

УДК 656.621

А. М. ОКороков<sup>1\*</sup>, Р. В. Вернигора<sup>2\*</sup>, А. І. Кузьменко<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта andrew.okorokoff@gmail.com, ORCID 0000-0002-3111-5519

<sup>2\*</sup>Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 12, ел. пошта rv.vernigora@gmail.com, ORCID 0000-0001-7618-4617

<sup>3\*</sup>Каф. «Транспортні системи та технології», Університет митної справи та фінансів, вул. Володимира Вернадського, 2/4, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 745 55 96, ел. пошта alia1971@i.ua, ORCID 0000-0001-7278-3647

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТА РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ НА ПОРТОВОМУ ТЕРМІНАЛІ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Метою** дослідження є удосконалення технології взаємодії автомобільного та річкового транспорту на території порту. **Об'єктом** дослідження є процес взаємодії автомобільного та річкового транспорту на портовому терміналі; предметом дослідження – технологія обслуговування різних видів транспорту на території портового терміналу. **Методика дослідження** – імітаційне моделювання. **Результатом дослідження** є аналітична оцінка роботи внутрішнього водного транспорту з перевезення вантажів, яка свідчить про відсутність комплексного підходу щодо удосконалення взаємодії різних видів транспорту на території портового терміналу. Тому пропонується пошук раціональної технології на підставі методів імітаційного моделювання, яка дозволяє скоротити час невиробничих простоїв. Раціональна організація перевантаження з автомобільного на річковий транспорт та навпаки передбачає створення на вантажному терміналі такої системи регулювання руху, яка забезпечує збір і збереження оперативної інформації про місцезнаходження автомобілів на вантажних фронтах портового терміналу, стану навантажувально-розвантажувальних механізмів та дозволяє приймати рішення про їх використання і передачу команд водіям автомобілів з метою підвищення ефективності взаємодії автомобільного та річкового видів транспорту під час перевалки вантажів. Для оцінки запропонованої технології на основі імітаційного моделювання та методів теорії масового обслуговування розраховано час перевалки вантажу та простій автомобілів під розвантаженням. Визначення простою автомобілів при різних дисциплінах вибору вантажного фронту (випадковий або регульований режим) дало можливість обрати найбільш раціональну систему підведення автомобілів до вантажних фронтів портового терміналу. Очікувана економічна ефективність за рахунок скорочення часу перевалки вантажів з одного виду транспорту на інший становить 20,5 тис. EUR. **Наукова новизна** полягає у теоретичному обґрунтуванні регульованої технології взаємодії автомобільного та річкового транспорту на території портового терміналу. При цьому формалізовано та на основі імітаційного моделювання вирішено завдання щодо визначення найбільш раціональної системи регулювання підведення автомобілів до вантажних фронтів портового терміналу, на яких відбувається перевантаження у річкові судна. Впровадження такої технології дозволяє скоротити простій транспортних одиниць та більш раціонально використовувати навантажувально-розвантажувальні механізми, і відповідно скоротити собівартість процесу перевантаження. **Практична значимість:** запропонована технологія може бути впроваджена у технологічні процеси великих річкових портових терміналів, на яких відбувається взаємодія різних видів транспорту. Результати моделювання рекомендовано використовувати працівникам диспетчерського апарату під час планування підведення автомобілів на причальні вантажні фронти.

**Ключові слова:** річковий транспорт; автомобільний транспорт; портовий термінал; імітаційне моделювання

### Вступ

Перевезення внутрішніми водними шляхами (ВВШ) розглядаються Урядом України як напрямок, який необхідно розвивати для підтримки української економіки, через збільшення кількості транспортних та логістичних альтернатив з метою створення більш ефективної та стійкої логістичної системи [1]. Розвиток річкового транспорту, що забезпечує «зелені»

перевезення, може мати значний вплив також на соціальний розвиток та навколишнє природне середовище України.

З точки зору суспільних переваг, розвиток річкового транспорту в Україні та включення його в систему мультимодальних перевезень дозволить не тільки знизити енергетичні витрати та скоротити шкідливі викиди в атмосферу, але й транспортувати товари суднами типу «ріка-

море» між великими промисловими центрами країни та чорноморськими портами без додаткового перевантаження. Окрім того, це дасть можливість знизити навантаження на автомобільні дороги та залізниці, звільнивши їх від частини нерентабельних перевезень. Але річковий транспорт практично не може розвиватися без взаємодії із наземними видами транспорту, адже в більшості випадків вантаж від підприємств може бути доставлений лише вагонами або автомобілями. При цьому у більшості випадків використовується саме автомобільний транспорт, перевага якого полягає у можливості доставки обмежених партій вантажів на невеликі відстані від вантажовласників, що тяжіють до річкового порту. У зв'язку з цим актуальним та перспективним напрямком є створення у найближчій перспективі багатофункціональних портових хабів за участю внутрішнього водного транспорту (ВВТ). Так, Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року наголошує на необхідності поліпшення судноплавних характеристик річкового транспорту та збільшення обсягів перевезень з використанням ВВТ у 5 разів [2].

