

МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 656.212.6.073.21:[621.874:519.852]

С. М. ТУРПАК^{1*}, Л. О. ВАСИЛЬЄВА^{2*}, О. О. ПАДЧЕНКО^{3*}, Г. О. ЛЕБІДЬ^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні технології», Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69061, тел. +38 (067) 981 71 18, ел. пошта sergeyturpak@gmail.com, ORCID 0000-0003-3200-8448

^{2*}Каф. «Транспортні технології», Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69061, тел. +38 (067) 800 96 14, ел. пошта larisatt@ukr.net, ORCID 0000-0002-4029-3851

^{3*}Каф. «Транспортні технології», Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69061, тел. +38 (097) 355 94 13, ел. пошта padchenkolena@ukr.net, ORCID 0000-0002-5262-2755

^{4*}Каф. «Транспортні технології», Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69061, тел. +38 (096) 671 83 73, ел. пошта leanna11@ukr.net, ORCID 0000-0001-5005-2923

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПУНКТІВ НАВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ РАЦІОНАЛЬНИМ ВИКОРИСТАННЯМ МОСТОВИХ КРАНІВ

Мета. Ураховуючи необхідність вдосконалення транспортно-складських процесів навантаження залізничних вагонів мостовими кранами, за мету дослідження ми ставимо аналіз фактичних зон роботи кранів, розробку імітаційних моделей їх функціонування та встановлення найбільш ефективної технології навантаження. Реальний об'єкт дослідження – склад готової продукції металургійного підприємства, – формалізовано у вигляді лінійного фронту навантаження. **Методика.** Для аналізу роботи досліджуваного об'єкта за різними варіантами робочих зон кранів використано метод імітаційного моделювання. Враховано, що кожний мостовий кран може завантажувати залізничні вагони, які знаходяться в різних зонах навантажувальної колії. Розглянуто ситуації, коли крани в ході виконання вантажних операцій знаходяться на одній підкрановій колії, і зона обслуговування групи вагонів частково співпадає. За таких умов крани можуть заважати один одному, що ускладнює виконання транспортно-технологічного процесу відвантаження. **Результати.** Розроблено імітаційну модель, у якій елементи обслуговування, що є окремими вантажними місцями, переміщуються за визначеними маршрутами. Вантажопотоки задають за визначеними законами розподілу випадкової величини, що враховує стохастичний характер реальних транспортних процесів. Розроблена модель роботи лінійного фронту навантаження вагонів мостовими кранами дозволяє аналізувати показники ефективності різних варіантів закріплення навантажувальних засобів за зонами обслуговування. Виконано аналіз таких показників, як: середній час переміщення елементів обслуговування, відсоток часу простою та роботи кранів, витрати часу на окремі операції просування вантажопотоку. На основі імітаційної моделі розроблено процедуру визначення найбільш ефективної стратегії управління роботою вантажного фронту. Апробована на складі готової продукції металургійного підприємства методика дозволяє знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату. **Наукова новизна.** Новим у нашій роботі є теоретичне дослідження та вдосконалення моделей роботи транспортно-складського комплексу металургійного підприємства за рахунок раціонального закріплення кранів до зон розташування транспортних засобів, які навантажують. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють підвищити ефективність роботи транспортно-складського комплексу за рахунок скорочення часу перебування вагонів у системі в разі раціонального використання навантажувальних ресурсів.

Ключові слова: металопродукція; мостовий кран; пункт навантаження; імітаційне моделювання

Вступ

У наш час форми взаємодії виробництва та транспорту недостатньо ефективні, потребують удосконалення системи прийняття управлінських рішень [5, 9, 10]. Окрім цього, важко розмежувати їх сфери. Так, під час відвантаження продукції металургійного підприємства задачею транспорту є організація своєчасної постановки та прибирання рухомого складу, а за виробництвом закріплена функція виконання нормативів на вантажні операції. Внутрішньоцехові переміщення вантажів теж є частиною транспортного процесу, але їх оптимізація не входить до переліку основних функцій виробничих підрозділів.

Визначення факторів, які впливають на процес внутрішньоцехових перевезень, зокрема, у прокатному виробництві [1], є початковою ланкою в загальному ланцюзі досліджень у цій сфері. Після такого визначення можливе встановлення шляхів підвищення ефективності транспортування вантажів зокрема за рахунок прийняття диспетчерським персоналом обґрунтованих рішень [13].

Одним із показників ефективності функціонування вантажних фронтів металургійних підприємств є простір вагонів під вантажними операціями [1]. Це підкреслює актуальність досліджень у логістичному ланцюзі відвантаження металопродукції в транспортно-вантажному комплексі [3, 4].

Окрім оптимізаційних задач транспорту, необхідно забезпечити безперервність виробничих процесів, раціональне використання складських площ за рахунок зменшення запасів вантажів [2, 8].

Таким чином, задачі ефективної організації взаємодії прокатних цехів і транспорту [6, 7], зокрема за рахунок раціонального використання мостових кранів, є актуальними та потребують подальших досліджень.

Мета

Ураховуючи необхідність вдосконалення транспортно-складських процесів навантаження залізничних вагонів мостовими кранами, метою дослідження ми ставимо аналіз фактичних зон роботи кранів, розробку імітаційних моделей їх функціонування та встановлення найбільш ефективної технології навантаження.

Методика

Об'єктом дослідження є склад, який працює за технологією навантаження вагонів мостовими кранами.

Предметом дослідження є транспортно-технологічні процеси переміщення вантажу кранами.

