



EUROPEAN NETWORK FOR ACADEMIC INTEGRITY

The international research and practical conference  
**THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL SCIENCES:  
PROBLEMS AND SOLUTIONS**

April 27–28, 2018

**Proceedings of the Conference**

*METALLURGY  
MECHANICAL ENGINEERING  
CONSTRUCTION  
TRANSPORT  
ARCHITECTURE*

**Brno – 2018**

## **Organising Committee**

<b>Mgr. Tomas Folynek</b>	PhD – Head of the Board;
<b>Mgr. Eva Klepárníková</b>	PhD – Deputy Head of the Board;
<b>Kostiantyn Shaposhnykov</b>	Professor, Head of Black Sea Research Institute of Economy and Innovation, Ukraine.

The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27–28, 2018. Brno: Baltija Publishing. 208 pages.

# CONTENTS

## SECTION 1. METALLURGY

Influence of grade of nickel powder on gas saturation of deposited metal <b>Kakhovskyi M. Yu., Ievdokymenko A. S. ....</b>	<b>1</b>
---	----------

## SECTION 2. MECHANICAL ENGINEERING

Модернізація гідростатичних трансмісій за рахунок використання вуглепластиків на основі ПТФЕ <b>Буря О. І., Набережна О. О., Калініченко С. В. ....</b>	<b>4</b>
---	----------

Анализ способов торможения механизмов передвижения мостовых кранов <b>Вудвуд А. Н. ....</b>	<b>7</b>
---	----------

Increasing effectiveness of threshing of ether-beering plants in selection work <b>Gorobey V. P., Boguslavsky R. L. ....</b>	<b>10</b>
--	-----------

Переход от гальванической технологии к газотермическим технологиям при получении антикоррозионных покрытий <b>Агеев М. С., Ворона Т. В., Лопата Л. А., Лопата А. В. ....</b>	<b>14</b>
--	-----------

Методи оптимізації при розрахунках механізмів засобів транспорту <b>Мілянч А. Р. ....</b>	<b>17</b>
--	-----------

Application of the full factor experiment for the determination of the force impact in processing with polymer-abrasive disc brushes <b>Stepanov D. M., Myronova N. O. ....</b>	<b>21</b>
---	-----------

Динаміка зміни напружено-деформованого стану ґрунту та робочого органу ґрунтообробної машини при їх взаємодії <b>Солових Є. К., Тихий А. А., Катеринич С. Є., Солових А. Є. ....</b>	<b>25</b>
--	-----------

The scientific paradigm of achieving anomalously low friction in tribology <b>Troshin O. M. ....</b>	<b>28</b>
---	-----------

Problem of oscillation in loaded shell of revolution <b>Cherniavskyi A. Yu., Pogorilyi D. F. ....</b>	<b>32</b>
--	-----------

Аналіз температурних режимів роботи гідрооб'ємної передачі в складі гідрооб'ємно-механічної трансмісії трактора <b>Шевцов В. М. ....</b>	<b>36</b>
--	-----------

## **SECTION 3. CONSTRUCTION**

Розрахунок асфальтобетонних шарів покриття нежорстких дорожніх одягів за критерієм міцності на зсув <b>Арсеньєва Н. О.</b> .....	<b>40</b>
Сооружение противофильтрационного экрана с применением шнекового оборудования <b>Борисов А. А., Кирилюк С. В.</b> .....	<b>43</b>
Гіс-забезпечення міського будівництва та територіального планування <b>Нестеренко С. Г., Вяткін К. І., В'яткін Р. С.</b> .....	<b>45</b>
К вопросу выбора конструктивно-технологического решения реконструкции здания методом надстройки <b>Дмитриева Н. В., Бостан Н. С., Агафонова И. П., Агафонов С. В.</b> .....	<b>48</b>
Аналіз зсувостійкості земляного полотна з урахуванням зміни температурного режиму роботи конструкції дорожнього одягу <b>Дорожко Є. В.</b> .....	<b>51</b>
Оцінка баражних впливів споруд метрополітену на підземні води <b>Єгупов В. Ю., Купрейчик А. Ю.</b> .....	<b>55</b>
Концентрация напряжений в асфальтобетонных слоях дорожного покрытия при сезонном увеличении их параметров упругости <b>Заец Ю. А.</b> .....	<b>58</b>
Визначення ризику (ймовірності) руйнування конструкцій з цегли, пов'язаного з вичерпанням міцності кладки на зсув <b>Кічаєва О. В.</b> .....	<b>61</b>
Сухі будівельні суміші для підлог цивільних будівель <b>Ковальський В. П., Бондар А. В., Бурлаков В. П., Бричанський А. О., Ковальський А. В.</b> .....	<b>65</b>
Активное давление грунта с использованием универсальной гибкой нагрузки на поверхности многослойного основания <b>Лучковский И. Я., Чепурной Д. А., Есакова С. В.</b> .....	<b>69</b>
Застосування акрилових полімерів для захисту поверхонь будівельних конструкцій <b>Любченко М. А.</b> .....	<b>71</b>



Ways of reducing the negative influence of heat conducting inclusions during a building renovation <b>Ocheretnyi A. M., Ratushniak G. S., Materynska O. Yu.</b> .....	73
Техніко-економічне порівняння опалювальних приладів для підвищення раціонального використання енергоресурсів системою опалення <b>Москвітiна А. С.</b> .....	76
Increasing the reliability of existing heating networks <b>Nechepurenko D. S.</b> .....	80
Нормативно-правове забезпечення обліку природного газу побутовими споживачами <b>Предун К. М., Франчук Ю. Й.</b> .....	82
Алгоритм виконання числово-аналітичного експерименту з аналізу напружено-деформованого стану ребристого покриття з нормальними тріщинами <b>Срiбняк Н. М.</b> .....	85
Захисний екран з труб для транспортних тунелів <b>Тiмченко Р. О., Крiшко Д. А., Мацишин С. О.</b> .....	89
Analysis of processes of structure formation of disperse systems and construction composite materials on their basis <b>Trofimova L. E.</b> .....	92
Обґрунтування ефективності використання в умовах будівництва універсального шлангового бетононасоса з гiдравлічним приводом <b>Чайка Д. О., Ємельянова І. А.</b> .....	95
Шляхи переробки будівельних відходів <b>Шишкін Е. А., Панкєєва А. М., Мороз Н. В.</b> .....	99
Неньютоновские жидкости в баллистических панелях средств малой и мобильной фортификации <b>Шушкевич В. И.</b> .....	102
<b>SECTION 4. TRANSPORT</b>	
Linear speed of vehicle in vector-matrix form on the spatial curvilinear trajectory <b>Bas K. M., Bas T. P.</b> .....	106