Проте, існує ряд проблемних питань, які стримують зростання перевезень ВВТ України та потребують невідкладного розв'язання [1]. Серед них – недосконалість, застарілість, часто відсутня та нерозвинена причальна інфраструктура, зношеність та дефіцит сучасного вантажного та технічного флоту, низька пропускна здатність під'їзних шляхів; відсутність стійкого механізму фінансування галузі тощо.

### Мета дослідження

Очевидно, що оновлення та розвиток портової інфраструктури та рухомого складу потребує значних фінансових інвестицій. Тому перспективним напрямком удосконалення річкових перевезень є впровадження організаційних заходів, спрямованих на раціоналізацію перевізного процесу, зокрема, при виконанні перевантажувальних операцій на портових терміналах між автомобільним та річковим транспортом. Такі заходи не потребують значних капіталовкладень, однак дозволяють покращити експлуатаційні показники, знизити невиробничі простой рухомого складу та відповідно, скоротити, собівартість перевізного процесу. В зв'язку з цим метою даного дослідження удосконалення технології взаємодії автомобільного та річкового транспорту на вантажних фронтах портових терміналів за рахунок впровадження регульованого режиму підведення автомобілів.

### Аналіз публікацій

Дослідженню проблем взаємодії різних видів транспорту у портах присвячено досить багато наукових робіт, зокрема таких науковців, як Костров В. Н., Кучерук Г.Ю., Літвінова Я.В., Матюгин М. А., Милославська С. В., Нагорний Є. В., Нікітін П. В., Нікіфоров В. С. та інші.

Так, робота [3] присвячена розробці методичних основ забезпечення якості та ефективності функціонування транспортно-логістичних систем доставки вантажів внутрішнім водним транспортом або в комбінованому сполученні з його участю. В роботі сформовано типові логістичні схеми транспортування, розроблені методики визначення тимчасових і вартісних показників типового технологічного процесу транспортування вантажів. Однак, модель, запропонована у цій роботі, не є універсальною та має обмежене застосування для дослідження взаємодії видів транспорту у портах.

В ґрунтовному дослідженні [4] виконане наукове обґрунтування вибору найбільш ефективних методів і організаційних форм забезпечення сталого розвитку і підвищення конкурентоспроможності підприємств річкового транспорту в умовах ринкової економіки. Цікавою є думка автора стосовно вибору опорних портових терміналів з метою першочергового фінансування. У цьому випадку основний ефект від концентрації перевалочних робіт може бути отриманий саме за рахунок об'єктів водного транспорту. Це зниження витрат на будівництво і експлуатацію причалів, навантажувально-розвантажувальної техніки, складів, інженерних мереж, будівель і споруд. Розглядається включення портів в мережу логістичних центрів для зміцнення взаємодії з наземним транспортом та поліпшення планування перевезень. Але у даній роботі увага зосереджена більше на економічних аспектах, ніж на технологічно-управлінських.

Автором наукової роботи [5] розроблено економіко-математичну модель генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту для ефективної роботи річкового логістичного центру. Визначення оптимальної величини партії вантажу було виконане на основі побудованої оптимізаційної моделі. Однак при цьому не враховано характер черги автомобілів та особливості розвитку інфраструктури конкретного терміналу.

Стаття [6] присвячена дослідженню характеристик та розробці економіко-математичної моделі функціонування змішаного вантажного терміналу (річкового чи морського порту) як сукупності взаємопов'язаних підсистем

багатоканальних систем масового обслуговування (СМО) з групами однорідних каналів обслуговування. Разом з тим, в роботі зовсім не розглядаються питання вибору раціональної системи підведення автомобілів до вантажних фронтів портового терміналу.

Таким чином, можна констатувати, проблеми взаємодії річкового та наземного транспорту завжди були у полі зору вчених та фахівців-практиків, якими розроблено ряд підходів до підвищення ефективності цього процесу. Разом з тим, аналіз показує, що існуючі підходи часто не враховують специфіку та особливості сучасних умов функціонування річкового транспорту України і відповідно потребують удосконалення, в першу чергу, щодо розробки ефективних технологій перевантаження у портах.

### Аналіз сучасного стану річкового транспорту України

Річковий транспорт має низку переваг перед автомобільним та залізничним, що створює передумови зміни логістичних маршрутів на користь перевезень ВВШ, зокрема [1]:

1) вантажопідйомність: 2 баржі та буксир замінюють 250 вантажівок, або 100 залізничних вагонів та 2 локомотиви; можливість перевезень великогабаритних вантажів;

2) економія на ремонті доріг: 1 млн. тон вантажів перевезених річкою зменшує витрати на ремонт доріг до 1 млрд. грн. протягом 4 років;

3) екологічність: сучасний річковий транспорт є найбільш екологічним нарівні із залізничним та автомобільним, що значно підвищує його конкурентоспроможність з огляду на останні тенденції екологізації ЄС та впровадження відповідних стандартів.

