

ISSN 2521-6643

# Системи та технології



№ 1 (61)

2021

# Системи та технології

(правонаступник наукового журналу “Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”)

№ 1(61)

*Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії “Б”, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів з галузі “Технічні науки”, спеціальності 113, 122, 123, 275 (наказ Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 р. № 409, додаток 1)*

Дніпро  
Університет митної справи та фінансів  
2021

УДК 62

**Системи та технології**  
**(правонаступник наукового журналу**  
**“Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”)**  
Науковий журнал. Видається двічі на рік. Заснований у травні 1999 р.

Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет вченою радою  
Університету митної справи та фінансів (протокол № 5 від 01.11.2021 р.)

*Редакційна колегія:*

<b>Поночовний Ю. Л.</b> – к.т.н., с.н.с. ( <i>головний редактор</i> );	<b>Доценко С. І.</b> – д.т.н., доц.;
<b>Іванченко О. В.</b> – к.т.н., доц. ( <i>заступник головного редактора</i> );	<b>Дрозд О. В.</b> – д.т.н., проф.;
<b>Кузьменко А. І.</b> – к.т.н., доц. ( <i>заступник головного редактора</i> );	<b>Защолкін К. В.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Прокопович-Ткаченко Д. І.</b> – к.т.н. ( <i>заступник головного редактора</i> );	<b>Змисний М. М.</b> – к.т.н.;
<b>Йозеф Костолни</b> – доц., PhD;	<b>Кабак Л. В.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Ян Рабчан</b> – PhD;	<b>Колісник М. О.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Анджей Клос</b> – д.т.н., проф.;	<b>Мартинюк О. М.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Бондаренко І. О.</b> – д.т.н., доц.;	<b>Пасічник А. М.</b> – д.ф.-м.н., проф.;
<b>Боярчук А. В.</b> – к.т.н.;	<b>Фесенко Г. В.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Брежнєв Є. В.</b> – д.т.н., с.н.с.;	<b>Халіпова Н. В.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Гордєєв О. О.</b> – к.т.н., доц.;	<b>Шапорін Р. О.</b> – к.т.н., доц.;
	<b>Шкілюк О. П.</b> – к.т.н.;
	<b>Щербовських С. В.</b> – д.т.н., с.н.с.;
	<b>Яремчук С. О.</b> – к.т.н.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2021-1-61>  
ISSN 2521-6643

Коректори: Т. П. Дерев'янка, О. О. Смирнова  
Комп'ютерна верстка: О. О. Іщенко

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 21857-11757ПР від 21.12.2015 р.  
Тираж 100 прим. Замовлення № 100.

Адреса редакції та видавця: вул. Володимира Вернадського, 2/4, Дніпро, 49000  
Тел.: (056) 756-05-05. Електронна адреса: [redactor.umsf@gmail.com](mailto:redactor.umsf@gmail.com)  
Інформаційний сайт: <https://st-journal.com/index.php/journal/issue/view/2>

Підписано до друку 26.09.2021. Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 15,00. Обл.-вид. арк. 13,33.

Засновник і видавець: Університет митної справи та фінансів  
(Свідоцтво про видавничу діяльність ДК № 6198 від 24.05.2018 р.)

© Університет митної справи та фінансів, 2021

---

## ЗМІСТ

<b>Чернецька-Білецька Н. Б., Роговий А. С., Мірошникова М. В.</b> Оцінювання ефективності транспортної системи з перекачування електропровідної рідини за результатами математичного моделювання .....	5
<b>Сохацький А. В., Трофімов О. В., Кузьменко А. І.</b> До питання застосування гідродинамічної аналогії для процедури розрахунку параметрів транспортних потоків .....	21
<b>Stelyuk V. B., Tkhorzhevskiy D. O., Khalipova N. V.</b> Models and methods of improving the efficiency of wireless access of telecommunication systems and networks .....	30
<b>Сазонець О. М., Леснікова І. Ю.</b> Дослідження характеру перевезень в Україні на автомобільному транспорті .....	43
<b>Шаповалов О. В., Оглих В. В., Фірсов О. Д., Разгонов С. А.</b> Консолідований інформаційний ресурс для ефективного керування автотранспортним підприємством .....	57
<b>Ульяновська Ю. В., Рудянова Т. М., Олещук А. О., Костенко В. В., Булгакова О. Ф.</b> Використання технологій Augmented Reality в програмному забезпеченні для інтерактивної візуалізації тривимірних об'єктів на промислових підприємствах .....	71
<b>Бех П. В., Нестеренко Г. І., Стрелко О. Г., Музикін М. І.</b> Управління вантажними перевезеннями в умовах ризиків конкурентного середовища ..	85

---

## CONTENTS

<b>Chernetskaya-Beletskaya N. B., Rogovyi A. S., Miroshnykova M. V.</b> Evaluating the transport system efficiency of pumping electrically conductive liquid based on the results of mathematical modeling .....	5
<b>Sokhatsky A. V., Trofimov A. V., Kuzmenko A. I.</b> To question of application of hydrodynamic analogy for procedure of calculation of parameters of transport streams .....	21
<b>Stelyuk B. B., Tkhorzhevskiy D. O., Khalipova N. V.</b> Models and methods of improving the efficiency of wireless access of telecommunication systems and networks .....	30
<b>Sazonets O. M., Lesnikova I. Y.</b> Research of the nature of transportation in Ukraine by road transport .....	43
<b>Shapovalov A. V., Oglih V. V., Firsov O. O., Razgonov S. A.</b> Consolidated information resource for effective management of motor transport enterprise .....	57
<b>Ulianovska Yu. V., Rudyanova T. M., Oleshchuk A. O., Kostenko V. V., Bulhakova O. F.</b> Use of augmented reality technologies in software for interactive visualization of three-dimensional objects on industrial subjects ....	71
<b>Bekh P. V., Nesterenko H. I., Strelko O. H., Muzykin M. I.</b> Freight management in the conditions of risks of the competitive environment .....	85

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2021-1-61.1>  
УДК 537.84

**Н. Б. Чернецька-Білецька**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля  
**А. С. Роговий**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Гідравлічні машини” імені академіка Г. Ф. Проскури Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”  
**М. В. Мірошникова**, старший викладач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

### **ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ З ПЕРЕКАЧУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ РІДИНИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

*У багатьох галузях промисловості нині існує потреба в перекачуванні електропровідних рідин. Актуальним завданням стає визначення залежностей втрат тиску місцевих опорів під час течії електромагнітних рідин від електромагнітних та гідродинамічних параметрів. На основі чисельного моделювання течії електропровідної рідини в коліні трубопроводу за допомогою розв’язання рівнянь Нав’є – Стокса, осереднених за Рейнольдсом, визначено залежності втрат тиску на повороті в коліні. Магнітне поле має значний вплив на епюру швидкості до повороту та після нього в коліні внаслідок того, що вектор магнітної індукції або на першій, або на другій ділянці перпендикулярний трубі. За порівняно малих значень чисел Рейнольдса вплив магнітного поля дуже великий, що збільшує коефіцієнт місцевого опору більше ніж у 15 разів порівняно з коефіцієнтом без дії магнітного поля.*

*Ключові слова: електропровідна рідина; коліно трубопроводу; коефіцієнт місцевого опору; чисельний розрахунок; математичне моделювання; магнітна гідродинаміка.*

© Н. Б. Чернецька-Білецька, А. С. Роговий, М. В. Мірошникова, 2021

---

Во многих отраслях промышленности существует потребность перекачки электропроводных жидкостей. Актуальной задачей является определение зависимостей потерь давления местных сопротивлений при течении электромагнитных жидкостей от электромагнитных и гидродинамических параметров. На основе численного моделирования течения электропроводящей жидкости в колене трубопровода с помощью решения уравнений Навье – Стокса, усредненных за Рейнольдсом, определены зависимости потерь давления на повороте в колене. Магнитное поле может влиять на эюру скорости до поворота и после него в колене вследствие того, что вектор магнитной индукции или на первом, или на втором участке перпендикулярен трубе. При сравнительно малых значениях чисел Рейнольдса влияние магнитного поля очень значительно, что увеличивает коэффициент местного сопротивления больше чем в 15 раз по сравнению с коэффициентом без воздействия магнитного поля.

Ключевые слова: электропроводящая жидкость; колено трубопровода; коэффициент местного сопротивления; численный расчет; математическое моделирование; магнитная гидродинамика.

*Today in many industries there is a need to pump electrically conductive fluids. In contrast to classical hydrodynamics, MHD modeling requires the simultaneous solution of the equations of hydrodynamics and electrodynamics, which significantly complicates the modeling process. For electrically conductive fluids, such a number of experimental studies has not yet been conducted, in addition, the dependencies are complicated by the influence of the magnetic field and the need to take into account their magnitude. An urgent task is to determine the dependences of the pressure losses of local resistances during the flow of electromagnetic fluids on electromagnetic and hydrodynamic parameters. The development of computational hydrodynamics in recent years has led to the fact that the use of CFD-calculations can practically replace valuable experimental studies of electrically conductive fluids by mathematical modeling. Experimental studies are complicated by the use of powerful electromagnets and a variety of electrically conductive fluids, which often have not only electromagnetic properties, but are often non-Newtonian. Based on the numerical simulation of the flow of conductive fluid in the pipeline elbow, the dependences of the pressure losses at the bend in the elbow were determined by solving the Navier – Stokes equations averaged according to Reynolds. The magnetic field has a significant effect on the diagram of the velocity before and after the turn in the knee due to the fact that the magnetic induction vector in either the first or second section is perpendicular to the tube. At relatively small values of Reynolds numbers, the effect of the magnetic field is very significant, which increases the local resistance coefficient by more than 15 times compared to the coefficient without the action of the magnetic field.*

---

Key words: *conductive fluid; pipe elbow; local resistance coefficient; numerical calculation; mathematical modeling; magnetic hydrodynamics.*

**Постановка проблеми.** У багатьох галузях промисловості нині існує потреба перекачування електропровідних рідин. Це привело до створення окремої дисципліни – магнітної гідродинаміки (МГД), яка розглядає питання на перетинанні двох дисциплін: гідродинаміки та електродинаміки суцільного середовища. Об'єктом дослідження МГД є рух плазми, рідких металів, солоної води та будь-яких рідин, що виявляють електропровідні властивості.

На відміну від класичної гідродинаміки, моделювання МГД потребує одночасного розв'язання рівнянь гідродинаміки та електродинаміки, що значно ускладнює процес моделювання [1, 2]. Експериментальні дослідження поведінки електропровідних рідин обмежені дослідженнями спеціалізованого обладнання, такими як: МГД-насоси, МГД-генерація електроенергії тощо [3–5].

Гідрравлічний розрахунок трубопроводів для електропровідної рідини потребує використання спеціальних залежностей для визначення втрат тиску на місцевих опорах та на тертя подібно до класичної гідравліки. Звичайні для гідравліки залежності отримано переважно експериментальним шляхом протягом багатьох років досліджень. Для електропровідних рідин такої кількості експериментальних досліджень ще проведено не було, крім того, залежності ускладнюються за рахунок впливу магнітного поля та необхідності врахування в них його величини.

Розвиток обчислювальної гідродинаміки в останні роки привів до того, що використання CFD-розрахунків дозволяє практично замінити коштовні експериментальні дослідження електропровідних рідин математичним моделюванням [6, 7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перші теоретичні та експериментальні роботи в галузі МГД було проведено Гартманом у 1937 р. [8] та нобелівським лауреатом Альвеном [9] у 50-х рр. ХХ ст. У праці [8] досліджено поведінку ртуті під впливом магнітного поля та зроблено висновки щодо переходу течії від ламінарного до турбулентного руху в круглій трубі. Гартман уперше помітив, що критичні значення чисел Рейнольдса, які використовують у класичній гідравліці, не можна використовувати для електропровідної рідини. Альвен в своїх працях сконцентрував увагу на таких напрямках: теорія полярного саява, геомагнітні бурі, утворення Сонячної системи, тому він не займався проблемами гідравлічного розрахунку течії рідин.



---

Подальший розвиток МГД частіше проводився на основі аналітичних розрахунків течії [10], що не дає можливості оцінити такі параметри як втрати тиску на місцевих опорах. Експериментальні дослідження ускладнені використанням потужних електромагнітів та різноманітністю електропровідних рідин, які часто мають не лише електромагнітні властивості, а також є неньютонівськими [11, 12]. Неньютонівські рідини теж мають дуже складні залежності втрат тиску на місцевих опорах, які досліджуються експериментально, проте нині досі не існує однозначних залежностей для будь-яких рідин [13–15].

Математичне моделювання на основі чисельного розрахунку течії дає можливість отримати точний результат, що підтверджується працями [11, 12, 16, 17]. Для електропровідних рідин часто використовують потужні методи прямого чисельного моделювання (DNS) та метод крупних вихорів (LES), але ці методи потребують великої кількості елементів сітки, а для цього необхідні дуже потужні комп'ютери й багато часу на розрахунок, що недоцільно під час інженерних розрахунків.

Нинішнього часу для гідродинамічних розрахунків створено сотні моделей турбулентності для спрощення симуляцій під час використання осереднення рівнянь Нав'є – Стокса за Рейнольдсом. Найбільш універсальними моделями є:  $k-\epsilon$ , (RNG)  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$  та SST  $k-\omega$  [18–22].

Тому актуальним завданням є виявлення залежностей втрат тиску місцевих опорів під час течії електромагнітних рідин від електромагнітних та гідродинамічних параметрів за допомогою методів чисельного моделювання.

**Мета статті** – визначення залежностей втрат тиску на місцевих опорах у коліні для течії електропровідної рідини в круглих трубах.

Рідина вважалася в'язкою, нестисливою та електропровідною. Рівняння руху рідини розв'язувалися чисельно з використанням методу контрольних об'ємів у програмному середовищі Ansys CFX. Програмний комплекс використано на умовах студентської ліцензії з обмеженням на кількість елементів, що не перевищує 500 000.

**Виклад основного матеріалу.** Математичне моделювання руху електропровідної рідини проведено на основі розв'язання осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є – Стокса з рівнянням SST (Shear Stress Transport) моделі турбулентності, рівняння нерозривності та рівнянь Максвелла для течії нестисливої рідини [23–25]:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( [\mu + \mu_T] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + f_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

$$\bar{f} = [\bar{j} \times \bar{B}], \quad (3)$$

$$\nabla(\sigma \nabla \Phi) = \nabla \cdot [\sigma \bar{u} \times \bar{B}], \quad (4)$$

$$\nabla^2 \Phi = \nabla \cdot [\bar{u} \times \bar{B}], \quad (5)$$

де  $\rho$  – густина;  $x_j$  – декартові координати;  $u_j$  – проекції швидкості в декартовій системі координат;  $t$  – час;  $p$  – гідродинамічний тиск;  $f_i$  – проекції вектора масових сил на осі координат (у нашому випадку – сила Лоренца);  $\mu$  – динамічна (молекулярна) в'язкість;  $\mu_T$  – турбулентна динамічна в'язкість;  $\bar{j}$  – щільність електричного струму, що виникає в електропровідній рідині, яка рухається зі швидкістю  $\bar{u}$  за рахунок місцевого електричного поля;  $\bar{B}$  – вектор магнітної індукції;  $\Phi$  – скалярний електростатичний потенціал;  $\sigma$  – електропровідність.

Твердотільну модель рідини, що рухається в коліні плавного повороту на  $90^\circ$ , зображено на рис. 1а.

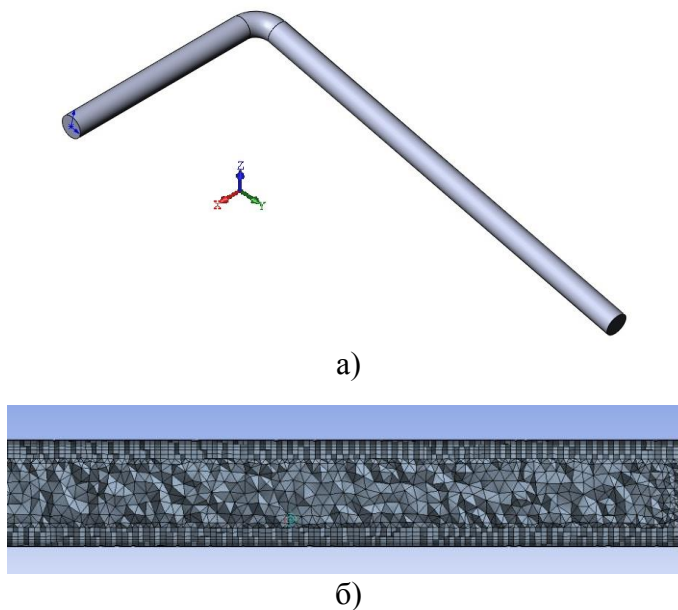


Рис. 1. Розрахункові моделі коліна трубопроводу: а) твердотільна модель; б) сіткова модель

Розрахунок виконано в програмному комплексі Ansys CFX з академічною студентською ліцензією. Студентська ліцензія обмежує кількість використаних елементів 500 000. Сіткові моделі зображено на рис. 16. Вони побудовані за допомогою призматичних та тетрагональних елементів [26]. Ansys CFX є валідованим для всіх класів течій, у тому числі для розрахунків магнітної гідродинаміки [23, 27, 28].

Критеріями завершення розрахунку є умови зменшення нев'язань усіх рівнянь до значень  $10^{-5}$  і забезпечення постійного перепаду тиску в трубопроводі.

Граничні умови завдавалися таким чином: у вхідному перетині каналу – швидкість за розподілом  $V = V(1 - r/R)^{1/7}_{max}$ , де  $r$  – поточний радіус точки в перетині труби;  $R = 0,05$  м – радіус труби. У вихідному перетині – відкрита границя з нульовим статичним тиском. Інтенсивність турбулентності задана величиною 5 %. Для нерухої стінки з граничною умовою відсутності ковзання – скалярний електростатичний потенціал  $\partial\Phi/\partial n = 0$ .

Для порівняння результатів МГД розрахунків використовувалося критеріальне число Гартмана

$$Ha = BR\sqrt{\sigma/\rho\nu}, \quad (6)$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість.

Зважаючи на те, що для верифікації математичної моделі проводилося порівняння профілів швидкості з експериментальними профілями [29–31], наведеними в дослідженні [11], чисельні дослідження проведені для 30 % водного розчину гідроксиду калію (KOH). Основні фізичні властивості рідини: густина –  $1280 \text{ кг/м}^3$ ; динамічна в'язкість –  $0,00143 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; кінематична в'язкість –  $1,18 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; електропровідність –  $73,67 \text{ См/м}$ ; теплопровідність –  $0,727 \text{ Вт/(м К)}$ ; теплоємність –  $3000 \text{ Дж/(кг К)}$ .

Геометричні параметри досліджуваного місцевого опору в коліні подано в табл. 1.

Таблиця 1

### Геометричні параметри місцевого опору

Параметр	Коліно
Діаметр труби до повороту, мм	100
Діаметр труби після повороту, мм	100
Довжина ділянки до повороту, мм	1000
Довжина ділянки після повороту, мм	2000
Радіус повороту, мм	100

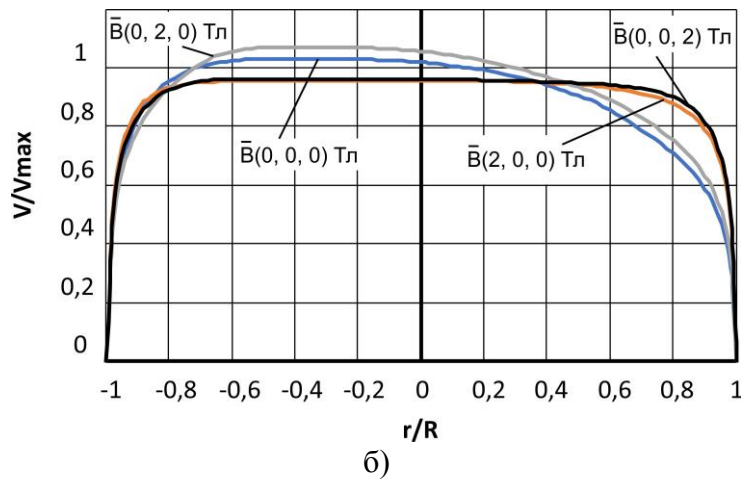
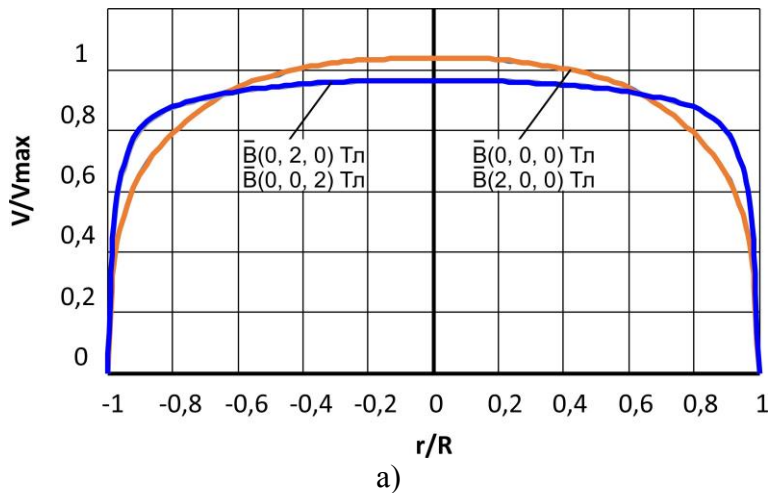


Рис. 2. Розподіл швидкості вздовж радіуса: а) на відстані 500 мм до повороту; б) на відстані 1500 мм після повороту

Магнітне поле має значний вплив на епюру швидкості до повороту та після нього в коліні (рис. 2) внаслідок того, що вектор магнітної індукції або на першій, або на другій ділянці перпендикулярний осі труби. Це призводить до деформації епюри швидкості та її витягування до стінок, тобто збільшення швидкості біля стінок, порівняно з випадком без магнітного поля. Магнітна індукція задавалася вектором  $\vec{B}(B_x, B_y, B_z)$  Тл таким чином, щоб тільки одна проекція цього вектора була ненульовою для простоти порівняння впливу магнітного поля на параметри течії. Швидкість належить до максимальної швидкості  $V_{max}$  в центрі труби, що задавалася як гранична умова.

---

Результати розрахунку течії в коліні з поворотом на  $90^\circ$  зображено на рис. 3.

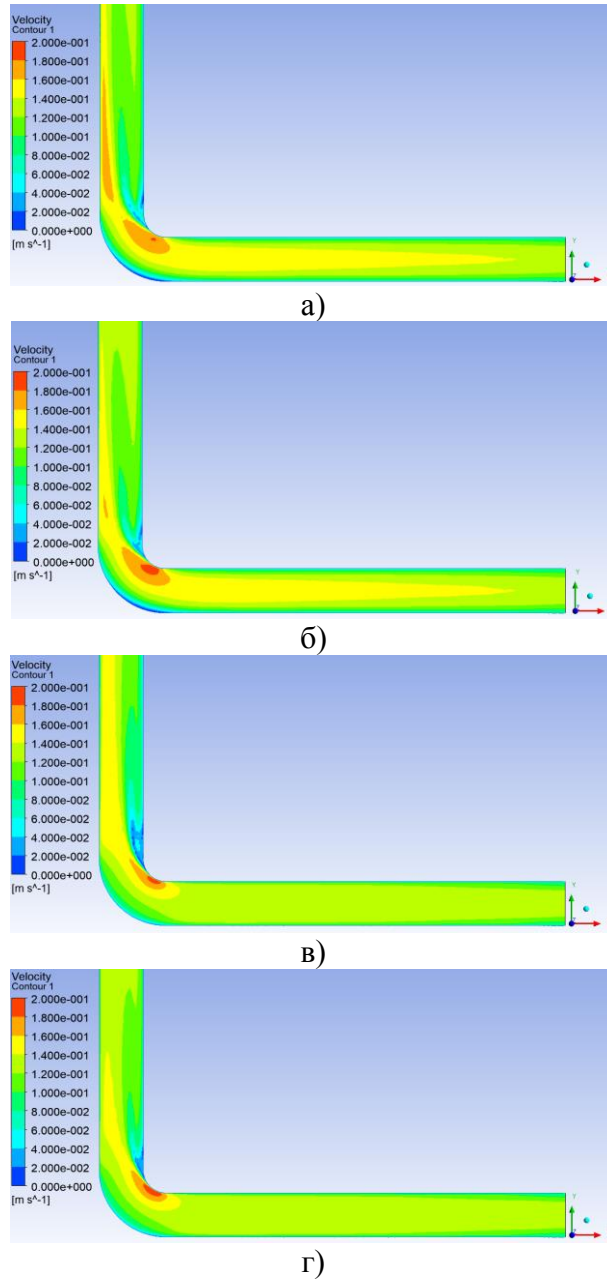


Рис. 3. Розподіл швидкості під час течії в коліні:  
а)  $\vec{B}(0,0,0)$  Тл; б)  $\vec{B}(2,0,0)$  Тл; в)  $\vec{B}(0,2,0)$  Тл; г)  $\vec{B}(0,0,2)$  Тл

Дія магнітного поля практично не впливає на картини течії в плавному повороті труби (рис. 3), але магнітне поле з індукцією  $\vec{B} (0, 2, 0)$  Тл збільшує область відриву, й навпаки зона відриву зменшується для випадку  $\vec{B} (0, 0, 2)$  Тл.

На рис. 4 зображено залежність втрат тиску на розглянутому гідравлічному місцевому опорі від числа Гартмана. Порівнювалися випадки різної орієнтації магнітного поля за рахунок завдання вектору магнітної індукції за проекціями. Діапазон зміни проекції магнітної індукції на кожну вісь –  $0 \dots 2$  Тл з інтервалом  $0,5$  Тл. Можна бачити, що коефіцієнт місцевого опору має квадратичну залежність від числа Гартмана (коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює  $0,999$ ).

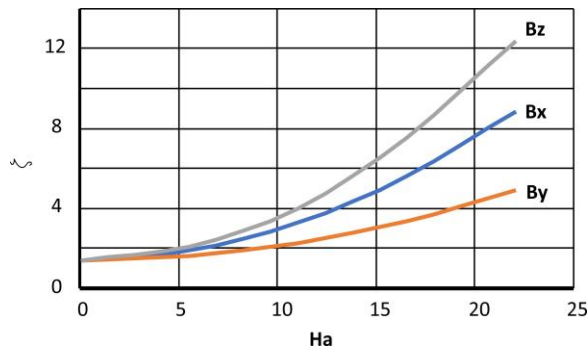


Рис. 4. Залежність коефіцієнта місцевого опору від числа Гартмана

Отже, коефіцієнт місцевих опорів для випадку течії електропровідної рідини залежить не тільки від числа Рейнольдса, як це відбувається для загальних рідин, а також від величини та напрямку вектора магнітної індукції. На рис. 5 зображено залежність коефіцієнта від чисел Рейнольдса та напрямку дії магнітної індукції. Можна бачити, що максимальні значення опору трапляються тоді, коли вектор магнітної індукції направлено перпендикулярно до обох дільниць коліна (вісь  $z$  згідно з рис. 1а).