Методика визначення стратегій розвитку автотранспортних підприємств з надлишковою виробничо-технічною базою <b>Біліченко В. В., Цимбал С. В., Романюк С. О.</b> .....	<b>109</b>
Ways of a solution to ensure the safety of transport while changing traffic flows <b>Bondarenko A. G.</b> .....	<b>112</b>
Геометричне моделювання S-подібних перехідних кривих залізничних шляхів <b>Борисенко В. Д., Устенко С. А., Устенко І. В.</b> .....	<b>116</b>
Кластерний аналіз транспортно-пересадочних вузлів міського громадського пасажирського транспорту <b>Вдовиченко В. О.</b> .....	<b>119</b>
Influence of features of the transport network pattern on the haul cycle length between its nodes <b>Dolia K. V., Dolia O. Ye.</b> .....	<b>122</b>
Регресійні моделі залежності плати за перевезення зернових вантажів різними типами рухомого складу від відстані перевезення <b>Журавель І. Л., Журавель В. В.</b> .....	<b>126</b>
Інтегровані інформаційні системи підвищення ефективності експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод <b>Кашканов А. А.</b> .....	<b>130</b>
Управление рисками в проектах транспортного обеспечения грузовых перевозок <b>Кунда Н. Т., Лебедь В. В.</b> .....	<b>134</b>
Цифровізація логістичних ланцюгів металопродукції <b>Ніколаєнко І. В.</b> .....	<b>138</b>
Функціональне моделювання бізнес-процесів сервісної ергатичної системи управління діяльністю морських транспортних систем <b>Петров І. М., Кузьменко Є. С., Рудніченко М. Д.</b> .....	<b>140</b>
Особенности структуры клиентов поставщиков логистических услуг <b>Помазков М. В., Пірч І. І.</b> .....	<b>143</b>
Логістична концепція транспортної системи обслуговувати логістичний розподільний центр <b>Помазков М. В., Пірч І. І.</b> .....	<b>145</b>

Місце геоінформаційної системи у проектуванні транспортного маршруту <b>Поморцева О. Є.</b> .....	147
Determination of optimal characteristics of transport networks <b>Prokudin G. S., Chupaylenko O. A., Dudnik O. S., Prokudin O. G., Dudnik A. A.</b> .....	150
Ecological problems of railway transport and the ways of their solution <b>Samarska A. V., Zelenko Yu. V.</b> .....	154
Potential field-based unmanned aerial vehicles swarm formation and control <b>Skyrda I. I.</b> .....	157
Комплексна методика визначення аеродинамічних характеристик малорозмірних безпілотних літальних апаратів <b>Спіркін Є. В., Глущенко П. А., Шевченко С. О.</b> .....	161
Dynamical accuracy of nonorthogonal redundant inertial measuring unit <b>Sushchenko O. A., Bezkorovainy Yu. M.</b> .....	165
Додаткові можливості автоматичного керування розімкнутими системами «інвертор-ад» шахтних електровозів при малій швидкості переміщення <b>Сьомочкин А. Б., Федотов В. О., Сьомочкина С. В.</b> .....	170
Improvement technology of energy efficiency management of train traffic volume on the criterion of reducing operating expenses of the railway <b>Troian A. V.</b> .....	174
Синхронізація колективного руху потоків автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі <b>Шелудченко Л. С., Овчарук О. В., Кобринська Л. В.</b> .....	176
Increase the efficiency of virtual management of transport services processes <b>Shulika O. O., Potaman N. V., Orda O. O.</b> .....	180
<b>SECTION 5. ARCHITECTURE</b>	
Політична реклама в архітектурному середовищі міста <b>Авербах М. Я., Корнілова Л. В.</b> .....	183

Проектування сучасних дитячих лікувальних закладів з урахуванням історичного контексту оточуючого архітектурного середовища міст (досвід Великобританії) <b>Булах І. В.</b> .....	<b>187</b>
Функціональне моделювання раціонального використання порушених земель <b>Міхно П. Б.</b> .....	<b>191</b>
Conducting monitoring of urban development through geoinformation technology <b>Smilka V. A.</b> .....	<b>193</b>

# SECTION 1. METALLURGY

## INFLUENCE OF GRADE OF NICKEL POWDER ON GAS SATURATION OF DEPOSITED METAL

**Kakhovskiy M. Yu.**  
**Research Officer**

**Ievdokymenko A. S.**  
**Leading Engineer**  
*Paton Electric Welding Institute*  
*National Academy of Sciences of Ukraine*  
*Kyiv, Ukraine*

Due to its physical and chemical properties, nickel is widely used in industry and metallurgy. The alloying of steels with nickel improves the values of ductility, viscosity, heat resistance, high-temperature resistance and general resistance against corrosion [1].

The use of nickel powder in the production of welding and surfacing flux-cored wires allows obtaining the desired chemical composition to provide the necessary properties of the deposited metal [2].

The increased content of oxygen in the deposited metal facilitates the oxidation of alloying elements such as manganese, chromium, silicon, which is followed by the formation of oxides and nonmetallic inclusions, which in its turn can lead to a decrease in the plastic characteristics (relative elongation and reduction in area) of weld metal and welded joint [3]. It is known about the negative influence of oxygen on technological strength of a high-alloyed weld metal, namely on resistance against hot cracks formation [3].

The concentration of oxygen in the weld metal can be substantially reduced by introducing the deoxidizing elements to the charge composition of the flux-cored wire, which have a greater affinity to the oxygen or due to the selection of components with a minimum oxygen content in them. The introduction of the increased amount of deoxidizing elements (titanium, aluminum, zirconium) can also have a negative effect on the plastic characteristics of weld metal.

Therefore, the aim of this work was to determine a grade of the nickel powder with the lowest oxygen content.

For the experiment, three grades of nickel powder were selected according to GOST 9722-97 «Nickel powder. Technical specifications», namely: electrolytic nickel of grades PNE-1 and PNE-2, as well as carbonyl nickel of grade PNK-2K9.

The characteristics of the investigated nickel powders are presented in the Table 1.

Table 1

**Chemical composition of nickel powder, %**

Grade	Ni	Fe	C	Si	S	Co	Cu	Ca	P, Sb, As, Pb, Mg, Zn, Mn
PNE-1	min 99.5	<0.1	<0.02	<0.03	<0.008	<0.2	<0.06	-	-
PNE-2	min 99.5	<0.2	<0.02	<0.03	<0.010	<0.5	<0.08	-	-
PNK- 2K9	min 99.7	<0.01	<0.28	<0.002	<0.001	<0.001	<0.003	<0.005	<0.001

For investigations, three variants of experimental flux-cored self-shielding wires with a diameter of 1.6 mm were manufactured using different nickel grades. At the same time, the strip-sheath, the gas-slag system, the nickel content and the filling factor of the flux-cored wire remained unchanged. Before drawing of the wire, the charge was subjected to calcination at a temperature of 150°C for 2 hours.

The oxygen content in the welds was determined by the method of restoration melting in the gas flow of a carrier in the installation LECO RO-316. The cylindrical specimens for gas analysis were cut out from the central sections of 5-layer deposits on the plates of steel 08Cr18Ni10Ti (AISI 321) of 12 mm thickness made in the flat position at a direct current of reverse polarity at a current of  $I = 200$  A and a voltage of  $U = 26$  V.

The test results are shown in Table 2.