Можливості внутрішнього водного транспорту України можна охарактеризувати наступними показниками:

- 3 судноплавні річки, дві з яких входять до ТОП-5 найбільших річок Європи;
- 16 річкових портів та терміналів;
- 60 млн. тон пропускної здатності на рік.

Загальна довжина судноплавних річок України, які використовуються як водні шляхи, становить 2241 км, з яких Дніпро є найважливішою водотранспортною магістраллю. Басейн Дніпра займає близько 65 відсотків річкового простору України.

За даними експертних аналітичних досліджень в сфері вантажних перевезень [1, 7, 8], потенційна вантажна база річкових перевезень складає 12 областей, з території яких вантажі потенційно можуть перевозитись річкою Дніпро.

Потенційний обсяг перевезення складає близько 60 млн. т з прогнозом зростанням до 80 млн. т до 2030 року.

Разом з тим, потенціал річкових перевезень наразі використовується на 10...15%. Якщо, у 1990 р. загальні обсяги вантажів, що транспортувались ВВШ України складали близько 65 млн. т., то за роки незалежності цей показник знизився у 6...7 разів і наразі за різними оцінками становить 4...12 млн. т. рік [9, 10]. Таке значне розходження пояснюється тим, що законодавством не передбачене обов'язкове подання даних про перевезення ВВШ. Річкова інформаційна служба (РІС) фіксує дані від капітанів суден при проходженні шлюзів, при цьому може виникати подвійне врахування одних тих самих обсягів, в свою чергу, Державна служба статистики, отримує інформацію далеко не від усіх річкових перевізників.

Разом з тим, аналіз загальних тенденцій показує наступне. Так, до 2015 р. обсяги річкових перевезень демонстрували стійкий тренд до зменшення. Відповідно, за незначним виключенням, занепадала як портова інфраструктура, так і парк вантажних суден. Однак, з 2016 р. ситуація почала змінюватись – приватний бізнес почав поступово оцінювати переваги та можливості річкового транспорту, інвестувати у відновлення інфраструктури та рухомого складу. Відповідним чином почали зростати і обсяги перевезення вантажів ВВШ, які у 2019 р. за даними РІС досягли рівня 11,8 млн. т [1].

Основними вантажами, що транспортуються ВВШ (рис 1), є будівельні (47%), рудні (16%), зернові (11%), зернові (11%), чорні метали (10%).

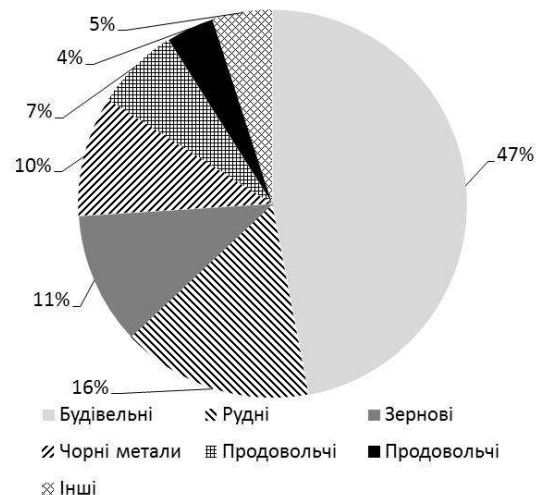


Рис. 1. Структура вантажів, що перевозяться річковим транспортом

Середня відстань перевезення 1 т вантажу річковим транспортом складає близько 410 км у

каботажному сполученні та 910 – у міжнародному, в той час як на залізничному – 580 км, а на автомобільному – всього 60 км [11]. При цьому, за оцінками незалежної аудиторської компанії BakerTilly, вартість перевезення 1 т вантажу на 100 км у внутрішньому сполученні річкою складає 4,5 USD, залізницею – 7,8 USD, автомобілем – 11,2 USD [12]. Річкові перевезення, за наявності відповідної інфраструктури в місцях навантаження та вивантаження, можуть успішно конкурувати із залізничним транспортом на відстанях 300...500 км.

При використанні річкового транспорту для перевезення вантажів виникає проблема їх доставки від відправника до річкового порту (терміналу). Як показує аналіз, переважна частина вантажів, що транспортуються ВВТ, підвозиться в портові термінали та вивозиться з них саме автомобілями. Це обумовлено, серед інших причин, і тим, що територія річкових портів знаходиться у межах міст. Тому розвиток річкових перевезень неможливий без удосконалення процесу взаємодії автомобільного та річкового транспорту в місцях перевалки вантажів. Одним з можливих напрямків вирішення цієї задачі є розробка та впровадження на портових терміналах такої системи регулювання підведення автомобілів до фронтів, яка б, з одного боку, забезпечувала збір і збереження інформації про місцезнаходження автомобілів, стан навантажувально-розвантажувальних механізмів, з іншого – допомагала б логістичному оператору у прийнятті рішень щодо підведення автомобілів у порт з передачею відповідних розпоряджень водіям автомобілів.