Реальним об'єктом, на базі якого виконано дослідження, є дільниця відвантаження цеху холодного прокату ПАТ «Запоріжсталь», яка працює цілодобово в яку обслуговують мостові крани.

Характерними рисами роботи пунктів навантаження металопродукції є значна площа території, де зберігається вантаж, та використання мостових (козлових) кранів.

Так, у цеху холодного прокату № 1 (ЦХП–1) металургійного комбінату «Запоріжсталь» площа, зайнята під зберігання металопрокату, складає більше ніж 1 0000 м². Для обслуговування складів готової продукції задіяно понад 20 мостових кранів, а довжина прогонів складає від 90 до 250 м. За таких умов постає питання раціонального використання кранів, зокрема за рахунок визначення зон їх відокремленої та спільної роботи.

На рис. 1 схематично показано один із вантажних фронтів відвантаження готової продукції ЦХП–1, узятий для дослідження. Кожна подача вагонів на вантажний фронт складає 21 одиницю

Вантажний фронт можна розглядати як систему масового обслуговування, а транспортні засоби – це вхідні потоки вимог [11, 12]. У цій системі апаратами обслуговування є технічні засоби виконання вантажних робіт. Навантаження виконують одночасно групи вагонів: мостові крани обслуговують вхідні та вихідні потоки.

Рулони або пачки металопрокату з ділянки пакування передаються між прогонами мостових кранів трансферкарними візками.

Після подачі на вантажний фронт металопрокат укладають у зоні видачі складу готової продукції або мостовим краном завантажують у вагони. Це залежить від даних формувальних карт, які складають на кожен вагон.

МАШИНОБУДУВАННЯ

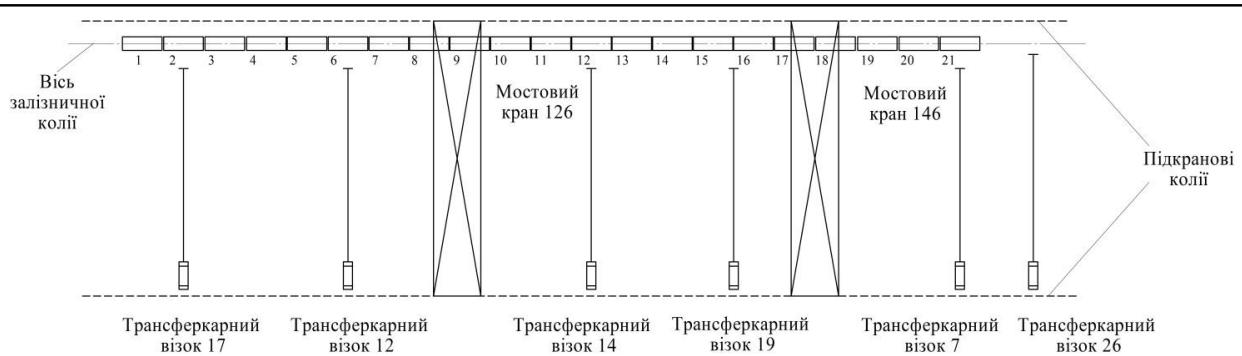


Рис. 1. Схема фронту відвантаження металопрокату

Fig. 1. Scheme of the rolled metal shipment point

Процес завантаження металопрокату на лінійному фронті було досліджено за умови використання двох мостових кранів. Навантаження виконують одразу в декілька вагонів у різних точках колії навантаження.

За наявною технологією роботи чітко не визначені зони роботи кранів. Один мостовий кран може завантажувати вагони, які знаходяться в різних зонах навантажувальної колії. Оскільки крани, які виконують вантажні операції, знаходяться на одній підкрановій колії, виникають ситуації, коли зона обслуговування вагонів співпадає. У такі моменти крани можуть заважати один одному.

Таким чином, реальний об'єкт дослідження – це лінійний фронт навантаження місткістю 21 вагон, який обслуговують два мостові крани, розташовані на одній крановій колії.

Ураховуючи значну кількість параметрів роботи складів металопрокату та стохастичний характер надходження продукції, яку відвантажують, доцільним є використання методу імітаційного моделювання.

Імітаційна модель дозволяє автоматично визначити значення параметрів розглянутої системи, міняючи при цьому умови протікання процесу й випадкові події, облік яких за традиційних підходів викликає істотні ускладнення.

Результати

Аналіз функціонування вантажних фронтів показує, що в разі збільшення їх переробної спроможності збільшується кількість навантажувально-розвантажувальних машин, що призводить до значних капітальних витрат та збільшення експлуатаційних витрат на їх обслуговування.

Однак у разі збільшення потужності технічного оснащення вантажного фронту зменшується простій вагонів у процесі виконання вантажних операцій, а також і обумовлені простоем витрати.

Відповідно до технології роботи дільниці відвантаження ЦХП–1, металопрокат у пачках та рулонах завантажують у залізничні вагони мостовими кранами із зони зберігання.

Під час дослідження транспортно-складських процесів дослідним шляхом були отримані дані щодо відвантаження готової продукції із зони зберігання в залізничні вагони.

Для подальшого моделювання необхідно знати середні значення ваги одного вантажного місця та їхньої кількості у вагоні.

Середню вагу вантажного місця визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{вант.м}}^{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^r R}{n_p + m_r}, \quad (1)$$

де M – вага кожної пачки металу, т; R – вага кожного рулону металу, т; n_p – кількість пачок металу, од.; m_r – кількість рулонів, од.