Table 2

**Oxygen content in the deposited metal**

Grade of nickel powder	Oxygen content, wt. %
Electrolytic nickel PNE-1	0.105...0.109
Electrolytic nickel PNE-2	0.114...0.117
Carbonyl nickel PNK-2K9	0.136...0.142

The obtained results evidence that the oxygen content in the deposited metal during introduction of powder electrolytic nickel of grades PNE-1 and PNE-2 is by 20...30% lower as compared to the introduction of the carbonyl nickel powder of grade PNK-2K9.

In addition, a large bulk density of powder grades PNE-1 (not more than 3.4 g/cm<sup>2</sup>) and PNE-2 (not more than 5.0 g/cm<sup>2</sup>) as compared to the grade

PNK-2K9 (1.3...1.7 g/cm<sup>2</sup>) contributes to obtaining a smaller final diameter of the flux-cored wire due to a charge with a larger bulk density and, as a result, a higher filling factor.

**Conclusions:**

It was established that the use of the powder of grade PNE allows reducing the oxygen content in the nickel-containing components of the charge by 20...30% as compared to the nickel powder of grade PNA.

The use of the powder of grade PNE allows reducing the initial diameter of the flux-cored wire by 2.3 to 3.3 times due to a higher bulk density of the nickel powder of grade PNA.

#### **References:**

1. Kahovskij N. I. Svarka nerzhavayuschih stalej / N. I. Kahovskij. – Kyiv: Technika, 1968. – 312 p.
2. Kakhovskyi Y. Development of welding consumables for wet underwater welding of high-alloy corrosion-resistant steel / Y. Kakhovskyi, M. Kakhovskyi. // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 83–89.
3. Kakhovs'kyi M. Yu. Influence of aqueous media on the gas saturation of weld metal in the course of underwater welding of 12KH18N10T steel / M. Yu. Kakhovs'kyi // Materials Science. – 2016. – Vol. 51, № 6. – P. 843–846.

## SECTION 2. MECHANICAL ENGINEERING

### МОДЕРНІЗАЦІЯ ГІДРОСТАТИЧНИХ ТРАНСМІСІЙ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ПТФЕ

**Буря О. І.**  
кандидат технічних наук, професор,  
професор кафедри фізики конденсованого стану

**Набережна О. О.**  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
кафедри фізики конденсованого стану

**Калініченко С. В.**  
науковий співробітник  
кафедри фізики конденсованого стану  
*Дніпровський державний технічний університет  
м. Кам'янське, Дніпропетровська область, Україна*

Результати спостереження за роботою гідростатичних трансмісій ГСТ – 90 (112), в умовах експлуатації показали, що приблизно 30% всіх відмов припадає на гідропривід трансмісії (ГТ). Відомо, що середнє напрацювання до відмови ГТ самохідної косилки-плющилки КПС-5Г – 79,9 роб. год., кормозбирального комбайна КСК-100 – 78,6 роб. год. [1]. Це свідчить про те, що експлуатаційна надійність гідрооб'ємного приводу кормозбиральної техніки недостатньо висока.

Відмови ГТ, що виникають викликані порушенням технології виготовлення деталей та їх складання: не співосністю в з'єднанні насосу з двигуном, що викликає підвищення вібрації; низькою якістю зварних з'єднань. Також, важливими чинниками поломки ГТ являються неправильна експлуатація та порушення технічного обслуговування:

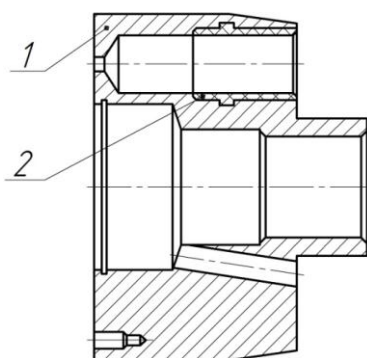
- несвоєчасна заміна мастила та фільтруючих елементів, що призводить до збільшення забруднюючих часток;
- витік або недостатній рівень мастила, що призводить до появи повітря в робочому тілі та знижує рівень змащування робочого вузла або зовсім призводить до режиму без змащування.

Всі наведені вище причини призводять до швидкого зносу майже всіх деталей ГТ. Гірше за все те, що виходить з ладу основний виконуючий орган (пара тертя) стальний плунжер – латунна втулка блоку циліндрів, внаслідок чого відбувається повна відмова ГТ.



Вирішення цієї проблеми пропонували в патентах України № 87307 і № 78320, де в парі тертя по сталі використовували композиційні матеріали, але і вони забезпечують не досить низький коефіцієнт тертя в умовах недостатнього змащування та лише часткове виключення корозійних процесів. Складність ситуації обумовлена особливостями експлуатації, в яких потрібно забезпечити надійність та довговічність,.

Авторами вбачається вирішення цієї задачі в конструктивному вдосконаленні блоку циліндрів (рис. 1), шляхом використання в його конструкції елементів тертя виготовлених з полімерного композиційного матеріалу на основі політетрафторетилену (Ф 4), армованого вуглецевим волокном (Урал) [див. Вуглепластики на основі фторопласту-4 // Технічні умови ТУ У 24.1-24244244-001-2003, реєстраційний № 085/006542 від 25.09.2003].



**Рис. 1. Загальний вигляд блоку циліндрів, де: 1 – корпус блоку циліндрів; 2 – втулка з вуглепластику на основі політетрафторетилену**

Політетрафторетилен (ПТФЕ) характеризується високою хімічною стійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, який майже не залежить від зміни температури та гідрофобністю. До недоліків цього матеріалу слід віднести низьку твердість та зносостійкість [2]. Тому найчастіше до складу ПТФЕ вводять різні наповнювачі, серед яких: коксова мука, графіт, скловолокна та інші. Відомим триботехнічним наповнювачем є вуглецеве волокно, вводячи його до полімерної матриці також підвищують твердість та міцність композиції.

Зважаючи на вище сказане, був розроблений полімерний композиційний матеріал на основі ПТФЕ (90-60 мас.%), армований вуглецевим волокном марки Урал (10-40 мас.%). Композицію одержували в обертальному електромагнітному полі (0,12-0,15 Тл). Готову суміш таблетували та формували методом компресійного пресування.

Визначення триботехнічних характеристик отриманих композитів проводили в режимі тертя без змащування на дослідній машині тертя СМТ-1 при навантаженні 1,4 МПа, швидкості ковзання 0,8 м/с, шлях тертя склав 1000 м. В якості контртіла використовували Ст45 з твердістю 50 НРС та шорсткістю поверхні Ra 0,08. Результати наведені в табл. 1.

## Триботехнічні характеристики політетрафторетилену та вуглепластиків на його основі

Показник	Вміст волокна, мас. %				
	0	10	20	30	40
Коефіцієнт тертя	0,095	0,16	0,19	0,20	0,21
Інтенсивність лінійного зношування, мм/км*10 <sup>-3</sup>	343	1,24	1,21	1,08	0,85

Аналізуючи результати досліджень (табл. 1), встановлено, що введення до складу полімерного в'язучого ПТФЕ в кількості 10-40 мас.% підвищує зносостійкість в 300-500 разів відповідно. Оптимальний вміст вуглецевого волокна в ПТФЕ - 20 мас.%

Блок циліндрів комплектувався втулками виготовленими з полімерного композиційного матеріалу, який містив оптимальний вміст наповнювача. Втулки виготовляли методом спікання в попередньо підготовлених отворах блоку циліндрів з використанням спеціальних нагрівачів. Отвори втулок піддавали механічній обробці, яка полягала у видаленні облою та подальшому хонінгуванню з дотриманням потрібних допусків отворів [3].