### Основні результати дослідження

Перевалка вантажів з автомобільного на річковий транспорт представляє собою складний стохастичний процес, що регулюється диспетчерським персоналом, а сам портовий термінал є багатоканальною та багатофазною ергатичною системою масового обслуговування (СМО). Заявками в цій системі є автомобілі, що надходять в порт для виконання вантажних операцій, а обслуговуючими пристроями (каналами обслуговування) – вантажні фронти терміналу, на яких виконуються вантажні операції з автомобілями. Враховуючи складність вказаної СМО, для оцінки ефективності запропонованої системи регулювання підведення автомобілів найбільш доцільно використовувати методи імітаційного моделювання, що є ефективним засобом дослідження складних систем, зокрема, транспортних [13].

Дане дослідження є розвитком наукових результатів, отриманих у [14], де було запропоновано схему можливих часових елементів логістичного ланцюжка обслуговування вантажопотоків під час їх обробки в річковому порту, а оцінка запропонованої технології виконана на основі розробленої імітаційної моделі.

У якості об'єкту дослідження було обрано вантажний район (термінал) Амур-Гавань Дніпровського річкового порту, який спеціалізується на перевантаженні зернових вантажів, металопрокату, навалочних вантажів (руда, вугілля, кокс, пісок, щебінь), контейнерів. Для виконання вантажних операцій термінал обладнаний порталними кранами та естакадно-конвейерним комплексом, загальна площа складів – 34,6 тис. м<sup>2</sup> [15]. У даному дослідженні розглянуто склад металопрокату, що включає дві вантажні секції.

Як показує аналіз, наведений в [16], вантажопотоки під'їзних колій підприємств та портів характеризуються суттєвою нерівномірністю та у більшості випадків є стохастичними. На основі аналізу статистичних даних про надходження вантажних автомобілів на термінал Амур-Гавань було встановлено, що цей процес носить випадковий характер і підпорядковується закону Пуассона з інтенсивністю  $\lambda_a = 2,65$  авто/год. Окрім того, встановлено, що тривалість обслуговування автомобіля в секції терміналу (виконання вантажних операцій) є випадковою величиною, що підпорядковується нормальному закону розподілу з параметрами:  $M[t_{\text{обс}}] = 27$  хв.,  $\sigma_{\text{обс}} = 4$  хв.

Виконаємо імітаційне моделювання вхідного потоку автомобілів для періоду з 8:00 до 17:30 робочого дня. Якщо вхідний потік підпорядковується розподілу Пуассона, то інтервали між автомобілями визначаються як [17]:

$$I_i = -\frac{1}{\lambda_a} \cdot \ln R_i \quad (1)$$

де  $R_i$  – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі [0; 1].

Момент надходження  $i$ -го автомобіля визначається за виразом:

$$T_i = T_{i-1} + I_i \quad (2)$$

Інтервали між автомобілями та моменти їх прибуття на термінал наведені у табл. 1.

Тривалість виконання вантажних операцій моделюється як нормально розподілена випадкова величина за виразом [17]:

$$t_i = M[t_{\text{обс}}] + \sigma_{\text{обс}} \cdot Z_i \quad (3)$$

де  $Z_i$  – випадкове число, що розподілене за нормальним законом з параметрами  $M[Z]=0$ ,  $\sigma_z=1$ .

Результати моделювання тривалості обслуговування автомобілів наведені в табл. 1.

При нерегульованому обслуговуванні автомобілів кожен водій самостійно обирає секцію вантаження (навантаження) випадковим чином. Відповідно в даному дослідженні цей процес моделювався як випадкова подія із заданою ймовірністю. Оскільки на складі 2 вантажні секції, то у загальному випадку ймовірність вибору водієм кожної з них становить  $P=0,5$ . Таким чином, якщо,  $R_i < P$ , то автомобіль прямує для вивантаження (навантаження) на 1-шу секцію, інакше – на 2-гу. Відповідні результати моделювання наведено у табл. 1. При цьому момент початку обслуговування автомобіля  $B_i$  визначається в залежності від зайнятості відповідної секції [17]:

$$B_i = \begin{cases} T_i, & \text{якщо } T_i \geq F_{i-1} \\ F_{i-1}, & \text{якщо } T_i < F_{i-1} \end{cases} \quad (4)$$

де  $F_{i-1}$  – момент закінчення обслуговування попереднього автомобіля на даній секції.

Момент закінчення вантажних операцій  $F_i$  з автомобілем визначається як:

$$F_i = T_i + t_i \quad (5)$$

Якщо при надходженні автомобіля вантажна секція зайнята попереднім автомобілем, то має місце очікування початку обслуговування:

$$W_i = B_i - T_i \quad (6)$$

Результати моделювання процесу надходження та обслуговування автомобілів складі металопрокату терміналу Амур-Гавань наведено у табл. 1. Для наочного уявлення про змодельований процес роботи складу по обслуговуванню автомобілів побудовано відповідний графік роботи складу, фрагмент якого наведений на рис. 2.