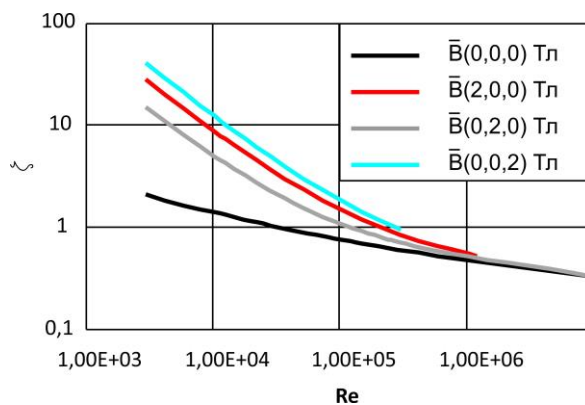
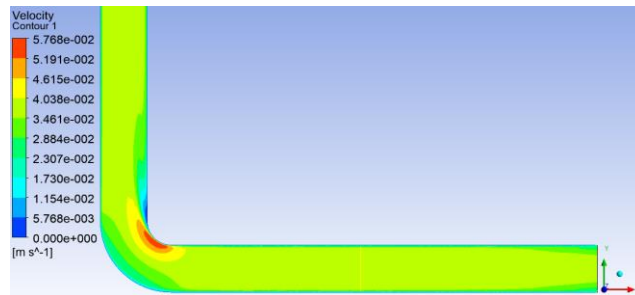
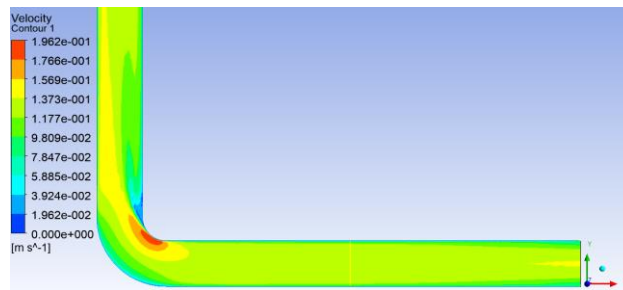


Рис. 5. Залежність коефіцієнта місцевого опору від числа Рейнольдса

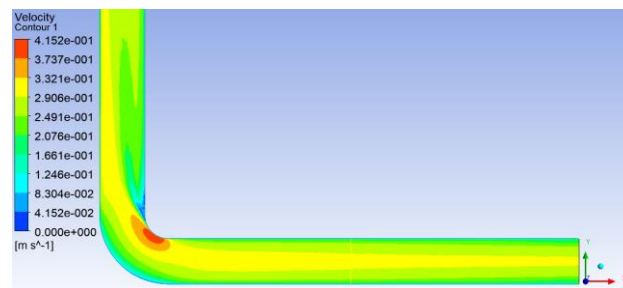
Зі збільшенням чисел Рейнольдса  $Re$ , відповідно, швидкості течії рідини коефіцієнт опору прагне до значень коефіцієнтів опору без дії магнітного поля. Асимптотичні значення коефіцієнтів опору електропровідної рідини під дією магнітного поля для абсолютно гладкої труби дорівнюють значенням коефіцієнтів місцевого опору без дії магнітного опору за значень  $Re > 10^6$ . Але за малих значень чисел Рейнольдса вплив магнітного поля дуже значний, що збільшує коефіцієнт  $\zeta$  більше ніж у 15 разів. Рівняння для розрахунку коефіцієнтів  $\zeta$  родано в табл. 2.



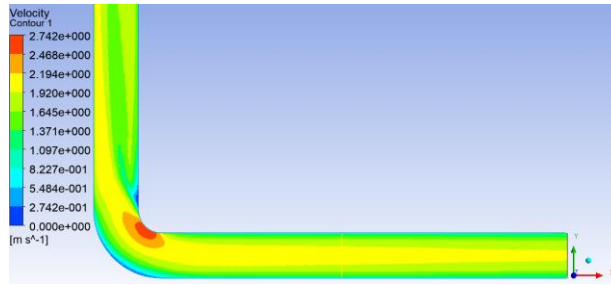
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Розподіл швидкості під час течії в коліні:

а)  $Re = 3000$ ; б)  $Re = 15000$ ; в)  $Re = 22000$ ;

г)  $Re = 150000$

Коефіцієнт кореляції отриманих залежностей більше ніж 0,9, залежності степеневі. Необхідно зауважити, що отримані рівняння відповідають магнітному полю з модулем вектора магнітної індукції 2 Тл. Загалом, коефіцієнт  $\zeta$  є функцією двох параметрів: число Рейнольдса та вектор магнітної індукції. Тому що напрямок значно впливає на значення опору не можливо знайти апроксимуюче рівняння для всіх випадків.

Таблиця 2

#### Рівняння для розрахунку коефіцієнту місцевого опору

Вектор магнітної індукції	Рівняння	Коефіцієнт кореляції
$\bar{B}(0, 0, 0)$ Тл	$11,6Re^{-0,228}$	0,983
$\bar{B}(2, 0, 0)$ Тл	$406Re^{-0,484}$	0,908
$\bar{B}(0, 2, 0)$ Тл	$4360Re^{-0,67}$	0,973
$\bar{B}(0, 0, 2)$ Тл	$25800Re^{-0,822}$	0,992

На рис. 6 зображено зміну картини течії зі збільшенням швидкості, відповідно, й числа Рейнольдса. Помітне збільшення зони відриву зі збільшенням числа Рейнольдса.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** На основі чисельного моделювання течії електропровідної рідини в коліні трубопроводу за допомогою розв'язання рівнянь Нав'є – Стокса, осереднених за Рейнольдсом, визначено залежності втрат тиску в плавному повороті.



---

1. Магнітне поле має значний вплив на епюру швидкості до повороту та після нього в коліні внаслідок того, що орієнтація вектора магнітної індукції або на першій, або на другій ділянці перпендикулярна трубі. Це призводить до деформації епюри швидкості та до її витягування до стінок, тобто збільшення швидкості біля стінок, у порівнянні з випадком без магнітного поля.

2. Коефіцієнт місцевих опорів для випадку течії електропровідної рідини залежить не тільки від числа Рейнольдса, як це відбувається для загальних рідин, а також від величини та напрямку вектора магнітної індукції.

3. Максимальні значення опору відбуваються тоді, коли вектор магнітної індукції направлено вздовж однієї з осей трубопроводу коліна.

4. Асимптотичне значення коефіцієнтів опору електропровідної рідини під дією магнітного поля збігаються зі значеннями коефіцієнтів місцевого опору без дії магнітного опору при значеннях  $Re > 10^6$ . Але за малих значень чисел Рейнольдса вплив магнітного поля дуже значний, що збільшує коефіцієнт  $\zeta$  більше ніж у 15 разів.

#### Список використаних джерел:

1. Frank M. Visual analysis of two-dimensional magnetohydrodynamics. Phys. Fluids, 2001. Vol. 13. P. 2287–2295.

2. Gedik E., Kurt H., Recebli Z. CFD simulation of magnetohydrodynamic flow of a liquid-metal galinstan fluid in circular pipes. Fluid Dynamics and Materials Processing, 2013. 9 (1). P. 23–33.

3. Sabu A. S., Mathew A., Neethu T. S., George K. A. Statistical analysis of MHD convective ferro-nanofluid flow through an inclined channel with hall current, heat source and solet effect. Thermal Science and Engineering Progress, 2021. 22 p. 100816.

4. Nijhawan P., Singla M. K., Gupta J. A Proposed Hybrid Model for Electric Power Generation: A Case Study of Rajasthan, India. IETE Journal of Research, 2021. P. 1–11.

5. Attia H. A., Ahmed M. E. Circular pipe MHD flow of a dusty Bingham fluid. Journal of Applied Science and Engineering, 2005. 8 (4). P. 257–265.

6. Сёмин Д. А., Роговой А. С. Влияние типа и размера расчетных сеток на точность расчета течений в вихрекамерных нагнетателях // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. Харків: НТУ “ХПІ”. 2016. № 41 (1213). С. 70–77.

7. Сёмин Д. А., Роговой А. С., Левашов А. Н., Левашов Я. Н. Верификация расчетов течений в вихрекамерных устройствах // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія: Машинобудування. 2016. № 2 (77). С. 71–78.

8. Hartmann J., Lazarus F. Hg-dynamics II. Theory of laminar flow of electrically conductive Liquids in a Homogeneous Magnetic Field, 1937. 15 (7).

- 
9. *Alfvén H.* Magnetohydrodynamics and the thermonuclear problem. Proceedings of the Second Nations International Conference. Vol. 31. 1958.
  10. Davidson P.A. Magnetohydrodynamics in materials processing. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999. 31 (1). P. 273–300.
  11. *Takeuchi J., Satake S. I., Morley N. B., Kunugi T., Yokomine T., Abdou M. A.* Experimental study of MHD effects on turbulent flow of Flibe simulant fluid in circular pipe. Fusion Engineering and Design, 2008. 83 (7–9). P. 1082–1086.
  12. *Zhang X., Pan C., Xu Z.* Experimental investigations on liquid metal MHD turbulent flows through a circular pipe with a conductive wall // Fusion Engineering and Design, 2017. 125. P. 647–652.
  13. *Csizmadia P., Till S., Hos C.* An experimental study on the jet breakup of Bingham plastic slurries in air // Exp Therm Fluid Sci, 2019, 102. P. 271–278.
  14. *Liu M., Duan Y. F.* Resistance properties of coalewater slurry flowing through local piping fittings // Exp Therm Fluid Sci, 2009, 33 (5). P. 828–837.
  15. *Rogovyi A., Korohodskiy V., Medvediev Ye.* Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump // Energy. 2021. Vol. 218. P. 119432.
  16. *Meng Z., Zhang S., Jia J., Chen Z., Ni M.* A K-Epsilon RANS turbulence model for incompressible MHD flow at high Hartmann number in fusion liquid metal blankets // International Journal of Energy Research. 2018. Vol. 42 (1). P. 314–320.
  17. *Rogovyi A. S.* Verification of fluid flow calculation in vortex chamber superchargers // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. 2016. Вып. 39. С. 39–46.
  18. *Tavangar S., Hashemabadi S. H., Saberimoghadam A.* CFD simulation for secondary breakup of coalewater slurry drops using OpenFOAM // Fuel Process Technol. 2015. 132. P. 153–163.
  19. *Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Krut A., Miroshnikova M., Bragin N.* Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow. In MATEC Web of Conferences 2019. Vol. 294. P. 01009.
  20. *Сьомін Д. О., Роговий А. С.* Вихорокамерні нагнітачі: монографія. Харків: ФОП Мезіна В. В. 2017. 204 с.
  21. *Роговий А. С.* Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.05.17 / Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. Харків. 2017. 364 с.
  22. *Чернецька-Білецька Н. Б., Роговий А. С., Баранов І. О., Мірошникова М. В.* Математична модель просторової тривимірної течії водовугільного палива // Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. 2018. № 1 (242). С. 159–164.

- 
23. *Widlund O.* Implementation of MHD model equations in CFX 4.3. 2000.
24. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа: учеб. для вузов. 7-е изд., испр. Москва: Дрофа. 2003. 840 с.
25. *Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л.* Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета. 2012. 88 с.
26. *Matyushenko A. A., Stabnikov A. S., Garbaruk A. V.* Criteria of computational grid generation for turbulence models taking into account laminar-turbulent transition // In Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400. No. 7. P. 077047.
27. *Ansys C. F. X.* Solver Theory Guide. Release 2019 R3. Canonsburg: ANSYS. 2019.
28. *Zhang H., Li J., Wang Z., Xu Y., Lai Y.* The numerical modeling of melt flow and mhd instabilities in an aluminum reduction cell // JOM. 2010. 62 (11). P. 26–31.
29. *Сьомін Д. О., Павлюченко В. О., Мальцев Я. І., Войцеховський С. В., Роговий А. С., Дмитрієнко Л. В., Мальцева М. О.* Вихрові виконавчі пристрої: у 2 частинах: монографія. Луганськ: Вид-во СЧУ ім. В. Даля, 2009. Ч. 1. Однорідні робочі середовища. 256 с.
30. *Rogovyi A., Khovanskyi S., Hrechka I., Gaydamaka A.* Studies of the Swirling Submerged Flow Through a Confuser. In Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, 2020. P. 85–94.
31. *Роговий А. С.* Використання методів числового вирішення задач інженерного аналізу: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2019. 112 с.

#### References:

1. Frank M. Visual analysis of two-dimensional magnetohydrodynamics. *Phys.Fluids*, 2001. vol.13, pp. 2287-2295.
2. Gedik E., Kurt H., Recebli Z. CFD simulation of magnetohydrodynamic flow of a liquid-metal galinstan fluid in circular pipes. *Fluid Dynamics and Materials Processing*, 2013. 9(1), pp. 23-33.
3. Sabu A.S., Mathew A., Neethu T.S., George K.A. Statistical analysis of MHD convective ferro-nanofluid flow through an inclined channel with hall current, heat source and solet effect. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2021. 22, pp. 100816.
4. Nijhawan P., Singla M.K., Gupta J. A Proposed Hybrid Model for Electric Power Generation: A Case Study of Rajasthan, India. *IETE Journal of Research*, 2021. pp. 1-11.
5. Attia H.A., Ahmed M.E. Circular pipe MHD flow of a dusty Bingham fluid. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2005. 8(4), pp. 257-265.

---

6. Syomin D.A., Rogovyi A.S. Vlijanie tipa i razmera raschetnyh setok na tochnost' rascheta techenij v vihre-kamernyh nagnetateljah. Visnik Nacional'nogo tehnic-nogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Serija: Gidravlichni mashini ta gidroagregati. Harkiv: NTU «HPI». 2016. № 41 (1213). S. 70-77.

7. Syomin D.A., Rogovyi A.S., Levashov A.N., Levashov Ja.N. Verifikacija raschetov techenij v vihrekamernyh ustrojstvah. Visnik NTUU "KPI". Ser. Mashinobuduvannja, 2016. № 2 (77). S. 71-78.

8. Hartmann J., Lazarus F. Hg-dynamics II. Theory of laminar flow of electrically conductive Liquids in a Homogeneous Magnetic Field, 1937. 15(7).

9. Alfvén H. Magnetohydrodynamics and the thermonuclear problem. Proceedings of the Second Nations International Conference, 1958. Vol. 31.

10. Davidson P.A. Magnetohydrodynamics in materials processing. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999. 31(1), pp. 273-300.

11. Takeuchi J., Satake S.I., Morley N.B., Kunugi T., Yokomine T., Abdou M.A. Experimental study of MHD effects on turbulent flow of Flibe simulant fluid in circular pipe. Fusion Engineering and Design, 2008. 83(7-9), pp. 1082-1086.

12. Zhang X., Pan C., Xu Z. Experimental investigations on liquid metal MHD turbulent flows through a circular pipe with a conductive wall. Fusion Engineering and Design, 2017. 125, pp. 647-652.

13. Csizmadia P, Till S, Hos C. An experimental study on the jet breakup of Bingham plastic slurries in air. Exp Therm Fluid Sci, 2019.102, pp. 271-278.

14. Liu M, Duan YF. Resistance properties of coalewater slurry flowing through local piping fittings. Exp Therm Fluid Sci, 2009. 33(5), pp.828-837.

15. Rogovyi A., Korohodskiy V., Medvediev Ye. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. Energy. 2021. Vol. 218. pp. 119432.

16. Meng Z., Zhang S., Jia J., Chen Z., Ni M. A K- Epsilon RANS turbulence model for incompressible MHD flow at high Hartmann number in fusion liquid metal blankets. International Journal of Energy Research, 2018. Vol. 42(1), pp. 314-320.

17. Rogovyi A.S. Verification of fluid flow calculation in vortex chamber superchargers. Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. Харьков, 2016. Вып. 39. С. 39-46.

18. Tavangar S, Hashemabadi SH, Saberimoghadam A. CFD simulation for secondary breakup of coalewater slurry drops using OpenFOAM. Fuel Process Technol 2015.132. pp.153e63.

19. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Krut A., Miroshnikova M., Bragin N. Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow. In MATEC Web of Conferences 2019. Vol. 294, pp. 01009.

- 
20. Syomin D.O., Rogovyi A.S. Vykhorokamerni nahnitachi: monohrafiya. Kharkiv. FOP Mezina V.V. 2017. 204 s.
  21. Rogovyi A. S. Rozrobka teorii ta metodiv rozrakhunku vykhorokamernykh nahnitachiv : dys. ... d-ra tekhn. nauk : spets. 05.05.17 / Kharkivs'kyy nats. avtomobil'no-dorozhniy un-t. Kharkiv, 2017. 364 s.
  22. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Miroshnikova M. Matematychna model' prostorovoyi tryvymirnoyi techiyi vodovuhil'noho palyva. Visnyk SNU im. V.Dalya. Syevyerodonets'k: Vyd-vo Skhidnoukr. nats. un-tu im. V.Dalya. 2018. #1 (242). S. 159-164.
  23. Widlund O. Implementation of MHD model equations in CFX 4.3. 2000.
  24. Lojczanskiy L.G. Mehanika zhidkosti i gaza: Ucheb. dlja vuzov. 7-e izd., ispr. M.: Drofa 2003. 840 s.
  25. Garbaruk A.V., Strelets M. Kh, Shur M.L. Modelirovanie turbulentnosti v raschotah slozhnykh techenij, Text-book, Publishing house of Polytechnic University, St.-Petersburg, 2012 (in Russian), 88 pp.
  26. Matyushenko A. A., Stabnikov A. S., Garbaruk A. V. Criteria of computational grid generation for turbulence models taking into account laminar-turbulent transition. In Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400, No. 7. pp. 077047.
  27. Ansys C.F.X. Solver Theory Guide. Release 2019 R3. Canonsburg: ANSYS. 2019.
  28. Zhang H., Li J., Wang Z., Xu Y., Lai Y. The numerical modeling of melt flow and mhd instabilities in an aluminum reduction cell. JOM, 2010. 62(11), pp. 26-31.
  29. Syomin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytse-khovskiy S.V., Rogovyi A.S., Dmytriyenko L.V., Maltseva M.O. Vykrovi vykonavchi prystroyi: V 2-kh chastynakh: Monohrafiya. Lugansk: vyd-vo SNU im. V.Dalya, 2009. Ch.1 Odnoridni robochi seredovyshcha. 256 s.
  30. Rogovyi A., Khovanskyi S., Hrechka I., Gaydamaka A. Studies of the Swirling Submerged Flow Through a Confuser. In Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, 2020. pp. 85-94.
  31. Rogovyi A.S. Vykorystannya metodiv chyslovoho vyri-shennya zadach inzhenerneho analizu: navchal'nyy posibnyk. Kharkiv: KhNADU, 2019. 112 s.

**А. В. Сохацький**, доктор технічних наук,  
професор, завідувач кафедри  
транспортних технологій та міжнародної  
логістики Університету митної справи  
та фінансів

**О. В. Трофімов**, кандидат  
фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри транспортних технологій  
та міжнародної логістики Університету  
митної справи та фінансів

**А. І. Кузьменко**, кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри транспортних  
технологій та міжнародної логістики  
Університету митної справи та фінансів

## ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ АНАЛОГІЇ ДЛЯ ПРОЦЕДУРИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

*Математичне моделювання транспортних потоків і нині є досить складним та актуальним завданням. Найбільш досконалі математичні моделі транспортних потоків описуються рівняннями математичної фізики. Загальний факт відмінностей гідродинамічних моделей транспортних потоків від відповідних гідродинамічних аналогів полягає в записі правої частини рівнянь. Це стосується коректного запису, як правило, гіперболічних систем рівнянь та їх дифузійних аналогів. Складнощі, що виникають в описі транспортного потоку, схожі зі складнощами, які виникають під час опису турбулентного руху рідини.*

*Мета статті – побудова математичної моделі, числового методу, алгоритму розв'язування задачі та створення програмного забезпечення для дослідження динаміки транспортних потоків. У статті розглядається задача моделювання транспортного потоку автомобільних транспортних засобів. Для опису фізичного процесу використано систему рівняння Нав'є – Стокса. Розроблено методику, алгоритм розв'язування задачі, та програмне забезпечення. Для числового інтегрування системи диференціальних рівнянь використано скінченно-об'ємний метод. Проведено тестування розробленої методики. За результатами числових розрахунків побудовано фундаментальну діаграму транспортного потоку.*

© А. В. Сохацький, О. В. Трофімов, А. І. Кузьменко, 2021

---

Ключові слова: транспортні потоки; макроскопічні моделі; числове моделювання; рівняння Нав'є – Стокса.

*Математическое моделирование транспортных потоков и сегодня является достаточно сложной и актуальной задачей. Наиболее совершенные математические модели транспортных потоков описываются уравнениями математической физики. Общим фактом отличий гидродинамических моделей транспортных потоков от соответствующих гидродинамических аналогов заключается в записи правой части уравнений. Это относится к корректной записи, как правило, гиперболических систем уравнений и их диффузионных аналогов. Сложности, которые возникают при описании транспортного потока, похожи на сложности, которые возникают при описании турбулентного движения жидкости.*

*Целью статьи является построение математической модели, числового метода, алгоритма решения задачи и создания программного обеспечения для исследования динамики транспортных потоков. В статье рассматривается задача моделирования транспортного потока автомобильных транспортных средств. Для описания физического процесса использована система уравнения Навье – Стокса. Разработана методика, алгоритм решения задачи и программное обеспечение. Для численного интегрирования системы дифференциальных уравнений использован конечно-объемный метод. Проведено тестирование разработанной методики. По результатам численных расчетов построена фундаментальная диаграмма транспортного потока.*

Ключевые слова: транспортные потоки; макроскопические модели; численное моделирование; уравнения Навье – Стокса.

*A mathematical modeling of traffic flow for today is rather intricate and actual problem. The most perfect mathematical models of traffic flow are described by equations of mathematical physics.*

*In the theory of traffic flow there are various approaches to classification of their mathematical models. One of widespread is classification on macroscopic models and microscopic models. The whole group of transport vehicles, that is described by the corresponding parameters of motion, is examined in macroscopic models. Microscopic models are based on conception of safe distance to the leader. The most known models are: model of optimal speed, following by a leader model, Treibe's model of clever driver.*

*Historically one of the first macroscopic models is a model of Lighthill – Whitham – Richards (LWR). In it the stream of motor-car transport vehicles is considered as an unidimensional stream of compressible liquid. In a model LWR is accepted, that an unambiguous interconnection exists between speed and fluid flow density, and the laws of maintenance of mass are satisfied.*

---

*Other macroscopic models based on analogues of a traffic flow to the hydrodynamic features of compressible liquid flow exist. It is a model of Tanaka, Whitham. Payne et al. The model of Helbing Eeler Navier Stokes is proposed in 1995. In this model to the system of Payne's equations the third equation that represents the law of conservation of energy for variation of speed is added. In the second equation (law of momentum conservation) an additional component is considered that allows to take into account variation of speed. It should be noted that for the system of Navier – Stokes equations it is not known how to formulate the initial Cauchy boundary value problem in order the global solution is unique for all times.*

*The main difference between the hydrodynamic models of traffic flows from the corresponding hydrodynamic analogs is the formation of the right-hand side of the equations. This refers to the correct notation, as a rule, of hyperbolic systems of equations and their diffusion analogs.*

*The difficulties arising in the description of the traffic flow are similar to those that arise in the description of the turbulent motion of a liquid.*

*The aim of work is a construction of mathematical model, numerical method, algorithm for obtaining numerical solutions and creation of software for studying the dynamics of traffic flows.*

*The task of modeling of traffic flows of motor-car transport vehicles is examined in the article. For description of physical process the system of equations of Navier – Stokes is used. Methodology, numerical algorithm, and software, is worked out. For numerical integration of the systems of differential equations, finite volume method is used. The developed methodology was tested. Based on the results of numerical calculations, a fundamental traffic flow diagram has been constructed.*

*Key words: traffic flow; macroscopic models; numerical simulation; equations of Navier – Stokes.*

**Постановка проблеми.** Математичне моделювання транспортних потоків і нинішнього часу є досить складним та актуальним завданням [1–5, 8]. Найдосконаліші математичні моделі транспортних потоків описуються рівняннями математичної фізики.

Реальні транспортні потоки автомобільних транспортних засобів складні та створюють проблеми транспортного сполучення в містах. Фізичне дослідження цих процесів пов'язане зі значними матеріальними і фінансовими затратами. Застосування математичного моделювання для дослідження процесів у транспортних потоках є ефективним інструментом розв'язування поставлених завдань та пошуку ефективних шляхів покращання використання транспортної інфраструктури. Проте їх математичне моделювання й досі залишається складною проблемою обчислювальної динаміки транспортних потоків.



---

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У теорії транспортних потоків існують різноманітні підходи до класифікації їх математичних моделей. Однією з поширених є класифікація на макроскопічні моделі та мікроскопічні моделі. В макроскопічних моделях розглядається ціла група транспортних засобів, яка описується відповідними параметрами руху. Мікроскопічні моделі ґрунтуються на концепції підтримки безпечної відстані до лідера. Найбільш відомими моделями є модель оптимальної швидкості, модель слідування за лідером, модель розумного водія Трайбера [6].

Однією з перших макроскопічних моделей є модель Лайтхілла – Візема – Річардса (LWR). У ній потік автомобільних транспортних засобів розглядається як одномірний потік стисливої рідини. В моделі LWR приймається, що існує взаємний однозначний зв'язок поміж швидкістю та густиною потоку, й виконуються закони збереження маси.

Потім з'явилися інші макроскопічні моделі, що ґрунтувалися на аналогах транспортного потоку гідродинамічним особливостям течії стисливої рідини. Це модель Танака, Візема, Пейна та ін. У 1995 р. з'явилася модель Хельбінга – Ейлера – Нав'є – Стокса. В цій моделі до системи рівнянь Пейна додається третє рівняння, що відображає закон збереження енергії для варіації швидкості. В друге рівняння (закон збереження імпульсу) вводиться додаткова складова, що уможливорює враховувати варіацію швидкості. Слід зазначити, що для системи рівнянь Нав'є – Стокса не відомо, як поставити початкову крайову задачу Коші, аби глобальний розв'язок був єдиним за всіх значень часу. За розв'язання цієї проблеми математичний інститут Клея США у 2000 р. призначив премію в один мільйон доларів

Загальний факт відмінностей гідродинамічних моделей транспортних потоків від відповідних гідродинамічних аналогів полягає в записі правої частини рівнянь. Це стосується коректного запису, як правило, гіперболічних систем рівнянь та їх дифузійних аналогів.

Слід зауважити, що складнощі, які виникають під час опису динаміки транспортного потоку, схожі зі складнощами, що виникають під час опису турбулентного руху стисливої рідини [6, 7].

**Мета статті.** Дослідження динаміки транспортних потоків – це ефективний інструмент для підвищення пропускної спроможності автомагістралей та покращання безпеки руху. Розробка нових математичних моделей транспортних процесів є актуальним та важливим завданням. Мета статті – побудова математичної моделі, числового методу, алгоритму розв'язування задачі та створення програмного забезпечення для дослідження динаміки транспортних потоків на основі гідродинамічної аналогії.

