

УДК 656.2

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/30>**Турпак С.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

Васильєва Л.О.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Харченко Т.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Веремеско Л.А.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Гришко В.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ВИЗНАЧЕННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ РУХУ

Розглянуто питання вибору раціональних розмірів руху під час організації доставки вантажів в умовах взаємодії порту з підприємствами. Найбільшу частку в обсягах вантажопереробки портів займають вантажі, які перевозяться навалом та насипом (понад 90%). Для їх доставки широко використовується залізничний транспорт та відкритий рухомий склад. Збільшення ринку операторських послуг в Україні викликає необхідність наукових досліджень із урахуванням додаткових факторів. На відміну від використання вагонів загального парку залізниць, підприємствам необхідно визначати раціональний парк власних вагонів, які використовуються під певні перевезення.

Для дослідження транспортних процесів у складних та великих системах за наявності значної кількості стохастичних параметрів доцільно використовувати метод імітаційного моделювання.

Метою статті є дослідження процесів взаємодії транспортних систем річкового порту та промислового підприємства й підвищення ефективності роботи транспорту за рахунок визначення раціональних розмірів руху залізничного транспорту.

З огляду на реальний об'єкт дослідження виділено систему, яка складається з підсистем причалу річкового порту, залізничних колій, вантажного пункту промислового підприємства. Як незмінні вхідні параметри моделі прийнято інтенсивність надходження суден у порт, каргодедвейт суден, продуктивність роботи кранів, тривалість вантажних та інших операцій з одним вагоном, місткість вагона, кількість составів, місткість грейферного захвату, ємність складу зберігання. Змінними параметрами є кількість вагонів у составі, тривалість обороту, яка залежить від кількості вагонів у составі. Логіка роботи моделі передбачає прямий варіант перевантаження вантажу за схемою «судно-вагон» за наявності вагонів біля причальної лінії, вивантаження з судна на склад за їх відсутності та подальше навантаженням зі складу у вагони.

У процесі експерименту проаналізовано реальний об'єкт дослідження та побудовано концептуальну та імітаційну комп'ютерну моделі функціонування системи. Виконані експериментальні дослідження на розробленій моделі, отримані основні технічні показники: тривалість роботи кранів, час роботи локомотивів та час використання вагонів. Проведено економічний аналіз показників функціонування транспорту та сформовані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів руху.

Ключові слова: річковий порт, залізничний транспорт, імітаційна модель, вагон, розмір руху.

Постановка проблеми. Дослідження транспортної системи річкового (морського) порту зазвичай обмежуються його підсистемами та елементами з урахуванням зв'язків з іншими системами та зовнішнім середовищем. Але певні процеси

взаємодії порту з системами інших підприємств достатньо глибокі та потребують дослідження на більш високому рівні деталізації. Зокрема, не вирішеним є питання вибору раціональних розмірів руху під час організації доставки вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками спостерігається стійка тенденція збільшення обсягів перевезень вантажів за участю водного транспорту як в Україні, так і в інших європейських країнах [1, с. 64–65]. Реалізація нових інвестиційних програм у розвиток цього виду транспорту потребує удосконалення процесів взаємодії портів та підприємств, які вони обслуговують. Найбільшу частку в обсягах вантажопереробки портів займають вантажі, які перевозяться навалом та насипом (понад 90%). Для їх доставки широко використовується залізничний транспорт та відкритий рухомий склад [2, с. 73]. Також слід відмітити збільшення ринку операторських послуг в Україні, що викликає необхідність наукових досліджень із урахуванням додаткових факторів. На відміну від використання вагонів загального парку залізниць, підприємствам необхідно визначити раціональний парк власних вагонів, які використовуються під певні перевезення.

Крім того, Україна прийняла на себе зобов'язання щодо реалізації Директив Європейського Союзу для забезпечення недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури незалежних перевізників. Це також підвищує актуальність наукових досліджень у сфері організації перевезень, зокрема, у портах та під час обслуговування під'їзних колій підприємств [3, с. 8–9; 4, с. 72–74; 5, с. 19–21; 6, с. 80], транспортних вузлів тощо [7, с. 119–121].

Для дослідження транспортних процесів у складних та великих системах за наявності значної кількості стохастичних параметрів доцільно використовувати метод імітаційного моделювання [8, с. 122–123].