За результатами обробки статистичних даних, відвантаження металопрокату в пачках та рулонах отримали середню вагу одного вантажного місця 9,89 т.

Середню кількість вантажних місць, які завантажують в один вагон, розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{q_{\text{ваг}}}{Q_{\text{вант.м}}^{\text{сер}}}, \quad (2)$$

де $q_{\text{ваг}}$ – середнє завантаження залізничного вагона, т; $q_{\text{ваг}} = 62,8$ т.

МАШИНОБУДУВАННЯ

На підставі зібраних статистичних даних будемо гістограму (рис. 2) для визначення закону розподілу випадкової величини кількості вантажних місць у вагонах.

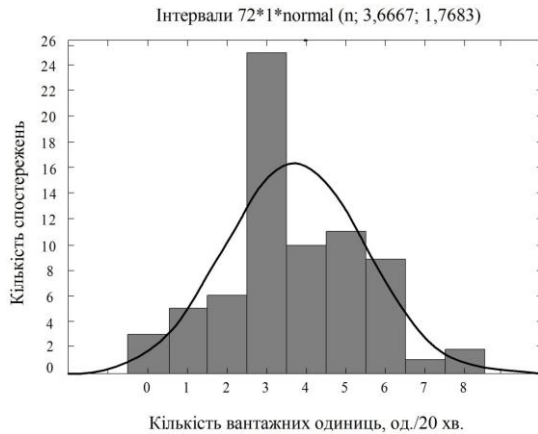


Fig. 2. Distribution histogram of the number of cargo packages in cars

Рис. 2. Гістограма розподілу кількості вантажних місць у вагонах

Метал відвантажують із зони складування у певний час. Для спостережень взято обсяги відвантаження за інтервал часу. За тривалість цього інтервалу взято час, протягом якого

практично завжди виконують навантаження хоча б однієї партії – 20 хв.

Моделювання роботи вантажного фронту відвантаження металопрокату виконуємо за допомогою програмного забезпечення Service Model, розробленого спеціально для поліпшення процесів обслуговування. Використання його дає можливість зменшити витрати на операції обслуговування, час очікування в системах обслуговування, поліпшити використання різних ресурсів і якості обслуговування.

Кількість варіантів спільного обслуговування вантажного фронту мостовими кранами значна, тому для моделювання обираємо три варіанти:

- модель «7 – 4 – 3 – 7», коли зона спільного обслуговування складає 7 вагонів;
- модель «9 – 1 – 1 – 10», коли зона спільного обслуговування складає 2 вагони;
- модель «3 – 8 – 7 – 3», коли зона спільного обслуговування складає 15 вагонів.

Для базового моделювання створюємо модель «7 – 4 – 3 – 7», за якої обидва крани обслуговують групи по 14 вагонів, а групу із 7 вагонів завантажують двома кранами (рис. 3).



Рис. 3. Схема базової моделі обслуговування вантажного фронту мостовими кранами

Fig. 3. Scheme of the basic model of cargo point servicing by bridge cranes

У програмному середовищі Service Model блок «Елементи обслуговування» (Entity) представляє собою деякий предмет, що підлягає обслуговуванню. У нашому випадку це окремі вантажні місця – пачки з металом та рулони металу. Кожний елемент обслуговування має ім'я, графічне зображення, швидкість руху, розміри та атрибути. Елемент обслуговування переміщується у моделі за визначеним маршрутом, який передбачений логікою моделі та встановлений її розробником.

Контрольні точки (Locations) являють собою фіксовані місця моделі, через які проходять маршрути руху елементів обслуговування, утворюються черги з цих елементів чи приймаються рішення щодо їх подальшого руху. Кожна контрольна точка має визначену обмежену місткість, значенням якої можна керувати, тобто у визначений момент часу в контрольній точці може знаходитися один чи декілька елементів обслуговування.

МАШИНОБУДУВАННЯ

Контрольні точки представляють на робочому полі моделі у вигляді графічних елементів. На вході й виході кожної контрольної точки встановлюють порядок вибору й сортування елементів обслуговування.

Усього в моделі розташовуємо 10 контрольних точок, що відповідають шести зонам ділянки відвантаження, куди надходить металопрокат на трансферкарах (рис. 4), та чотирьом групам вагонів (CargoGroup).

Схема розташування контрольних точок базової моделі на фронті відвантаження наведена на рис. 5.

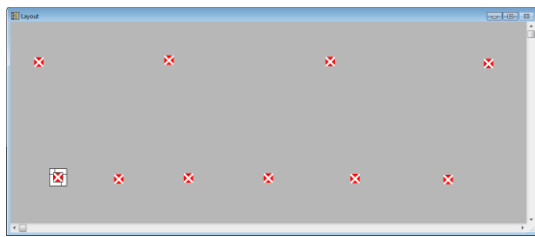


Рис. 4. Робоче поле моделі у вікні Layout із контрольними точками

Fig. 4. Model workspace in Layout window with control points

Місткість контрольних точок, що відповідають групам вагонів, розраховуємо за формулою:

$$E = c_{\text{ваг}} \cdot n \cdot q_{\text{под}}, \quad (2)$$

де $c_{\text{ваг}}$ – кількість вагонів у визначеній групі, ваг.; $q_{\text{под}}$ – кількість подач вагонів на вантажний фронт за добу, подач.

Для контрольних точок 7–10, які відповідають групам вагонів, місткість, згідно з розрахунками за формулою (2), становить відповідно: 89; 50; 39; 89 вантажних місць. Загальна ємність – 267 місць.