**Виклад основного матеріалу.** Для розв'язування задач гідродинаміки найнадійнішими є методи, що базуються на рівняннях Нав'є – Стокса. В декартовій системі координат система рівнянь Нав'є – Стокса запишеться

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Вектори  $Q, E, F, G, H$  визначаються такими співвідношеннями:

$$Q = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ E_t \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u u + p - \tau_{xx} \\ \rho u v - \tau_{xy} \\ \rho w u - \tau_{xz} \\ (E_t + p)u - u\tau_{xx} - v\tau_{xy} - w\tau_{xz} + q_x \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho u v - \tau_{xy} \\ \rho v v + p - \tau_{yy} \\ \rho w v - \tau_{yz} \\ (E_t + p)v - u\tau_{xy} - v\tau_{yy} - w\tau_{xz} + q_y \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} \rho w \\ \rho u w - \tau_{xz} \\ \rho v w - \tau_{yz} \\ \rho w w + p - \tau_{zz} \\ (E_t + p)w - u\tau_{xz} - v\tau_{yz} - w\tau_{zz} + q_z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина потоку,  $u, v, w$  – компоненти проекції вектора швидкості на осі зв'язаної системи координат.

Компоненти тензора напружень та вектори теплових потоків мають вигляд:

$$\tau_{xx} = \frac{2}{3}\mu \left( 2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} \right), \quad \tau_{yy} = \frac{2}{3}\mu \left( 2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial z} \right), \quad \tau_{zz} = \frac{2}{3}\mu \left( 2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right),$$

$$\tau_{xy} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = \tau_{yx}, \quad \tau_{xz} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \tau_{zx}, \quad \tau_{yz} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = \tau_{zy},$$

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}, \quad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}, \quad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}. \quad (3)$$

Величину тиску в течіях стисливої рідини знаходять з рівняння такого вигляду:

$$p = (\gamma - 1) \left[ E_t - \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2 + w^2) \right], \quad (4)$$

де  $\gamma = C_p / C_v$  – відношення питомих теплоємностей.

Співвідношення для визначення температури має такий вигляд:

$$T = \frac{1}{C_v} \left[ \frac{E_t}{\rho} - \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) \right], \quad (5)$$

де  $C_v = \frac{1}{\gamma(\gamma-1)M_0^2}$ ;

$M_0 = u_0/a_0$  – характерне число Маха;

$a_0$  – ізоентропічна швидкість звуку в незбуреному потоці.

Транспортний потік розглядається як аналог потоку стисливої рідини. Проте ряд фізичних явищ, що характерні для стисливої рідини в транспортному потоці, не характерні для динаміки руху транспортного потоку. В певному наближенні потоком транспортних засобів до потоку рідини можна знехтувати. Однак у розробленій методиці не враховується рівняння збереження енергії, тензори напружень та вектори теплових потоків. Виходячи з цього та враховуючи те, що транспортні засоби рухаються в одній площині, задачу можна звести до двовимірної. Враховуючи те, що тиск є функцією від густини потоку (4), співвідношення для тиску слід визначати як функцію від густини потоку.

З урахуванням прийнятих допущень система рівнянь для транспортних потоків на основі гідродинамічної аналогії записується так:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} = 0. \quad (6)$$

З урахуванням прийнятих допущень вектори  $Q$ ,  $E$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $H$  визначаються такими співвідношеннями:

$$Q = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u u + p \\ \rho v u \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho u v \\ \rho v v + p \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де  $p = f_p \cdot \rho$ .

---

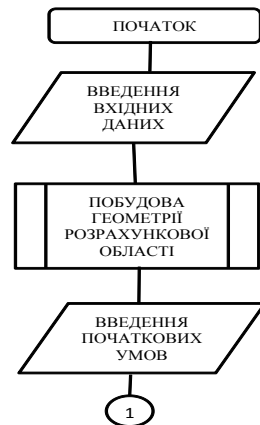
**Числовий метод.** Для числового розв'язування системи рівнянь (6) використано метод контрольного об'єму. Основні засади методу контрольного об'єму (МКО) полягають у тому, що розглядаються класичні рівняння балансу деякої величини  $Q$  в контрольному об'ємі  $V$ , обмеженому поверхнею  $S = \sum S_k$  із зовнішньою нормаллю  $\vec{n}$ .

Скінченно-різницевий аналог диференціальних рівнянь (6) записується за контрольним об'ємом подібно до того, як виконується запис для гідродинамічної задачі [6, 7].

Отримана система алгебраїчних рівнянь розв'язувалася методом Ейлера. Розроблена методика, алгоритм та програмне забезпечення тестувалося на ряді стандартних задач.

Таким чином, для прогнозування транспортних потоків розроблено методику розрахунку, алгоритм та написано програмне забезпечення. Для апроксимації конвективних складових вихідного рівняння переносу імпульсу використано модифіковану протипотокову схему. Відповідно, розроблено механізм апроксимації значень шуканих функцій на гранях контрольного об'єму, який гарантує уникнення некоректних негативних швидкостей транспортних засобів. Алгоритм розроблено так, щоб забезпечити виконання законів збереження (рис. 1). Члени рівнянь правої частини переносу імпульсу зазвичай апроксимуються за центрально-різницевою схемою. Фізичні процеси формування тензору напружень динаміки стисливої рідини відрізняються від фізичних процесів у потоці автомобільних транспортних засобів. Ця особливість ураховувалась під час розрахунку правих частин рівнянь переносу імпульсу.

За результатами проведених числових розрахунків побудовано залежності інтенсивності руху транспортних засобів як функцію від густини потоку. На рис. 2 зображено графік отриманих залежностей. Видно, що результати розрахунків узгоджуються з даними фундаментальної діаграми праці [8].



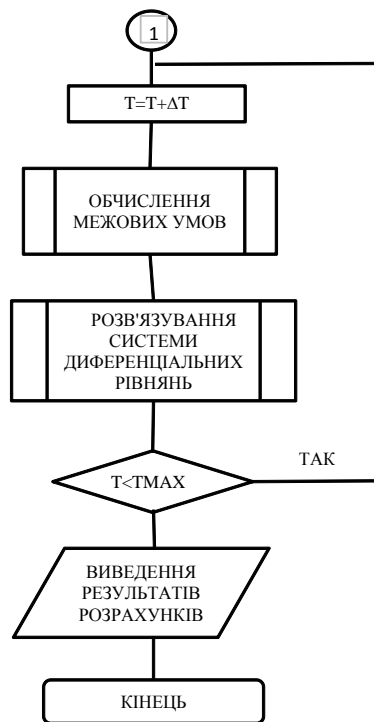


Рис. 1. Алгоритм розв'язування задачі

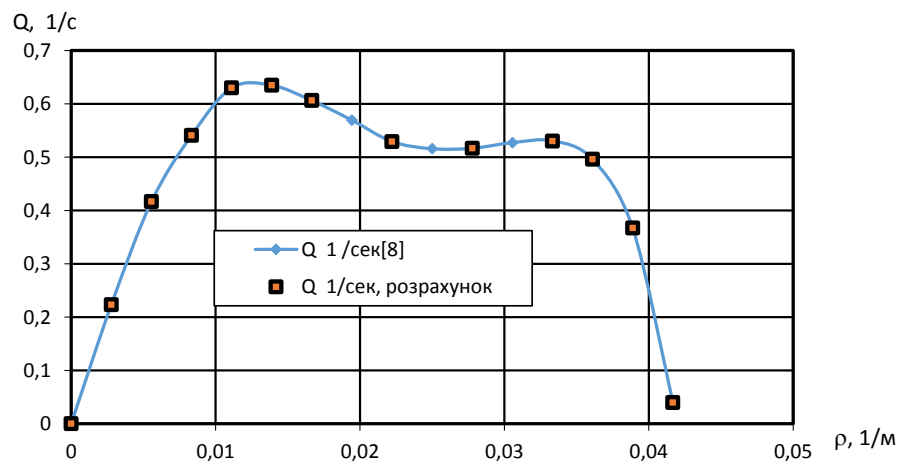


Рис. 2. Фундаментальна діаграма

---

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У статті розглянуто задачу моделювання транспортного потоку автомобільних транспортних засобів. Для опису фізичного процесу використано систему рівняння Нав'є – Стокса. Розроблено методику, алгоритм розв'язування задачі, та програмне забезпечення. Для числового інтегрування системи диференціальних рівнянь використано скінченно-об'ємний метод. Проведено тестування розробленої методики. За результатами числових розрахунків побудовано фундаментальну діаграму транспортного потоку, яка у подальшому може бути адаптована до змінюваних параметрів транспортних потоків напружених міських магістралей.

**Список використаних джерел:**

1. *Lighthill M. J., Whitham G. B.* On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads // Proc. R. Soc. London, Se. A. 1955. V. 229. P. 281–345.
2. *Richards P. I.* Shock Waves on the Highway // Oper. Res. 1956. V. 4. P. 42–51.
3. *Уизем Дж.* Линейные и нелинейные волны. Москва: Мир, 1977.
4. *Хейт Ф.* Математическая теория транспортных потоков. Москва: Мир, 1966.
5. *Дрю А.* Теория транспортных потоков и управление ими // Транспорт. 1972. С. 1\_424.
6. *Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Травин А. К., Шур М. Л.* Современные подходы к моделированию турбулентности. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 234 с.
7. *Сохацький А. В.* Теоретичні основи створення аеродинамічних компонентів перспективних швидкісних транспортних апаратів: дис. ... доктора технічних наук: 05.07.01. Дніпропетровськ. 2010. 364 с.
8. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / Гасников А. В. и др.; под ред. А. В. Гасникова. Москва: МФТИ, 2010. 362 с.

**References:**

1. *Lighthill M. J., Whitham G. B.* On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads // Proc. R. Soc. London, Se. A. 1955. V. 229. P. 281–345.
2. *Richards P. I.* Shock Waves on the Highway // Oper. Res. 1956. V. 4. P. 42–51.
3. *Whitham Dzh.* Lyneinyye y nelyneinyye volny. M.: Myr, 1977.
4. *Kheit F.* Matematycheskaia teoriya transportnikh potokov. M.: Myr, 1966.

5. *Driu A.* Teoryia transportnykh potokov y upravlenye ymy. "Transport", 1972 h., str. 1-424

6. *Garbaruk A. V., Strelets M. H., Travin A. K., Shur M. L.* Sovremennyye podhody k modelirovaniyu turbulentsnosti . SPb. Izd-vo Politehn. un-ta, 2016. 234 s.

7. *Sohatskiy A. V.* Teoretichni osnovi stvorenniya aerodinamichnih komponovan perspektivnih shvidkisnih transportnykh aparativ: dis. doktora tehniknykh nauk: 05.07.01. Dnipropetrovsk. 2010. 364 s.

8. *Vvedeniye v matematycheskoe modelirovaniye transportnykh potokov / Hasnykov A. V. y dr. / pod red. A. V. Hasnykova.* M.: MFTY, 2010. 362 s.



DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2021-1-61.3>

UDC 004.056.5

**B. B. Stelyuk**, PhD, Professor  
of the Department of Cybersecurity  
and Information Technologies,  
University of Customs and Finance

**D. O. Tkhorzhevskiy**, teacher of Computer  
Science & Software Engineering  
Department, University of Customs  
and Finance

**N. V. Khalipova**, PhD, Professor of the  
Department of Transport Technologies and  
International Logistics, University of Customs  
and Finance

#### **MODELS AND METHODS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF WIRELESS ACCESS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS**

*The peculiarities of construction of complex information and telecommunication systems of special purpose are researched in the work, the general and special requirements to the applied telecommunication technologies are substantiated on the example of the automated territorially distributed system of the uniform regional operative and dispatching centers. To take into account certain*

© **B. B. Stelyuk, D. O. Tkhorzhevskiy, N. V. Khalipova, 2021**

---

*properties of the generated authorization keys, a comprehensive model of authorization and authentication of wireless access is proposed for the security assessment of telecommunication systems and networks. The proposed territorial distribution systems of unified regional operational control centers for special purposes are based on the deployment of wireless telecommunication systems and must meet the basic requirements of users with high mobility.*

*Consider the capabilities of these systems in terms of fulfilling special requirements for ensuring the security of national information resources, personal data, information with limited access and the security of communication protocols, etc. An analysis is carried out in the specification of IEEE 802.16 series standards on the use of various cryptographic protection mechanisms designed to provide various security services and security in wireless telecommunication networks, representing various attacks aimed at disrupting the operation of authentication and authorization protocols.*

*The communication protocols used in the deployment and use of wireless telecommunication systems that provide an increased level of security, especially regarding the issues of unauthorized interception of transmitted data and unauthorized access to various telecommunication resources, and violations associated with false authentication of devices in relation to users of certain elements of telecommunication systems.*

*Basic models of wireless telecommunication systems are proposed, which are deployed in accordance with the IEEE 802.16 specification and can be used to build various information systems for special purposes, including geographically distributed systems of unified regional operational control centers in Ukraine.*

*Key words: security; authorization; authentication; information and telecommunication systems; wireless information network.*

*В статье исследованы особенности построения сложных информационно-телекоммуникационных систем специального назначения, на примере автоматизированной территориально распределенной системы единых региональных оперативно-диспетчерских центров обоснованы общие и специальные требования к применяемым телекоммуникационным технологиям. Для учитывания определенных свойств формируемых ключей авторизации оценки безопасности телекоммуникационных систем и сетей предложена комплексная модель авторизации и аутентификации беспроводного доступа.*

*Ключевые слова: безопасность; авторизация; аутентификация; информационно-телекоммуникационные системы; беспроводная информационная сеть.*



---

*У статті досліджено особливості побудови складних інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення, на прикладі автоматизованої територіально розподіленої системи єдиних регіональних оперативно-диспетчерських центрів обґрунтовано загальні та спеціальні вимоги до застосовуваних телекомунікаційних технологій. Для врахування певних властивостей формованих ключів авторизації оцінки безпеки телекомунікаційних систем та мереж запропонована комплексна модель авторизації та автентифікації безпроводового доступу.*

*Ключові слова: безпека; авторизація; автентифікація; інформаційно-телекомунікаційні системи; безпроводова інформаційна мережа.*

**Introduction.** The current state of informatization of various spheres of human activity requires the introduction of the latest information and telecommunication systems and technologies with a high level of quality of services, providing the necessary probability and time indicators at all stages of collection, processing and transmission of information. Particularly stringent requirements for the quality of telecommunications services in critical information systems, in which the failure of any subsystem, or the failure of certain indicators beyond the established limits is a real danger to life and health, industry, environment, banking, transport systems, etc.

Given the complexity and diversity of factors affecting the lives of Ukrainian citizens, almost any risk factor, namely: environmental conditions, man-made disasters, natural disasters, epidemiological “outbreaks”, can have extremely serious consequences for many people who find themselves in zone of development of a dangerous situation [2]. The consequences of such global problems can be minimized only through the introduction of national security, control and response systems, development and implementation of the latest systems for collecting processing and transmitting critical information, in particular, creating a territorially distributed system of single regional operational control centers based on wireless telecommunications systems of special purpose. The implementation of these tasks is the basis of national projects, which is accepted for implementation by the State Agency for Investment and Management of National Projects of Ukraine [1, 2]. The introduction of a system of unified regional operational and dispatch centers for special purposes at the national level will have the following advantages [1, 2]:

- automation of receiving calls from the population and messages from organizations that serve the population;
- obtaining information to assess the status and priority of the use of response forces, as well as forecasting the development of the operational situation;
- monitoring of mobile services deployed on emergency response vehicles;

- 
- assessment of actions on duty and development of further recommendations, control of response time and discipline of execution;
  - recording of all actions of operators, recording of negotiations, estimation of reaction time of all elements of system and participants of operation;
  - ensuring effective interaction of structural units of the Emergency (Ambulance) Medical Care, the Ministry of Internal Affairs, the Ministry of Emergencies and other units;
  - formation of statistical reports and provision of reference information, which allows, in particular, to take measures to prevent false calls and release the next shift from routine work.

The automated territorially distributed system of the unified regional operative-dispatching centers of special purpose is built as modular, open and expandable. The automated system can be integrated with other automated systems or take on part of the overall information load [3].

**Analysis of recent research and publications.** During the preparation of the preliminary feasibility study of the automated system, the world experience of implementing similar systems was studied. Their best samples were considered, the possibilities of using modern technologies and equipment were assessed, taking into account the peculiarities of their use in Ukraine [5]. Among the main advantages of the implementation of such automated systems should be noted [3, 4]:

- significant reduction of processing time and response to calls from the population;
- full automatic quality control of calls;
- reducing the number of false departures;
- uniform load distribution;
- a single information base available to all users of the system, regardless of their geographical distance;
- increasing the level of protection and loyalty of the population to the work of assistance services.

The system of communication of centers with each other, with divisions, including the district level, with mobile subscribers, etc., is two different network technology:

1. Departmental IP-network (fixed and mobile) based on packet switching, which provides:

- receiving calls from subscribers from the Internet (e-mails, IP-telephony, on-line messages);
- interaction with medical institutions, with mobile ambulance crews, including GPS data transmission;
- centralized management of the departmental IP network;

---

- data exchange between any point of the network, including multimedia information (voice, video, graphics, telemetry data, etc.) to be transmitted during emergency call processing, at all stages of its support, including receiving help and advisory information, coordination with various institutions, etc.;
- access to common databases from any point of the network;
- control over the stages of implementation to the Center;
- similar-statistical processing of performance characteristics of all links, etc.

2. Telephone network based on channels switching, which provides:

- receiving calls from telephone network subscribers (from fixed public network operators, mobile network operators, private operators, networks of other departments, etc.);

- telephone communication between institutions, including – communication at the level of cities and districts of the region;

- at the district level it is possible to deploy district emergency call centers based on CATS equipment with telephone operators' workplaces;

- direct telephone communication of heads of services when using special direct communication panels;

- reservation of IP-channels to UDF operators by telephone lines;

- registration of calls (including voice channels) serviced by switching equipment of CATS (digital automatic telephone exchange).

- TD TDM / IP gateway functions (including media gateway functions and signal gateway functions) to promote calls to UDF operators.

Each regional center includes an operational dispatch service (ODS), equipped with jobs for operators implemented using IP technologies. In addition, the service operators are provided with the usual telephone connection, which will serve as a backup system in case of failure / failure of the IP network.

Thus, the creation of a territorially distributed system of unified regional operational and control centers for special purposes is based on the deployment of wireless telecommunications systems, which should provide the basic requirements [3–6]:

- construction of IP-oriented telecommunication network that is based on information technologies with packet switching using IP protocols;

- high and ultra-high peak data rates to support advanced services and applications, data rates should be between 100 Mbps for users with high mobility and from 1 Gbps for users with low mobility;

- dynamically collective network resources are used to support more simultaneous connections to one base station;

- 
- scalable channel bandwidth, high peak spectral efficiency;
  - smooth process of transferring a subscriber's session from one base station to another via different networks;
  - versatility and high quality of mobile services, including the provision of various multimedia services.

These requirements are inherent in the latest telecommunications wireless access systems of the so-called fourth generation (generation), or 4G for short.

The following special requirements are put forward to the additional requirements to wireless telecommunication systems of special purpose, on the basis of which the territorially distributed systems of the single regional operational and dispatching centers are deployed [5–7]:

1. Ensuring the security of state information resources.
2. Ensuring the security of personal data.
3. Protection of information with limited access.
4. Ensuring the availability and integrity of public information.
5. Ensuring the security of communication protocols.

The communication protocols used in the deployment and use of wireless telecommunications systems should provide an increased level of security, especially in matters of unauthorized interception of transmitted data, unauthorized access to various telecommunications resources, violations related to incorrect authentication of devices and system users, violations or out of the set operation modes of communication devices and individual elements of the system [5–6].

Therefore, **an important and urgent task** now is the principle of deployment of wireless telecommunications systems for special purposes. **The aim of the research** is to use the latest information technologies related to the fourth generation of digital data networks with the implementation of increased security requirements for telecommunications systems and networks at all stages of collection, processing and transmission of information.

**Presenting main material.** Wireless telecommunication systems have gained the most development in recent years, as they allow to provide high-speed broadband access services, and, in practice, to ensure compliance with all requirements for fourth-generation communication systems [6–8]. Their main advantage is the rapid deployment of large areas without cable laying and providing end users with high-speed communication channels. This is especially true for places with underdeveloped network infrastructure, such as new suburbs, historic city centers, etc. The IEEE 802.16 series standards are a set of standards that define Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) and have been developed to provide wireless broadband access to fixed and mobile users [5–11]. The scheme of standards of this series is given in figure 1.

---

The IEEE 802.16 series standards define the radio interface for broadband wireless access systems MAC (Media Access Control) and PHY (Physical layer) with fixed and mobile subscribers in the frequency range 1-66 GHz, designed for implementation in urban distributed wireless networks. Networks based on these standards occupy an intermediate position between local area networks (IEEE 802.11x) and regional WANs (Wide Area Network), where the application of the IEEE 802.20 standard is planned [9–11].

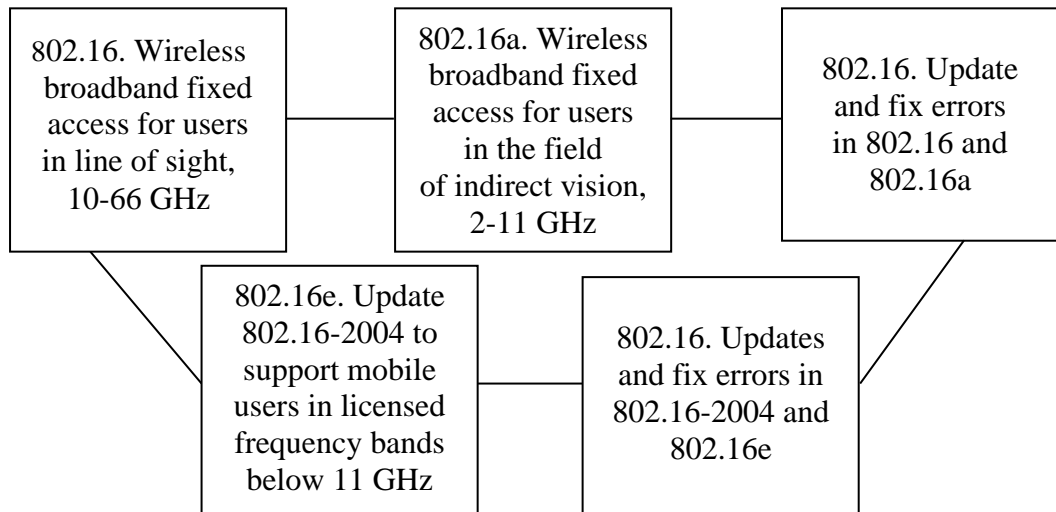


Fig. 1. Scheme of standards of the IEEE 802.16 series

These standards together with the IEEE 802.15 PAN (Personal Area Network) and IEEE 802.17 (MAC-level bridges) form a hierarchy of wireless communication standards. The standards describe the MAC and PHY levels of the reference model of open systems interaction (EMVVS - the basic reference model of open systems interaction). The level of MAC is divided into sublevel convergence, total and security. The convergence layer reconciles the top-level protocol data formats and the 802.16 MAC layer data. The data is converted into MAC SDU (Service Data Unit) packets, while the identifiers of connections, protocols and the like are formed. The general part of the MAC sublevel performs the main functions of planning, processing and allocating resources, establishing and maintaining connections, maintaining QOS (Quality of service). At the security level, data is encrypted to ensure the confidentiality of users. The physical layer determines the type of signals used for data transmission, methods of manipulation of noise-tolerant coding, algorithms for forming logical channels and so on.

---

Thus, the analysis shows that WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is a long-range system that covers large amounts of space, and which typically uses licensed frequency spectra (although possibly using unlicensed frequencies) to provide an Internet connection type point-to-point provider to the end-user. Different 802.16 family standards provide different types of access (fig. 2).

The IEEE 802.16m standard, also known as Wireless MAN-Advanced and WiMAX-2. This standard can significantly increase the bandwidth of wireless networks (stationary equipment of the new generation will receive data at speeds up to 1 Gbps, and mobile devices – up to 100 Mbps). At the same time backward compatibility with the existing WiMAX equipment remains.

A promising version of the IEEE 802.16n standard (WiMAX 3.0), which should provide the highest speed of access to networks, is planned to be adopted in the next 3–5 years. It will provide speeds for fixed channels of 10 Gbps and for mobile communications up to 1 Gbps.

The communication channel assumes the presence of two directions of transmission: ascending channel (AS–BS, uplink) and descending (BS–AS, downlink). These two channels use different frequency ranges for frequency duplex and different time intervals for time duplex.

The simplest way to represent the architecture of WiMAX networks is to describe them as a set of BS, which are located on the roofs of high-rise buildings or towers, and client transceivers. The basic model (BM) of the WiMAX network is a representation of its network architecture in the form of functional modules and standard interfaces (connection points of modules). It includes three main elements: a set of subscriber (mobile) stations (SS), a set of access networks (ASN, Access Service Network) and a set of connection networks (CSN, Connectivity Service Network). In addition, the BM includes the so-called base points (R1 ... R8), through which functional modules are connected.

An ASN belongs to a network access provider (NAP), an organization that provides access to a radio network for one or more WiMAX service providers (NSPs). In turn, the WiMAX service provider is an organization that provides IP connections and WiMAX services to end users. Within the framework of this model, WiMAX service providers enter into agreements with Internet providers, operators of other access networks, roaming agreements and the like. Service providers in relation to the subscriber can be home and guest, each with its own CSN network.

An ASN is a set of IEEE 802.16 wireless access stations and gateways for communication with a transport IP network (local or wide area networks). In fact, this network connects IEEE 802.16 radio networks and IP networks. The ASN includes at least one BS and at least one ASN gateway. But both base stations and gateways in one ASN can be several, and one BS can be logically connected to several gateways. BS in this model is a logical device that supports a set of IEEE 802.16 protocols and external communication functions.

Technology	Standard	Usage	Bandwidth	Range	Frequency
WiMax	802.16d	WMAN	up to 75 Mbps	25–80 km	1,5–11 GHz
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	up to 40 Mbps	1–5 km	2,3–13,6 GHz
WiMax-2	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	up to 1 Gbps (WMAN), up to 100 Mbps (Mobile WMAN)	As in WiMax	20 GHz
WiMax-3	802.16n	WMAN, Mobile WMAN	up to 10 Gbps (WMAN), up to 1 Gbps (Mobile WMAN)	Standard in development	Standard in development

Fig. 2. Information about WiMAX standards

The analysis of the architecture and basic model of wireless telecommunication systems, which are deployed in accordance with the IEEE 802.16 specification, shows that they really meet the basic requirements for fourth generation networks and can be used to build various special purpose information systems, including geographically distributed systems. regional operational and dispatch centers in Ukraine [5–6].

Consider the capabilities of these systems in terms of compliance with special requirements for the security of public information resources, personal data, information with limited access, security of communication protocols, etc.