Таблиця 1

Результати моделювання складу при нерегульованому обслуговуванні автомобілів (фрагмент)

№ з/п	Інтервал $I_i$	Момент прибуття $T_i$	Вантажна секція	Тривалість вантажних операцій $t_i$	Тривалість очікування $W_i$		Закінчення обслуговування $F_i$
					Секція 1	Секція 2	
1	00:00	08:00	1	00:28	00:00	–	08:28
2	00:42	08:42	1	00:30	–	–	09:12
3	00:32	09:14	1	00:23	–	–	09:37
4	00:21	09:36	1	00:26	00:01	–	10:04
5	00:14	09:50	2	00:26	–	–	10:17
6	00:12	10:03	2	00:24	–	00:13	10:41
7	00:19	10:23	1	00:31	–	–	10:54
8	00:15	10:38	2	00:22	–	00:03	11:04
9	00:00	10:38	2	00:29	–	00:25	11:33
10	00:32	11:11	1	00:29	–	–	11:41
...	...	...	...	...	...	...	...
32	00:01	15:15	2	00:37	–	02:53	18:45
33	00:02	15:18	2	00:29	–	03:27	19:14
34	00:23	15:41	1	00:26	–	–	16:08
35	00:08	15:49	2	00:26	–	03:24	19:40
36	00:24	16:14	1	00:37	–	–	16:51
37	00:37	16:51	1	00:27	–	–	17:18
38	00:31	17:22	1	00:25	–	–	17:48
39	00:00	17:22	2	00:24	–	02:17	20:05

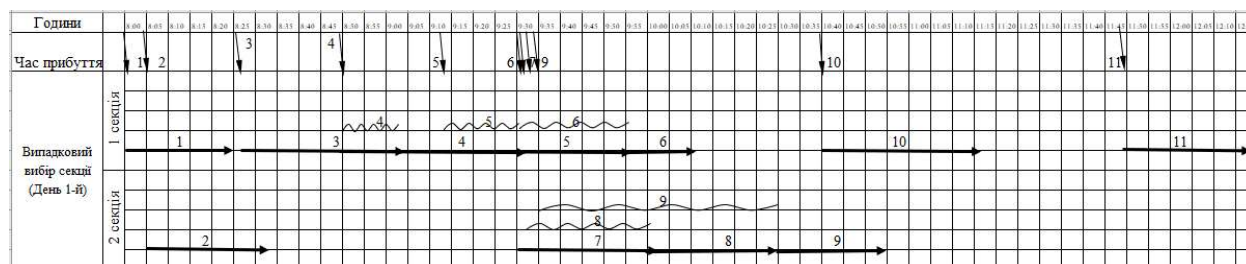


Рис. 2. Фрагмент графіку роботи складу терміналу при нерегульованому обслуговуванні автомобілів

Аналіз табл. 1 показує, що при нерегульованому підведенні часто має місце очікування автомобілями початку обслуговування внаслідок зайнятості вантажної секції, яку випадковим чином обрав водій. При цьому, в окремих випадках, інша вантажна секція складу є або є вільною, або звільняється раніше, ніж секція, обрана водієм автомобіля. Таким чином, на основі даних про поточний стан виконання вантажних операцій на вантажних секціях можливо регулювати вибір каналу обслуговування (секції) кожним

автомобілем. При регульованому підведенні автомобілів кожен наступний автомобіль направляється до того вантажного фронту, який вільний від обслуговування або до того, де обслуговування автомобіля закінчиться раніше. Для змодельованого потоку автомобілів (1)-(2) з врахуванням тривалості їх обслуговування (3) було виконане роботи складу при регульованому виборі вантажних секцій (табл. 2). Фрагмент графіку роботи складу при регульованому надходженні автомобілів наведено на рис. 3.

Таблиця 2

Результати моделювання складу при регульованому обслуговуванні автомобілів (фрагмент)

№ з/п	Інтервал $I_i$	Момент прибуття $T_i$	Вантажна секція	Тривалість вантажних операцій $t_i$	Тривалість очікування $W_i$		Закінчення обслуговування $F_i$
					Секція 1	Секція 2	
1	00:00			00:28	00:00	–	08:28
2	00:42	08:42	2	00:30	–	–	09:12
3	00:32	09:14	1	00:23	–	–	09:37
4	00:21	09:36	2	00:26	–	–	10:02
5	00:14	09:50	1	00:26	–	–	10:17
6	00:12	10:03	2	00:24	–	–	10:27
7	00:19	10:23	1	00:31	–	–	10:54
8	00:15	10:38	2	00:22	–	–	11:00
9	00:00	10:38	1	00:29	00:16	–	11:24
10	00:32	11:11	2	00:29	–	–	11:41
...	...	...	...	...	...	...	...
30	00:02	15:09	2	00:27	–	00:43	16:20
31	00:03	15:13	1	00:29	00:51	–	16:34
32	00:01	15:15	2	00:37	–	01:05	16:57
33	00:02	15:18	1	00:29	01:16	–	17:03
34	00:23	15:41	2	00:26	–	01:16	17:24
35	00:08	15:49	1	00:26	01:13	–	17:29
36	00:24	16:14	2	00:37	–	01:10	18:02
37	00:37	16:51	1	00:27	00:38	–	17:57
38	00:31	17:22	2	00:25	–	00:39	18:27
39	00:00	17:22	1	00:24	00:34	–	18:22