Визначення потоків прибуття. За допомогою блоку «Потоки прибуття» (Arrivals) визначають, у яких контрольних точках первісно виникають елементи обслуговування (тобто точки входу елементів обслуговування у модель). Для кожного елемента обслуговування встановлюють точку входу в модель, кількість, інтервал між надходженням, момент першого надходження, загальну кількість елементів обслуговування, що надходять до моделі.

У базовій моделі місця розподілено між зонами складу випадковим чином, а інтервал часу між послідовними надходженнями елементів обслуговування задано нормальним законом розподілу із середнім інтервалом 0,18 вант. од./хв і стандартним відхиленням 0,088 вант. од./хв.

Встановлення операційної логіки. Блок «Операційна логіка» (Processing) визначає порядок та послідовність обслуговування елементів у контрольних точках моделі.



Рис. 5. Схема розташування контрольних точок базової моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Fig. 5. Control points layout of the base model «7 – 4 – 3 – 7»

МАШИНОБУДУВАННЯ

У вікні Process указують операції, які виконуються з елементами обслуговування в контрольних точках моделі. У вікні Routing встановлюють логіку подальшого переміщення елементів обслуговування після закінчення операцій у відповідній контрольній точці. Таким

чином, кожному рядку в таблиці вікна Process відповідають один чи декілька рядків таблиці вікна Routing.

У базовій моделі встановлюємо таку логіку (рис. 6).

Entry	Location	Operation
Metal	WarehouseArea_1	
Metal	WarehouseArea_2	
Metal	WarehouseArea_3	
Metal	WarehouseArea_4	
Metal	WarehouseArea_5	
Metal	WarehouseArea_6	
Metal	CarriagesGroup_I	ACCUM 63
Metal	CarriagesGroup_II	ACCUM 36
Metal	CarriagesGroup_III	ACCUM 27
Metal	CarriagesGroup_IV	ACCUM 63

Output	Destination	Rule	Move Logic
Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	EXIT	FRST 1	
Metal	EXIT	FRST 1	
Metal	EXIT	FRST 1	
Metal	EXIT	FRST 1	

Рис. 6. Визначення операційної логіки моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Fig. 6. Definition of operational logic of model «7 – 4 – 3 – 7»

Перший рядок таблиці вікна Process визначає дії, які виконуються з елементом обслуговування Metal у контрольній точці WarehouseArea_1. Дані у стовпчику Operation відсутні, тобто ніяких додаткових дій у контрольній точці WarehouseArea_1 з елементом обслуговування Metal не відбувається. Цьому рядку таблиці вікна Process у таблиці вікна Routing відповідають два рядки, у яких вказано, що після виконання операцій з елементом обслуговування Metal у контрольній точці WarehouseArea_1 з неї виходять елементи обслуговування Metal, що слідує до контрольних точок CarriagesGroup_I та CarriagesGroup_II, випадковим порядком (RANDOM) із краном № 1 після його звільнення (MOVE WITH Crane_1 THEN FREE).

Рядки з другого по шостий вікна Process та відповідні рядки вікна Routing заповнюємо вищевказаним порядком відповідно до схеми переміщення вантажних місць.

Визначення мережного шляху. Для визначення шляхів руху елементів обслуговування та ресурсів між контрольними точками моделі використовують мережні шляхи (Path Networks). Рух між точками мережного шляху може визначатися тривалістю чи швидкістю та відстанню між ними.

Схема мережі моделі, виконаної в середо-

вищі Service Model, наведена на рис. 7.

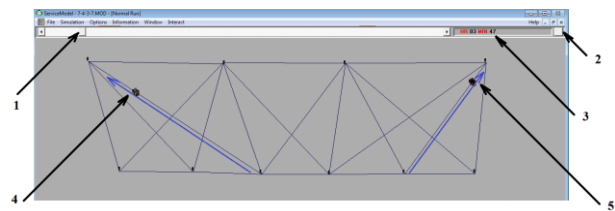


Рис. 7. Схема мережі імітаційної моделі:

- 1 – повзунок управління швидкістю моделювання;
- 2 – кнопка управління масштабом відображення часу;
- 3 – поточний час моделювання; 4 – переміщення ресурсу Crane_1 з елементом обслуговування Metal від контрольної точки Warehouse-Area_3 до контрольної точки CarriagesGroup_I мережним шляхом Net;
- 5 – переміщення ресурсу Crane_2 з елементом обслуговування Metal від контрольної точки Warehouse-Area_5 до контрольної точки CarriagesGroup_IV мережним шляхом Net

Fig. 7. Network diagram of the simulation model:
1 – slider of simulation speed control; 2 – control button of the time display scale; 3 – current simulation time; 4 – moving the Crane_1 resource with the Metal service element from the Warehouse-Area_3 control point to the CarriagesGroup_I control point via the Net network path; 5 – moving the Crane_2 resource with a Metal service element from the Warehouse-Area_5 control point to the CarriagesGroup_IV control point via the Net network path

Поточний час моделювання (у встановленому форматі) виводиться у верхньому рядку вікна моделі. Формат представлення часу можна

МАШИНОБУДУВАННЯ

змінювати: пришвидшити чи уповільнити процес моделювання.

Процес моделювання в нашому випадку триває 24 год.. Після моделювання система запитає про необхідність виведення результатів на екран.