Під час використання методів імітаційного моделювання певні параметри доцільно задавати генерацією випадкової величини за визначеним законом розподілу, використовувати прогнозні моделі [9, с. 34–37], регресійні залежності тощо [10, с. 40–42; 11, с. 194–196; 12, с. 305–306]. Важливим моментом є визначення концептуальної моделі роботи системи [13, с. 163–164].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження процесів взаємодії транспортних систем річкового порту та промислового підприємства та підвищення ефективності роботи транспорту шляхом визначення раціональних розмірів руху залізничного транспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– розробити концептуальну модель транспортних систем річкового порту та промислового підприємства, які взаємодіють;

– розробити імітаційну модель роботи транспортних систем;

– виконати експериментальні дослідження на розробленій моделі;

– провести економічний аналіз показників функціонування транспорту та сформулювати рекомендації щодо вибору раціональних параметрів руху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як реальний об'єкт дослідження розглядається система доставки вапняку річковим та залізничним транспортом з порту до металургійного підприємства.

З огляду на реальний об'єкт дослідження виділено систему, яка складається з підсистем:

– причалу річкового порту, де здійснюється вивантаження з суден на склад (або у вагони);

– залізничних колій, по яких здійснюється рух вагонів;

– вантажного пункту промислового підприємства, де здійснюється вивантаження.

Елементами системи є судна, причальна лінія, колії порту, перевантажувальні машини, вагони, локомотиви.

Як незмінні вхідні параметри моделі прийнято:

– інтенсивність надходження суден у порт;

– каргодедвейт суден;

– продуктивність роботи кранів;

– тривалість вантажних та інших операцій з одним вагоном;

– місткість вагона;

– кількість составів;

– місткість грейферного захвату;

– ємність складу зберігання.

Змінними параметрами є:

– кількість вагонів у составі, який обертається між портом та підприємством-одержувачем;

– тривалість обороту, яка залежить від кількості вагонів у составі.

Показниками роботи моделі є тривалість роботи кранів, час роботи локомотивів та використання вагонів.

Цільову функцію можна представити у вигляді:

$$z = f(C_{кр}, C_{ваг}, C_{лок}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

або

$$z = f[C_{кр}(c_{кр}, t_{кр}), C_{ваг}(c_{ваг}, n_{ваг}), C_{лок}(c_{лок}, t_{лок})] \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $C_{кр}, C_{ваг}, C_{лок}$ – загальні витрати відповідно на оплату роботи кранів, оренду (утри-

мання) вагонів за період роботи, оплату роботи локомотивів, грн;

$C_{кр}$ – вартість однієї крано-години, грн;

$C_{ваг}$ – вартість оренди (утримання) одного вагону за період роботи, грн;

$c_{лок}$ – вартість однієї локомотиво-години, грн;

$t_{кр}$ – кількість годин роботи кранів за період роботи, год.;

$n_{ваг}$ – кількість вагонів, задіяних у процесі роботи за розглянутий період, од.;

$t_{лок}$ – кількість годин використання локомотивів за період роботи, год.

Логіка роботи моделі передбачає прямий варіант перевантаження вантажу за схемою «судно-вагон» за наявності вагонів біля причальної лінії, вивантаження з судна на склад за їх відсутності та подальшим навантаженням зі складу у вагони. Прийнято використання для перевезень власних вантажних вагонів.

Усі вихідні параметри у моделі є детермінованими та визначеними наперед. Концептуальна модель проведення експерименту зображена на рис. 1.

Імітаційне моделювання можна виконати в програмному середовищі Енілджик. Загальний вигляд комп'ютерної моделі показано на рис. 2.

До складу комп'ютерної моделі входить 23 блоки.

Блок “Source” створює заявки, використовується як початкова точка їх потоку. Моделює прибуття суховантажних суден, які надходять до порту згідно з графіком, дотримуючись інтервалу – один раз на тиждень. Заявкою прийнято масу вантажу, яку вміщує грейферний захват у разі його перевантаження. Кількість грейферів в одному судні складає 1428 од., тобто ця кількість заявок генерується одночасно.

Група заявок потрапляє до мережі пунктів, які їх обслуговують. Першим з них є блок “Queue”, який моделює залишок вантажу.

Аналогічні блоки “queue3” та “queue4” імітують накопичення вантажу на складі порту з фіксацією обсягів, які зберігаються на ньому більш 4 діб (термін, понад який нараховується плата за зберігання).