The most important task facing the developers of the latest wireless telecommunications systems is to ensure the protection of information at all stages of its processing and transmission through communication channels. This is due to the general availability of wireless data channels and, accordingly, the possible interception of transmitted messages. Therefore, developing the standards of wireless telecommunication systems of the IEEE 802.16 series, and especially in the IEEE 802.16e specifications, special attention was paid to the security level

---

[9–11]. The security layer provides authentication services (to authenticate the user and the device he uses) and authorization (to match the authenticated user to the list of services available to him). In addition, the security level of IEEE 802.16e standards meets the basic requirements of users of wireless telecommunications systems, namely confidence in the confidentiality and integrity of data transmitted over the network, as well as that the user will always be able to access paid services. Therefore, all the tasks before him are solved in three ways [8–11]:

- using the tools of the EAP protocol (Extensible Authentication Protocol) and the RSA algorithm (Rivest, Shamir and Adleman) for authentication and authorization of the SS;

- implementation of cryptographic transformations on traffic, ensuring the confidentiality, integrity and authenticity of data, as well as the authenticity and integrity of MAC-level service messages;

- using Privacy and Key Management protocol (PKM) for secure key information distribution.

A stack of protocols for the security of wireless telecoms, based on the specifics of the IEEE 802.16e standards, contains the following components [8–11]:

- PKM key management protocol in WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) systems for the control of all components for security and key management.

- The protocols for encrypting / authenticating traffic are designed to ensure the confidentiality, integrity and authenticity of the data transmitted from the list of symmetric encryption / decryption algorithms.

- The protocols for managing operations on operating systems are designated for managing MAC-level domains linked to PKM.

- Authentication protocols are designed to perform MAC-level message authentication functions.

- RSA authentication protocols are designed to perform the authentication functions of the SS and the BS using the digital certificates X.509 contained therein, if the authorization method between the SS and the BS is selected by RSA.

- EAP encapsulation / deincapsulation protocols are designed to provide the EAP protocol interface in the event that authorization or authentication between the SS and the BS is performed using EAP.

- SA authorization / control protocols are designed to control the authorization endpoint and the data stream encryption key endpoint.

- The EAP protocol and the EAP Method protocol are outside the security level of the IEEE 802.16e standard.

It is worth noting that the PKM protocol has two versions – PKMv1 and PKMv2. Both versions are included in the IEEE 802.16e-2005, 2009 standard, but there are significant differences between them. In particular, support for the RSA algorithm is mandatory in PKMv1 and optional in PKMv2.



---

To transmit messages, the PKM protocol uses MAC-level service messages: PKM-REQ (uplink) and PKM-RSP (downlink). Each time one of these two messages is transmitted, the PKM message is encapsulated in it.

The analysis performed in the IEEE 802.16 series standard specification uses various cryptographic protection mechanisms designed to provide various security services. At the same time, as noted in works [3–5], the greatest threat to security in wireless telecommunications networks are various attacks aimed at violating the protocols of authentication and authorization, namely:

- the possibility of unauthorized connection of “self-proclaimed” base stations, which is due to the lack of a certificate of the base station;
- vulnerability related to non-random generation of authorization keys by the base station;
- the ability to reuse TEK (Traffic Encryption Key) keys whose life has already expired. This is due to the very small size of the EKS field of the TEK key index. Since the maximum lifetime of the authorization key is 70 days (100, 800 minutes) and the minimum lifetime of the TEK key is 30 minutes, the required number of possible TEK key identifiers is 3360. This means that the number of required bits for the EKS field is 12.

The greatest danger for security protocols are methods and algorithms for generating authorization keys, because the properties of randomness and irreversibility of these keys are based on all assumptions about the security of other security mechanisms, including traffic encryption mechanisms.

Based on the results of research and taking into account the importance and urgency of solving problems of authentication and authorization of wireless access in modern telecommunications systems and networks, we will conduct a security assessment in terms of providing reliable protection against unauthorized access to various telecommunications resources, faulty authentication and authorization of devices and users. Since authorized access in these systems is provided by generating the appropriate authorization key, the level of security will be determined based on the properties of these keys and the potential for attackers to act on them to destroy, distort, block information, its unauthorized leakage or violation of its routing. These indicators and criteria for assessing the security of telecommunications systems and networks related to the authentication and authorization of wireless access [4, 5]:

1. The probability  $P_{\hat{A}}$  of exposing the rule of formation of access authorization keys. It is assessed by the criterion of minimum risk, as the highest probability of exposing the rule of forming the keys to authorize access by the attacker when applying different strategies:

$$P_{\hat{A}} = \max\{P_{\hat{A}}(v_1), P_{\hat{A}}(v_2), \dots, P_{\hat{A}}(v_m)\}, \quad 1)$$

$P_{\hat{A}}(v_i)$  – the probability of exposing the rule of formation when applying the strategy by the attacker  $v_i$ ,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  – many possible strategies for

---

the behavior of the attacker. The lower limit is the estimate  $P_{\hat{A}} \leq 2^{-k}$ ,  $k$  – bit length of the initiation vector when generating access authorization keys.

2. The probability of coincidence  $P_C$  of access authorization keys, which characterizes the number of rules for the formation of their generation, in which there is a coincidence (collision) of the generated authorization keys. The lower limit is the estimate  $P_C \leq 2^{-n}$ ,  $n$  – bit length of the generated authorization keys.

3. The probability of unauthorized access authorization  $P_{\hat{i}\hat{a}}$ , which is determined by the criterion of minimum risk by the formula  $P_{\hat{i}\hat{a}} \leq \max\{P_{\hat{A}}, P_C\}$ .

4. Secure operation time  $\hat{O}_A$  of access authorization keys, which is defined as the inverse of the probability  $P_{\hat{i}\hat{a}}$  of unauthorized access authorization, taking into account the computing capabilities of the attacker:

$$\hat{O}_A = \frac{(P_{\hat{i}\hat{a}})^{-1}}{\gamma \cdot \Psi}, \quad 2)$$

$\gamma = 31\,622\,400$  – numerical coefficient for conversion of seconds into years;  $\Psi$  – performance of the computer system, which is available to the attacker.

5. Statistical security of the scheme of formation of keys of access authorization. It is estimated by the international method of statistical testing of generators of random and pseudo-random sequences [5, 7–9] by forming a probability vector of 189 statistical tests  $P = \{P_1, P_2 \dots P_{189}\}$ . The generator is considered statistically safe when all the probabilities of the vector  $P$  satisfy the set threshold, namely  $\forall i : P_i \geq 0,96$  [5, 7–9].

We will consider the scheme of authentication and authorization of access safe if:

$$P_{\hat{A}} \leq 2^{-k}; P_C \leq 2^{-n}; P_{\hat{i}\hat{a}} \leq \max\{P_{\hat{A}}, P_C\}; \hat{O}_a \geq \frac{(P_{\hat{i}\hat{a}})^{-1}}{\gamma \cdot \Psi} \quad 3)$$

and when statistical security requirements are met.

Thus, if the inequalities in expression (3) are satisfied, the corresponding values of  $k$  and  $n$  are decisive in justifying the level of security of telecommunications systems and networks in terms of the applied authentication and authorization protocols.

**Conclusions.** The analysis showed that in accordance with the specification of the considered wireless telecommunication systems and networks to ensure security during authentication and authorization, modern methods and means of information protection are used to ensure high resistance to exposing the rules of

---

access authorization keys, i.e we will assume that the inequality  $P_{\hat{A}} \leq 2^{-k}$  holds. However, the experience of using wireless technologies and the large number of successfully implemented authorization violations suggests that modern requirements for the probability  $P_C$  of matching access authorization keys are not met, i.e the assumption  $P_C \leq 2^{-n}$  is incorrect. Since the remaining safety indicators are a function from  $P_C$ , and  $P_{\hat{A}} \leq 2^{-k}$ , then the purpose of the work is formally written in the form of an objective function  $\min(P_C)$ , provided that the following inequality holds  $P_{\hat{A}} \leq 2^{-k}$ . Thus, the scientific and technical task of developing a method to increase the security of wireless telecommunications systems and networks based on the formation of pseudo-random keys for access authorization is relevant and important for the development of certain methods of data theory to improve the security of wireless telecommunications systems and networks, and in the applied sense for the construction of efficient methods and computational algorithms for the formation of pseudo-random keys for wireless access authorization.

A promising area of further research is the analysis of modern methods of forming pseudo-random sequences and substantiation of ways to build secure generators with the maximum period of formation of access authorization keys.

#### References:

1. Law of Ukraine "On Telecommunications" of November 18, 2003. № 1280-IV.
2. The concept of telecommunications development in Ukraine, approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of June 7, 2006. № 316-p.
3. *Prokopovich-Tkachenko D. I.* Research of protocols of authentication and authorization of access in wireless telecommunication systems and networks // Systems of armament and military equipment, 2013, № 1 (33). P. 119–122.
4. *Prokopovich-Tkachenko D. I.* Mathematical model of authorization and authentication of wireless access in telecommunication systems and networks // Information processing systems. – Kharkiv: Kharkiv National University of the Air Force, 2013. – Edition 5 (112). – P. 111–118.
5. *Rashich A. V.* WiMAX wireless access networks: textbook. St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic University, 2011. – P. 179.
6. Standard of wireless networks of city scale. – IEEE Std 802.16™. – 2009.
7. *Adibi S., Agnew G. B., Tofigh T.* End-to-End (E2E) Security Approach in WiMAX: Security Technical Overview for Corporate Multimedia Applications. P. 747–758, Handbook of Research on Wireless Security (2 Volumes) Edited By: Yan Zhang, Jun Zheng, Miao Ma, 2008.

8. Adibi S., Lin B., Ho P.-H., Agnew G. B., Erfani S. Authentication Authorization and Accounting (AAA) Schemes in WiMAX, University of Waterloo, Broadband Communication Research Centre (BBCR), appears in: *Electro-information Technology, 2006 IEEE International Conference on* 7–10. P. 210–215, May 2006.

9. Airspan, “Mobile WiMAX security”, Airspan Networks Inc. 2007. [Online]. URL: <http://www.airspan.com>

10. Taeshik Shon and Wook Choi. *An Analysis of Mobile WiMAX Security: Vulnerabilities and Solutions: Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4658. P. 88–97, Aug. 2007.

11. Standard for local and metropolitan area networks. IEEE Std 802.16m-2011.



DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2021-1-61.4>

УДК 656.13(075)

**О. М. Сазонець**, доктор економічних наук,  
професор, професор кафедри  
транспортних технологій та міжнародної  
логістики Університету митної справи  
та фінансів

**І. Ю. Леснікова**, кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри транспортних  
технологій та міжнародної логістики  
Університету митної справи та фінансів

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

*У статті наголошено, що автотранспорт в Україні є обслуговуючою ланкою всього національного господарства, він відіграє важливу роль у розвитку економіки країни. Представлено динаміку автоперевезень пасажирів в Україні і на її основі побудовано прогноз стану цієї галузі на наступні шість років, який є невтішним для нашої держави. Наведено причини цієї поведінки прогнозної кривої, подано способи покращання цієї ситуації, надано динаміку перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні, а також побудовано прогноз на майбутні шість років, який є кращим за попередній. Досліджено зв'язок між ВВП України та автоперевезеннями. Найкращою є апроксимація цього зв'язку поліномом  $n$ 'ятого степеня. У дослідженні визначено основні шляхи усунення головних проблем автотранспортної галузі.*

© О. М. Сазонець, І. Ю. Леснікова, 2021

---

Ключові слова: *автотранспорт; автоперевезення пасажирів; прогноз-на крива; поліном*

*В статье отмечается, что автотранспорт в Украине является обслуживающим звеном всего национального хозяйства и играет важную роль в развитии экономики страны. Представлена динамика перевозок пассажиров в Украине и на ее основе построен прогноз состояния этой отрасли на следующие шесть лет, который является неутешительным для нашей страны. Приведены причины этого поведения прогнозной кривой. Поданы способы улучшения этой ситуации. Дана динамика перевозок грузов автомобильным транспортом в Украине, также построен прогноз на будущие шесть лет, который является лучше предыдущего. Исследована связь между ВВП Украины и автоперевозками. Лучшей является аппроксимация этой связи полиномом пятой степени. В статье определены основные пути решения главных проблем автотранспортной отрасли.*

Ключевые слова: *автотранспорт; автоперевозки пассажиров; прогнозная кривая; полином.*

*The article emphasizes that motor transport in Ukraine is a service link of the entire national economy and plays an important role in the development of the country's economy. The advantages and disadvantages of each type of transport are identified. It is noted that Ukraine is actively involved in world socio-economic processes. It is stated that in order to increase the efficiency of the transport system it is necessary to comprehensively update and modernize transport, which will include a set of measures for regulatory and legal support and the creation of a favorable investment climate, taking into account budgetary and non-budgetary investment. It was emphasized that the implementation of the transport strategy will contribute to the intensive improvement of the transport system, sustainable economic development and welfare of Ukrainians.*

*The dynamics of road transport of passengers in Ukraine is presented and on its basis the forecast of a state of this branch for the next six years which is disappointing for our state is constructed. The reasons for this behavior of the forecast curve are given, the most significant of which are military actions in the East of the country. Ways to improve this situation are presented, first of all, by implementing certain provisions on transport, which are declared in the document on the association of Ukraine and the EU. The dynamics of cargo transportation by road in Ukraine is given and the forecast for the next six years, which is better than the previous one, is also built. The connection between Ukraine's GDP and road transport has been studied. The linear relationship is shown to be very weak. Other links checked. It is best to approximate this connection by a fifth*

---

*degree polynomial. The solution of the system of equations is constructed, where the coefficients of the polynomial variable are determined. Here, the coefficient of determination is more acceptable than in the case of a linear relationship.*

*The article identifies the main ways to solve the main problems of the motor transport industry, where the issue of tax burden, international freight, where it is necessary to introduce partial compensation for resource costs, reconstruction of roads, introduction of economic security management methods at transport enterprises.*

*Key words: motor transport; road passenger transport; forecast curve; polynomial.*

**Постановка проблеми.** Автотранспорт в Україні є обслуговуючою ланкою всього національного господарства. Від його стану багато в чому залежать позиції інших галузей, тому що інші сектори господарського комплексу нашої держави є споживачами транспортних послуг. Транспорт відіграє важливу роль у розвитку господарства будь-якої держави. Саме він забезпечує взаємодію основних компонентів господарства і цілісність усього господарського комплексу. Одночасно транспорт забезпечує здійснення міжнародних економічних і політичних зв'язків.

Завдяки діяльності транспортного сектора економіки в будь-якій країні вдається досягти забезпечення максимальної зайнятості населення, раціонального використання всіх видів ресурсів, переміщення виробленої продукції і надходження необхідних імпортованих товарів. Рівень і якість розвитку транспортної системи багато в чому визначає успішність і рівень розвитку країни. Навіть у межах однієї держави територіальні відмінності в розвитку транспортного сектора впливають на економічну диспропорцію територіального розвитку регіонів. Наприклад, транспортна система Сходу та Заходу України відрізняються між собою. Тому для подальшого успішного розвитку економіки країни необхідний комплексний розвиток усього транспортного сектора.

Кожен з видів транспорту має свої переваги і недоліки, а саме маневреність і залежність від погодних умов, комфортність і швидкість переміщення, собівартість і безпека. Розвиваючи всю транспортну систему в комплексі, вдається поєднувати переваги кожного виду транспорту і компенсувати його недоліки за рахунок інших видів. Єдина транспортна система забезпечує узгоджений розвиток і функціонування всіх видів транспорту з метою максимального задоволення транспортних потреб при мінімальних витратах.

Україна активно включається в світові суспільно-економічні процеси. Вона стала членом Світової організації торгівлі, отримала право асоційованого членства в Європейському Союзі. Транспорт, що є інфраструктурною галуззю, має розвиватися випереджальними темпами, щоб сприяти швидко-

---

му економічному та соціальному зростанню країни та її участі в міжнародному поділі праці. Для підвищення ефективності транспортної системи необхідно комплексно оновити й модернізувати транспорт, що передбачатиме комплекс заходів щодо нормативно-правового забезпечення та утворення сприятливого інвестиційного клімату з урахуванням бюджетного й небюджетного інвестування. Призначення такої стратегії у визначенні ключових проблем, цілей, принципів та пріоритетів розвитку транспортної системи нашої країни з погляду загальнонаціональних викликів. Реалізація транспортної стратегії сприятиме інтенсивному підвищенню ефективності транспортної системи, сталому розвитку економіки й добробуту українців.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідною умовою позитивного розвитку автопідприємства є його економічна безпека, захищеність від впливу дестабілізуючих факторів як внутрішнього, так і зовнішнього середовища. При цьому може бути досягнуто високої ефективності господарської діяльності, що сприяє його розвитку [1].

У статті [2] здійснено комплексний аналіз стану і проблем розвитку транспортної системи України у світлі загроз та ризиків, що пов'язані з кризовими процесами. Особливу увагу приділено питанням оптимізації функціонування транспортного комплексу з використанням потенційних можливостей і конкурентних переваг. Автори зазначають, що сучасна Україна вирізняється з-поміж інших країн тому, що значна кількість її населених пунктів розміщена на традиційних транспортно-комунікаційних маршрутах Євразії. Держава має досить високий коефіцієнт транзитивності (транспортної привабливості), цей показник потенційний і може бути реалізований лише у серйозному конкурентному середовищі з іншими країнами. Цілеспрямоване урахування потенційних можливостей сприятиме Україні в досягненні нового рівня розвитку в реалізації своїх головних пріоритетів, у тому числі у сфері транспортного обслуговування.

Різні варіанти громадського транспорту, що ґрунтуються на розвитку інформаційних технологій, які швидко розвивалися на початку цього десятиліття, розглянули А. А. Назуція, К. Ервін та Л. Бартуська [3]. Транспорт є важливим елементом і слугує джерелом життєвої сили та економічної, соціальної і політичної мобільності населення, яка зростає разом і слідує за подіями, що відбуваються в різних сферах і галузях. Багато транспортних компаній пропонують і намагаються залучити пасажирів, щоб вони зацікавились продуктами та послугами. Явище розвитку інформаційних технологій у цей період поліпшує використання споживачами громадського транспорту щодо доступу та вартості, полегшення замовлення. Підприємства, які використовують віртуальні програми для полегшення замовлення транспор-

---

ту, – це компанії Go Car (Go jek) та Grab. Ефективність інституційного дизайну організації чи бізнесу автори оцінюють за допомогою аналітичних інструментів, а саме транзакційних витрат. Чим вищі витрати, понесені в економічній діяльності, тим неефективнішим є інституційний дизайн. І навпаки, менші витрати, понесені в економічній діяльності, означають, що інституційна ефективність висока.

У [4] Дж. Астурія наводить кількісні моделі торгівлі, що використовуються для оцінки наслідків змін політики моделювання транспортної галузі. Цей документ розширює стандартну модель торгівлі Армінгтона, включаючи олігополістично конкурентну транспортну галузь, у якій вантажовідправники ендегенно обирають транспортну технологію. Автор зібрав детальні дані про промисловість морського транспортування в контейнерах, щоб відкалібрувати параметри моделі. Потім він провів кількісні експерименти, в яких відбувається симетричне підвищення тарифів. У середньому на зміни транспортних витрат припадає майже половина змін у добробуті. Ці висновки свідчать про те, що ендегенність транспортних витрат є важливим механізмом, що визначає наслідки такої зміни політики для добробуту.

Проаналізувавши досвід відомих українських і зарубіжних учених щодо вивчення транспортної сфери, необхідно дослідити її прогностичні показники і зв'язок із головним індикатором розвитку економіки країни – ВВП.

**Мета статті:** проаналізувати динаміку транспортних перевезень пасажирів і вантажів в Україні, скласти прогноз із його оцінкою, побудувати регресійну залежність ВВП України від обсягу автомобільних вантажних перевезень і на основі цієї залежності зробити висновки щодо покращання стану української транспортної галузі в країні.

**Виклад основного матеріалу.** В нашій країні (табл. 1) використання автотранспорту пасажирами України знижується, і прогноз щодо цього теж невтішний (рис. 1).

Значний вплив на негативну динаміку обсягу пасажирських перевезень мають скорочення пасажирських потоків через військові дії на Сході країни. Для подолання негативних явищ потрібно вносити зміни як до українського законодавства, так і співпрацювати з іноземними країнами у сфері автотранспорту. Деякі кроки вже робляться в цьому напрямі. Скажімо, це прийняття у 2018 р. Постанови Кабінету Міністрів України від 07.02.2018 № 180 “Про внесення змін до Порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування”, згідно з якою “конкурси на міжобласні автобусні маршрути тепер будуть проходити за заявничьким принципом” [6]. Ще додамо, що тим перевізникам, які оновили свій автопарк, надається можливість продовжувати дію дозволів.



**Динаміка автоперевезень пасажирів в Україні (побудовано на основі [5])**

Роки	Перевезення пасажирів
1996	3 304 600
1997	2 512 147,2
1998	2 403 424,6
1999	2 501 707,5
2000	2 557 214,6
2001	2 722 001,6
2002	3 069 136,3
2003	3 297 504,5
2004	3 720 326,4
2005	3 836 514,5
2006	3 987 982
2007	4 173 033,7
2008	4 369 125,5
2009	4 014 035,2
2010	3 726 288,6
2011	3 611 829,9
2012	3 450 173,1
2013	3 343 569,5
2014	2 913 318,1
2015	2 250 345,3
2016	2 024 892,9
2017	2 019 324,9
2018	1 906 852,1
2019	1 804 929,3
2020	1 083 872,7

Для покращання становища у галузі транспорту впроваджуються окремі положення щодо транспорту, які задекларовані в документі про асоціацію України та ЄС. Згідно зі ст. 368 Угоди про асоціацію, поступово здійснюватиметься оновлення, реструктуризація транспорту, водночас чинні політика та стандарти будуть гармонізуватися з існуючими документами в ЄС.

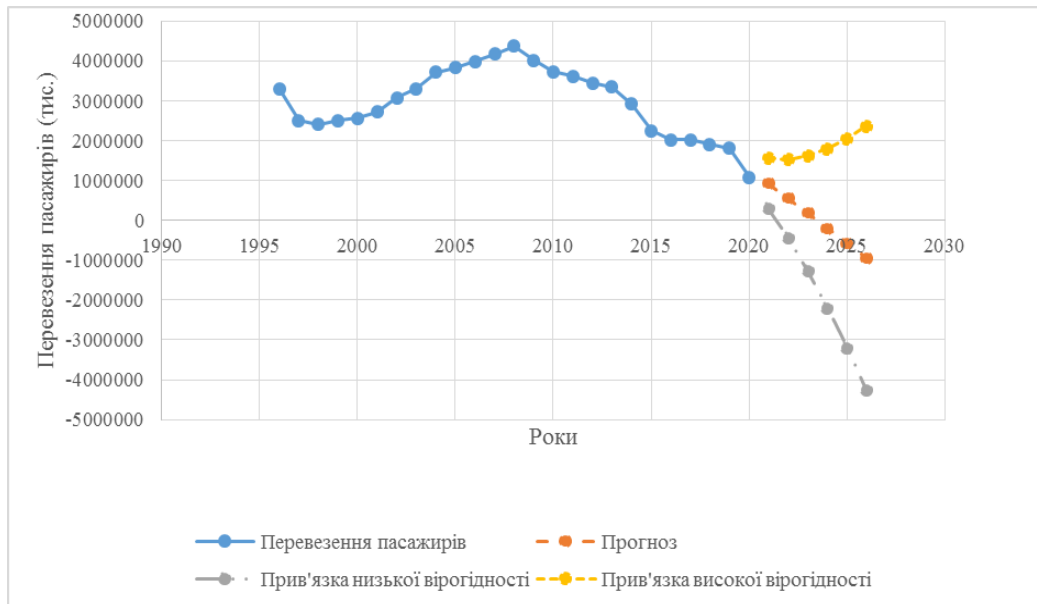


Рис. 1. Прогноз динаміки пасажирських перевезень в Україні

Джерело: побудовано авторами з використанням даних [5]

Позитивною в цій сфері є розбудова концесійних доріг у нашій країні. Це збільшить пересування пасажирів автотранспортом. Зараз уже відбувається зростання зручності придбання квитків на транспорт. Слід зазначити, що 2020 р. пасажир залізничного транспорту купили 66 % квитків онлайн [7]. Зараз на розгляді у Верховній Раді законопроект про державно-приватне партнерство у дорожній галузі, що передбачає залучення приватних інвесторів до будівництва автошляхів. Окупність проектів заплановано упродовж 20–30 років після закінчення будівництва, все залежатиме від якості збудованої і в подальшому утримуваної автодороги. Дороги не будуть платними для громадян. При цьому можуть стягуватися штрафи за неякісне утримання дороги та невідповідність прийнятим стандартам.

Щодо вантажних перевезень автомобільним транспортом, то тут картина краще (табл. 2).

Як бачимо з рис. 2, за прогнозом, незначний підйом відбуватиметься в цій галузі.

Низька швидкість зростання показників пов'язана насамперед з тим, що багато перевізників (близько 30 %) в Україні все ще залишається в тіні. Таким чином, оплата за перевезення здійснюється в багатьох випадках готів-

---

кою. Основний внесок у це зростання вкладають такі галузі, як будівельна, харчова, переробна. Значна частина належить контейнерним перевезенням. Незважаючи на високу конкурентність ринку автоперевезень, автоперевізники ще не достатньо організовані, бракує ефективних об'єднань і асоціацій автоперевізників. Як виняток – міжнародні автоперевізники, об'єднані в АСМАП.