Складання варіантів моделей. Для визначення оптимального варіанта обслуговування ділянки відвантаження мостовими кранами приймаємо до моделювання ще дві схеми роботи кранів:

1. Схема «9 – 1 – 1 – 10».

За такої схеми кран № 146 завантажує метал у групу з 11 вагонів (9+2), а кран № 126 – у групу з 12 вагонів (2+10). Тобто два вагони за такої схеми зможуть завантажуватися двома кранами (рис. 8).

2. Схема «3 – 8 – 7 – 3».

За такої схеми обидва крани завантажують метал у групи з 18 вагонів (3+15 або 15+3). Групу з 15 вагонів завантажують два крана (рис. 9).

Схема обслуговування вантажного фронту мостовими кранами 9 - 1 - 1 - 10



Кран 1 обслуговує $9+(1+1) = 11$ вагонів

Кран 2 обслуговує $(1+1)+10 = 12$ вагонів

Рис. 8. Схема моделі обслуговування вантажного фронту мостовими кранами «9 – 1 – 1 – 10»

Fig. 8. Scheme of servicing the model of freight point with bridge cranes «9 – 1 – 1 – 10»

Схема обслуговування вантажного фронту мостовими кранами 3 - 8 - 7 - 3



Кран 1 обслуговує $3+(8+7) = 18$ вагонів

Кран 2 обслуговує $(8+7)+3 = 18$ вагонів

Рис. 9. Схема моделі обслуговування вантажного фронту мостовими кранами «3 – 8 – 7 – 3»

Fig. 9. Scheme of servicing the freight point with bridge cranes «3 – 8 – 7 – 3»

Створюємо нові моделі з ім'ям «9 – 1 – 1 – 10» і «3 – 8 – 7 – 3».

Елементом обслуговування є Metal з такими самими характеристиками. Контрольні точки проектних моделей показані на рис. 10, 11.

Потоки прибуття розроблених моделей залишаються ідентичними з базовою моделлю.

В операційній логіці розроблених моделей змінюється кількість вантажних місць, що не-

обхідно акумулювати в кожній групі вагонів.

Динамічні ресурси Crane_1 і Crane_2 створюємо без корегувань, адже в роботі кранів у моделях, які розроблюємо, змін не відбувається. В аналізованих моделях мережний шлях залишається аналогічним з базовою моделлю, однак редагуємо відстані між вузлами відповідно до фактичних відстаней.

МАШИНОБУДУВАННЯ

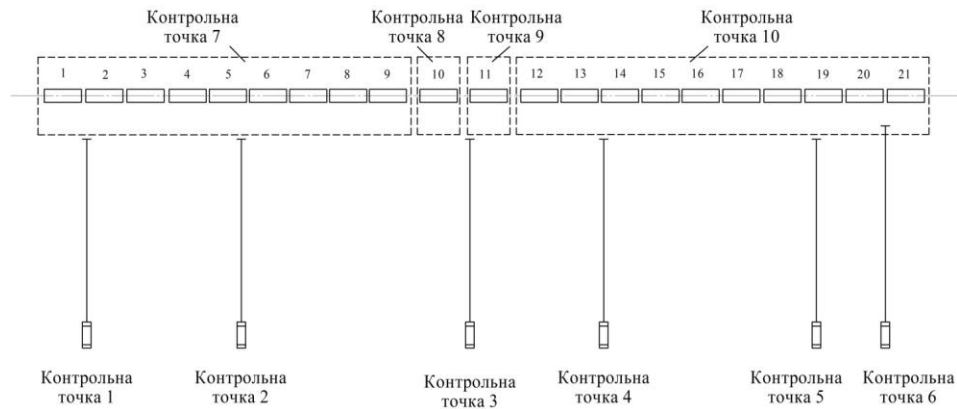
Визначення контрольних точок для моделі
обслуговування вантажного фронту 9 - 1 - 1 - 10

Рис. 10. Схема розташування контрольних точок моделі «9 – 1 – 1 – 10»

Fig. 10. Layout of control points of the model «9 – 1 – 1 – 10»

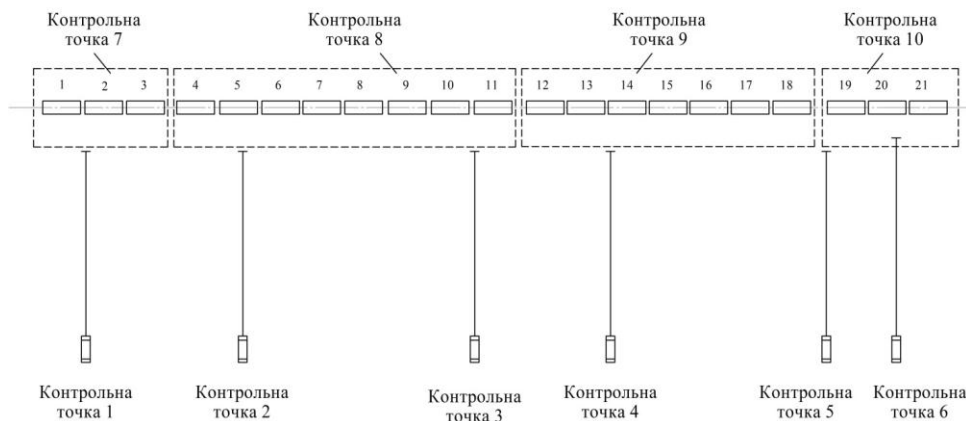
Визначення контрольних точок для моделі
обслуговування вантажного фронту 3 - 8 - 7 - 3

Рис. 11. Схема розташування контрольних точок моделі «3 – 8 – 7 – 3»

Fig. 11. Layout of control points of the model «3 – 8 – 7 – 3»

Отримані результати моделювання за різними параметрами залежно від зон роботи кранів наведені в табл. 1 та 2.