Такий підхід дозволив зменшити інтенсивність відмов та здешевити виготовлення блоків циліндрів насосу та гідромоторів гідрооб'ємної трансмісії.

За результатами проведення лабораторних та стендових досліджень ресурс блоку циліндрів, підвищився в 3-4 рази порівняно з серійними, при цьому значно зменшились виробничі витрати. Це підтверджує перспективність та значущість розробленого матеріалу, який може бути рекомендований до використання в ГТ, що експлуатується в умовах недостатнього змащування та забруднення гідравлічного мастила абразивними частками до 50-75 мкм.

### Література:

1. URL: <http://spectechzone.com/tekhnika/selkhoztekhnika/uborochnaya-skh/tekhnicheskie-pokazateli-kosilki-plyushh.html>.
2. Логинов Б.А. Удивительный мир фторполимеров. Москва, 2009. 168 с.
3. Пат. № 115163 України, МПК, F04B 1/20 (2006.01), F16C 33/04, (2006.01) Втулка блоку циліндрів / Буря О.І., Калініченко С.В., Набережна О.О., Сапешко С.В.; заяв.30.08.2016; опубл. 10.04.2017 бюл. № 7.

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТОРМОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ**

**Вудвуд А. Н.**  
**старший преподаватель кафедры**  
**подъемно-транспортного**  
**и робототехнического оборудования**  
*Одесский национальный политехнический университет*  
*г. Одесса, Украина*

Мостовые краны широко используются в машиностроении, металлургическом производстве, на заводах строительной индустрии, в других производственных отраслях.

Привод механизмов передвижения мостовых кранов – электрический. Тормоза механизмов передвижения – нормально-замкнутые, колодочные или дисковые с приводом от электромагнита или гидротолкателя.

Несмотря на то что конструкция мостовых кранов совершенствуется, тем не менее имеют место многочисленные преждевременные отказы узлов и деталей кранов. Одной из главных причин снижения долговечности мостовых кранов является возникновение больших динамических нагрузок при торможении кранов. Величина динамических нагрузок зависит от способа торможения механизма передвижения крана.

Способы торможения механизма передвижения мостового крана можно классифицировать по двум критериям:

- 1) По воздействию на ходовые колеса крана:
  - механическим путем с использованием фрикционных тормозных устройств;
  - электрическим путем с использованием приводного электродвигателя.
- 2) По скорости нарастания тормозной силы:
  - с мгновенным нарастанием;
  - с плавным нарастанием.

Классификация способов торможения механизма передвижения мостового крана представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Классификация способов торможения механизма передвижения мостового крана**

Анализ механических способов торможения и конструкций фрикционных тормозов, которые применяются для реализации этих способов показывают, что для них характерны недостатки [1]:

- недостаточно надежное торможение из-за перегрева фрикционных накладок;
- износ фрикционных колодок и, соответственно, необходимость частой замены этих колодок;
- мощность тормоза всегда тратится впустую в виде теплоты.

Таких недостатков можно избежать, используя электрическое торможение [2], при котором двигатель работает как генератор, преобразующий механическую энергию в электрическую. В результате такого преобразования возникает вращающий момент противоположный направлению движения.

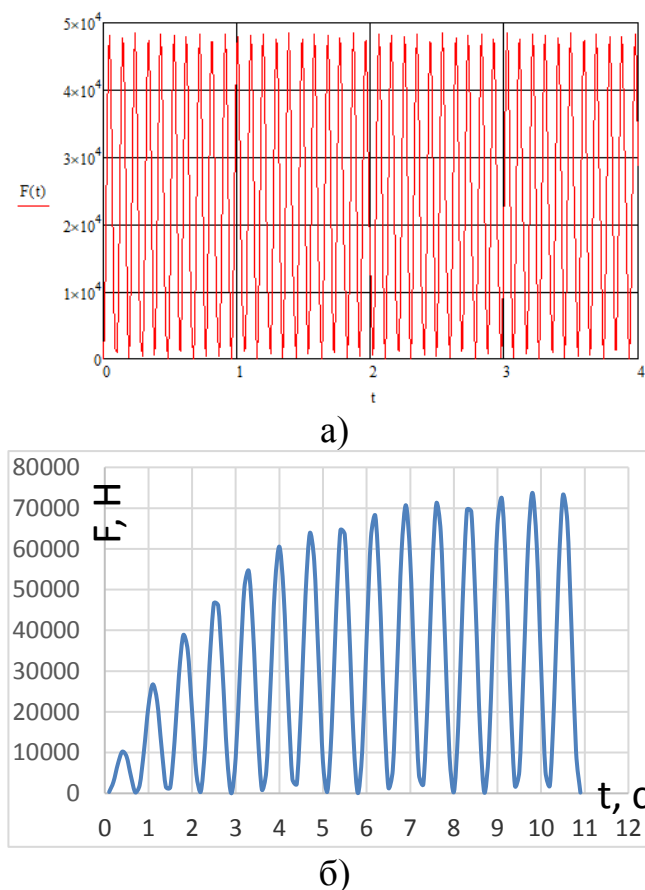
В машинах, где требуются частые, быстрые остановки (к таким машинам относятся грузоподъемные краны) часто применяется электрическое торможение. При использовании электрического торможения можно кран остановить плавно, что позволит существенно снизить динамические нагрузки, возникающие при торможении и, тем самым, повысить надежность и долговечность узлов, деталей и крана в целом.

Однако при прекращении подачи электроэнергии механический тормоз остается существенным средством остановки крана, поэтому при использовании электрических способов торможения, тем не менее, необходимы механические тормоза и расчет таких тормозов должен вестись по полной величине тормозного момента, без учета возможности уменьшения его путем применения электроторможения.

Для повышения эффективности механического торможения предлагается новый способ торможения механизма передвижения мостового крана, заключающийся в том, что тормозной момент создается не за счет сил трения тормозного устройства, а за счет силы сжатия пружины, которая в тормозном устройстве воспринимает кинетическую энергию движения крана. При таком способе торможения устраняются недостатки фрикционных тормозов и реализуется плавное нарастание тормозной силы.

Проведен сравнительный анализ динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения мостового крана при использовании двух способов торможения: с мгновенным и плавным нарастанием тормозной силы.

Определены величины динамических нагрузок при торможении [3] с мгновенным и плавным нарастанием тормозной силы (рис. 2).