Таблиця 2

**Динаміка перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні  
(побудовано на основі [5])**

Роки	Перевезення вантажів (тис. т)
1996	1 254 540,2
1997	1 249 866,6
1998	1 081 326,2
1999	955 329,1
2000	938 916,1
2001	977 268,8
2002	947 323,8
2003	943 283
2004	1 027 396,3
2005	1 120 715,3
2006	1 167 199,7
2007	1 255 225,3
2008	1 266 598,1
2009	1 068 857,9
2010	1 168 218,8
2011	1 252 390,3
2012	1 259 697,7
2013	1 260 767,5
2014	1 131 312,7
2015	1 020 604
2016	1 085 663,4
2017	1 121 673,6
2018	1 205 530,8
2019	1 147 049,6
2020	1 232 391,9

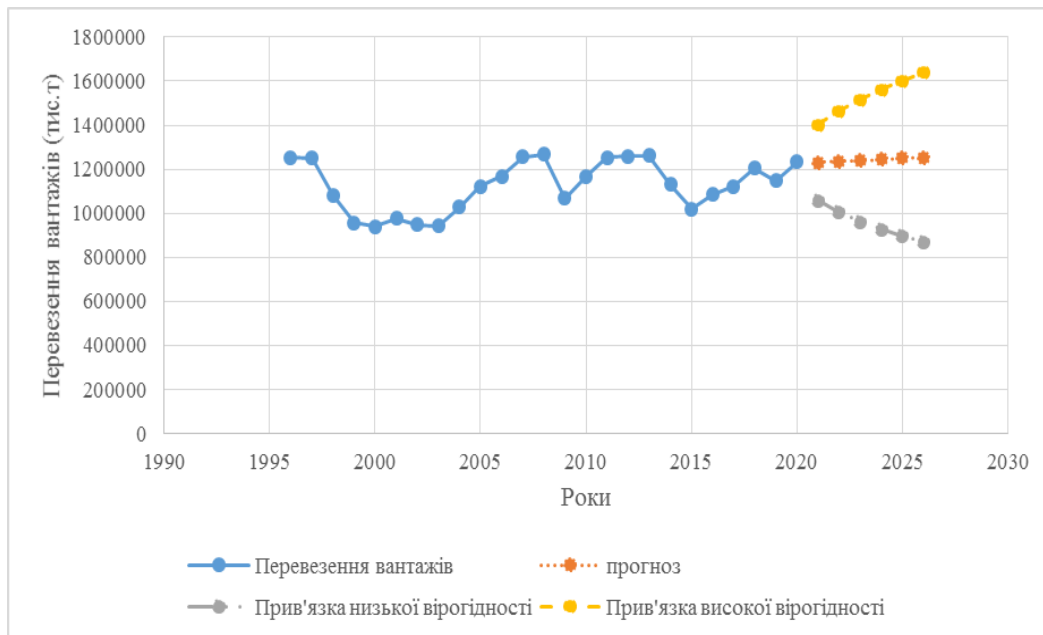


Рис. 2. Прогноз перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні

Джерело: побудовано авторами з використанням даних [5]

У функціонуванні ринку автоперевізників трапляються суперечності між його учасниками, пов'язані з габаритно-ваговим контролем на дорогах (ГВК). Слід зауважити, що певна частина автоперевізників дотримується правил цього контролю, але більша частина їх ігнорує. Найбільше порушень ГВК виявляється в аграрному секторі, де фіксується приблизно 60–65 % продукції, що перевозиться з порушенням ГВК.

Розвитку автотранспортної галузі заважає також недосконалість українського законодавства. Автоперевізники перевантажені податками. Крім того, енергозбереження в Україні на дуже низькому рівні, що призводить до величезних витрат ресурсів на транспорті.

Негативно впливають на розвиток транспорту також зношеність основних засобів об'єктів інфраструктури, що становить загрозу для виникнення аварійних ситуацій. Через низьку якість транспортної інфраструктури виникають додаткові непродуктивні витрати, які гальмують зростання ВВП. Позитивність динаміки автоперевезень вантажів пов'язана з тим, що все більше вантажів перерозподіляється з залізничного транспорту на автотранспорт [8].

Дослідимо, чи існує зв'язок між ВВП України та автоперевезеннями. Візьмемо за основу автотранспортні перевезення вантажів. Лінійний зв'язок дуже слабкий (формула (1)).

$$y = 0,3346x - 272037. \quad (1)$$

Коефіцієнт детермінації дорівнює всього лише 0,5234.

Спробуємо побудувати інші види залежності. Найприйнятніша з них – поліноміальна залежність.

Нехай нам дано два ряди спостережень  $x_i$  (незалежна змінна) та  $y_i$  (залежна змінна),  $i = \overline{1, n}$ . Рівняння поліному має вигляд:

$$y = \sum_{j=0}^k b_j x^j, \quad (2)$$

де  $b_j$  – параметри даного полінома. Знайдемо за методом найменших квадратів параметри  $b_j$  даної регресії. Метод найменших квадратів ґрунтується на мінімізації такого виразу:

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $\hat{y}_i$  – теоретичне значення, що є значенням полінома (2) в точках  $x_i$ . Підставляючи (2) в (3), отримаємо:

$$S = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=0}^k b_j x_i^j - y_i)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

На основі необхідної умови екстремуму функції  $(k+1)$  змінних  $S = S(b_0, b_1, \dots, b_k)$  прирівняємо до нуля її частинні похідні, тобто:

$$S'_{b_p} = 2 \sum_{i=1}^n x_i^p (\sum_{j=0}^k b_j x_i^j - y_i), p = \overline{0, k}. \quad (5)$$

Поділивши ліву і праву частину кожної рівності на 2, розкриємо другу суму:

$$\sum_{i=1}^n x_i^p (b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + \dots + b_k x_i^k) - \sum_{i=1}^n x_i^p y_i = 0, p = \overline{0, k} \quad (6)$$

Розкриваючи дужки, перенесемо в кожному  $p$ -му виразі останній доданок з  $y_i$  вправо і поділимо обидві частини на  $n$ . У результаті у нас вийшло



Потім віднімають після перестановки отриманий перший рядок з інших рядків:

$$\begin{cases} b_0 + b_1\bar{x} + b_2\bar{x}^2 + b_3\bar{x}^3 + b_4\bar{x}^4 + b_5\bar{x}^5 = \bar{y} \\ 0 + b_1\left(\frac{\bar{x}^2}{\bar{x}} - \bar{x}\right) + b_2\left(\frac{\bar{x}^3}{\bar{x}} - \bar{x}^2\right) + b_3\left(\frac{\bar{x}^4}{\bar{x}} - \bar{x}^3\right) + b_4\left(\frac{\bar{x}^5}{\bar{x}} - \bar{x}^4\right) + b_5\left(\frac{\bar{x}^6}{\bar{x}} - \bar{x}^5\right) = \frac{\bar{x}\bar{y}}{\bar{x}} - \bar{y} \\ 0 + b_1\left(\frac{\bar{x}^3}{\bar{x}^2} - \bar{x}\right) + b_2\left(\frac{\bar{x}^4}{\bar{x}^2} - \bar{x}^2\right) + b_3\left(\frac{\bar{x}^5}{\bar{x}^2} - \bar{x}^3\right) + b_4\left(\frac{\bar{x}^6}{\bar{x}^2} - \bar{x}^4\right) + b_5\left(\frac{\bar{x}^7}{\bar{x}^2} - \bar{x}^5\right) = \frac{\bar{x}^2\bar{y}}{\bar{x}^2} - \bar{y} \\ 0 + b_1\left(\frac{\bar{x}^4}{\bar{x}^3} - \bar{x}\right) + b_2\left(\frac{\bar{x}^5}{\bar{x}^3} - \bar{x}^2\right) + b_3\left(\frac{\bar{x}^6}{\bar{x}^3} - \bar{x}^3\right) + b_4\left(\frac{\bar{x}^7}{\bar{x}^3} - \bar{x}^4\right) + b_5\left(\frac{\bar{x}^8}{\bar{x}^3} - \bar{x}^5\right) = \frac{\bar{x}^3\bar{y}}{\bar{x}^3} - \bar{y} \\ 0 + b_1\left(\frac{\bar{x}^5}{\bar{x}^4} - \bar{x}\right) + b_2\left(\frac{\bar{x}^6}{\bar{x}^4} - \bar{x}^2\right) + b_3\left(\frac{\bar{x}^7}{\bar{x}^4} - \bar{x}^3\right) + b_4\left(\frac{\bar{x}^8}{\bar{x}^4} - \bar{x}^4\right) + b_5\left(\frac{\bar{x}^9}{\bar{x}^4} - \bar{x}^5\right) = \frac{\bar{x}^4\bar{y}}{\bar{x}^4} - \bar{y} \\ 0 + b_1\left(\frac{\bar{x}^6}{\bar{x}^5} - \bar{x}\right) + b_2\left(\frac{\bar{x}^7}{\bar{x}^5} - \bar{x}^2\right) + b_3\left(\frac{\bar{x}^8}{\bar{x}^5} - \bar{x}^3\right) + b_4\left(\frac{\bar{x}^9}{\bar{x}^5} - \bar{x}^4\right) + b_5\left(\frac{\bar{x}^{10}}{\bar{x}^5} - \bar{x}^5\right) = \frac{\bar{x}^5\bar{y}}{\bar{x}^5} - \bar{y} \end{cases} \quad (10)$$

Отримують нову систему рівнянь, у якій замінені відповідні коефіцієнти.

$$\begin{cases} b_0 + b_1a'_{11} + b_2a'_{12} + b_3a'_{13} + b_4a'_{14} + b_5a'_{15} = y'_1 \\ b_0 + b_1a'_{21} + b_2a'_{22} + b_3a'_{23} + b_4a'_{24} + b_5a'_{25} = y'_2 \\ b_0 + b_1a'_{31} + b_2a'_{32} + b_3a'_{33} + b_4a'_{34} + b_5a'_{35} = y'_3 \\ b_0 + b_1a'_{41} + b_2a'_{42} + b_3a'_{43} + b_4a'_{44} + b_5a'_{45} = y'_4 \\ b_0 + b_1a'_{51} + b_2a'_{52} + b_3a'_{53} + b_4a'_{54} + b_5a'_{55} = y'_5 \\ b_0 + b_1a'_{61} + b_2a'_{62} + b_3a'_{63} + b_4a'_{64} + b_5a'_{65} = y'_6 \end{cases} \quad (11)$$

Після того, як зазначені перетворення були здійснені, перший рядок і перший стовпець подумки викреслюють і продовжують зазначений процес для всіх наступних рівнянь, поки не залишиться рівняння з одним невідомим:

$$\begin{cases} b_0 + b_1a'_{11} + b_2a'_{12} + b_3a'_{13} + b_4a'_{14} + b_5a'_{15} = y'_1 \\ 0 + b_1 + b_2a''_{22} + b_3a''_{23} + b_4a''_{24} + b_5a''_{25} = y''_2 \\ 0 + 0 + b_2 + b_3a'''_{33} + b_4a'''_{34} + b_5a'''_{35} = y'''_3 \\ 0 + 0 + 0 + b_3 + b_4a''''_{44} + b_5a''''_{45} = y''''_4 \\ 0 + 0 + 0 + 0 + b_4 + b_5a'''''_{55} = y'''''_5 \\ 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + b_5 = y''''''_6 \end{cases} \quad (12)$$

Зробимо тепер зворотну підстановку. Зворотна підстановка передбачає підстановку отриманого на попередньому кроці значення змінної  $b_5$  в попередні рівняння:

$$\begin{aligned} b_4 &= y''''_6 - b_5a''''_{55} \\ b_3 &= y''''_5 - b_4a''''_{44} - b_5a''''_{45} \\ b_2 &= y''''_4 - b_3a''''_{33} - b_4a''''_{34} - b_5a''''_{35} \\ b_1 &= y''''_3 - b_2a''''_{22} - b_3a''''_{23} - b_4a''''_{24} - b_5a''''_{25} \\ b_0 &= y''''_2 - b_1a''''_{11} - b_2a''''_{12} - b_3a''''_{13} - b_4a''''_{14} - b_5a''''_{15} \end{aligned} \quad (13)$$

---

Розв'язуючи цю систему рівнянь за допомогою системи Excel, отримаємо поліном п'ятого порядку. Отже, ВВП України виражається через автомобільні вантажні перевезення так:

$$y = 2 \times 0,1^{-21}x^5 - 0,1^{-14}x^4 + 2 \times 0,1^{-8}x^3 - 0,0248x^2 + 13467x - 3 \times 0,1^9 \quad (14)$$

Тут коефіцієнт детермінації прийнятніший, ніж у випадку лінійного зв'язку ( $R^2 = 0,5743$ ). Але все одно зв'язок слабкий.

На нашу думку, це пов'язано насамперед зі зростанням частки тінювого ринку на транспорті в Україні, через що в офіційній статистиці не фіксуються обсяги виконаної роботи на транспорті.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Визначимо шляхи розв'язання основних проблем автотранспортної галузі. Для цього необхідні такі заходи. По-перше, слід знизити податкове навантаження. Далі необхідно звернути особливу увагу на міжнародні вантажні перевезення, де необхідно запровадити часткову компенсацію витрат на ресурсне забезпечення. Для розвитку цієї ланки потрібно лобювати державі збільшення квоти видачі дозволів на міжнародні перевезення в Україні. Необхідна також якісна реконструкція транспортних шляхів, що зумовить неминучу транзитну привабливість країни та зниження витрат на ремонт транспортних засобів, здійснюваних вітчизняними підприємствами. Перспективним є вивчення внутрішніх і зовнішніх загроз, де необхідно запроваджувати методи управління економічною безпекою на транспортних підприємствах.

#### Список використаних джерел:

1. Чупрін Є. С., Кондратенко Д. В., Гелеверя Є. М. Аналіз та перспективи розвитку транспортної галузі України з позиції автотранспортних підприємств. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. Випуск 24. Частина 3. С. 125–130.
2. Танклевська Н. С., Чернявська Т. А. Сучасні проблеми розвитку транспортного сектора України. URL: <http://magazine.faaaf.org.ua/suchasni-problemi-rozvitku-transportnogo-sektoru-ukraini.html>
3. Nasution A. A., Erwin K., Bartuska L. Determinant Study of Conventional Transportation and Online Transportation. *International Scientific Conference on LOGI – Horizons of Autonomous Mobility in Europe 2020 Logi 2019 – Horizons of autonomous mobility in Europe*. № 44. P. 276–282.



- 
4. Asturias J. Endogenous transportation costs. *European economic review*. 2020. P. 123. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014292119302272?via%3Dihub>
  5. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
  6. Про внесення змін до Порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування: Постанова Кабінету Міністрів України від 07.02.2018 № 180. URL: <https://mtu.gov.ua/files>
  7. Пасажири Укрзалізниці у 2020 р. 66 % квитків придбали онлайн. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/news/32560.html>
  8. Транспортні питання: які перспективи розвитку галузі. URL: <https://mind.ua/openmind/20207842-transportni-pitannya-yaki-perspektivi-rozvitku-galuzi>

#### References:

1. Chuprin EU, Kondratenko DV, Geleverya EM Analysis and prospects of development of the transport industry of Ukraine from the standpoint of motor transport enterprises. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University*, Issue 24, Part 3, 2019, p. 125-130.
2. N.S. Танклевська, Т.А. Черныavska, Modern problems of development of the transport sector in Ukraine, URL: <http://magazine.faaf.org.ua/suchasni-problemi-rozvitku-transportnogo-sektori-ukraini.html>.
3. Nasution A.A., Erwin K., and Bartuska L. Determinant Study of Conventional Transportation and Online Transportation. *International Scientific Conference on LOGI - Horizons of Autonomous Mobility in Europe 2020 | Logi 2019 – Horizons of autonomous mobility in Europe*, № 44, pp.276-282.
4. Asturias J. Endogenous transportation costs. *European economic review*, 2020 123, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014292119302272?via%3Dihub>
5. State Statistics Service of Ukraine, URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
6. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 07.02.2018 № 180 “On Amendments to the Procedure for Tendering the Carriage of Passengers on a Public Bus Route”. URL: <https://mtu.gov.ua/files/>.
7. Passengers of Ukrzaliznytsia in 2020 bought 66% of tickets online. Ministry of Infrastructure of Ukraine, URL: <https://mtu.gov.ua/news/32560.html>.
8. Transport issues: what are the prospects for the development of the industry. mind. URL: <https://mind.ua/openmind/20207842-transportni-pitannya-yaki-perspektivi-rozvitku-galuzi>

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2021-1-61.5>  
УДК 656.078

**О. В. Шаповалов**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики

Університету митної справи та фінансів

**В. В. Оглих**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

**О. Д. Фірсов**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики

Університету митної справи та фінансів

**С. А. Разгонов**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

### **КОНСОЛІДОВАНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ РЕСУРС ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ**

*Доведено, що підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств можливо лише за впровадження концепції цифрової трансформації компанії-оператора на засадах розвитку аналітичного механізму керування. Описано основні задачі, які виникають під час розробки консолідованого інформаційного ресурсу оброблення інформації з урахуванням широкого кола чинників впливу. У статті досліджено інформаційну технологію, яка містить збирання даних, їх опрацювання та аналіз, формування звітів. Детально розглянуто показники та складові інформаційної системи.*

*Ключові слова: транспорт; цифрові технології; інформаційні системи; цифрова трансформація.*

© О. В. Шаповалов, В. В. Оглих, О. Д. Фірсов, С. А. Разгонов, 2021

---

*Доказано, что повышение эффективности работы автотранспортных предприятий возможно только при внедрении концепции цифровой трансформации компании-оператора на основе развития аналитического механизма управления. Описаны основные задачи, возникающие при разработке консолидированного информационного ресурса обработки информации с учетом широкого круга факторов влияния. В статье исследована информационная технология, содержащая сбор данных, их обработку и анализ, формирование отчетов. Детально рассмотрены показатели и составляющие информационной системы.*

*Ключевые слова: транспорт; цифровые технологии; информационные системы; цифровая трансформация.*

*Increasing the efficiency of motor transport enterprises is possible only for the introduction of the concept of digital transformation of the operator. The dominant problem of the formation of effective principles of management of such systems is the development of a methodology based on the principles of a single information space. In this case, we must take into account both technical and economic components. Digital technology and transport service system should be aimed at control all layers, in particular the quality of relations with each specific consumer of transport services.*

*In order to implement, it should form an analytical control mechanism. The analysis of modern approaches to informatization of business processes showed that most motor vehicles uses programs that belong to local transport management systems. They are designed for the needs of specific transport organizations, on their orders, and most aimed at automation and information provision of functional divisions. The proposed concept of an automated control system foresees much information service tasks in the context of strategic and tactical management, operational management, optimization of logistic business processes.*

*The basic tasks that arise when developing a consolidated information resource for information processing, taking into account a wide range of factors of influence. A set of ordered elements that are interconnected and have a set of integrative properties are offered. Considering it from functional positions, based on the focus on improving the efficiency of the enterprise, a set of solved tasks (planning, accounting, control, etc.) is determined.*

*Information technology that contains data collection, their processing and analysis, formation of reports is investigated. In detail, the indicators and components of the information system are considered.*

*Key words: transport; digital technologies; information systems; digital transformation.*

---

**Постановка проблеми.** Транспортна галузь, яка є техніко-економічною системою, безперечно, важлива складова стратегії соціально-економічного розвитку країни. Домінантною проблемою формування ефективних засад керування такими системами є розробка методології, яка базується на засадах єдиного інформаційного простору. При цьому маємо одночасно враховувати як технічну, так і на економічну складову.

Без стабільного та ефективного функціонування української транспортної системи, яка нині не використовує свої конкурентні переваги, обумовлені розташуванням країни у середині материка, на перетині багатьох логістичних коридорів не можливий економічний інноваційний розвиток країни, фундаментальною складовою якого є реалізація транзитного потенціалу транспортної системи, що, зі свого боку, забезпечить посилення конкурентоздатності інших галузей, підвищення рівня життя населення країни. Однак нові можливості можуть виникнути лише шляхом упровадження digital-технологій у діяльність підприємств сфери перевезень. Підвищення ефективності на засадах традиційних підходів та вдосконалення наявних процесів майже не забезпечує зростання показників, унеможливує суттєве зростання прибутків. Утім в інфраструктурі автомобільних перевезень ми можемо спостерігати неупорядкованість різноманітних баз даних, які є необхідною складовою системи керування транспортними підприємствами. Сфера автоперевезень потребує впровадження цифрового підходу та розвитку аналітичного механізму оброблення інформації з урахуванням широкого кола чинників впливу. Маємо звернути увагу, що створення ефективних інформаційних систем керування можливе лише на засадах чіткого розуміння принципів і механізмів керування автоперевезеннями. Наголошуємо, що для підприємств, які працюють у сфері логістики та автотранспортних перевезень, вкрай важливо домінантою ведення бізнесу зробити систему керування на засадах поточкових процесів. Автори пропонують для виконання таких завдань на рівні автотранспортних підприємств розробити консолідований інформаційний ресурс, який дасть змогу керувати на засадах результатів докладного глибокого аналізу діяльності підприємства, позицій розробника та користувачів, розподіл ролей між якими здійснено на засадах дослідження потреб.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема цифровізації техніко-економічних систем вкрай важлива та актуальна. Їй присвячено низку дослідницьких, наукових і практичних досліджень, зокрема слід звернути увагу на [1–4]. Digital-трансформації в транспортній індустрії присвячено [5]. Різним аспектам розробки інформаційних технологій та комп'ютерній інженерії присвячено дослідження [6, 7]. Зокрема, розробці консолідованого інформаційного ресурсу аналізу діяльності морських портів присвячено [8]. Цифровим аспектам інформатизації автотранспортної сфери – [9].

---

**Мета статті.** Результати дослідження проблеми, аналізу практичних напрацювань та наукових доробок дозволяють визначити мету як розробку концептуальної схеми цифрової трансформації компанії-оператора автотранспортної галузі, підвищення ефективності функціонування внаслідок упровадження сучасної інформаційної системи.

**Виклад основного матеріалу.** Завдання, яке покладається на сферу автотранспортних перевезень, полягає у забезпеченні ефективного функціонування матеріальних, людських, енергетичних потоків на засадах мінімізації витрат ресурсів: фінансових, людських, інформаційних, енергетичних; на тлі зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище.

E-control поточковими процесами на кожному етапі логістичного ланцюга слід розглядати в контексті суспільних та економічних відносин: інтеграції попиту, виробництва, обігу транспорту на підставі інформації. Диджиталізація передбачає якісно новий тип взаємодії на засадах оптимізації потоків шляхом пошуку мобілізації наявних резервів та застосування інформаційних технологій

Стратегічні та тактичні керівні рішення мають базуватися на:

- сформованих ринкових зонах та кластерах обслуговування;
- інтермодальності процесів та взаємодії різних видів транспорту;
- прогнозах матеріальних потоків;
- факторному та компонентному аналізі складових витрат;
- формуванні планів перевезень вантажопотоків;
- виборі оптимальних видів та типів транспортних засобів;
- визначенні оптимальних маршрутів доставляння;
- організації, диспетчеризуванні, обліку, аналізу та регулюванні транспортного процесу;
- моніторингу руху вантажів і транспорту;
- забезпеченні технологічної єдності транспортно-складського процесу;
- оптимальному керуванні запасами.

Інформаційне забезпечення транспортної логістики має відповідати таким вимогам: розгляд об'єктів як систем, що складаються із закономірно структурованих та функціонально організованих елементів; повнота інформаційного обслуговування, охоплення всіх транспортно-логістичних процесів; системність обслуговування; інтегрованість та інтермодальність перевезень; урахування характеру діяльності користувачів; надійність обслуговування; диференційованість; забезпечення потрібною інформацією конкретного споживача (рис. 1).



Рис. 1. Вимоги до інформаційного забезпечення транспортної логістики

Забезпечення функціонування інформаційної системи можливе лише за наявності сукупностей:

- апаратно-технічного забезпечення – технічних засобів, які забезпечують обробку і передачу даних та інформаційних потоків;
- математичного, програмного забезпечення – інструментарію розв’язання функціональних та управлінських завдань.
- інформаційного та інтерфейсного забезпечення, яке передбачає засоби формалізованого опису даних, бібліотеки, довідники, класифікатори, кодифікатори, отримання, подачі та подання інформації.

Розроблена для автотранспортних підприємств, а також автотранспортних підрозділів торгових, виробничих та інших підприємств, які застосовують засоби для власних потреб, автоматизована система керування має передбачати виконання низки завдань інформаційного обслуговування в контексті (рис. 2):

- **стратегічного і тактичного менеджменту;**
  - організації бізнес-процесів;
  - управління рухом коштів;
  - оптимізація кадрової складової;
- **оперативного керування;**
  - обробці замовлень на перевезення;
  - формуванні вартості перевезення;

- складанні оперативного плану роботи підприємства та забезпеченні виконання поточного плану роботи;
  - дослідженні вантажопотоків;
  - плануванні оптимальних маршрутів перевезення;
  - облік наданих транспортних послуг;
  - оцінка фінансової вигоди від перевезення;
  - облік та інвентаризація;
  - мінімізація фінансових витрат підприємства;
  - організація та оцінка ефективності роботи логістів і диспетчерів, забезпечення ефективного використання рухомого складу за необхідного рівня якості перевезень;
  - оцінка ефективності роботи водіїв;
  - оптимізація водійського складу та маршрутних перевезень на засадах оцінки ефективності водіїв, мотивації та оплати праці;
  - контроль виходу на лінію та роботу на маршруті;
  - управління сервісним обслуговуванням та ремонтами;
  - забезпечення безпеки руху транспортного засобу на лінії;
  - контроль стану завантажувально-розвантажувальних пунктів та під'їзних шляхів;
  - підвищення рівня механізації, автоматизації та діджиталізації;
  - контроль за використанням і нормуванням витрат паливо-мастильних та інших витратних ресурсів;
  - корегування планових завдань у разі виникнення відхилень у процесі перевезень;
- **оптимізації логістичних бізнес-процесів.**

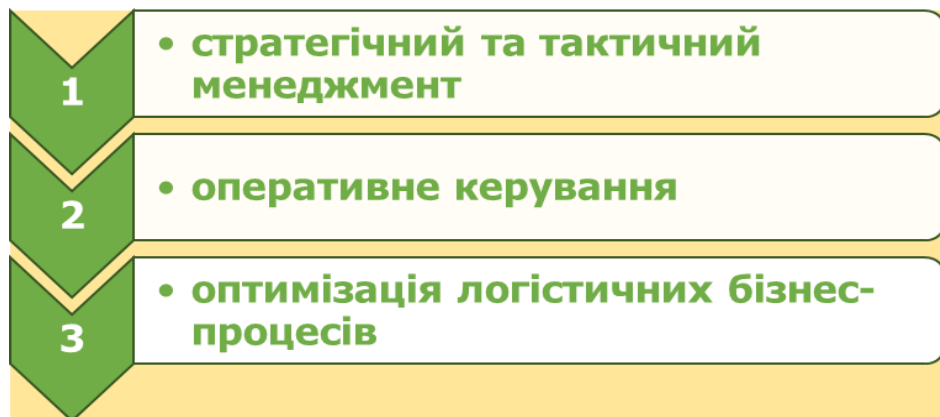


Рис. 2. Завдання інформаційного обслуговування, які потребують розв'язання для автотранспортних підприємств з автоматизованими системами керування

---

Стратегічним завданням системи керування є стимулювання підприємства до інноваційного розвитку та змін, саме на це мають бути орієнтовані організаційні структури. Можемо нині акцентувати на найважливішому чиннику трансформації бізнес-моделей – *цифрових технологіях*. Мета їх застосування – забезпечення якості на всіх етапах взаємовідносин у системі підприємство – споживач транспортних послуг.

Потрібної якості у контексті стратегічного та тактичного менеджменту може бути досягнута через забезпечення керівництва можливостями для організації процесу ефективного використання матеріальних, технічних, кадрових ресурсів, технологій та інформації. Особи, які приймають рішення, мають бути забезпечені прозорою узагальненою інформацією щодо оцінки стану підприємства, безпекових показників, можливості своєчасного виявлення «вузьких місць»; перспектив розвитку, стратегічного планування та інноваційно-інвестиційних перспектив; використання інвестованого капіталу та керування проектами (рис. 3).