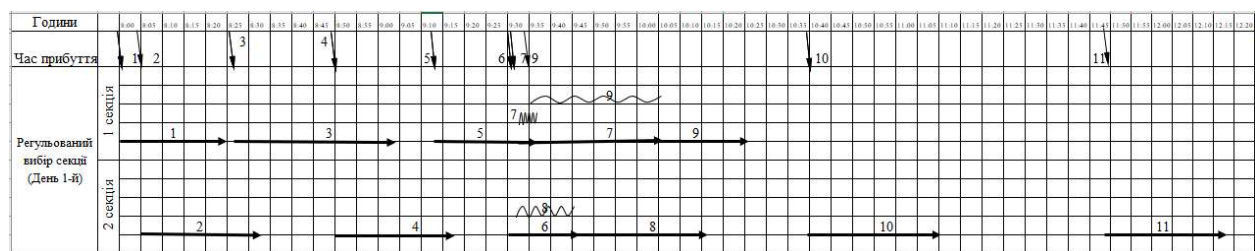


Рис. 3. Фрагмент графіку роботи складу терміналу при регульованому обслуговуванні автомобілів

Підсумкові результати моделювання (показники роботи складу) за двома варіантами підведення автомобілів наведено у табл. 3. При цьому визначено наступні показники:  $N_{зм}$  – кількість автомобілів, обслужених за зміну,  $W$  – загальний простій автомобілів в очікуванні вантажних операцій,  $w$  – середній простій одного автомобіля в очікуванні вантажних операцій.

Аналіз табл. 3 свідчить, що при регульованому підведенні автомобілів їх простій в очікуванні початку вантажних операцій скорочується майже у 2 рази.

На основі отриманих показників можна визначити добову економію експлуатаційних витрат у системі «автомобільний транспорт – вантажний фронт – річковий транспорт» при організації раціонального регулювання підведення

автомобілів:

$$\Delta E = 250 \cdot N_{зм} \cdot c \cdot \frac{(w_n - w_p)}{60} \quad (7)$$

де  $c$  – собівартість 1 автомобіле-години (прийнято 5 EUR);

$w_n, w_p$  – відповідно середній простій автомобіля в очікуванні вантажної операції при нерегульованому та регульованому підведенні, хв.;

250 – кількість робочих днів у році.

$$\Delta E = 250 \cdot 38 \cdot 5 \cdot \frac{(42,1 - 22,7)}{60} = 15,4 \text{ тис. EUR}$$

Таблиця 3

**Результати моделювання роботи складу**

Дисципліна	$N_{зм}$ , од.	$W$ , хв.	$w$ , хв.
Нерегульований вибір секції	38	1600	42,1
Регульований вибір секції	38	864	22,7

У результаті скорочення простою автомобілів на вантажних фронтів зменшується тривалість рейсу автомобіля і відповідно їх необхідний парк для організації перевезень. При цьому економія від скорочення необхідного парку автомобілів визначається як:

$$\Delta K = K_a \frac{N_{зм} \cdot (w_n - w_p)}{60 \cdot t_{роб}} \quad (8)$$

де  $K_a$  – орієнтовна вартість вантажного автомобіля (прийнято 40 000 EUR);

$t_{роб}$  – середня тривалість роботи автомобіля протягом доби (прийнято 12 год.);

$$\Delta K = 40000 \frac{38 \cdot (42,1 - 22,7)}{60 \cdot 12} = 40,9 \text{ тис. EUR}$$

Приведена річна економія експлуатаційних витрат від впровадження заходів щодо регулювання підведення автомобілів до вантажних фронтів складе:

$$\Delta \Pi = \Delta E + \Delta K \cdot E_n \quad (9)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт приведення капітальних інвестицій (прийнято 0,125).

$$\Delta \Pi = 15,4 + 40,9 \cdot 0,125 = 20,5 \text{ тис. EUR}$$

Таким чином, організація раціональної системи регулювання підведення автомобілів до вантажних фронтів дозволяє одержати річну економію в розмірі 20,5 тис. EUR.

## Висновки

Виконані дослідження дозволяють стверджувати, що річковий транспорт є важливою частиною єдиної транспортної системи країни, якій останнім чином приділяється все більше уваги. Це пояснюється як збільшенням зацікавленості відправників у стабільному та порівняно дешевому виді транспорту, так і у зростанні важливості екологічно чистого, «зеленого» транспорту.