**Рис. 2. Графики зависимости динамической нагрузки в приводе механизма передвижения от времени переходного процесса при:**  
**а) мгновенном нарастании тормозной силы;**  
**б) плавном нарастании тормозной силы**

Анализ результатов расчета для рассматриваемого случая (мостовой кран грузоподъемностью 20/5 тонн) показывает, что динамическая нагрузка при полном нарастании тормозной силы в 1,46 раза меньше чем при мгновенном нарастании. При этом время торможения увеличивается с 4,2 до 8,4 секунды.

Коэффициент динамичности при торможении (статическое значение тормозной силы 26000 Н):

- для мгновенного нарастания тормозной силы – 1,86;
- для плавного нарастания тормозной силы – 1,27.

Предложенный способ торможения механизма передвижения мостового крана, устраняя недостатки фрикционных тормозов и реализуя плавное нарастание тормозной силы, существенно повышает эффективность торможения мостового крана.

#### **Литература:**

1. Лобов Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.: ил.
2. Дюбай Гопал К. Основные принципы устройства электроприводов. М.: Техносфера, 2009. – 480 с.
3. Семенюк В.Ф. Аналитическое определение динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения мостового крана / В.Ф. Семенюк, А.Н. Вудвуд // Підйомно-транспортна техніка. – 2017. – № 2(54). – С. 42-46.

## **INCREASING EFFECTIVENESS OF THRESHING OF ETHER-BEERING PLANTS IN SELECTION WORK**

**Gorobey V. P.**

**Doctor of Technical Sciences, Senior Research**

*Scientific and Production Association «Selta» of the National Scientific Center  
«Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture»  
Glevaha, Kiev region, Ukraine*

**Boguslavsky R. L.**

**Candidate of Biological Sciences, Senior Research**

*The Plant Production Institute nd. a. V. Ya. Yuryev  
of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
Kharkiv, Ukraine*

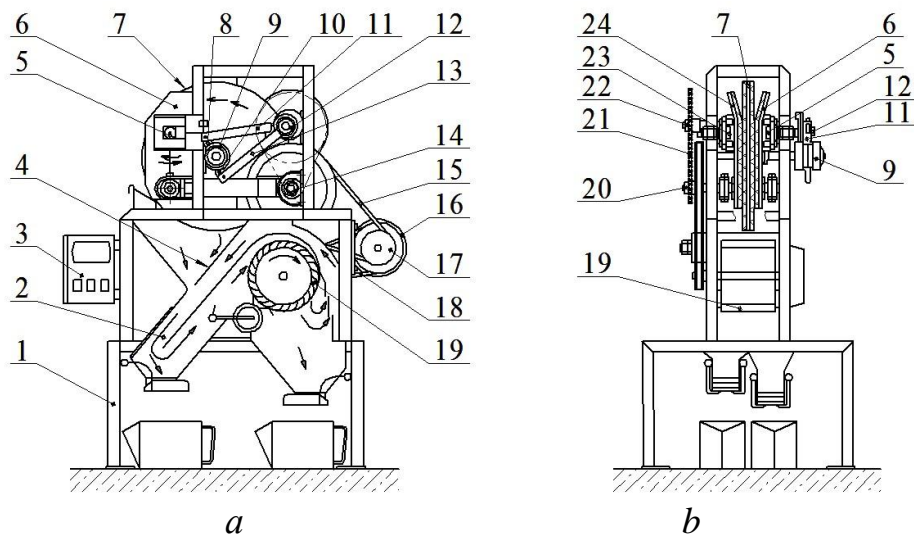
After harvest threshing of individual plants of cereals, seed damage can reach 30-50% or more, which sharply reduces their quality and field germinating. Of the total number of factors reducing the germination of seeds, which reduce germination of seeds on part of machine damage ether-breeding cultures: accounted for 60-70% [1]. When threshing umbellifers, the anis, dill, marmalade, coriander, fennel in the processes of breeding and seed production at the 2nd – 3rd stages of the cultivation by threshing mills with traditionally high-quality drums, for example, a threshing machine of a sheaf-shear MCC-1 [2] under equal conditions, when it is short threshing

0, 5% coriander is allowed to grubbing the fruits at 12.3%, with mischief 4% is crushed to 3.8% of the fruit. In the latter case, more than 10% of coriander fruits in the void are in umbrellas, i.e. require additional threshing.

The technical solutions of the working organs in the MIIB-1 threshing machine are represented by cylindrical rollers with an elastic retroreflected surface, the machine is used for threshing of flax beams at the 2nd to 3rd stages in selection and sort testing at the same time from the boxes [3]. When threshing the coriander bundles, the roller threshing machine gives the fruits to be reduce to fragments of 5.3%, with shot threshing up to 2%, in addition, this design is characterized by complexity and in security, as well as high metal capacity and power consuming.

An interesting device is the device, threshing of grain in which is carried out due to covered by elastic material endless bands, which have drives with a crank mechanism and a chain drive, moving towards one another, forming a working gap between them [4]. The beads and sprouts of plants are fed between the bands that move at equal speeds and carry back-and-forth movement, which results in the wiping of grain from the corn-cob and the removal of the rinsed product from the working slit. The disadvantages of this technical solution are its use exclusively in field conditions for threshing plants at the root, i.e. directly on the breeding grounds, as well as high energy intensity, the complexity of the implementation of the process and maintenance, the impossibility of performing of the processes of technological research of the selection material in laboratory conditions.

In solving the problems of simplifying the construction of the device for thorough milling of individual plants and beams of grain and umbrella plants in laboratory conditions, reducing the material capacity, preventing the mixing of different parts of seeds, and increasing the specific productivity. Selection has the frame containing the drive, the working organs, the crank mechanism, the chain and the belt transmission, workmanship for threshing, which is covered with an elastic material, a working slot with an approach for plants, according to the proposed solutions [5] on the frame 1 installed disk 7 (Fig. 1, a – front view, b – side view) with a horizontal axis of rotation which moves by alternating pulses through the overrunning clutch 9, the levers 8, 10 and the connecting rods 11, 13 from the eccentric drive 12 which on both sides surround the decks 6, 24 with the bent upper portions for inserting the spikelets into the slot defined between the side surfaces of the disk 7 and the decks 6, 24, which are connected in the upper part to the frame 1 by hinges, and in the lower part with the connecting rods of the eccentric drive 14 and form vibrational oscillatory motions in planes parallel to the plane of the disk 7, with the threshing disc 7 on both sides, as well as the working plane decks 6, 24 of threshers, from the side of the disk 7, have an elastic coating, and under the disc and decks there is a partition 4, on the wall of which the frayed pile has the opportunity to be sent to the separator 2 to remove the chaff from the seeds.



**Fig. 1. Scheme of grinder threshing breeding: *a* – front view; *b* – side view**

The operating elements are driven by a motor 16 via a stepped pulley 17: a belt drive 15, an eccentric drive of the decks 14, a belt transmission 18 of the impeller 19, and through the sprockets 20, 22 by a chain drive 21, a disk 7. The speed control of the motor 16 is provided by an electronic frequency conversion frequency controller Lenze with the remote control 3.

When the power is on, the motor 16 rotates the fan impeller 19 and the eccentric actuators 12 and 14. The impeller 19 forms a circular air flow in the channels of the separator 2.