Блок “Batch” перетворює задану кількість заявок, що надходять у блок, в одну заявку-партию, яка відповідає кількості грейферів в одному вагоні.

Кількість грейферів вантажу у складі можна визначити як:

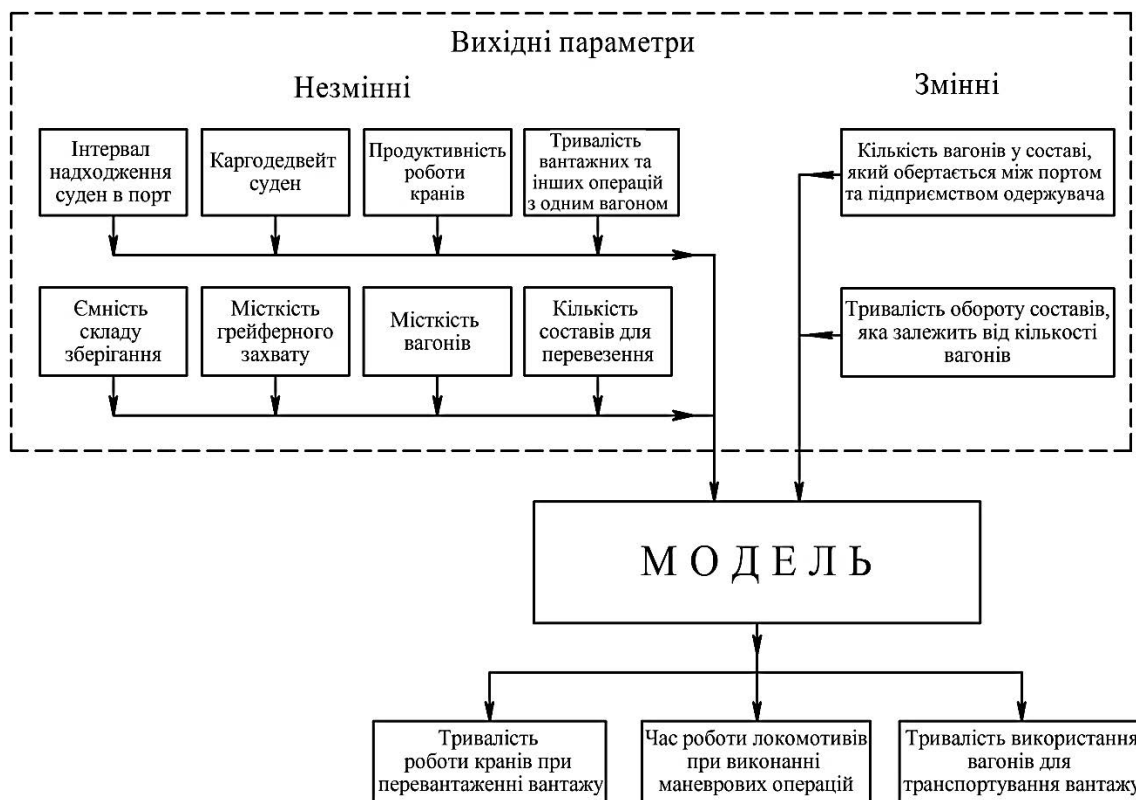


Рис. 1. Концептуальна модель проведення експерименту

$$N_{\text{сос}}^{\text{гр}} = N_{\text{сос}}^{\text{ваг}} \cdot N_{\text{ваг}}^{\text{гр}}, \quad (1)$$

де $N_{\text{сос}}^{\text{ваг}}$ – кількість вагонів у составі, од.;

$N_{\text{ваг}}^{\text{гр}}$ – кількість грейферів вантажу у вагоні, од.

Розрахунки кількості грейферів з вантажем для завантаження різної кількості вагонів у составі наведені в табл. 1.

Блок “Delay” регулює та утримує певний час заявки, що відповідає повному циклу руху вагонів, починаючи з портової стації до підприємства-одержувача. Імітація схеми руху вагонів з порту на підприємство показана на рис. 3.

Час руху вагонів змінюється відповідно до кількості вагонів у составі (табл. 2).

Моделювання проводимо із збільшенням вагонів у составі за принципом: $N_{\text{сос}}^{\text{ваг}} = N_i^{\text{ваг}} = 5 \cdot n$, де $i = 1 \dots n$; $n = 1 \dots 6$.

Результати моделювання наведені в табл. 3.