Таким чином, розроблена методика дозволяє знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в теоретичному дослідженні та вдосконаленні моделей роботи транспортно-складського комплексу

металургійного підприємства за рахунок раціонального закріплення кранів до зон розташування транспортних засобів, які навантажують.

Практична цінність полягає в підвищенні ефективності роботи транспортно-складського комплексу за рахунок скорочення часу перебування вагонів у системі в разі раціонального використання навантажувальних ресурсів.

Таблиця 1
Аналіз результатів використання
мостових кранів

Table 1
Analysis of bridge crane use results

Ім'я ресурсу	Кількість переміщених елементів обслуговування	Середній час переміщення елементів обслуговування, хв	Відсоток часу, %	
			перебування елемента обслуговування	простотою
Моделювання «7 – 4 – 3 – 7»				
Crane 1	139	372	56,63	43,37
Crane 2	125	352	48,41	51,59
Моделювання «9 – 1 – 1 – 10»				
Crane 1	139	365	54,50	45,40
Crane 2	125	501	72,84	27,16
Моделювання «3 – 8 – 7 – 3»				
Crane 1	139	289	44,47	55,53
Crane 2	125	301	39,99	70,01

Висновки

У ході виконаних досліджень отримано такі результати:

– розроблено імітаційну модель роботи лінійного фронту навантаження вагонів мостовими кранами, яка дозволяє аналізувати показники ефективності різних варіантів закріплення

навантажувальних засобів за зонами обслуговування;

на основі імітаційної моделі розроблено процедуру визначення найбільш ефективного управління роботою вантажного фронту;

– розроблено методику, яка пройшла апробацію на складі готової продукції металургійного підприємства. Апробація підтвердила, що застосування цієї методики дозволяє знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату.

Таблиця 2

Поопераційний аналіз часу просування
вантажопотоку металопрокату

Table 2
Operation analysis of the moving time of rolled
metal freight traffic volume

Середній час, хв			Відсоток часу, %	
перебування елемента Metal у моделі	перебування елемента Metal у стані руху	очікування елемента Metal на подачу крана	перебування елемента Metal у стані руху	очікування елемента Metal на подачу крана
Моделювання «7 – 4 – 3 – 7»				
509,52	235,72	273,80	46,26	53,74
Моделювання «9 – 1 – 1 – 10»				
540,98	228,49	312,48	42,24	57,76
Моделювання «3 – 8 – 7 – 3»				
330,99	147,88	163,11	44,68	55,32

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маслак, А. В. Анализ эксплуатационных показателей и пути повышения эффективности транспортного обслуживания прокатных цехов металлургических предприятий / А. В. Маслак, Г. А. Линник // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Сер. Техн. науки. – 2016. – Вип. 32. – С. 215–221.
2. Маслак, А. В. К вопросу обеспечения эффективного функционирования транспортно-грузовых комплексов металлургических предприятий / А. В. Маслак // Захист металургійних машин від поломок : зб. наукових праць ПДТУ. – Маріуполь, 2011. – Вип. 13. – С. 85–89.
3. Маслак, А. В. Методика организации взаимодействия прокатных цехов и транспорта при отгрузке продукции железнодорожным транспортом / А. В. Маслак // Университетская наука, 2010 : в 3 т. : тез.

МАШИНОБУДУВАННЯ

- докл. междунар. науч.-техн. конф. ПГТУ (Мариуполь, 18-20 мая 2010 г.). – Мариуполь, 2010. – Т. 3. – С. 148–149.
4. Парунакян, В. Э. Идентификация процессных характеристик логистической цепи в транспортно-грузовом комплексе отгрузки металлопродукции. Ч. 1 / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак, Е. И. Сизова // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць ПДТУ. – Мариуполь, 2007. – Вип. 17. – С. 198–203.
 5. Парунакян, В. Э. Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения металлургических предприятий / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць ПДТУ. – Мариуполь, 2017. – Вип. 35. – С. 237–244.
 6. Дослідження мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійного підприємства / С. М. Турпак, Л. О. Васильєва, О. О. Падченко, Г. О. Лебідь // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Технічні науки. – Київ, 2018. – Т. 29 (68). – № 4. – Ч. 2. – С. 156–162.
 7. Турпак, С. М. Удосконалення логістики доставки металопродукції оптимальним формуванням вагонних відправлень / С. М. Турпак, С. В. Грицай, Л. О. Васильєва // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2014. – № 2. – С. 131–137.
 8. Шраменко, Н. Ю. Вплив технологічних параметрів процесу функціонування транспортно-складського комплексу на собівартість переробки вантажу / Н. Ю. Шраменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2015. – Вип. 5/3 (77). – С. 43–47. doi: 10.15587/17294061.2015.51396
 9. Шраменко, Н. Ю. Методологія оцінювання синергетичного ефекту при термінальній системі доставки вантажів / Н. Ю. Шраменко / Актуал. пробл. екон. : наук. економ. журнал. – 2016. – № 8 (182). – С. 439–444.
 10. Shramenko, N. Y. Evaluation of the effectiveness of piggyback traffic in the context of creating transport and logistics clusters / N. Y. Shramenko // Науковий вісник НГУ. – 2017. – № 6. – С. 151–155.
 11. Shramenko, N. The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport / N. Shramenko, D. Muzylyov, M. Karnaukh / International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, No. 4.3. – P. 211–216. doi:10.14419/ijet.v7i4.3.19789
 12. Shramenko, N. Y. Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport / N. Y. Shramenko, V. O. Shramenko // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2018. – Vol. 5, No. 167, P. 136–141. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15
 13. Shramenko, N. Y. The methodological aspect of the study feasibility of intermodal technology of cargo delivery in international traffic / N. Y. Shramenko // Naukovyi Visnyk NHU. – 2017. – Vol. 4 (160), P. 145–150. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15