The eccentric drive 12 drives the disc 7 into rotation by alternating pulses. The eccentric drive 14 swings the decks 6 and 24 with respect to the hinges 5 and 23 in antiphase.

The order of work of grind-grater involves the input of the raw material into the gap between the rotating disk and the decks. Under the action of transverse vibrational movements of the spines, the spikelets are rubbed and grain and sex are seen. The operator, making sure that the grain is completely milled, sends the plants into waste. The bark is lowered into the aspiration channel, from where the grain is directed to the valve, and into the receiving container, and the air is poured into the precipitation chamber. The operating mode is regulated by changing the rotational speed of the disk, the amplitude of the oscillations of the decks, the gap between the disk and the decks. The degree of grain cleaning is regulated by the speed of the air flow.

The presence in the new technical solution of the disk of the thresher-grater of the disk, which is installed with the horizontal axis of rotation, the decks that co-drive on both sides of the drive with drives, which form vibration plunging motions in planes parallel to the plane of the disk, with both sides of the hammer drive, as well as the cuttings of the threshing mill that cover the disk, also have an elastic coating, and the disk trowel of the selection grinder is equipped with a pneumatic separator for removing the hay from the threshed grain it provides stability works in laboratory condition specific increase productivity reduction power-consuming of process self-cleaning of work organs.



The completed pilot sample of the stationary laboratory grinder-grater of the selection proposed by the system of threshing, manufactured at the scientific and production association «Selta», was tested in the Institute of Agriculture of the Crimea in cooperation with the Institute of Plant Industry by V.Ya. Yuryev and the scientific and production company «Elkor», the city of Simferopol, and economic in the conditions of the Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Sciences of the Ukraine. By results of analysis of threshing of individual plants and bunches of umbrella eyelids and colostrum cultures, positive results and the following technical characteristics of the thresher-grater of the vibrating type are obtained: productivity, from 280 to 400 ears per hour, supply voltage, V – 380; installed power, kW – 0,37; disk speed,  $\text{min}^{-1}$  from 2.5 to 10; frequency oscillation dec,  $\text{min}^{-1}$  from 250 to 450; the oscillation amplitude of the dec, mm from 2.5 to 10, the fan speed of the impeller,  $\text{min}^{-1}$  from 880 to 1600; serves one person.

The marked shade solutions allow the use of stationary thresher-grater in laboratory conditions for threshing of individual plants and beams of cereal and umbrella crops of anise, dill, cumin, coriander, fennel in the processes of breeding and seed production at II-III stages of cultivation.

#### References:

1. Калимуллин Р.К. Как уменьшить механические повреждения семян при обмолоте // Селекция и семеноводство. – 1974. – № 5. – С. 58-61.
2. Машины и лабораторное оборудование для селекционных работ в растениеводстве: Справ. пособие / Под общ. ред. В.М. Дринчи – Воронеж: НПО «МОДЭК», 2010. – С. 86-87.
3. Каталог для заказа машин, приборов, лабораторного и технологического оборудования для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве сельскохозяйственных культур / Сост. Ю.А. Семенов, Ю.Ф. Некипелов, М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – С.63-64.
4. А. с. 965383 СССР, А01D 41/08 Устройство для обмолота зерновых культур на корню / Б.С. Юфа, С.С. Старчиков, Научно-производственное объединение по эфиромасличным культурам и маслам. Заявл. 28.05.81; Опубл. 15.10.82 Бюл. № 38.
5. Заявка № а 201802839, Україна. А01 F 7/00, А01 F 12/00. Молотарка-терка селекційна / В.П. Горобей, Р.Л. Богуславський. Заявл. 20.03.2018.

# ПЕРЕХОД ОТ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ К ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

**Агеев М. С.**

**кандидат технических наук, доцент**

*Херсонская государственная морская академия  
г. Херсон, Украина*

**Ворона Т. В.**

**кандидат технических наук**

*Центральноукраинский национальный технический университет  
г. Кропивницкий, Кировоградская область, Украина*

**Лопата Л. А.**

**кандидат технических наук**

*Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко  
Национальной академии наук Украины*

**Лопата А. В.**

**магистр**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт  
имени Игоря Сикорского»  
г. Киев, Украина*

Состояние проблемы. Решающим для стойкости металла являются его механические и поверхностные свойства, которые можно обеспечить защитными коррозионностойкими покрытиями. В настоящее время, несмотря на самую высокую стоимость очистки сточных вод (СОСВ), в производстве для нанесения коррозионностойких покрытий широко применяется гальваническое оцинкование. Способ гальванического оцинкования водо- и энергоемкий. Технология гальванических покрытий представляет пример технологического тупика. Наиболее четко технический тупик гальванической технологии определен в связи с повышенным потреблением воды и загрязнением ее токсичными отходами. «Водоемкость» становится самостоятельной характеристикой любого современного технологического процесса наряду с таким традиционным и обязательным, как энергоемкость. Электролитические процессы по расходу воды, ее загрязнению, токсичности и необходимости очистки сточных вод среди способов поверхностного упрочнения не имеют себе равных. Существенно снижает прибыль необходимость проектирования и использования сооружений для очистки технологической воды и утилизации концентрированных токсичных отходов. Развитие и применение гальванических технологий ограничено природоохранными службами.

Радикальная смена ключевой операции применительно к гальваническим покрытиям осуществляется переходом на безводные, сухие технологии нанесения покрытий газовым методом. Особенно успешно реализуют переход от гальванической технологии к газотермическим технологиям.

Цель исследований. Обоснование целесообразности замены гальванической технологии для получения коррозионностойких покрытий на методы газотермического напыления (ГТН).

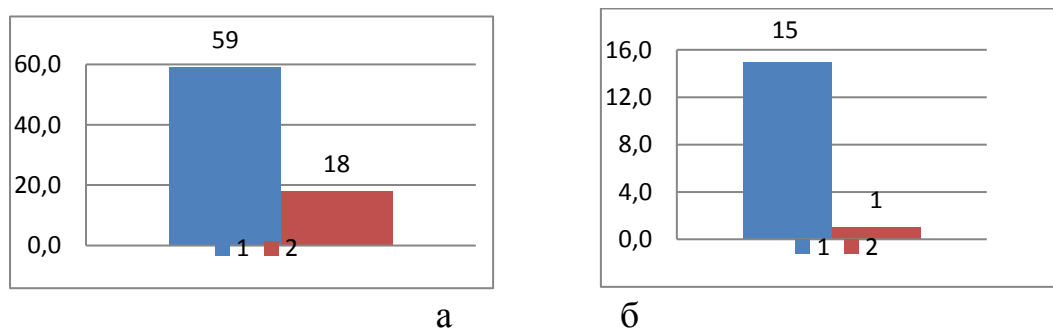
Результаты исследований. Коррозионностойкие покрытия можно получать методами ГТН – распылением порошковых, проволочных, стержневых или шнуровых материалов газопламенным (ГПН), электродуговым (ЭДН), плазменным, сверхзвуковым, динамическим холодным напылением. Используя эти технологии можно получить покрытия различной толщины и структуры, создать надёжную защиту от коррозии, кавитации, эрозии. В результате исследований был дан анализ методов антикоррозионной защиты, в частности, гальванического оцинкования и ЭДН цинковой проволоки, которые были опробованы в лабораторных и производственных условиях. Стоимость нанесения покрытия была рассчитана, исходя из использованного оборудования, материалов и существующих расценок на зарплату, оборудование, производственные площади, ресурсы, нормы амортизации по действующим нормативным документам и методикам. Способы нанесения покрытий сравнивали по приведенным затратам (ПЗ):

$$ПЗ = СС + 0,15КЗ$$

где СС – себестоимость нанесения покрытия; КЗ – капитальные затраты, состоящее из стоимости оборудования и производственных площадей.