Рис. 3. Етапи досягнення якості в контексті стратегічного і тактичного менеджменту



---

Мають бути чітко визначені показники, графіки, діаграми, які насамперед слід надати на вищій рівень керування. В основі має лежати розуміння, що інформаційний потік в організації мусить забезпечити доступність і своєчасність перевіреної та точної інформації керівникам і спеціалістам усіх рівнів. Тобто обсяг інформації, який передається на рівень, має зменшуватися, а її аналітичне наповнення має зростати. Слід передбачити обробку потоку даних на кожному оперативному рівні, аналіз та узагальнення. На вищій щабель керування має надходити лише ретельно перевірений і опрацьований, наочно представлений обсяг інформації. Розв'язання цієї проблеми лежить у царині створення інтелектуальних модулів, які б слугували порадиниками користувачеві, зокрема особі, яка приймає рішення щодо отримання консолідованої інформації. Основою для цих модулів мають слугувати знання експертів. Необхідно сформувані чіткий набір правил, які під час запитів користувача забезпечили б виконання етапів і процедур на потрібному рівні.

Та цього недостатньо, слід консолідувати в єдину стратегічну інноваційну інтегровану систему різні сфери діяльності та функціонування, налаштувати ефективний взаємозв'язок у постачально-збутовому ланцюгу. Консолідація даних – важлива складова аналітичного процесу, яка забезпечує високий рівень прийняття рішень, вона досить складна та багатоетапна. Втім упровадження такої процедури у процес інтелектуальної діяльності дасть можливість генерувати нову інформацію, виявляти проблеми чи нові аспекти, знаходити нетрадиційні способи розв'язання.

Характерною ознакою сьогодення є поява експедиційних компаній нового покоління – цифрових експедицій. Ідеться про компанії, які в умовах технічних, технологічних, інфраструктурних та фінансових обмежень з метою врахування бізнес-інтересів учасників транспортного процесу працюють на основі логістично-інформаційних принципів.

***У контексті виконання завдань з управління рухом коштів слід забезпечити*** керування інформацією про:

- структуру загальних і питомих витрат;
- прибуток компанії;
- відбиття всіх фінансових операцій з грошовими засобами та фінансовими інвестиціями в бухгалтерському, податковому та управлінському обліку;
- доходи, витрати та взаєморозрахунки з контрагентами протерміновану заборгованість за перевезення, отримання оплати за надані послуги.

Упровадження цифровізації, нових технологій та програмних продуктів сприяє оптимізації кадрової складової, персоналу автотранспортного підприємства.

---

**Завдання оперативного керування** спрямовано на безперервне забезпечення диспетчерських служб логістичного ланцюга перевіреною, актуальною та адекватною інформацією про:

- перебіг матеріальних, транспортних та інформаційних процесів;
- ресурси для виконання замовлень;
- уже здійснені перевезення.

Зокрема, логістично-диспетчерська діяльність передбачає підготовку змінно-добового завдання. Кожне замовлення має бути ідентифіковано, визначено транспортний засіб, водіїв, допоміжне спеціальне обладнання тощо. Інформація набуває форми товарно-транспортних накладних і подорожніх листів. Документи є джерелом інформації для розрахунків, нарахувань та планування після виконання замовлення і повернення транспортного засобу до автотранспортного підприємства, тобто діяльність логістично-диспетчерського підрозділу пов'язана з технічним і фінансово-бухгалтерським. Наприклад, дані щодо виконання роботи за кожним замовленням; умов і результатів роботи водіїв надходять для відповідного обліку і розрахунків. Вони є підставою для проведення технічних оглядів та ремонтів, визначення тарифів на експлуатацію кожної моделі транспортних засобів, проведення технічного обслуговування, визначення потреби у паливо-мастильних матеріалах за кожним маршрутом і конкретним автомобілем тощо. Цифрові технології та системи транспортного обслуговування спрямовані на контроль, зокрема, якості відносин із кожним конкретним споживачем транспортних послуг чи на підготовку звітів до державних контрольних органів тощо.

Маємо пам'ятати, що саме робота логістів і диспетчерів є тим стрижнем, навколо якого формується вся інша діяльність автотранспортного підприємства. Причому йдеться не лише про технічні або фінансові складові, але й про формування позитивного загального сприйняття й оцінки автотранспортного підприємства, забезпечення максимального задоволення кінцевого споживача.

Інформаційна підсистема підтримки прийняття оперативного рішення логіста має орієнтуватися на цілий набір факторів та умов, зокрема формуючи рознарядки на випуск автомобілів та оформлюючи шляховий лист, він має бути допущений до оперативної перевіреної й точної інформації щодо придатності автомобіля для виконання рейсу за такими показниками:

- тип, модель і обладнання транспортного засобу:
  - номери державної та внутрішньої реєстрації, номери двигуна, шасі, кузова, VIN, колір;
  - закріплені за транспортним засобом водії, графік роботи та оцінки діяльності, їх медичні довідки, водійські посвідчення тощо;

- 
- вантажність і власна вага, характеристика причепів;
  - кількість осей і коліс; тип двигуна та потужність, навантаження на вісь;
  - габаритні й корисні розміри;
  - характеристика необхідних паливо-мастильних матеріалів та норми їх витрати;
  - стан шин, акумулятора; наявність будь-якого іншого обладнання аптечки, зв'язку;
  - характеристика вантажу:
    - номенклатура, асортимент;
    - фізико-хімічні характеристики вантажу;
    - обсяг продукції у натуральному та вартісному вимірах (вагові параметри: загальна маса, вага-брутто, вага-нетто; габаритні параметри: об'єм, площа, лінійні розміри);
    - тара та спосіб пакування;
    - відповідність вантажу транспортному засобу;
  - умови договорів купівлі-продажу, зокрема, умови постачання, передача у власність;
  - умови транспортування та страхування (КАРГО);
  - бронювання контейнерів;
  - перебування в поточному ремонті; заплановані терміни технічного обслуговування; заміна шин і акумуляторів;
  - наявність документів із закінченим терміном дії (поліси ОСАГО, КАСКО, сертифікати тощо);
  - планова собівартість перевезення, наявність паливно-мастильних матеріалів.

Функціональні можливості інформаційної системи мають забезпечити користувачам можливість відстежувати:

- за кожним транспортним засобом пробіг (пробіг із вантажем і холостий) і простій, показання спідометра, кількість ходок, обсяг перевезеного вантажу;
- техніко-експлуатаційні показники:
  - напрацювання обладнання;
  - картку роботи транспортних засобів;
  - діаграму стану ТЗ;
  - місцезнаходження, стан автомобілів (запланований у рейс, перебуває в рейсі, в ремонті, законсервованій тощо).

Водночас, попри потребу забезпечення максимального задоволення кінцевого споживача, щодо нього має бути перевірені платоспроможність, відсутність заборон на перевезення конкретного вантажу. Слід передбачити, щоб частина інформаційної системи, спрямована на організацію оператив-

---

ного керування, спиралася на такі ключові показники, як собівартість, структура витрат, рівень прибутковості, ефективність використання транспортних засобів. Тому потрібно передбачити здійснення розрахунків вартісних показників перевезення за набором параметрів, які мають урахуватися під час прийняття рішення логістом і диспетчером. Насамперед це стосується планування вартості перевезення та обліку наданих транспортних послуг.

Консолідований інформаційний ресурс має містити модуль, який дозволяє формувати рахунки актів і реєстрів за надані послуги, на підставі розрахунку вартості транспортних послуг із застосуванням преїскурантів і тарифів, облік отриманих замовлень.

Під час прийняття рішення щодо фінансової доцільності виконання замовлення має бути здійснена оцінка фінансової вигоди від перевезення шляхом визначення очікуваної рентабельності перевезення.

Планування та контроль за надходженням і витратами паливно-мастильних матеріалів, запасних частин надає можливості для оптимізації витрат. У частині обліку наявності та руху паливо-мастильних матеріалів за кожним транспортним засобом мають бути налаштовані норми витрат. Слід здійснювати порівняння фактичних витрат з нормативними, вести облік надходження, видачі та витрати, який підкріплювати документами. Водночас мають бути враховані умови перевезень через залежність витрат пального від погодних умов та умов експлуатації.

Розрахунок витрат палива має відповідати чинному законодавству, зокрема давати можливість розраховувати такі види витрат:

- лінійна витрата на пробіг;
- витрата на простій із працюючим двигуном;
- витрата на транспортну роботу й на зміну власної ваги;
- витрата на роботу обігрівача;
- витрата на роботу спецобладнання;
- витрата на додаткові операції;
- витрата на запуск двигуна;
- витрата на пробіг під час виконання спеціальної роботи;
- надбавки (сезонні та за роботу у важких умовах).

Слід передбачити різні типи заправок транспортних засобів, допустимість їх здійснення зі складу на підприємстві, в дорозі (за готівку, за талонами або через пластикову картку), в замовника.

Підсумкову інформацію доцільно подати у звітах про:

- рух паливно-мастильних матеріалів, надходження/витрати;
- заправки транспортних засобів;
- витрати паливно-мастильних матеріалів щодо водіїв;
- відомості видачі талонів, готівки, карток, отриманих квитанцій.

---

Діяльність у сфері автотранспорту передбачає значний обсяг складських операцій, тому інформаційна система має забезпечити проведення надходження товарів і матеріалів на склад, внутрішнє переміщення між складами. Слід передбачити процедуру списання одним зі способів: ФІФО, ЛІФО та за середнім. Специфіка галузі потребує винесення в окремий блок та ведення докладного обліку компонентів. Їх потрібно враховувати в розрізі кожної окремої одиниці, зокрема йдеться про шини, акумулятори, аптечки тощо. Зважаючи на особливості групи та неперервність процесу витрачання, доцільно передбачити для них додаткові можливості щодо оформлення документації.

Звертаємо увагу, що інформаційна підсистема обліку та інвентаризації має здійснювати всебічний детальний облік не лише агрегатів, паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин, запчастин і витратних матеріалів, але й навантаження водіїв, подорожніх листів, ДТП і штрафів тощо.

Оптимізація водійського складу має здійснюватися на засадах оцінки ефективності водіїв, мотивації та оплати праці. Саме тому доцільно проводити облік здійснених перевезень, розраховувати робочий час водіїв і нарахування заробітної плати за дорожніми листами. Необхідно документувати оцінки якості роботи, догани, позитивні та негативні відгуки, особливості. Звертаємо увагу, що цей модуль не є окремим, він тісно пов'язаний із формуванням розрядки на випуск автомобілів та оформленням шляхового і ремонтного листа. Для відбиття реалій слід передбачити декілька способів здійснення нарахувань. Потрібна система фільтрів, яка б визначала спосіб нарахування та тариф за конкретними критеріями: маршрут, товар, транспортний засіб, контрагент. Тобто слід передбачити нарахування за: відрядними тарифами від виробітку; фіксованою сумою; відсотком від виторгу; відсотком від інших нарахувань. Водночас потрібно включити в розрахунки доплату за нічні години та штрафні санкції.

Ще однією домінантою в консолідованій інформаційній системі автотранспортного підприємства має бути складова, яка забезпечує керування сервісним обслуговуванням і ремонтами. Слід передбачити та реалізувати функції планування технічного обслуговування й ремонтів транспортних засобів. При цьому потрібно пам'ятати про можливість проведення їх, як на власній ремонтній зоні, так і в сторонніх автосервісах. Система має здійснювати облік: замовлень на ремонт (облік заявок на ремонт, облік агрегатів) та планове і сервісне обслуговування; вже проведених операцій. Модуль обліку ремонтів має формувати звіти для аналізу всіх використаних під час ремонту витратних матеріалів і запчастин. Доречно передбачити складання рейтингів автомобілів за витратами коштів та часу на ремонт, подавши їх у графічній формі.

---

Доцільно вести облік витрачених запасних частин, відстежувати їх рух у складській системі. Розглянемо, як має вестися облік даних у рамках планового технічного обслуговування. Порядок передбачає розгляд кожного транспортного засобу, виходячи з таких параметрів, як пробіг, напрацювання в мотогодинах, календарна періодичність. Специфіка роботи потребує окремо передбачити заміну шин, акумуляторів, фільтрів, заправлення вогнегасників та доукомплектування аптечок. Зокрема, аналіз поточного зносу встановлених в цей момент на автомобілі шин має вестись на підставі даних щодо пробігу. Такий підхід уможливить визначити прогнозні терміни заміни, запланувати потреби підприємства, здійснити вигідну закупівлю.

Маємо нагадати, що для реалізації управлінських функцій, забезпечення плідного аналізу інформацію доцільно передбачити, узагальнюючи звіти з усіх запланованих і проведених технічних оглядів.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У статті запропоновано методологію побудови консолідованого інформаційного ресурсу, спрямованого на забезпечення ефективної системи керування автотранспортним підприємством. Основною перевагою є те, що він містить у собі всю необхідну та об'єктивну інформацію, а це дає можливість швидко та якісно виконувати поставлені перед користувачами завдання. Перспективність застосування інформаційної системи для автотранспортних підприємств і логістичних підрозділів неспростовна, оскільки уможливить удосконалити систему прийняття управлінських рішень, оптимізувати роботу, покращити ефективність.

#### **Список використаних джерел:**

1. Management of Permanent Change / Editors: Horst Albach, Heribert Mefert, Andreas Pinkwart, Ralf Reichwald. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. 240 p.
2. *Knickrehm M., Berthon B., Daugherty P.* Digital Disruption: The Growth Multiplier, Accenture. URL: [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-4/Accenture-Strategy-Digital-DisruptionGrowth-Multiplier.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-4/Accenture-Strategy-Digital-DisruptionGrowth-Multiplier.pdf)
3. *Ernst D.* The evolution of a “digital economy”: research issues and policy challenges. URL: <http://www.eastwestcenter.org/publications/evolution-digital-economy-research-issues-and-policy-challenges>
4. *Markovitch S., Willmott P.* Accelerating the digitization of business processes. McKinsey, 2014. URL: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/accelerating-the-digitizationofbusiness-processes>.
5. *Ogłih V., Shapovalov A.* Digital transformation in the transport industry: a test and new horizons for business: monograph 42. Katowice: Publishing House of Katowice School of Technology. 2020. P. 286–292.

---

6. *Silberschatz A., Korth H. F., Sudarshan S.* Database system concepts. New York, USA: McGraw-Hill. 2011. P. 1349.

7. *Богущ В. М., Довидьков О. А., Кривуца В. Г.* Теоретичні основи захищених інформаційних технологій. Київ: ДУІКТ, 2010. 454 с.

8. *Азарова А. О., Шиян А. А., Нікіфорова Л. О.* Розроблення захищеного консолідованого інформаційного ресурсу аналізу діяльності морських портів України. ІТКІ 2020. 48. С. 27–36.

9. *Ogłih V., Shapovalov A.* Innovative development of the transport automobile system of Ukraine: problems and prospects: monograph 28. Katowice: Katowice School of Technology, Poland. 2019. P. 193–200. URL: [www.wst.com.pl](http://www.wst.com.pl)

### References:

1. Management of Permanent Change / Editors: Horst Albach, Heribert Meffert, Andreas Pinkwart, Ralf Reichwald. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. 240 p.

2. *Knickrehm M., Berthon B., Daugherty P.* Digital Disruption: The Growth Multiplier, Accenture. URL: [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-4/Accenture-Strategy-Digital-DisruptionGrowth-Multiplier.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-4/Accenture-Strategy-Digital-DisruptionGrowth-Multiplier.pdf)

3. *Ernst D.* The evolution of a “digital economy”: research issues and policy challenges. URL: <http://www.eastwestcenter.org/publications/evolution-digital-economy-research-issues-and-policy-challenges>

4. *Markovitch S., Willmott P.* Accelerating the digitization of business processes. McKinsey, 2014. URL: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/accelerating-the-digitizationofbusiness-processes>

5. *Ogłih V., Shapovalov A.* Digital transformation in the transport industry: a test and new horizons for business. Monograph 42. Katowice: Publishing House of Katowice School of Technology. 2020. P. 286–292.

6. *Silberschatz A., Korth H. F., Sudarshan S.* Database system concepts. New York, USA: McGraw-Hill. 2011. 1349.

7. *Bogusz V. M., Dovidkov O. A., Krivatsy V. G.* Theoretical bases of protected information technologies. K. Ukraine: DУІКТ. 2010. 454 s.

8. *Azarov A. O.; Shiyanyan A. A., Nikiforova L. O.* Develop a protected consolidated information resource analysis of the activities of maritime ports of Ukraine. ІТКІ 2020. 48.27–36.

9. *Ogłih V., Shapovalov A.* Innovative development of the transport automobile system of Ukraine: problems and prospects. Monograph 28. Katowice: Katowice School of Technology, Poland. 2019. P. 193–200. URL: [www.wst.com.pl](http://www.wst.com.pl)

**Ю. В. Ульяновська**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів  
**Т. М. Рудянова**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів  
**А. О. Олещук**, Team Lead Designer, Pandora game studio  
**В. В. Костенко**, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів  
**О. Ф. Булгакова**, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів

### **ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ AUGMENTED REALITY В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

*Розглянуто актуальні питання застосування можливостей засобів сучасних інформаційних технологій, таких як доповнена реальність – Augmented Reality, для підвищення ефективності діяльності та забезпечення безпеки промислових підприємств. Досліджується програмне забезпечення для реалізації інтерактивної візуалізації тривимірних об'єктів засобами доповненої реальності в реальному часі в реальному масштабі з функцією збереження та передачі сцен з об'єктами на масові мобільні пристрої, що дає можливість економити кошти підприємства за рахунок заміни використання дорогого обладнання та технологій більш доступними інноваційними рішеннями.*

© Ю. В. Ульяновська, Т. М. Рудянова, А. О. Олещук, В. В. Костенко, О. Ф. Булгакова, 2021



---

Ключові слова: доповнена реальність; проект; типи даних; комп'ютерна графіка; програмне забезпечення.

*Рассмотрены актуальные вопросы применения возможностей средств современных информационных технологий, таких как дополненная реальность – Augmented Reality, для повышения эффективности деятельности и обеспечения безопасности промышленных предприятий. Исследуется программное обеспечение для реализации интерактивной визуализации трехмерных объектов средствами дополненной реальности в реальном времени и в реальном масштабе с функцией сохранения и передачи сцен с объектами на массовые мобильные устройства, которая позволяет экономить средства предприятия за счет замены использования дорогостоящего оборудования и технологий более доступными инновационными решениями.*

Ключевые слова: дополненная реальность; проект; типы данных; компьютерная графика; программное обеспечение.

*The digital economy is an important vector of the National Economic Strategy of Ukraine. The digital economy opens new opportunities and incentives for various areas of domestic business, including the development of industrial enterprises. Among the modern available digital technologies, the article considers one of the most promising technologies – augmented reality. Interest in augmented reality is shown by industrial enterprises that invest in its development, which contributes to its spread and improvement. This paper investigates the methods of application of AR in industry. The software application with the technology of interactive visualization of three-dimensional objects is implemented in the work. objects by means of augmented reality in real time and on a real scale with the function of storing and transmitting scenes with objects in space to mass mobile devices for implementation in industrial enterprises. Thanks to the existing scientific achievements in this field, analysis and synthesis of publicly available scientific works, the authors formed the main provisions of augmented reality and considered the main elements of this process in the chosen field. The experimental part of the work was performed using a set of development tools for ArCore tracking.*

*A feature of the proposed system is the ability to create and manage a group of objects, presenting objects in real size and in real time for mass mobile devices. It was possible to change the parameters of augmented reality objects when visualized by entering a block of generalized parameters, which speeds up the interaction and includes the ability to change in real time and simplify the user interface. The mechanism and algorithm of manipulation of virtual three-dimensional objects in space with the use of input methods with the possibility of*

---

*simultaneous movement and rotation, as well as the speed and stability of work and the technology of hiding objects are implemented.*

*A promising area of the study is the application of developed technologies in various industries.*

*Key words: augmented reality; project; data types; computer graphics; software.*

**Постановка проблеми.** Цифрова економіка є важливим вектором Національної економічної стратегії країни до 2030 року. Цифрова економіка відкриває нові можливості та стимули для різних сфер вітчизняного бізнесу, в тому числі для розвитку промислових підприємств. В Національній економічній стратегії на період до 2030 року однією зі стратегічних цілей розвитку промисловості визначено впровадження в Україні ресурсоефективних технологій [1]. Серед сучасних доступних цифрових технологій можна виділити найбільш перспективні, а саме: доповнена реальність (Augmented Reality або AR), змішана реальність (Mixed Reality або MR), використання великих даних (Big Data), блокчейн (Blockchain), штучний інтелект (Artificial Intelligence). При цьому AR та MR, зокрема, мали за останнє десятиліття додатки, що демонструють ефективний потенціал у розв'язанні проблем промислових підприємств [2].

Розробка методів інтеграції технологій з підтримкою AR в промисловість є досить актуальною проблемою. Немає такого бізнесу, де не можна було б застосувати AR для підвищення продаж, популярності бренду, ефективності роботи, навчання, швидкості виконання будь-яких операцій та їх точності, наприклад: інтернет-бізнес; виставки; конференції; організація великих заходів для показу прототипів установок, машин або інших продуктів, які неможливо привезти на захід, або вони ще перебувають на стадії розробки; івент-бізнес; навчання співробітників; оптимізація процесів і сервісне обслуговування; рітейл; програми лояльності з AR/VR; упаковка з доповненою реальністю; просування в соціальних мережах [3]. Використання цифрових технологій, які вбудовані в мобільні пристрої масового споживчого ринку, в якості заміни традиційних технологій, можуть легко собі дозволити промислові компанії, завдяки їхній невеликій вартості, крім того, розробка вищезазначених проектів та їхня інтеграція у виробничу діяльність може бути ефективною інвестицією розробника.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідність в ефективних системах виробництва широко визнана як керівниками галузей, так і в академічних колах, які розробляють методології і підходи для підвищення їх ефективної роботи. Для повного розуміння матеріалу потрібно чітко розмежувати поняття доповненої та віртуальної реальностей. Ці два поняття розмежо-

---

вуються тим, що віртуальна реальність – це абсолютна взаємодія з тим чи іншим елементом у віртуальному вимірі, тоді як доповнена реальність це інструмент що пов’язує у собі два світи – реальний та віртуальний [4]. Доповнена реальність (AR) – це універсальний інструмент для збагачення реального світу цифровим контентом. Розміщуючи інформацію віртуально на головних пристроях, користувач може виконувати різні завдання без допомоги рук.

Технології AR застосовуються в різних сферах. Так, гігант українського мобільного зв’язку Київстар вже має досягнення у напрямі використання доповненої реальності в сфері реклами. Одним із перших його додатків є додаток Kyivstar Reality, який оживляє статичне зображення в режимі реального часу прямо на екрані смартфона [5, 6]. Серед українських компаній, що працюють у сфері доповненої реальності, можна назвати стартап Simo AR – PR та маркетинговий інструмент, а також сервіс візуального пошуку для інтернет-магазинів, у планах якого – створення пошукового браузера з доповненою реальністю, це дасть можливість купувати товари в один клік за допомогою камери смартфона [5, 7]. Стартап використовує хмарні рішення та вже створив мобільний додаток, який розпізнає зображення та доповнює його віртуальним контентом: 3D, HTML5, відео. Відеоконтент – це анонси подій, трейлери до фільмів, реклама. Панораму в 360° можуть використовувати ріелторські компанії та турагенції. За допомогою HTML5 можна проводити опитування та квести, створювати міні-ігри. 3D-функціонал підійде забудовникам і дизайнерським компаніям – в 3D можна показати дома та об’єкти [7]. Зазначені підходи актуальні також для промислових підприємств у контексті розміщення обладнання, проектування приміщень, планування таких дій у випадку аварій, як евакуація тощо.

Незважаючи на переваги AR, таке подання інформації є нішевим додатком у виробничій індустрії. Поки не зрозуміло, чи пов’язані причини з доступною технологією AR або з рівнем прийняття користувачем [8]. Основні властивості системи доповненої реальності: поєднання віртуального та реального світу, взаємодія в реальному часі, робота в 3D.

AR і MR нині часто застосовуються не тільки в лабораторних масштабах, але і на промисловому рівні, особливо у виробничому секторі. Багато програм AR/MR можуть бути актуальні для моніторингу й перевірки якості, складання, обслуговування та безпеки [9].

Питання впровадження доповненої реальності у промисловій сфері було розглянуто на першому установчому консорціумі ARVIKA [10]. У цьому проєкті взяли участь кілька університетів і компаній з Німеччини, зокрема, з автомобільного підрозділу [11]. J. Fründ, J. Gausemeier, C. Matyszok, R. Radkowski в [12] запропонували один додаток AR killer для промисловості поділити на промислові зони, що використовують AR, відповідно до

---

продукту і його власного життєвого циклу, а саме: дизайн продукту, виробництво, введення в експлуатацію, огляд і технічне обслуговування, виведення з експлуатації та реконструкція.

У статті [13] дано оцінку реальної MR-системи порівняно з комерційною тривимірною розподіленою системою огляду проекту в трьох аспектах: дослідження того, як користувачі сприймають віртуальні моделі в матеріальній MR-системі в порівнянні з комерційною системою, вимір відношення користувачів до ефективності матеріальної MR-системи і виявлення проблем, що пов'язані з MR-інтерфейсом. Показано, що реальна MR-система може полегшити розв'язання проблем і зменшити обсяг роботи за заданий проміжок часу, а віртуальний дизайн, який відображається в змішаній сцені, був корисним для виконання завдання виявлення помилок проектування. У [14] пропонується новий підхід до віртуального прототипування цифрових портативних продуктів із використанням взаємодії на основі доповненої реальності (AR) та моделювання функціональної поведінки. На основі запропонованого підходу було розроблено та застосовано систему прототипування для оцінки дизайну різних цифрових портативних виробів. У праці [15] подано новий підхід до реалістичної та ефективної інтеграції проекту з використанням AR у системі управління життєвим циклом продукту. Запропоновано реалізацію, яка називається Доповненим оглядом проектування через мережу (ADRON) і, серед іншого, забезпечує апаратну гнучкість (тобто різну підтримку конфігурації та її розширення); гнучкість програмного забезпечення (тобто розширення та інтеграція), інтеграцію веб-контенту тощо.

Цікаве поєднання технологій 3D візуалізації та технологій віртуальної реальності. Тривимірний віртуальний інтерактивний сценарій може бути реалізований за допомогою інтерактивності шляхом інтеграції недорогих технологій віртуальної реальності, таких як Oculus Rift DK2 і контролер Leap Motion, та впровадження спеціального програмного забезпечення за допомогою Unity [16].

Найважливішим аспектом, який робить віртуальний об'єкт кращим, ніж реальний прототип, є його власна універсальність. Цифровий об'єкт простіше й швидше змінити, ніж фізичний, оскільки у цьому випадку немає необхідності у застосуванні фізичних зусиль. Для цифрового об'єкта можна швидко перейти від оцінки однієї його версії до іншої або змінити деякі властивості, такі як колір, текстура або форма. AR може бути використаний для проектування продукту безпосередньо в реальному середовищі. Для виконання таких завдань можна використовувати програмне забезпечення Construct3D, яке є спробою представити примітиви у реальному світі за допомогою Studierstube [17].