Варіанти із зберіганням вантажу на складі (за кількості вагонів у составі до 10 од.) виключаємо з подальших розрахунків і виконуємо моделювання зі зміною параметру кількості вагонів у составі з більш щільним шагом: $N_{\text{сос}}^{\text{ваг}} = N_i^{\text{ваг}} = n$, де $i = 1 \dots n$; $n = 15 \dots 30$. На основі отриманих технічних показників за виразом (2) визначаються загальні економічні витрати (рис 4).

За результатами розрахунків доцільно прийняти кількість вагонів у составі – 21 од. При цьому основні технічні показники становлять:

- коефіцієнт використання крану 0,161;
- річний час роботи крану 1411 год.;
- кількість перевезених составів за рік – 192 од.

Висновки. Виконано дослідження процесів взаємодії транспортних систем річкового порту та промислового підприємства. Шляхом визначення раціональних розмірів руху залізничного транспорту підвищено ефективність роботи транспорту.

У процесі досліджень отримано наступні результати.

1. Проаналізовано реальний об’єкт дослідження та побудовано концептуальну модель функціонування системи, яка складається з підсистем причалу річкового порту, залізничних колій; вантажного пункту промислового підприємства.

2. Виконані експериментальні дослідження на розробленій моделі, отримані основні технічні показники: тривалість роботи кранів, час роботи локомотивів та використання вагонів.

3. Проведено економічний аналіз показників функціонування транспорту та сформовані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів руху.

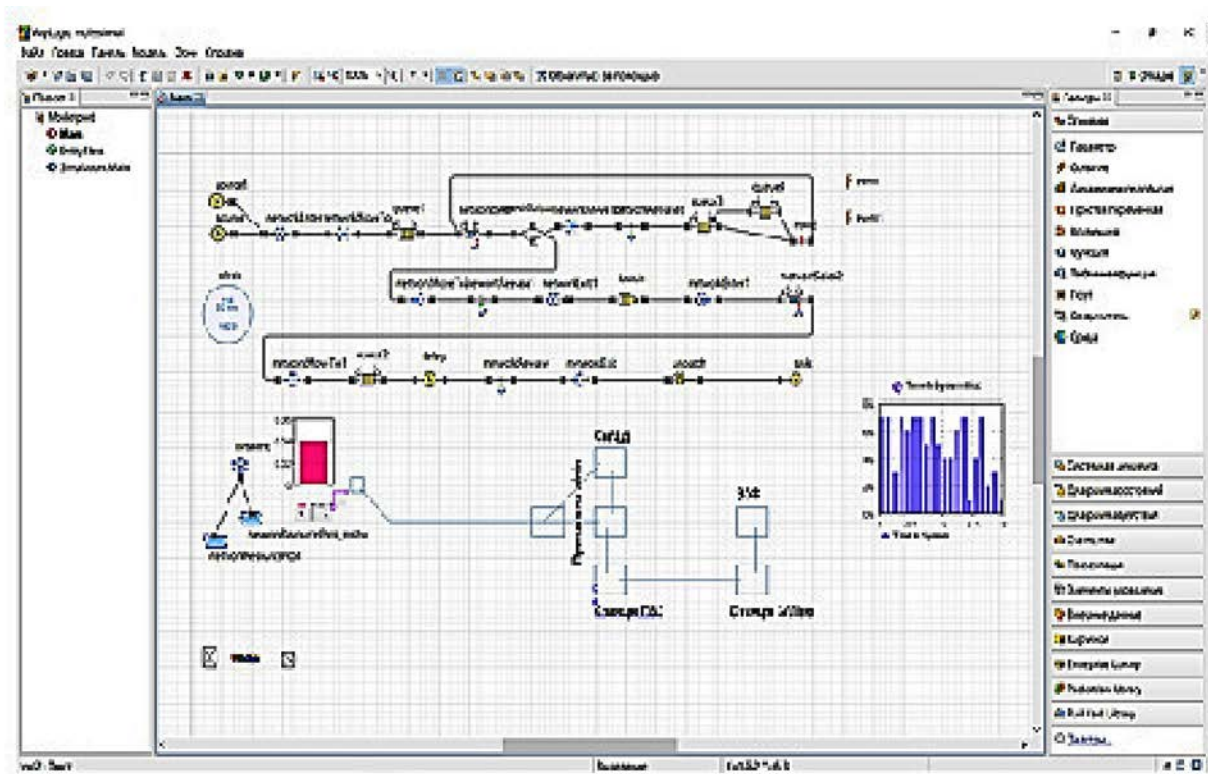


Рис. 2. Загальний вигляд комп’ютерної моделі

Таблиця 1

Кількість грейферів вантажу в складі

Кількість грейферів вантажу для певного складу состава	Кількість вагонів у складі, од.					
	5	10	15	20	25	30
Загальна кількість грейферів, од.	170	340	510	680	850	1020