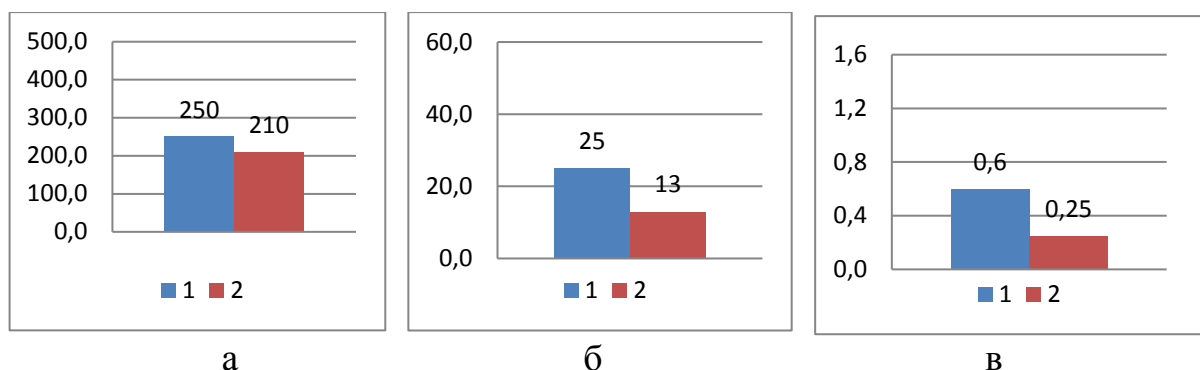
По своей структуре СС состоит из затрат на технологию (ТЗ) и ресурсозатрат (РЗ). Технологические затраты (ТЗ) состоят из заработной платы (ЗЗ), амортизационных отчислений на оборудование (ЗО) и стоимости производственной площади (ЗП). Превышение ТЗ над РЗ – вода, электроэнергия, материалы – означает повышение квалификации персонала, уровня технологии и использования ресурсов.

Сравнение способов нанесения коррозионностойких покрытий по затратам на электроэнергию и расходуемую воду приведено на рис. 1.



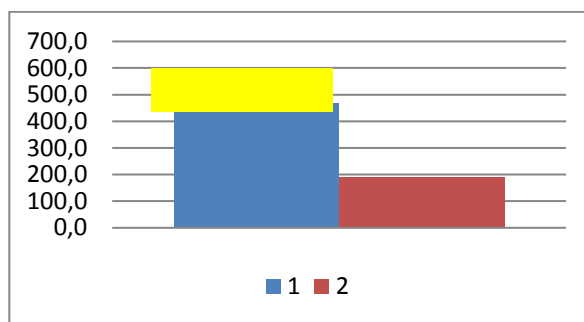
**Рис. 1. Затраты на электроэнергию (а) и расходуемую воду (б) для различных способов нанесения покрытий: 1 – гальванический, 2 – ГТН**

Сравнение способов нанесения покрытий по ТЗ приведено на рис. 2: затраты на ЗП (рис. 2,а), на ЗО (рис. 2,б) и ЗП (рис. 2,в).



**Рис. 2. Затраты на ЗП (а), ЗО (б) и ЗП (в) для различных способов нанесения покрытий: 1 – гальванический, 2 – ГТН**

Приведенные затраты показаны на рис. 3. Для технологии 1 выделены показатели стоимости очистки сточных вод (СОСВ).



**Рис. 3. Приведенные затраты для различных способов нанесения покрытий: 1 – гальванический, 2 – ГТН**

Наиболее экономичными по затратам являются методы ГТН и в частности, электродуговое напыление. ЭДН наносят покрытия из цинка, алюминия и их сплавов на: металлоконструкции, которые используются в строительстве зданий, мостов; на трубы, предназначенные для эксплуатации длительный период в грунте; высотные и подземные конструкции, гидротехнические сооружения при воздействии материковой и морской атмосферы. Большая область применения ЭДН – это нанесение антикоррозионных покрытий на резервуары для очистки питьевой воды, в судостроении и судоремонте, в газовой промышленности, для защиты от высокотемпературной коррозии труб бойлеров, работающих на твердом топливе. Технология активированного электродугового напыления (АДН) отличается высокой производительностью, низкими затратами. Преимущества технологии: изделия нагревается незначительно, не происходит их коробление и изменение структуры материала; нет ограничений по размерам и форме изделий, образуются равномерные покрытия толщиной от десятых долей до нескольких

миллиметров из одного или нескольких материалов; покрытия устойчивы против трещинообразования при увеличенной толщине. Помимо высокого качества получаемых покрытий, к достоинствам АДН – оборудования (HVOF Arc 300™) можно отнести малый вес и простоту в обращении. Это дает возможность наносить покрытия в монтажных условиях, в различных пространственных положениях, в условиях открытого моря. Для АДН – аппаратов (HVOF Arc 300™) могут использоваться проволоки из различных металлов – цинк, алюминий, бронза, медь, сталь, нихром, порошковые проволоки и их сочетание. Достоинствами АДН – аппаратов (HVOF Arc 300™) являются снижение окисления напыляемого материала и выгорания легирующих элементов, плотность антикоррозионных покрытий приближается к плотности литого металла.

Выводы. Лучшей альтернативой для замены классической гальваники следует признать АДН. Решающими факторами при выборе альтернативных способов нанесения покрытий должны служить – отношение показателей минимальных материальных затрат и экологического ущерба, максимальные характеристики прочности и долговечности изделий. Замена гальванических покрытий альтернативной технологией АДН приводит к снижению ресурсозатрат на технологическое обеспечение нанесения упрочняющих коррозионностойких покрытий и к обеспечению роста прибыли при увеличении инвестиций в рассматриваемое направление.

## **МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ РОЗРАХУНКАХ МЕХАНІЗМІВ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

**Мілянч А. Р.**  
**кандидат технічних наук,**  
**доцент кафедри рухомого складу і колії**  
*Львівська філія Дніпропетровського національного університету*  
*залізничного транспорту*  
*імені академіка Всеволода Лазаряна*  
*м. Львів, Україна*

Зацікавленість до оптимального проектування механізмів засобів транспорту є мотивованою необхідністю детального огляду та оцінки науково-технічної літератури і окремих публікацій із методології оптимізації властивих розрахункам даних видів механічних конструкцій.