С. Н. ТУРПАК^{1*}, Л. О. ВАСИЛЬЄВА^{2*}, Е. А. ПАДЧЕНКО^{3*}, А. А. ЛЕБЕДЬ^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортные технологии», Национальный университет «Запорожская политехника», ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69061, тел. +38 (067) 981 71 18, эл. почта sergeyturpak@gmail.com, ORCID 0000-0003-3200-8448

^{2*}Каф. «Транспортные технологии», Национальный университет «Запорожская политехника», ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69061, тел. +38 (067) 800 96 14, эл. почта larisatt@ukr.net, ORCID 0000-0002-4029-3851

^{3*}Каф. «Транспортные технологии», Национальный университет «Запорожская политехника», ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69061, тел. +38 (097) 355 94 13, эл. почта padchenkolena@ukr.net, ORCID 0000-0002-5262-2755

^{4*}Каф. «Транспортные технологии», Национальный университет «Запорожская политехника», ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69061, тел. +38 (096) 671 83 73, эл. почта leanna11@ukr.net, ORCID 0000-0001-5005-2923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПУНКТОВ ПОГРУЗКИ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ РАЦИОНАЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Цель. Учитывая необходимость усовершенствования транспортно-складских процессов погрузки железнодорожных вагонов мостовыми кранами, целью исследования мы ставим анализ фактических зон работы кранов, разработку имитационных моделей их функционирования и определение наиболее эффективной технологии нагрузки. Реальный объект исследования – склад готовой продукции металлургического пред-

МАШИНОБУДУВАННЯ

прияття, – формалізований у вигляді лінійного фронту погрузки. **Методика.** Для аналізу роботи досліджуваного об'єкта по різним варіантам робочих зон кранів використаний метод імітаційного моделювання. Передбачено, що кожен мостовий кран може завантажувати залізничні вагони, що знаходяться в різних зонах погрузочного шляху. Розглянуті ситуації, коли крани в ході виконання вантажних операцій знаходяться на одному підкрановому шляху, і зона обслуговування вагонів частково збігається. При таких умовах крани можуть заважати один одному, що ускладнює виконання транспортно-технологічного процесу відвантаження. **Результати.** Розроблена імітаційна модель, в якій елементи обслуговування, являючись окремими вантажними місцями, переміщуються по визначених маршрутах. Грузопотоки задаються за визначеними законами розподілу випадкової величини, яка враховує стохастичний характер реальних транспортних процесів. Розроблена модель роботи лінійного фронту погрузки вагонів мостовими кранами дозволяє аналізувати показники ефективності різних варіантів закріплення погрузочних засобів за зонами обслуговування. Виконано аналіз таких показників, як: середнє час переміщення елементів обслуговування, частота простою і роботи кранів, витрати часу на окремі операції переміщення вантажопотоку. На основі імітаційної моделі розроблено процедуру визначення найбільш ефективного стратегії управління роботою вантажного фронту. Апробована на складі готової продукції металургічного підприємства методика дозволяє знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату. **Наукова новизна.** Новим в нашій роботі є теоретичне дослідження і удосконалення моделей роботи транспортно-складського комплексу металургічного підприємства з урахуванням раціонального закріплення кранів за зонами розташування вантажних засобів. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють підвищити ефективність роботи транспортно-складського комплексу за рахунок скорочення часу перебування вагонів в системі при раціональному використанні погрузочних ресурсів.

Ключові слова: металопродукція; мостовий кран; пункт погрузки; імітаційне моделювання

S. M. TURPAK^{1*}, L. O. VASYLIEVA^{2*}, O. O. PADCHENKO^{3*}, H. O. LEBID^{4*}

^{1*}Dep. «Transport Technology», Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zhukovskoho St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69061, tel. +38 (067) 981 71 18, e-mail sergeyturpak@gmail.com, ORCID 0000-0003-3200-8448

^{2*}Dep. «Transport Technology», Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zhukovskoho St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69061, tel. +38 (067) 800 96 14, e-mail larisatt@ukr.net, ORCID 0000-0002-4029-3851

^{3*}Dep. «Transport Technology», Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zhukovskoho St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69061, tel. +38 (097) 355 94 13, e-mail padchenkolena@ukr.net, ORCID 0000-0002-5262-2755

^{4*}Dep. «Transport Technology», Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zhukovskoho St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69061, tel. +38 (096) 671 83 73, e-mail leanna11@ukr.net, ORCID 0000-0001-5005-2923