Таблиця 2

Час руху вагонів залежно від їх кількості у складі

Час руху для певного складу состава	Кількість вагонів у складі, од.					
	5	10	15	20	25	30
Час руху составу, хв.	3030	3000	2970	2940	2910	2880

Таблиця 3

Результати першого етапу моделювання

Кількість вагонів у складі, од.	Коефіцієнт використання крану	Кількість вантажу на складі при зберіганні понад 4 діб, т	Час використання крану, год./рік	Кількість составів, од./рік
5	0,241	1313,94	2112	450
10	0,27	39,82	2365	349
15	0,229	0	2006	268
20	0,202	0	1743	201
25	0,181	0	1568	161
30	0,165	0	1419	134

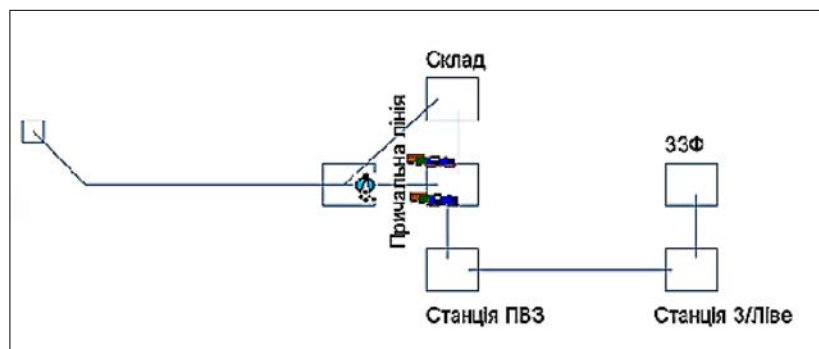


Рис. 3. Схема транспортної мережі в комп'ютерній моделі

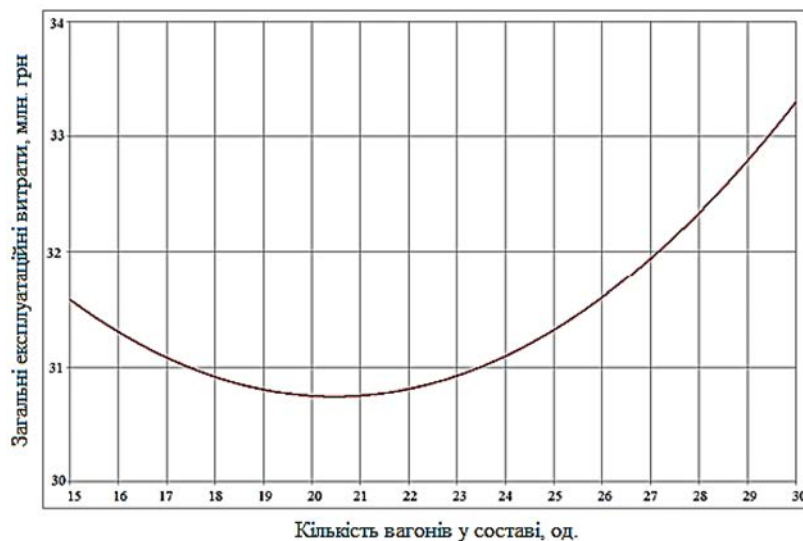


Рис. 4. Аналіз економічних показників

За результатами виконаних експериментів на імітаційній моделі та економічних розрахунків визначено оптимальний розмір руху з 21 вагоном у складах, для якого коефіцієнт використання крану становить 0,161, річний час роботи крану 1 411 год., кількість перевезених составів за рік – 192 од.