---

Важливо використання технологій доповненої реальності для навчання операторів на підприємствах, яким притаманний небезпечний характер виробництва, де помилки операторів можуть мати серйозні наслідки для технологічного процесу і безпеки. Як зазначається в праці [18], навчання операторів нині стикається з деякими проблемами, такими як високі витрати, обмеження безпеки і брак часу, що обумовлює спрямованість дослідження авторів статті на вивчення і впровадження інтерактивних рішень змішаної реальності для діагностики неполадок і допомоги у виробничих системах. Пропонується інтелектуальне веб-рішення з двома можливими застосуваннями, встановленими на смартфоні Android і Microsoft HoloLens. Рішення спрямовано на оповіщення операторів про виникнення аварійного сигналу за допомогою повідомлень, а потім на надання інструкцій, необхідних для усунення виявленого аварійного сигналу.

Програмування додатків AR спрощується за рахунок рушіїв, відомих з ігрової сфери. У дослідженні [19] описуються перші кроки, що дозволяють використовувати AR у виробничій системі. Виробнича система представлена модельним заводом у лабораторному форматі з достатньою складністю. Зв'язок між пристроєм AR і фабрикою моделей здійснюється через WLAN, стандартну шину та OPC UA.

На підставі проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновки, що технологічні можливості доповненої реальності продовжують зростати. Використання зазначених технологій актуально для виконання широкого кола завдань у бізнесі, рекламній діяльності, на виробництві. На виробничих підприємствах технології AR можуть бути застосовані для моделювання, навчання, запобігання надзвичайним ситуаціям тощо.

**Мета статті** – створення програмного забезпечення з технологією інтерактивної візуалізації тривимірних об'єктів засобами доповненої реальності в реальному часі та в реальному масштабі з функцією збереження та передачі сцен з об'єктами у просторі на масові мобільні пристрої для промислових підприємств.

**Виклад основного матеріалу.** Доповнена реальність у промисловості є унікальним інструментом, який підвищує продуктивність та економить ресурси. AR уможливорює суттєво прискорити процес розробки нових виробів, при цьому знижується число технічних помилок під час проектування виробів, поліпшується якість виробів за рахунок кращої обробки, продуманої ергономіки та інших характеристик, знижуються витрати на експлуатацію та ремонт за рахунок опрацювання виробничих і сервісних процесів [20].

У зазначених технологіях велике значення мають алгоритми обробки даних, які обираються відповідно до застосовуваних типів даних.

---

Розглянемо методи доповненої реальності з урахуванням певних особливостей використання інструментів AR на промислових підприємствах. Завдяки наявним науковим досягненням у даній сфері, аналізу та синтезу загальнодоступної інформації та власних суджень, спостережень і розробок авторів [22, 23], було визначено основні положення доповненої реальності та розглянуто основні елементи даного процесу в обраній галузі.

Експериментальна частина дослідження проводилась із використанням набору засобів розробки для трекінгу ARCore. ARCore – це набір для розробки програмного забезпечення, розроблений компанією Google, який дає можливість будувати додатки доповненої реальності. Google розробила ARCore, щоб він був доступний з декількох платформ розробки (Android [Java], Web [Javascript], Unreal [C++], Unity [C#]), цим самим надаючи розробникам більше гнучкості та можливостей для створення додатків на різних платформах. Кожна платформа має свої переваги й недоліки, всі платформи поширюються на вбудований у пристрої Android SDK. У статті обрано платформу розробки Unity [21].

Розглянемо, як розподіляються функції системи візуалізації засобами AR за підсистемами. Функцію інтеграції віртуального об'єкта в систему виконує трекінгова підсистема, яка приймає відеопотік з камери, аналізує та обробляє кадри відеопотоку шляхом перевірки наявності заданих точок на поверхні. Функції збереження інформації про тривимірні об'єкти виконує база даних, з якої завантажується інформація про об'єкт. Забезпечення роботи з зображенням здійснює підсистема візуалізації. Реалістичність досягалась шляхом використання технологій незалежної текстури затемнення. Взаємодія зі споживачем програмного продукту уможливорює реалізувати графічний інтерфейс.

У реалізованому інтерфейсі всі файли називаються сценами, що відповідає їхньому змісту. Під час запуску програми автоматично відкривається нова сцена (рис. 1). Для роботи в програмі можна використовувати нову сцену або завантажити готові. Програмний продукт може одночасно працювати тільки з однією сценою.

Розглянемо механізм маніпуляції тривимірними об'єктами доповненої реальності. Для реалізації інтерфейсу маніпуляції об'єктами було розглянуто варіанти використання кнопок і різних інших видів маніпуляції (скажімо, повзунків). Однак набагато ефективнішим рішенням виявилось використання маніпуляції у вигляді панелі з усіма можливими функціями (рис. 2).

Розроблений алгоритм, що обробляє введення з сенсорного екрана, такий. Під час виявлення торкання екрана проводиться перевірка, чи відбулося потрапляння в область віртуального об'єкта. Для цього застосовується метод визначення належності точки. Віртуальний промінь проєктується від

---

точки дотику користувачем сенсорного екрана, що розміщується на площині екрана, знайденої за допомогою віртуальної камери Unity. У разі перетину променем об'єкта повертається позитивний результат. Після цього в зазначеній точці з'являється обраний раніше об'єкт. За наявності на сцені декількох віртуальних об'єктів необхідно визначити, з якими з них відбувається взаємодія.



Рис. 1. Інтерфейс розробленого додатка



Рис. 2. Інтерфейс користувача для маніпуляції об'єктами

---

Створений алгоритм дає можливість користувачеві після створення сцени зберегти її та за допомогою інтерфейсу користувача передати іншим користувачам, у яких є доступ до додатка (рис. 3). Розроблений додаток візуалізації за допомогою додаткової реальності містить 2 класи: `ARObjectsGroupData` і `ARObjectData`. Названі класи зберігають у собі всю інформацію про розміщені об'єкти в просторі. Під час збереження сцени користувачем усі дані з цих двох класів зберігаються в базі даних, звідки користувач передає їх на інший мобільний пристрій. Дана збережена сцена, зокрема дані з `ARObjectsGroupData` і `ARObjectData`, будуть активними для завантаження в списку "Доступні сцени". Щоб відправити збережену/активну сцену, потрібно її відобразити на мобільному пристрої, з якого відбуватиметься відправка, та відкрити відповідне вікно. Далі буде запропоновано введення ID мобільного пристрою, на який буде відправлено активну сцену.

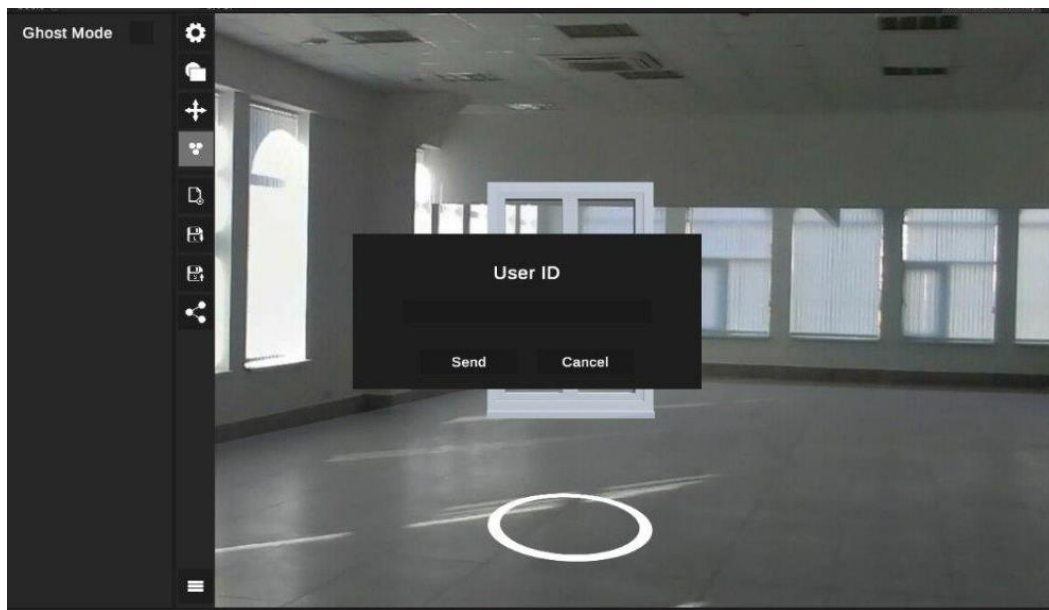


Рис. 3. Режим відправки активної сцени

Розглянемо режим прозорості сцени. Робота зі складними сценами потребує значних комп'ютерних ресурсів. Одним зі способів полегшення і прискорення роботи зі сценою є приховування об'єктів. Це прискорює час обробки і відображення сцени загалом. Приховані об'єкти не можна виділити, отже, й піддати обробці, поки вони приховані. Щоб приховати об'єкт, на сцені використовується відповідний прапорець на командній панелі (рис. 4).



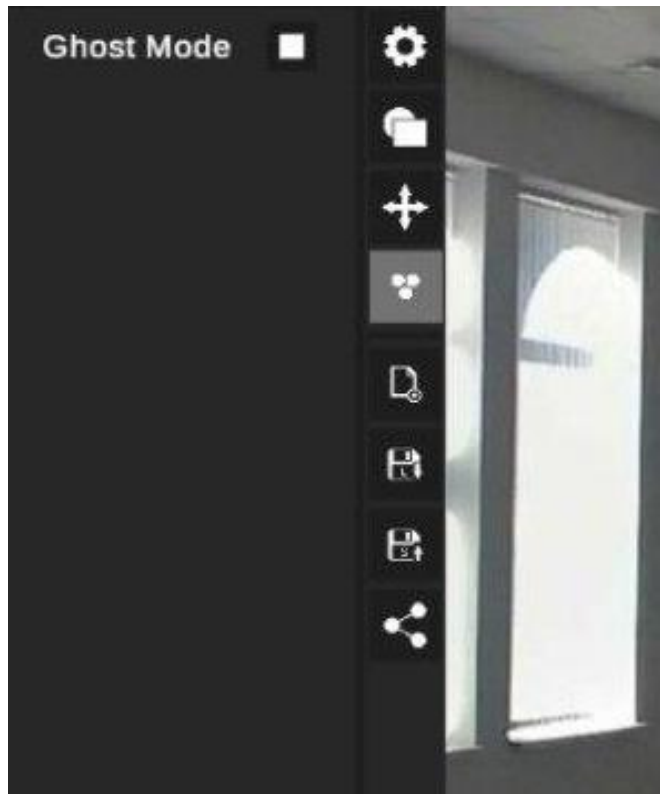


Рис. 4. Активний режим прозорості сцени

Під час проектування графічного інтерфейсу користувача необхідне забезпечення доступу користувача до таких основних функцій: можливість перегляду доступних для вибору об'єктів візуалізації та вибір відповідного об'єкта; зміна імені та надання доступу іншим користувачам у вікні налаштувань поточної групи; трансформація обраного об'єкта; створення, збереження та завантаження нової групи об'єктів.

Для широкого застосування користувачами цієї технології дуже важливі зрозумілість і зручність роботи з програмним додатком, саме тому під час його розробки основний акцент зроблено на кінцевого споживача. Специфіка проектування, призначеного для користувача інтерфейсу для додатків з технологією доповненої реальності, в тому, що необхідно враховувати положення пристрою в руках користувача і положення самого користувача. Тому питанню ергономіки інтерфейсу було приділено підвищену увагу.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У статті розглянуто створення програмного забезпечення з технологією візуалізації віртуальних тривимірних об'єктів у реальному середовищі засобами доповненої реальності. Особливістю запропонованої

---

системи є можливість створення та управління групою об'єктів, подання об'єктів у реальному розмірі й у реальному часі для масових мобільних пристроїв. Реалізовано можливість редагування параметрів об'єктів AR під час візуалізації введенням блоку узагальненого параметра, що, по-перше, дозволило прискорити взаємодію і забезпечило можливість зміни об'єктів у реальному часі, по-друге, уможливило спростити інтерфейс. Завдяки цьому було підвищено зручність роботи з програмним додатком, що позитивно впливає на сприйняття продукту кінцевим користувачем. У програмному забезпеченні, яке описано в статті, реалізовані технології маніпуляції віртуальними тривимірними об'єктами в просторі з використанням методів введення з можливістю одночасного переміщення та обертання, а також швидкістю і стабільністю роботи та технологія приховування об'єктів.

Перспективним напрямом проведеного дослідження є застосування розроблених технологій у різноманітних сферах промисловості. Моделювання та візуалізація приміщень засобами AR дасть, крім того, можливість ефективнішого планування робочого простору з урахуванням ергономіки та безпеки для працівників, заощадить кошти для закупівлі обладнання, оскільки зменшує ймовірність помилки.

#### Список використаних джерел:

1. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року: Постанова від 03 березня 2021 р. № 179. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179>
2. *Bottani E., Vignali G.* Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade // *IISE Transactions*. 2019. Volume 51. P. 284–310.
3. *Лебеденко С. О.* Використання технологій доповненої реальності в торгівлі та маркетингу // *Ефективна економіка*. 2019. № 10.
4. *Тимошенко А.* Як доповнена реальність може допомогти малому і середньому бізнесу. URL: <https://business.dii.gov.ua/cases/tehnologii/ak-dopovnena-realnist-moze-dopomogti-malomu-i-serednomu-biznesu>
5. *Мінтій І. С.* Доповнена реальність: українська сьогодні. Бізнес та майбутня освіта // *Педагогіка вищої та середньої школи*. 2019. Вип. 51. С. 290–296.
6. *Kyivstar Reality*. URL: <https://kyivstar.ua/ru/mm/entertainment/reality>
7. *SIMO AR* – платформа доповненої реальності. URL: <https://bit.ua/2017/11/ukrainskij-startap-dnya-simo-ar>
8. *Schmiedinger T., Petkea M., Czettritz L., Wohlschlägera B., Adam M.* Augmented reality as a tool for providing information content in different production domains // *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 45. P. 423–428. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.047>

- 
9. Bottani E., Nicoletti L., Padovano A., Paolo G., Tancredi C., Tebaldi L., Vetrano M., Vignali G. Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line // *Computers in Industry*. 2021. Volume 128. June.
  10. Wohlgemuth W., Triebfurst G. ARVIKA: augmented reality for development, production and service // In *Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments*. 2000. P. 151–152.
  11. Fite-Georgel P. Is there a reality in Industrial Augmented Reality? // 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2011. P. 201–210.
  12. Fründ J., Gausemeier J., Matysczok C., Radkowski R. Using Augmented Reality Technology to Support the Automobile Development // *Computer Supported Cooperative Work in Design*. 2005. P. 289–298.
  13. Wang X., Dunston Ph. S. Tangible mixed reality for remote design review: a study understanding user perception and acceptance // *Visualization in Engineering*. 2013. Volume 1. URL: <https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-8>
  14. Park H., Moon H., Lee J. Tangible augmented prototyping of digital handheld products // *Computers in Industry*. 2009. Vol. 60. № 2. P. 114–125.
  15. Uva A., Cristiano S., Fiorentino M., Monno G. Distributed design review using tangible augmented technical drawings // *Computer-Aided Design*. 2010. Vol. 42. № 5. P. 364–372.
  16. Gonizzi Barsanti S., Caruso G., Micoli L. L., Rodriguez Covarrubias M., Guidi G. 3D isualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 2015. Vol. 40. P. 165–172.
  17. Kaufmann H., Schmalstieg D. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality // *Computers and Graphics*. 2003. Vol. 27. № 3. P. 339–345. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf>
  18. Rempel W., Bauer B., Stache N. C., Wittenberg C. First steps to control a digitalized factory via Augmented Reality // *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 52. Issue 19. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.072>
  19. Доповнена реальність і сучасні VR-технології. URL: <https://avada-media.ua/ua/services/vr-ar>
  20. Linowes J., Babilinski K. *Augmented Reality for Developers*. 1<sup>st</sup> edition. 2017. 548 p.
  21. Яковенко В. О., Ульяновська Ю. В., Олещук А. О. Розробка програмного модуля для 3d візуалізації з елементами augmented reality для слабких та потужних пристроїв // *Наукові вісті Далівського університету*. 2019. № 16.

---

22. Яковенко В. О., Ульяновська Ю. В., Олещук А. О. Розробка програмного модуля для візуалізації 3D-моделей // Сучасна наука: проблеми і перспективи (частина I): Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. 6–7 жовтня 2018 р. Київ: МЦНД, 2018. С. 32.

#### References:

1. Postanova vid 03 bereznya 2021 r. № 179 «Pro zatverdzhennya Nacionalnoyi ekonomichnoyi strategiyi na period do 2030 roku». Rezhim dostupu: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179>.
2. Bottani E. Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade / E. Bottani, G. Vignali // IISE Transactions – Volume 51, 2019 – P. 284-310.
3. Lebedenko S.O. Viktoristannya tehnologij dopovnenoyi realnosti v torgivli ta marketingu / S.O. Lebedenko // Efektivna ekonomika – №10, 2019.
4. Timoshenko A. Yak dopovnena realnist mozhe dopomogti malomu i serednomu biznesu. Rezhim dostupu: <https://business.diia.gov.ua/cases/tehnologii/ak-dopovnena-realnist-moze-dopomogti-malomu-i-serednomu-biznesu>
5. Mintij I.S. Dopovnena realnist: ukrayinska sгодennya. Biznes ta majbutnya osvita / I.S. Mintij // Pedagogika vishoyi ta serednoyi shkoli – Vip.51, 2019. – S. 290-296.
6. Kyivstar Reality. Elektronnij resurs. Rezhim dostupu: <https://kyivstar.ua/ru/mm/entertainment/reality>
7. SIMO AR - platforma dopovnenoyi realnosti. Elektronnij resurs. Rezhim dostupu: <https://bit.ua/2017/11/ukrainskij-startap-dnya-simo-ar/>
8. Schmiedingera T. Augmented reality as a tool for providing information content in different production domains / T. Schmiedingera, M. Petkea, L. Czettritz, B. Wohlschlager, M. Adam // Procedia Manufacturing – Vol 45, 2020. – pp. 423-428. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.047>
9. Bottani E. Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line / E. Bottani, L. Nicoletti, A. Padovano, G. Paolo, C. Tancredi, L. Tebaldi, M. Vetrano, G. Vignali // Computers in Industry. – Volume 128, June 2021.
10. Wohlgemuth W. ARVIKA: augmented reality for development, production and service / W. Wohlgemuth, G. Triebfurst // In Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments. – 2000. – pp.151–152.
11. Fite-Georgel P. Is there a reality in Industrial Augmented Reality? / P. Fite-Georgel // 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. – 2011. – pp. 201–210.

- 
12. Frund J. Using Augmented Reality Technology to Support the Automobile Development / J. Frund, J. Gausemeier, C. Matysczok, R. Radkowski // *Computer Supported Cooperative Work in Design*. – 2005. – pp. 289–298.
  13. Wang X. Tangible mixed reality for remote design review: a study understanding user perception and acceptance / X. Wang, Ph.S Dunston // *Visualization in Engineering – Volume 1*, 2013. URL: <https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-8>
  14. Park H. Tangible augmented prototyping of digital handheld products / H. Park, H. Moon, J. Lee // *Computers in Industry*. – 2009. – Vol. 60, №2. – pp. 114–125.
  15. Uva A. Distributed design review using tangible augmented technical drawings / A. Uva, S. Cristiano, M. Fiorentino, G. Monno // *Computer-Aided Design*. – 2010. – Vol. 42, № 5. – pp. 364–372.
  16. Gonizzi Barsanti S. 3D isualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices / S. Gonizzi Barsanti, G. Caruso, L.L. Micoli, M. Rodriguez Covarrubias, G. Guidi // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* – Vol. 40, 2015. – RR. 165-172.
  17. Kaufmann H. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality / H. Kaufmann, D. Schmalstieg // *Computers and Graphics*. – 2003. – Vol. 27. – №3. – pp. 339–345. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf>
  18. Rempel W. First steps to control a digitalized factory via Augmented Reality / W. Rempel, B. Bauer, N.C. Stache, C. Wittenberg // *IFAC-PapersOnLine* – Vol.52, Issue 19. – pp. 1-6. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.072>
  19. Dopovnena realnist i suchasni VR tehnologiyi: Rezhim dostupu: <https://avada-media.ua/ua/services/vr-ar/>.
  20. Linowes J. *Augmented Reality for Developers* / J. Linowes, K. Babilinski – 1st edition, 2017. – 548 P.
  21. Yakovenko V.O. Rozrobka programnogo modulya dlya 3d vizualizaciyi z elementami augmented reality dlya slabkih ta potuzhnih pristroyiv / V.O. Yakovenko, Yu.V. Ulyanovska, A.O. Oleshuk // *Naukovi visti Dalivskogo universitetu*. №16, 2019.
  22. Yakovenko V.O. Rozrobka programnogo modulya dlya vizualizaciyi 3D-modelej / V.O. Yakovenko, Yu.V. Ulyanovska, A.O. Oleshuk // *Suchasna nauka: problemi i perspektivi (chastina I): Materiali IV Mizhnarodnoyi naukovopraktichnoyi konferenciyi – 6-7 zhovtnya 2018 roku*. Kiyiv: MCND, 2018. S. 32.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2021-1-61.7>

УДК 656.225

**П. В. Бех**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри управління  
експлуатаційною роботою Дніпровського  
національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна  
**Г. І. Нестеренко**, кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри управління  
експлуатаційною роботою Дніпровського  
національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна  
**О. Г. Стрелко**, доктор історичних наук,  
професор, декан факультету управління  
залізничним транспортом Державного  
університету інфраструктури та технологій  
**М. І. Музикін**, кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри безпеки  
життєдіяльності Дніпровського  
національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна

#### **УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УМОВАХ РИЗИКІВ КОНКУРЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА**

*Основна проблема, порушена перед Укрзалізницею, – це підвищення рентабельності й конкурентоспроможності на основі поліпшення якості обслуговування, вдосконалювання тарифної політики, технології та організації вантажних перевезень.*

*Ця проблема являє собою комплекс завдань, що пов'язані з організацією вантажних перевезень.*

*Характер і динаміка цих процесів значною мірою визначаються структурою власне ринку, в рамках якої можна виокремити два головних суб'єкти, що взаємодіють: транспортна система й споживачі транспортної продукції – відправники вантажу і вантажоодержувачі. Їхня стратегія поведіння домагається основної мети – завоювання найвигідніших, домінуючих позицій на транспортному ринку.*

© П. В. Бех, Г. І. Нестеренко, О. Г. Стрелко, М. І. Музикін, 2021

---

Ключові слова: *проблема конкурентоспроможності; вантажні перевезення; ринок транспортних послуг; оперативне планування.*

*Основной проблемой, стоящей перед Укрзалізницею, является повышение рентабельности и конкурентоспособности на основе улучшения качества обслуживания, совершенствования тарифной политики, технологии и организации грузовых перевозок.*

*Эта проблема представляет собой комплекс задач, связанных с организацией грузовых перевозок.*

*Характер и динамика этих процессов в значительной степени определяется структурой собственно рынка, в рамках которой можно выделить два главных взаимодействующих субъекта: транспортная система и потребители транспортной продукции – грузоотправители и грузополучатели. Их стратегия поведения добивается основной цели – завоевания наиболее выгодных, доминирующих позиций на транспортном рынке.*

Ключевые слова: *проблема конкурентоспособности; грузовые перевозки; рынок транспортных услуг; оперативное планирование.*

*The main problem facing Ukrzaliznytsia is to increase profitability and competitiveness by improving the quality of service, improving tariff policy, technology and organization of freight.*

*This problem is a set of tasks related to the organization of freight.*

*The nature and dynamics of these processes is largely determined by the structure of the market itself, within which there are two main interacting entities: the transport system and consumers of transport products – shippers and consignees. Their strategy of behavior achieves the main goal – to win the most profitable, dominant position in the transport market.*

*Therefore, to form an equilibrium state in the market of transport services it is necessary to achieve a reasonable compromise between the subjects of the competitive environment, which allows to obtain an integrated economic effect for all market participants.*

*Freight traffic is the main source of income for the railways. Their technology and organization fully determine all the economic performance of the railways. Therefore, first of all it is necessary to consider the state of this most important area of functioning of railway transport.*

*The transition to a market economy has dramatically changed the possibilities of freight planning, which has become more difficult to implement, but remained no less necessary.*

*There has long been a problem of computer operational adjustment of formation plans, the main purpose of which should be to accelerate the promotion of car traffic, as well as the allocation of destinations for increased transit.*

---

*And only in the conditions of adjustment of plans of formation on the basis of the periodic and continuous information in close interaction with operational planning and the dispatching management of all levels it is possible to receive the most effective system of management of processes of freight transportations.*

*Uncertainty of the time of arrival of goods reduces the competitiveness of rail transport, sharply complicates the interaction with other modes of transport, such as delivery of all goods for shipment by this vessel, which has become especially necessary in the emerging transport corridors.*

*Ukraine has relatively well-developed highways, not to mention European countries, which are not so far away. Therefore, users of transport products are increasingly making their choice not in favor of rail transport.*

*While the railways have not lost demand for their services and are making a profit, not all cargo is transported by road and water – it is necessary to immediately take measures to increase the competitiveness of Ukrainian rail transport.*

*Key words: problem competitiveness; freight transportation; transport services market; operational planning.*

**Постановка проблеми.** Розвиток транспортного ринку України порушує перед суспільством безліч складних проблем, що виникають у зв'язку зі зміною економічної та політичної ситуації як у країні, так і у світі. Ці проблеми різні. Одні з них виходять за рамки транспортної галузі й тісно переплетені із соціально-економічними аспектами життєдіяльності держави, інші – пов'язані з інтересами суб'єктів транспортного ринку, тобто мають суто внутрішньотранспортний характер.

Незважаючи на це, в транспортній галузі України відбулася істотна трансформація цілей, що стоять перед нею. Головна з них – домогтися стійкої конкурентоздатності на зовнішньому ринку, а на внутрішньому ринку забезпечувати високий інтегральний рівень рентабельності галузі за умови задоволення попиту на кількість і якість транспортних послуг як одну з необхідних і першорядних умов життєзабезпечення сучасного суспільства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для залізничного транспорту в нашій державі важливе значення має не лише покращання економічних і фінансових результатів, але й вплив на результати роботи інших галузей економіки. Удосконалення системи взаємодії залізниць з виробництвом здійснюється в напрямку підвищення якості перевізного процесу з розширенням асортименту послуг, що сприяє зростанню обсягів перевезень [1].

Зміни економічних взаємовідносин між товаровиробниками і споживачами і зменшення ролі держави в питаннях регулювання цих взаємовідносин безпосередньо торкнулися транспортної сфери. За функціонування народногосподарського комплексу країни до ринкових перетворень в економіці вже на фазі планування перевезень народногосподарських вантажів закладалися принципи, що сприяють їх здешевленню. Це проявлялось у певній



---

системі планування перевезень і відповідальності за невиконання планів перевезень вантажів. План перевезень вважався одним з основних елементів основного закону, невиконання якого було неприпустимо [2].

