\text{форм}}$. (де k – ціле число), що еквівалентно тому, що групи порожніх вагонів надходять з СС на ВСп тільки у кожному k -му поїзді, необхідно створювати їх резерв на ВСп. Величина такого однократного резерву повинна становити

$$R'_2 = (2\lambda)^2 \int_0^{kt} t \cdot e^{-2\lambda t} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma}} \int_0^{N \cdot R \cdot t} x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Після інтегрування у заданих межах отримуємо

$$R'_2 = (1 - (1 + 2\lambda \bar{t}) \cdot a^{-2\lambda \bar{t}}) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma}} \int_{\bar{\sigma}}^{N \cdot R \cdot t} \tilde{\sigma} \cdot a^{-\frac{(\tilde{\sigma}-\bar{\sigma})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Загальна величина резерву порожніх вагонів у порту, що забезпечує безперебійне вивантаження судна з водотоннажністю Q_c , складе

$$R_2 = \frac{Q_c}{\bar{X} \cdot q_{CT}} \cdot R'_2.$$

Відповідно витрати за простій порожніх вагонів у резерві при їх рівномірному надходженні складуть

$$C'_5 = R_2 \cdot \frac{t_{\text{прог}} \cdot \bar{t}_{\text{нор.}}}{2} \cdot C_p,$$

де C_p – вартість вагоно-години простою; $t_{\text{прог}}$ – прогнозний час надходження судна; $t_{\text{нор.}}$ – середній час на переміщення вагона в порт.

Витрати на переміщення вагонів в резерв

$$C'_6 = R_2 \cdot \bar{C}_{\text{нор.}},$$

де $C_{\text{нор.}}$ – середня вартість переміщення вагона з ВСі на ВСп.

Сформовані складові експлуатаційних витрат дозволяють

створити модель процесу надходження

порожніх вагонів групами у складі поїздів, які прямують у порт; визначити тенденції зміни експлуатаційних витрат і основні чинники, що впливають на їх зменшення і формування резерву.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Порівнюючи питомі експлуатаційні витрати, що припадають на один порожній вагон по кожному варіанту технологічного процесу, оперативному персоналу залізниці надається можливість визначити і вибрати найбільш раціональний серед них в конкретних умовах транспортного ринку. З цією метою доцільно створити систему підтримки прийняття рішень на автоматизованих робочих місцях оперативного персоналу. Це дозволить вирішити актуальну проблему розвитку залізничних підходів до припортових станцій. Для підвищення їх пропускної та переробної спроможності в ПАТ Укрзалізниці розроблені заходи щодо покращення взаємодії залізниць з портами та збільшення обсягів навантаження.

Серед основних напрямків роботи – підвищення ефективності використання інвентарного рухомого складу, застосування нових методів управління перевізним процесом на базі автоматизації та інформаційних технологій.

Список використаних джерел

1. Бутько, Т. В. Модель надходження порожніх вагонів на передпортову станцію [Текст] / Т.В. Бутько, В.М. Чеклова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 4/5(28). – С. 8-11.
2. Чеклова, В. М. Модель вибору стратегії надходження порожніх вагонів у припортовому залізничному вузлі [Текст] / В. М. Чеклова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №4. – С.58-63.
3. Костоглодов, Д.Д. Распределительная логистика [Текст] / Д.Д. Костоглодов, Л.М. Нарисова. – М., 1997. – 128 с.
4. Кальченко, А. Г. Логістика [Текст]: навч. посібник / А.Г. Кальченко. – К.: КНЕУ, 2000. – 148 с.
5. Чеклов, В. Ф. Автоматизація процесу забезпечення вантажної роботи на залізниці [Текст] / В. Ф. Чеклов, В. М. Чеклова // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2006. – №5. – С. 67-73.
6. Wichelhaus A. Telematiks in cargo transportation [Text] / A. Wichelhaus // Railway Technical Review. – 2005/ - №3 – P. 35-40.

7. Deb K. Genetic algorithms for function optimization. In: Genetic Algorithms and Soft Computing / K. Deb.; Edited by F. Herrera and J. L. Verdegay. – Heidelberg: Physica-Verlag, 1996. – P. 3-29.
8. Yen, J.Y. Finding the K shortest loopless paths in a network [Текст] / J.Y.Yen // Management Science. - 1971. - №17. - P. 712-716.
9. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ=Introduction to Algorithms [Текст] / Томас Х. Кармен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1296 с.
10. The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016) / Affiliated Workshops, Volume 83, pages 18--25 - may 2016.
11. Journal of Rail Transport Planning & Management Volume 5, Issue 4, December 2015, Pages 294-308.
12. Expert Systems with Applications Volume 62, Issue 15, November 2016. – P. 302-316.

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097)4424525.
Вергелес Вікторія Олександрівна, студентка гр. 22-IV-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (098)8453865. E-mail. vika.vergeles.89@mail.ru.

Butko T.V., Dr. tehn. science, Operation Work Management Department of Ukrainian State Universiti of Railway Transport.

Vergeles.V.O., student(master) gr. 22-IV-OPUTm of Ukrainian State Universiti of Railway Transport.
Tel. (098)8453865. E-mail. vika.vergeles.89@mail.ru.

Стаття прийнята 12.07.2016 р.