Список літератури:

1. Окорочков А.М., Вернигора Р.В., Цупров П.С. Річковий транспорт України: сучасний стан та перспективи використання. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. Вип. 12. С. 62–68.
2. Ломотько Д.В., Овчів М.Ж. Удосконалення технології роботи перевантажувальних залізничних вузлів із переважною переробкою навалочних вантажів. *Вісник економіки транспорту та промисловості*. 2017. № 58 (Додаток). С. 73–74.
3. Kozachenko D.M., Ochkasov O.B., Shepotenko A.P., Sannytsky N.M. 2017. Prospects of the private locomotives usage for goods traffic in the direction of sea ports. *Science and Transport Progress, Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. No. 6(72). P. 7–19.
4. Шаповал Г.В., Резниченко О.Ю. Вибір оптимальної стратегії взаємодії вантажної станції та під'їзних колій. *Зб. наук. пр. УкрДАЗТ*. 2014. Вип. 146. С. 71–75.
5. Бутько Т.В., Лаврухін О.В., Доценко Ю.В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону. *Зб. наук. праць. ДонІЗТ*. Донецьк : ДонІЗТ, 2010. Вип. 22. С. 18–26.
6. Бауліна Г.С., Захарова І.В. Удосконалення технології взаємодії вантажної станції та прилеглих під'їзних колій. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. № 58. С. 80–81.
7. Прокудін Г.С., Іщенко М.Г., Цуканов О.І., Прокудін О.Г. Теоретичні та прикладні аспекти раціональної організації вантажних перевезень у транспортних системах. *Вестник ХНАДУ*. 2013. Вип. 63. С. 117–122.
8. Турпак С.М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств : монографія. Херсон : Гринь Д.С., 2015. 264 с.
9. Gritcay S., Lashenyh A., Turpak S., Ostrohlyad E., Kharchenko T. The effect of methods of eliminating spikes in the time series of freight flows on their statistical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 1/3 (85). P. 33–39.
10. Lashenyh A., Turpak S., Gritcay S., Vasileva L., Ostrohlyad E. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. No. 5/3 (83). P. 40–46.
11. Музильов Д.О., Ницета А.П. Визначення основних параметрів технології доставки дорожньо-будівельних вантажів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. № 147. С. 193–199.
12. Шраменко Н.Ю. Оценка затрат по обслуживанию потребителей при оперативном планировании процесса поставки зерновых грузов. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 12, с. 302–309.
13. Turpak S., Taran I., Fomin O., Tretiak O. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. No. 1. P. 162–169.

Turpak S.M., Vasylieva L.O., Kharchenko T.V., Veremeyenko L.A., Hryshko V.V. INCREASING THE INTERACTION EFFICIENCY OF RAILWAY AND WATER TRANSPORT BY DETERMINING RATIONAL SIZES OF MOTION

The question of choosing the rational size of movement during the organization of cargo delivery in the conditions of interaction of the port with enterprises is considered. A significant share in port cargo handling volumes is bulk and loose cargoes (over 90%). Railway transport and open rolling stock are widely used for their delivery. The increase of the operator services market in Ukraine necessitates scientific research, taking into account additional factors. In contrast to the use of railway carriages in a common railway park, enterprises need to determine a rational railway park of their own carriages used for certain transportation. To research transport processes in complex and large systems, with a significant number of stochastic parameters, it is reasonable to use the method of simulation modeling. The goal of the article is to study the interaction processes of transport systems of a river port and an industrial enterprise and increase the efficiency of transport work by determining the rational size of railway traffic. Considering the real object of this research, a system consisting of the dock of the river port subsystems, railways, cargo point of an industrial enterprise has been identified. The constant input parameters of the model are the intensity of the vessels' arrival at the port, the cargo deadweight of ships, the performance of cranes, the duration of cargo and other operations with one railway carriage, the capacity of the carriage, the number of trains, the capacity of the grab of a grapple, and the

capacity of the storage warehouse. Variable parameters are the number of railway carriages in the train and the duration of their turnover. The logic of the model provides a direct option for cargo reloading according to the "ship-railway carriage" scheme in the presence of wagons near the mooring line, unloading from the vessel to the warehouse in their absence and further loading from the warehouse into the railway carriages. During the research, the real object of the study was analyzed and conceptual and simulation computer models of the system's functioning were built. Experimental studies were carried out on the developed model and the main technical indicators were obtained: the duration of the cranes work, the operating time of locomotives and the use of railway carriages. An economic analysis of the indicators of the functioning of transport is done and recommendations regarding the selection of rational traffic parameters are made.

Key words: river port, railway transport, simulation model, railway carriage, traffic size.