INCREASING OPERATION EFFECTIVITY OF METAL PRODUCTS LOADING POINTS BY THE RATIONAL USE OF BRIDGE CRANES

Purpose. Taking into account research and improvement of transport and storage processes for loading railway cars with bridge cranes the purpose of the study is the analysis of actual crane operation zones, development of simulation models of their functioning and determination of the most effective load technology. The real object of the study — the finished goods warehouse of a metallurgical enterprise — is formalized as a linear load point. **Methodology.** To analyse various options for the crane operation zones of the investigated object, the simulation modelling method was used. It was taken into account that each bridge crane can load railway cars, which are located in different zones of the loading track. Situations when the cranes are on the same crane ways during cargo operations and the service area of cars partially coincides were considered. Under such conditions, cranes can interfere with each other; it makes it difficult to carry out the transport-technological process of loading. **Findings.** A simulation model in which the service elements, which are the individual cargo packages, move along certain routes has been developed. Freight traffic volumes are set according to certain laws of random value distribution, taking into account the stochastic nature of real transport processes. A model of the linear loading point of railway cars with bridge cranes has been developed. It allows us to analyse the performance indicators of various options for assigning service areas to loading facilities. The analysis of such indicators as an average transporting time of service elements, a time percentage of cranes work and idle, time for separate movement operations of freight traffic volume is performed. Based on the developed model, a procedure has been developed to determine the most effective strategy for managing the loading point operation. The methodology, which has been tested on the example of a finished

МАШИНОБУДУВАННЯ

product warehouse of a metallurgical enterprise, and allows reducing the total costs in the process of rolled metal products loading has been developed. **Originality.** Theoretical research and improvement of the operation models of the metallurgical enterprise's transport and storage complex due to the rational assignment of vehicle loading areas to the cranes. **Practical value.** The results obtained make it possible to increase the efficiency of the transport and storage complex by reducing the time spent by railway cars in the system with the rational use of loading resources.

Keywords: metal products; bridge crane; loading point; simulation modelling

REFERENCES

1. Maslak, A. V., & Linnik, G. A. (2016). Analiz ekspluatatsionnykh pokazateley i puti povysheniya effektivnosti transportno-go obsluzhivaniya prokatnykh tsekhov metallurgicheskikh predpriyatiy. *Bulletin of the Azov State Technical University. Technical science series*, 32, 215-221. (in Russian)
2. Maslak, A. V. (2011). K voprosu obespecheniya effektivnogo funktsionirovaniya transportno-gruzovykh kompleksov metallurgicheskikh predpriyatiy. *Zakhyst metalurghijnykh mashyn vid polomok*: Proceedings Scientific publication, *Priazovskiy sovereign technical university*, 13, 85-89. (in Russian)
3. Maslak, A. V. (2010). Metodika organizatsii vzaimodeystviya prokatnykh tsekhov i transporta pri otgruzke produktsii zheleznodorozhnym transportom. *Universitetskaya nauka. Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 18-20 maya 2010, Mariupol, 2010*, 148-149. (in Russian)
4. Parunakyan, V. E., Maslak, A. V., & , Sizova, Ye. I. (2007). Identifikatsiya protsessnykh kharakteristik logisticheskoy tsepi v transportno-gruzovom komplekse otgruzki metalloproduktsii. Ch. 1. *Bulletin of the Azov State Technical University: Proceedings Scientific publication, Priazovskiy sovereign technical university, Mariupol, 17*, 198-203. (in Russian)
5. Parunakyan, V. E., & Maslak A. V. (2017) Povyshenie effektivnosti vzaimodeystviya proizvodstva i transporta v protsesse materialodvizheniya metallurgicheskikh predpriyatiy. *Bulletin of the Azov State Technical University: Proceedings Scientific publication, Priazovskiy sovereign technical university, Mariupol, 35*, 237-244. (in Russian)
6. Turpak, S. M., Vasylyjeva, L. O., Padchenko, O. O., & Lebidj, Gh. O. (2018). Doslidzhennja mikrologhistynoji systemy vidvantazhennja ghotovoji produkciji metalurghijnogho pidpryjemstva. *General notes of the national national university imeni V. I. Vernadskogo. Serya: Technical sciences, Tom 29(68), 4*, 156-162. (in Ukrainian)
7. Turpak S. M., Ghrycaj, S. V., & Vasylyjeva, L. O. (2014). Udoskonalennja loghistryky dostavky metaloprodukciji optymalnym formuvannjam vaghonnykh vidpravlenj. *New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 2, 131-137. (in Ukrainian)
8. Shramenko, N. Ju. (2015) Vplyv tekhnologichnykh parametriv procesu funkcionuvannja transportno-skladsjkogho kompleksu na sobivartistj pererobky vantazhu. *East European Journal of Advanced Technology*, 5/3(77), 43-47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51396 (in Ukrainian)
9. Shramenko, N. Ju. (2016). Metodologhija ocinjuvannja synerghetychnogho efektu pry terminaljnij systemi dostavky vantazhiv. *Aktualni problemy ekonomiky: naukovy ekonomichnyi zhurnal*, 8(182), 439-444. (in Ukrainian)
10. Shramenko, N. Y. (2017). Evaluation of the effectiveness of piggyback traffic in the context of creating transport and logistics clusters. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6(162), 151-155. (in English)
11. Shramenko, N., Muzylyov, D., & Karnaukh, M. (2018). The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.3), 211-216. doi:10.14419/ijet.v7i4.3.19789 (in English)
12. Shramenko, N.Y. & Shramenko, V.O. (2018). Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 5(167), 136-141. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15 (in English)
13. Shramenko, N. Y. (2017). The methodological aspect of the study feasibility of intermodal technology of cargo delivery in international traffic. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 4(160), 145-150. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15 (in English)

Надійшла до редколегії: 01.08.2019

Прийнята до друку: 20.11.2019