Конкуренція між підприємствами галузі порушила питання про підвищення конкурентоспроможності не тільки залізничних підсистем, безпосередньо задіяних у технологіях руху вантажів та переміщення пасажирів, але й організації інфраструктури. Це стосується насамперед підсистем із розширення послуг та поліпшення сервісу для пасажирів і вантажовласників.

Досягається забезпечення рівних умов для всіх учасників ринку завдяки забороні трьох ключових антиконкурентних дій: прийняття угод, що обмежують конкуренцію; зловживання домінуючим (монопольним) становищем та злиття, що призводять до домінуючої позиції на ринку й обмежують конкуренцію [3, 4].

**Мета статті** – застосування та впровадження нових технологій управління вантажними перевезеннями на залізницях України, що без додаткових капітальних вкладень дасть можливість підвищити конкурентоздатність залізничного транспорту, збільшить фінансові надходження та оптимізує перевізний процес.

**Виклад основного матеріалу.** Основна проблема, що стоїть перед Укрзалізницею, – це підвищення рентабельності й конкурентоспроможності на основі поліпшення якості обслуговування, вдосконалювання тарифної політики, технології та організації вантажних перевезень.

Ця проблема являє собою комплекс завдань, що пов'язані з організацією вантажних перевезень, послідовність виконання яких зображено на рис. 1.

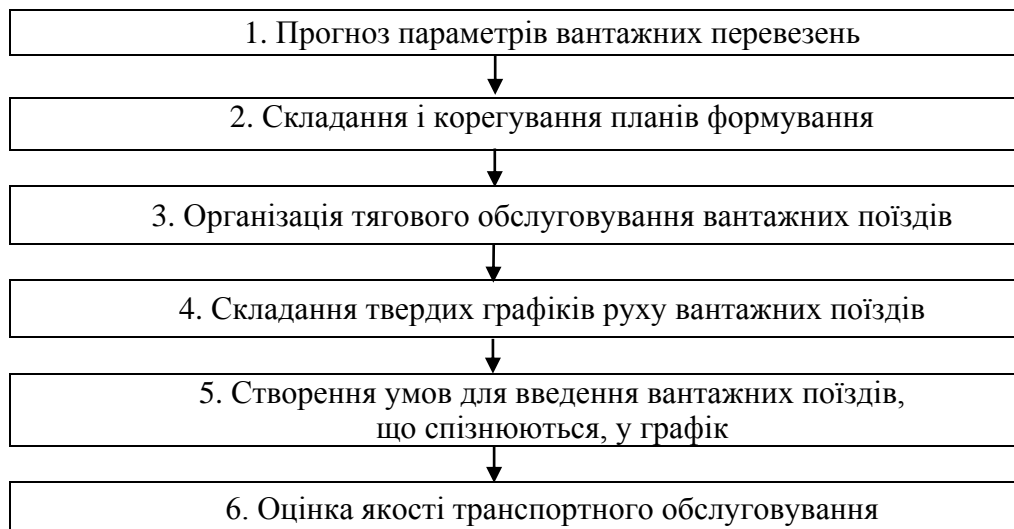


Рис. 1. Послідовність розв'язання проблеми організації вантажних перевезень

---

Зміст кожного з елементів комплексу завдань подано нижче.

#### 1. Прогноз параметрів вантажних перевезень.

Для планування й організації перевезень залізницею необхідно знати таке: рід і кількість вантажу, станції відправлення і призначення, час наступного перевезення й набір вимог клієнтів, які залізничники зобов'язалися виконати.

Величезний обсяг цієї інформації можна зібрати й обробити тільки за допомогою сучасної обчислювальної техніки. Однак централізоване збирання і комп'ютерна обробка заявок клієнтів на перевезення вантажів ще й досі належним чином не організовані на наших залізницях. Це змушує визначати й прогнозувати зазначені параметри перевезень на основі статистичних даних, але й за такого підходу виникають чималі труднощі.

На залізницях налагоджено збирання і комп'ютерну обробку даних про вантажі, що відправляються. Усі залізниці збирають і передають інформацію про прибуття вантажу в обчислювальний центр, але дані про транзитні вантажопотоки на залізницях не збираються й не піддаються комп'ютерній обробці.

Тому за наявної системи звітності лише обчислювальний центр володіє найбільш повною інформацією, що читається обчислювальною технікою, про виконані вантажні перевезення і надає її зацікавленим організаціям за умови оплати.

Оскільки ця інформація призначена для розподілу доходів від перевезень вантажів між залізницями, то вона містить дані про перетинання стикових пунктів залізниць без позначення внутрішніх станцій. Тому на основі цієї інформації неможливо визначити маршрути перевезень усередині залізниці й розподілити вантажопотоки залізничними лініями.

Для цього потрібно визначити можливість використання додаткової інформації, що читається обчислювальною технікою, скласти комп'ютерну програму й обробити інформацію, яка надходить із різних джерел.

Наступне невиконане завдання – це комп'ютерне виділення, аналіз і прогнозування найпотужніших струменів вантажопотоків на основі величезного обсягу вихідної інформації про виконані перевезення. Це завдання ключове у виконанні стратегічних і тактичних завдань підтримки й розвитку транспортної інфраструктури, а також у плануванні й організації вантажних перевезень.

#### 2. Складання й коригування планів формування.

Необхідно створити методику складання і поточного коригування планів формування на основі прогнозованої й оперативної інформації про вантажопотоки з урахуванням регулювальних заходів маневрових диспетчерів, що забезпечують своєчасне формування й відправлення поїздів за графіком.

---

3. Організація тягового обслуговування вантажних поїздів. Слід створити методику розподілу мережі залізниці на ділянки обслуговування вантажних потягів локомотивними бригадами, що працюють без відпочинку в пунктах обороту, з урахуванням обмежень на тривалість безупинної роботи, норм часу на здавання-прийняття локомотивів тощо, а також розробити рекомендації з обґрунтування меж ділянок обертів локомотивів у комплексі, що забезпечують найкращі умови для організації руху вантажних поїздів за графіком.

4. Складання твердих графіків руху вантажних поїздів.

Обсяг вантажних перевезень має сезонну, місячну, тижневу і навіть добову нерівномірність, обумовлену особливостями сільськогосподарського й промислового виробництва, наявністю нічних перерв у роботі, неробочих днів та ін. Тому для складання вантажних графіків потрібно визначити необхідну кількість вантажних поїздів у графіку та їхній розподіл за часом доби, з урахуванням пропуску поїздів дальнього переміщення, місцевих і приміських пасажирських поїздів, а також організації місцевої роботи і тягового обслуговування.

5. Створення умов для введення вантажних поїздів, що спізнюються, у графік.

Це означає необхідність виділення резервів часу в графіках руху й ужиття організаційних заходів щодо скорочення затримок вантажних поїздів, викликаних технічними, технологічними й організаційними причинами.

6. Оцінка якості транспортного обслуговування.

Для цього необхідно розробити методику кількісної оцінки клієнтом якості обслуговування різними видами транспорту на основі єдиного вартісного показника.

Усе це потребує розробки методів синтезу адаптивних стратегій управління тарифною політикою в умовах впливу економічних факторів.

У рамках ринкової економіки (під час реалізації принципів маркетингу і логістики) особливого значення набувають проблеми формування, управління й забезпечення стійкого функціонування каналів вантажопотоків, оскільки 90–95 % часу життєвого циклу товари перебувають у процесі транспортування. У країнах із розвинутою ринковою економікою такі канали створювалися роками, найчастіше методом спроб і помилок, за активного втручання держави (це особливо характерно для країн ЄС) і нинішнього часу практично сформувалися. Про це свідчить, наприклад, система Критських транспортних коридорів.

Характер і динаміка цих процесів великою мірою визначаються структурою власне ринку, в рамках якої можна виокремити два головних суб'єкти, що взаємодіють: транспортна система та споживачі транспортної

---

продукції – відправники вантажу і вантажоодержувачі. Їхня стратегія поведіння досягає основної мети – завоювання найвигідніших, домінуючих позицій на транспортному ринку. Для споживачів транспортної продукції це означає досягти максимального скорочення витрат на перевезення, доступності транспорту в будь-який час доби, забезпечення схоронності вантажів і доставки їх чітко в термін та ін. Для транспортних організацій важливо завоювати чи зберегти найбільш сприятливе становище на ринку транспортних послуг у порівнянні зі своїми конкурентами та залучити для перевезення якомога більше вантажів. З цією метою проводиться робота з поліпшення транспортного сервісу, формуються конкурентоздатні тарифи тощо. Результатом цих зусиль є одержання максимального доходу й прибутку.

Тому для формування рівноважного стану на ринку транспортних послуг необхідне досягнення розумного компромісу між суб'єктами конкурентного середовища, що уможливує отримання інтегрального економічного ефекту всім учасникам ринку.

Оскільки транспортна продукція не “складується”, то пропозиція має підлаштовуватись під найвищий рівень попиту, що дуже змінюється під впливом різних сезонних коливань. Тобто обсяг перевезень на транспорті приблизно впливає зі зміни обсягів економічної діяльності. Тому попит, а іноді й пропозиції, дуже мінливі. Оскільки обидві ці величини відносно нееластичні, принаймні протягом короткого часу, то можливі істотні зміни цін здатні привести до порушення досягнутого компромісу на ринку транспортних послуг.

В умовах планової економіки й відсутності конкуренції, потреби в перевезеннях перевищували можливості залізничного транспорту. Тому головним завданням його було задоволення цих потреб (пошук вагонів, підвищення провізної спроможності та ін.). Якість транспортного обслуговування вважалася розв'язаною проблемою і досі залишається майже на колишньому рівні.

Вантажні перевезення – це основне джерело одержання доходів для залізниць. Їхня технологія й організація цілком визначають усі економічні показники роботи залізниць. Отже, насамперед необхідно розглянути стан цієї найважливішої галузі функціонування залізничного транспорту.

Система організації перевезення вантажів, що склалася на наших залізницях, включає процеси, зображені на рис. 2:

- планування перевезень;
- планування формування поїздів;
- складання графіка руху;
- оперативне планування перевезень;
- диспетчерське керівництво перевезеннями.

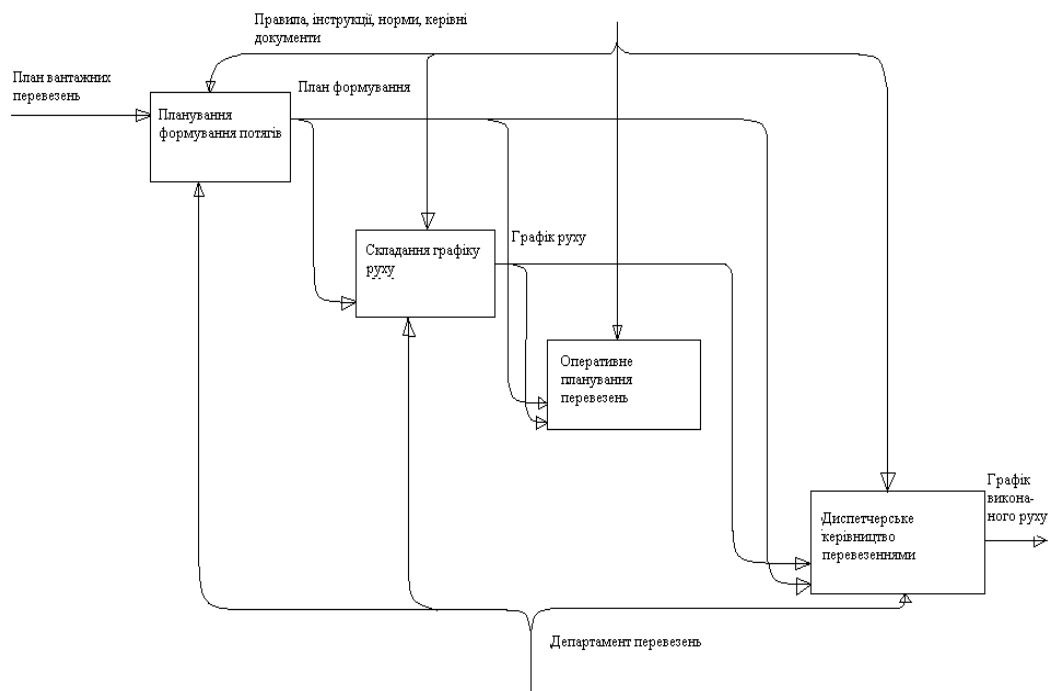


Рис. 2. Процеси управління перевезеннями вантажів

Перехід до ринкової економіки різко змінив можливості планування вантажних перевезень, що стало важкоздійсненним, але залишилося не менш необхідним.

Технологія складання мережного й дорожнього планів формування не змінилася, як і раніше вона орієнтована на середні вагонопотоки, що суттєво змінюються за місяцями, днями тижня і навіть упродовж доби (рис. 3).

Прагнення спрямовувати вантажопотоки найкоротшими відстанями призводить до негативних процесів, а саме:

- направлення вагонопотоків у поруч розташовані райони залізничної мережі через різні сортувальні станції;
- відправлення вагонопотоків дальніх побіжних призначень із сусідніх сортувальних станцій вузла;
- використання тепловозних ходів і малорентабельних ліній для пропуску транзитного потоку за наявності рівнобіжних електрифікованих ліній, експлуатація яких майже в 3 рази дешевше;
- рідке формування відправницьких маршрутів із технічних;

- невикористання можливості прискорити просування вантажів за рахунок реалізації вищої маси потяга, відмовившись від найкоротшого шляху;
- невикористання можливості збільшити уніфіковану вагову норму шляхом формування важких потягів.

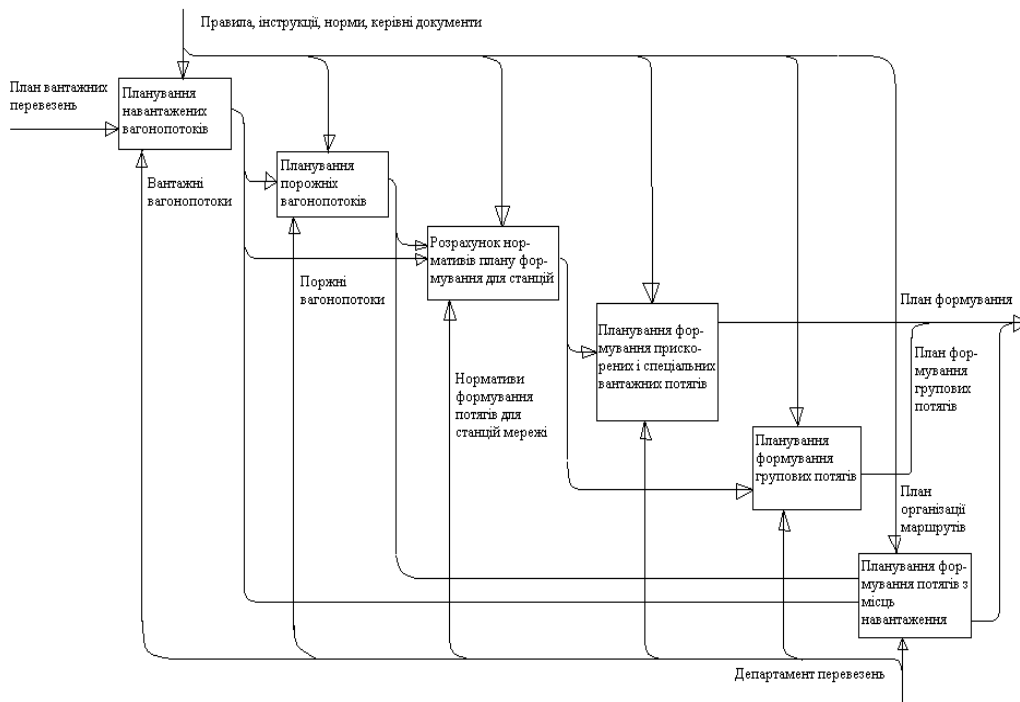


Рис. 3. Процеси планування формування вантажних поїздів

Давно існує проблема комп'ютерного оперативного коригування планів формування, головною метою якого має стати прискорення просування вагонопотоків, а також виділення призначень підвищеного транзиту.

І тільки в умовах коригування планів формування на основі періодичної та безупинної інформації у тісній взаємодії з оперативним плануванням і диспетчерським керівництвом усіх рівнів можна одержати найбільш ефективну систему управління процесами вантажних перевезень.

Нитка графіка не обов'язкова, а лише можлива для пропуску вантажного поїзда ділянкою залізниці. При цьому заздалегідь неможливо передбачити, які нитки графіка буде використано для пропуску вантажних поїздів і які потребуватимуть забезпечення локомотивами й бригадами. Проте планується прив'язка локомотивів і бригад до всіх ниток нормативного графіка

---

вантажних поїздів, підраховуються простої локомотивів і бригад та інші показники. Це, у кращому разі, можна розглядати лише як наближену оцінку, користь від якої сумнівна.

Організація руху вантажних поїздів за графіком дасть можливість:

- організувати роботу локомотивів і бригад із мінімальними втратами часу, скоротивши перевідпочинок у пунктах обертів і понад визначений час;
- зменшити потрібну кількість вантажних локомотивів і бригад за рахунок підвищення продуктивності їхньої праці;
- знизити експлуатаційні витрати;
- обслуговувати клієнтів за графіком на договірній основі, що підвищить доходи;
- ліквідувати нерівномірність руху, створювану системою обліку передачі потягів, і усунути проблеми стиків;
- прискорити просування потягів за рахунок створення умов для їхнього рівномірного розподілу за часом доби;
- спростити систему обліку переданих потягів і вагонів.

Така технологія перевезень вигідна залізниці й клієнтам. Тому однією з головних цілей є розробка науково-методичних основ організації руху вантажних поїздів за графіком.

Основною причиною невизначеності часу відправлення поїзда зі станції формування є випадковий процес накопичення рухомого складу відповідно до плану формування й нормою щодо довжини чи маси. Суворе дотримання цих норм призводить до того, що в процесі накопичення вагонів на сортувальній станції на повний склад поїзда не вистачає одного вагона, й поїзд стоятиме доти, доки цей вагон не прибуде на станцію і у процесі розпуску з гірки не стане на відповідну колію. Отже, момент відправлення поїзда зі станції формування визначається не графіком руху, а заздалегідь невідомим часом готовності складу вагонів.

Практично неможливо під час оформлення документів на перевезення навіть за допомогою новітньої обчислювальної техніки визначити моменти прибуття на сортувальні станції вагонів, що прямують у різних поїздах, із яких будуть формуватися склади з даним вагоном, і спрогнозувати моменти відправлення даного вагона. Така організація перевезень виключає не тільки доставку вантажу до визначеного часу доби, але й можливість керувати цим процесом.

Невизначеність часу прибуття вантажів знижує конкурентоздатність залізничних перевезень, різко ускладнює взаємодію з іншими видами транспорту, скажімо, доставка всіх вантажів для відправлення даним судном, що стало особливо необхідним в умовах створюваних транспортних коридорів.

---

Тривалість накопичення складу поїзда визначається інтенсивністю і моментами часу підходу до станції потягів із вагонами даного призначення, що належним чином не враховується в наявних інформаційних системах для розрахунків часу закінчення формування складів поїздів за умови різних регулювальних заходів маневрового диспетчера.

Різкий спад обсягів перевезень і невизначеність часу прибуття поїздів на станції сповільнили обробку й накопичення складів поїздів, що супроводжується збільшенням простою вагонів на сортувальних станціях і не компенсується регулювальними заходами.

Додаткову невизначеність у використанні ниток графіка створює наявна система обліку переданих і відправлених вантажних поїздів на 18 годин. Відомо, що в останні години звітної доби кількість поїздів, які здаються (приймаються) зростає у 2–3 рази, а на початку наступної звітної доби кількість переданих потягів різко зменшується. Цей створюваний залізничниками період згущення поїздів спричиняє давно відомі проблеми: затримки поїздів на підходах до технічних станцій через відсутність вільних колій прийому, розміщення поїздів на проміжних станціях, додаткову нерівномірність накопичення складів поїздів і відправлення поїздів, порушення режиму роботи локомотивних бригад, “кидання” поїздів, зниження продуктивності праці бригад і пробігу локомотивів. Згущення потоку поїздів створює дуже важкі умови для їхнього пропуску на цілих напрямках, спричиняє порушення технології, брак у роботі, сповільнює створення поїздів у періоди неминучого зменшення потоку поїздів, вносить сум’яття й невизначеність у процес перевезень.

Отже, швидкість просування вагона з вантажем залежить не тільки від тривалості накопичення складів поїздів, але й від можливостей потрапляти в “здавальні” поїзди.

За такої організації руху вантажних потягів тягове обслуговування за графіком неможливо. Не вдається виділяти з графіка руху і “ядро” постійно призначуваних поїздів. Тому більшість локомотивних бригад вантажних поїздів дізнаються про час виходу на наступну поїздку лише наприкінці попередньої.

Оснащення залізниць сучасними засобами обчислювальної техніки та зв’язку не привело до суттєвого поліпшення організації поїзної роботи. Діє стара система планування роботи стикових станцій, що ґрунтується на заявці про підвід поїздів, а не на твердому графіку. Немає технології, яка скорочує простою поїздів на стикових станціях доріг, що збільшує терміни доставки вантажів.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Відстані перевезень на Україні не такі великі, як у Росії, де вантажовідправникам (вантажоодержувачам) майже не залишається ви-



---

бору у використанні виду транспорту. Різна ширина нашої та західноєвропейської залізничних колій потребує проведення додаткових операцій (перевантаження, заміна візків тощо.), які ведуть до збільшення фінансових та часових витрат. В Україні відносно добре розвинуті автомагістральні шляхи, не кажучи вже про європейські країни, до яких не так далеко. Тому користувачі транспортної продукції все частіше роблять свій вибір не на користь залізничного транспорту.

Поки ще залізниці не втратили попиту на свої послуги й отримують прибутки, поки ще не всі вантажі перевозяться автомобільним та водним транспортом – необхідно негайно провести заходи щодо підвищення конкурентоспроможності українського залізничного транспорту. Не перекладанням своїх функцій на експедиторів та інші паралельні комерційні структури, а проведенням повної реформи в управлінні вантажними перевезеннями з урахуванням досвіду розвинутих країн та вимог третього тисячоліття.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Bech P. V., Nesterenko G. I., Muzykin M. I., Avramenko S. I.* Improvement of supervisory control of train movement by means of introduction of operational zones // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2018. № 6 (78). С. 59–70.

2. *Бех П. В., Лашков О. В., Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Авраменко С. І.* Управління вантажопотоками та вагонопотоками на залізничному транспорті // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Дала. 2017. № 3 (233). С. 22–31.

3. *Бех П. В., Лашков О. В., Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Авраменко С. І.* Шляхи підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сучасних умовах // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2015. № 5 (59). С. 25–39.

4. *Бех П. В., Лашков О. В., Музикін М. І., Нестеренко Г. І., Музикіна С. І.* Особливість конкуренції на залізничному транспорті в сучасних умовах // Міжнародний техніко-економічний журнал “Українська залізниця”. Серпень 2016. № 8 (38). С. 50–54.

#### **References:**

1. *Bech P.V.* Improvement of supervisory control of train movement by means of introduction of operational zones [text] / *P.V. Bech, G.I. Nesterenko, M.I. Muzykin, S.I. Avramenko* // Science and progress of transport. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2018, № 6 (78), S. 59–70.

---

2. Bekh P.V. Management of freight flows and wagon flows on railway transport [Text] / P.V. Bekh, G.I. Nesterenko, O.V. Lashkov, M.I. Muzykin, S.I. Avramenko // Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University № 3 (233) 2017, S. 22–31.

3. Bekh P.V. Ways to increase the competitiveness of railway transport in modern conditions [Text] / P.V. Bekh, G.I. Nesterenko, O.V. Lashkov, M.I. Muzykin, S.I. Avramenko // Science and progress of transport. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2015, № 5 (59), S. 25–39.

4. Bekh P.V. Peculiarity of competition on railway transport in modern conditions [Text] / P.V. Bekh, G.I. Nesterenko, O.V. Lashkov, M.I. Muzykin, S.I. Muzykina // International Technical and Economic Journal “Ukrainian Railway”, August 2016, №8 (38), S. 50–54.

---

## *Шановні автори!*

Просимо враховувати такі вимоги до рукописів статей і порядку їх подання до друку:

1. Приймаються статті, написані українською, російською, англійською мовами, обсягом 0,5 – 1 авт. арк.

2. Рукопис статті повинен мати такі елементи:

– на початку статті англійською мовою: прізвище ініціали автора, назва статті, адресні дані авторів (назва установи, закладу, відомча належність, адреса організації, місто, країна, інформація щодо ORCID (zareestruvatisia можна за адресою <https://orcid.org>), розширена англійська анотація (від 1800 знаків), ключові слова, пристатейні списки використаних джерел у романському алфавіті (латиницею);

– прізвище та ініціали автора, науковий ступінь, посада (укр. мовою);

– назва статті (українською мовою);

– УДК;

– анотація українською мовою (анотація за змістом статті повинна містити не менше 450 знаків без пробілів. При перекладі з робочої української мови на російську та англійську мови кількість знаків не має значення. Аналогічно, з робочої російської (450 знаків без пробілів) – на українську та англійську мови; з робочої англійської (450 знаків без пробілів) – на українську та російську мови);

– основний текст статті;

– список використаних джерел.

3. Основний текст статті складається з таких структурних елементів:

Ключові слова (4–5 слів).

Постановка проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Мета статті.

Виклад основного матеріалу.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розвідок у даному напрямку (на рос. мові, “Выводы и перспективы дальнейших исследований”; на англ. мові “Conclusions and Future Researches”).

Список використаних джерел (оформлюється відповідно до ДСТУ 8302:2015).

Зазначені елементи виділяються в рукописі напівжирним шрифтом.

---

4. Текст статті має бути набраний в текстовому редакторі Microsoft Word.

Поля з усіх сторін – 20 мм.

Шрифт – Times New Roman 14 з інтервалом 1,5.

Найбільш складні малюнки пропонується набирати, застосовуючи графічний редактор Microsoft Visio.

Формули пропонується набирати, застосовуючи влаштований у MS Word редактор формул MathType 4.0(6.0) Equation. Номери формул “притискаються” до правого краю сторінки, сама формула розташовується по середині сторінки.

Посилання на літературу здійснюються безпосередньо в тексті. У квадратних дужках зазначається порядковий номер використаного джерела в порядку згадування, а через кому – конкретна сторінка.

5. До редакції подаються:

- паперовий варіант статті за підписом автора;
- електронний варіант статті;
- завірена рецензія доктора або кандидата наук відповідного профілю;
- довідка про автора українською мовою (прізвище, ім'я, по батькові повністю, організація, посада, адреса, науковий ступінь, вчене звання, контактні телефони, електронна адреса).

Передрук матеріалів дозволяється лише за письмової згоди редакції.

Матеріали, що публікуються, відображають позицію автора, яка може не збігатися з поглядом редакції. За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор.

Редакція залишає за собою право наукового та літературного редагування статей без додаткової консультації з автором. Листування з читачами ведеться лише на сторінках журналу.