Річковий транспорт відповідає всім переліченим вимогам, до того ж в Україні є позитивний досвід його використання для здійснення перевезень всіх видів вантажів. Проведені дослідження показали, що наразі найбільшу частку вантажопотоку становлять будівельні вантажі, здебільшого масові – пісок, щебінь і т.п., однак стало зростає перевезення зернових вантажів, є позитивні приклади перевезення контейнерів.

Аналіз літературних джерел показав, що ряд дослідників розглядали різні аспекти роботи річкового транспорту, проте вирішували здебільшого завдання організаційно-управлінського та науково-методичного характеру. Проте недостатня увага приділена була технологічним аспектам роботи, зокрема, взаємодії видів транспорту в річкових портах. Найбільш ефективним інструментом для дослідження технологічних процесів з випадковою тривалістю різних операцій є імітаційне моделювання.

На основі методів імітаційного моделювання виконано дослідження роботи річкового терміналу за умови випадкового та регульованого вибору вантажних секцій для обслуговування автомобілів. Було встановлено, що при регульованому підведенні автомобілів на 45% скорочується їх простій, а, відповідно, і їх необхідний робочий парк. При цьому річна економія витрат може становити до 20,5 тис. EUR.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Внутрішні водні шляхи України. Оф. сайт Мін. інфрастр. Укр. Інформація про водний транспорт України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-vodniy-transport-ukraini.html>

2. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>

3. Ничипорук, А. О. Методические основы обеспечения качества и эффективности функционирования транспортно-логистических систем доставки грузов на внутреннем водном транспорте: дис. на соиск. уч. степ. д. т. н. по спец-ти 05.22.19 –

Эксплуатация водного транспорта, судовождение / Е. С. Курбатова. – Ниж. Новгород: Волжский гос. универ. водного транспорта, 2017. – 395 с.

4. Курбатова, Е. С. Организационно-экономические предпосылки и условия эффективного использования речного транспорта в системе транспортных коммуникаций России: дис. на соиск. уч. степ. к. эк. н. по спец. 08.00.05 / Е. С. Курбатова – Москва : Гос. универ. управления, 2019. – 144 с.

5. Мельник, О. В. Економіко-математична модель генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту / О.В. Мельник // Інвестиції: практика та досвід. – 2013. – № 18. – С. 106-109.

6. Кравченко, В. Г. Економіко-математична модель змішаного транспортного терміналу / В. Г. Кравченко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2003. – № 1. – С. 159-161.

7. Від Горішніх Плавнів і далі. Стан річкового транспорту в Україні. Інфографіка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://texty.org.ua/pg/article/txts/read/68935/Vid\\_Goris\\_hnih\\_Plavniv\\_i\\_dali\\_Stan\\_richkovogo](http://texty.org.ua/pg/article/txts/read/68935/Vid_Goris_hnih_Plavniv_i_dali_Stan_richkovogo)

8. О कोरोков, А. М., Вернигора, Р. В., Цупров, П. С. Річковий транспорт України: сучасний стан та перспективи використання / А. М. О कोरोков, Р. В. Вернигора, П. С. Цупров // Транспортні системи та технології перевезень. – 2016. – Вип. 12. – С. 62-68.

9. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

10. Річкова інформаційна служба водних шляхів України. Офіційний сайт [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://ukrris.com.ua/index.php>

11. Транспорт України-2019. Статистичний збірник – Київ: Державна служба статистики. – 2020. – 115 с.

12. Проблемы и возможности транспортного балласта Украины. Обзор команды BakerTilly [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://bakertilly.ua/ru/news/id43042>

13. Бобровский, В. И. Функциональное моделирование железнодорожных станций: монография / В. И. Бобровский, Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкин –Днепропетровск: ДНУЗТ, 2015. – 269 с.

14. Кузьменко, А. І., Трофімов, О. В. Удосконалення транспортно-логістичних процесів обслуговування вантажопотоків на території річкового порту / А. І. Кузьменко, О. В. Трофімов // Системи та технології. – 2018. – № 1 (56). – С. 89-114.

15. Річкова інформаційна служба водних шляхів України. Дніпровський річковий порт. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://ukrris.com.ua/hydraulics/ports/item.php?ID=568>

16. Вернигора, Р.В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте/ Р.В. Вернигора, Н.И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/3 (56). – с. 62-67.

17. Вернигора, Р. В. Основи дослідження операцій: приклади та задачі. Навчальний посібник для ВНЗ/ Р. В. Вернигора, Д. М. Козаченко, В. В. Малашкин – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2015. – 277 с.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Лаврухіним О. В. (Україна)*

Надійшла до редколегії 05.10.2020.

Прийнята до друку 26.10.2020.

А. М. ОКОРОКОВ, Р. В. ВЕРНИГОРА, А. И. КУЗЬМЕНКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА НА ПОРТОВОМ ТЕРМИНАЛЕ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Целью исследования** является совершенствование технологии взаимодействия автомобильного и речного транспорта на территории порта. **Объектом исследования** является процесс взаимодействия автомобильного и речного транспорта на портовом терминале; **предметом исследования** – технология обслуживания различных видов транспорта на территории портового терминала. **Методика исследования** – имитационное моделирование. **Результатом исследования** является аналитическая оценка работы внутреннего водного транспорта по перевозке грузов, которая свидетельствует об отсутствии комплексного подхода по совершенствованию взаимодействия различных видов транспорта на территории речного терминала. Поэтому предлагается поиск рациональной технологии на основании методов имитационного моделирования, что позволит сократить время непроизводительных простоев. Рациональная организация перегрузки с автомобильного на речной транспорт и наоборот предусматривает создание на грузовом терминале такой системы регулирования движения, которая обеспечивает сбор и хранение оперативной информации о местонахождении автомобилей на грузовых фронтах портового терминала, состояния погрузочно-разгрузочных механизмов и позволяет принимать решения об их использовании и передаче команд водителям автомобилей с целью повышения эффективности взаимодействия автомобильного и речного видов транспорта во время перевалки грузов. Для оценки предложенной технологии на основе имитационного моделирования и методов теории массового обслуживания рассчитано время перевалки груза и простой автомобилей под выгрузкой.



Определение простоя автомобилей при различных дисциплинах выбора грузового фронта (случайный или регулируемый режим) дало возможность выбрать наиболее рациональную систему подвода автомобилей к грузовым фронтам портового терминала. Ожидаемая экономическая эффективность за счет сокращения времени перевалки грузов с одного вида транспорта на другой составляет 20,5 тыс. EUR. **Научная новизна** заключается в теоретическом обосновании регулируемой технологий взаимодействия автомобильного и речного транспорта на территории портового терминала. При этом формализована и на основе имитационного моделирования решена задача по определению наиболее рациональной системы регулирования подвода автомобилей грузовых фронтов портового терминала, на которых происходит перегрузка в речные суда. Внедрение такой технологии позволяет сократить простои транспортных единиц и более рационально использовать погрузочно-разгрузочные механизмы, и соответственно сократить себестоимость процесса перегрузки. **Практическая значимость:** предложенная технология может быть внедрена в технологические процессы крупных речных портовых терминалов, на которых происходит взаимодействие различных видов транспорта. Результаты моделирования рекомендуется использовать работникам диспетчерского аппарата при планировании подведения автомобилей на причальные грузовые фронты.

*Ключевые слова:* речной транспорт; автомобильный транспорт; портовой терминал; имитационное моделирование

A. M. OKOROKOV, R. V. VERNYHORA, a. I. KUZMENKO

## **STUDY OF INTERACTION OF AUTOMOTIVE AND RIVER TRANSPORT AT THE PORT TERMINAL BY THE METHOD OF SIMULATION**

The **aim** of the study is to improve the technology of interaction between road and river transport on the territory of the port. The object of research is the port handling fronts; the subject of research is the technology of servicing various types of transport on the territory of the port terminal. **Research methodology** - simulation. The **result of the study** is an analytical assessment of the work of inland waterway transport for the carriage of goods, which indicates the absence of an integrated approach to improve the interaction of various modes of transport on the territory of the port terminal. Therefore, it is proposed to search for a rational technology based on simulation methods, which can reduce the time of non-production downtime. Competent organization of reloading from road to river transport and vice versa provides for the creation at the cargo terminal of such a traffic control system that provides collection and storage of operational information about the location of vehicles on the cargo fronts of the port terminal, the state of loading and unloading mechanisms, and allows making decisions on their use and transmitting commands to car drivers in order to improve the efficiency of interaction between road and river transport during cargo transshipment. For the proposed technology, the time for transshipment of cargo and idle time of vehicles under unloading was calculated using the theory of queuing systems. Counting the idle time of vehicles in various disciplines of choosing the cargo front (random or adjustable mode) made it possible to select the optimal system for regulating the approach of vehicles to the cargo fronts of the port terminal. The expected economic efficiency due to the reduction in the time of transshipment of goods from one mode of transport to another, according to the results of calculations, is 20,5 thousand EUR. The **scientific novelty** lies in the theoretical substantiation of various technologies for the interaction of road and river transport on the territory of the port terminal. At the same time, the problem of determining the optimal control system for the delivery of vehicles of the cargo fronts of the port terminal, on which reloading to river vessels occurs, has been formalized and solved using the methods of simulation modeling. This allows to reduce the downtime of transport units and more efficiently use the loading and unloading mechanisms, and, consequently, to reduce cost indicators. **Practical significance:** the proposed technology can be introduced into the technological processes of large river port terminals, where various types of transport interact. The simulation results are recommended to be used by the dispatcher staff when planning to bring vehicles to the berthing cargo fronts.

*Key words:* river transport; road transport; port terminal; simulation