Дослідження в області проектування механізмів ведуться у двох напрямках: а) методом синтезу згідно заданих положень та б) методом математичного програмування.

1. *Метод синтезу згідно заданих положень.* Проектування механізмів є однією із найстаріших задач техніки, яка привертала увагу багатьох дослідників

на протязі тривалого історичного періоду. Можна сказати, що сучасні дослідження в області аналітичного синтезу механізмів започаткувались у нашій країні з другої половини 30-х років 20 століття, коли основною темою досліджень були питання структури та класифікації механізмів, кінематика та кінетостатика плоских і просторових важільних механізмів. У значно меншій степені вивчався синтез механізмів.

Наукові праці по синтезу комбінованих механізмів є цікавими тим, що вони основані на органічному злитті методів синтезу важільних механізмів із методами синтезу кулачкових, зубчастих та ряду інших механізмів. В літературі достатньо повно досліджені також триланкові мальтійські механізми із прямолінійними радіальними пазами, синтезом яких продовжують займатися і на даний час [1]. Синтезом комбінованого мальтійського механізму згідно заданого закону руху веденої маси на даний час успішно займається В. Р. Пасіка [2].

Фактично на даний час є придатним єдиний метод, який полягає у тому, щоб спроектувати механізм, перевірити, чи не порушуються які-небудь нерівності, а потім методом проб і помилок виправляти постановку задачі. Нажаль, до цієї категорії попадає більшість практичних задач. Для їх розв'язку доцільно скористатися методам математичного програмування. Крім того, може виявитись корисним поєднування двох методів.

2. *Задача оптимального синтезу.* Загальна задача математичного програмування формулюється наступним чином:

мінімізувати  $F(X)$

за умови:

обмежень у формі нерівностей:  $h_i(X) < 0, i = 1, 2, \dots, n;$

обмежень у формі рівнянь:  $l_j(X) = 0, j = 1, 2, \dots, m;$

обмежень у формі параметричних нерівностей

$$g_k(X, \theta) \leq 0, k = 1, 2, \dots, q,$$

$$\theta_{ij}^L \leq \theta \leq \theta_{ij}^u,$$

де  $F(X)$  – цільова функція, яка мінімізується оптимальним вибором  $X$  (тобто розрахункових змінних  $x_1, x_2, \dots, x_n$ );

$\theta$  – вектор параметрів, компонентами якого можуть бути час або просторові змінні;

$\theta_{ij}^L$  та  $\theta_{ij}^u$  – границі, які визначають область змін параметрів.

В якості цільової функції в задачі синтезу механізму ми могли б взяти, наприклад, похибку (помилку методу найменших квадратів, повну інтегральну помилку або інший підходящий функціонал) між фактичними і бажаними характеристиками механізму, або невірноваженість механізму, або чутливість до допустимих відхилень, або похибку внаслідок пружності механізму тощо, та прагнути її оптимізації (мінімізації або максимізації). Обмеження у формі рівностей можуть виникати, наприклад, якщо в ітераційний процес розрахунку

включаються рівняння замкнутості контурів. Невизначений набір умов у заданих положеннях також може дати обмеження у формі рівності.

Параметричні обмеження у формі нерівностей можуть відноситись до всього робочого простору до границь діапазонів кута передачі, до напружень у ланках і шарнірах, до зусиль, які передаються, та моментів.

*Метод оптимізації.* Практичне значення задачі математичного програмування обумовило значну різновидність методів їх вирішення [3]. Напевно, найбільш відомим методом програмування є симплексний метод, який є прийнятливим для задач лінійного програмування (де  $F$ ,  $h_i$  та  $l_j$  – лінійні функції  $X$  і де відповідають функції  $g_k$ ). На даний час така постановка задачі при розрахунках механізмів зустрічається доволі рідко, і тому безпосередньо цей метод тут майже не застосовується. У даному розділі ми коротко описуємо кілька методів *нелінійного* програмування, які виявились найбільш перспективними при різних застосуваннях у розрахунках механізмів. Далі буде наведений метод нелінійного програмування, а саме прямий метод рішення задач з обмеженнями.

Прямими називаємо обчислювальні методи, у яких обмеження розглядаються в явному вигляді як обмежуючі гіперповерхні у просторі обчислюваних змінних.

Для методу можливих напрямів [4] необхідно ввести певні визначення:

1) Система активних обмежень  $K(X)$  – це набір всіх індексів  $i$ , таких, що у точці  $X$  простору розрахункових змінних  $h_i(X) = 0$  (практично ми використовуємо відрізок  $0 \leq h_i \leq \varepsilon$  або  $|h_i| \leq \varepsilon$ , де  $\varepsilon$  – малий допуск).

2) Напрямок  $S$  у точці  $X$  називається *можливим*, якщо для всіх  $i$  в  $K(X)$

$$S^T \nabla h_i(X) < 0$$

3) *Відповідний можливий напрям* це таке  $S$ , яке задовольняє попередню нерівність

$$S^T \nabla F(X) < 0$$

При такому напрямі метод дозволяє зробити крок від  $X$  до нової точки із іншою системою  $K$ , якщо зустрінуться нові обмеження. В іншому випадку використовується схема беззаперечної мінімізації до тих пір, доки знову не зустрінуться обмеження. Це дасть точку із меншим значенням  $F$ , в якій вишукується придатний можливий напрям. Таким чином, суть методу полягає в «задачі визначення напрямку», яка здебільшого формулюється наступним чином: знайти  $\gamma$ ,  $S$ , такі, що

$$\gamma \rightarrow \max,$$

$$S^T \nabla h_i + \gamma \cdot \theta_i < 0, \quad i \in K(X),$$

$$S^T \nabla F + \gamma < 0,$$

$$\text{Норма } (S) \leq b,$$

де  $\theta_i$  – довільні додатні сталі величини.

Здебільшого «норма (S)» вибирається таким чином, щоб одержувалась задача лінійного програмування, яка потім розв'язується симплексним методом [5].

Оскільки симплексний метод є достатньо ефективним при вирішенні задач лінійного програмування, він став основоположником ряду методів послідовної лінеаризації, або методів січних площин, для розв'язування задач нелінійного програмування.

Основна ідея цієї групи методів полягає у тому, що вирішується задача лінійного програмування:

$$\bar{F}_0 = F(X_0) + (X - X_0)^T \nabla F(X_0) \rightarrow \min$$
$$\text{та } \bar{h}_i^0 \equiv h_i(X_0) + (X - X_0)^T \nabla h_i(X_0) \leq 0, \text{ де } i = 1, 2, \dots, n,$$

де  $X_0$  – певна довільна вихідна точка.

Це дає точку  $X_1$ , яка не являється оптимальним розв'язком для початкової задачі, але може слугувати позитивним наближенням до неї. Можна також виконати нову лінеаризацію (тобто, побудувати  $\bar{F}^1$  та  $\bar{h}_i^1$ ) і вирішити нову задачу. Застосування даного методу пов'язано із певними труднощами, які необхідно враховувати. Найбільш серйозним із них полягає у тому, що метод може давати певну розходимість, якщо певні співвідношення лінеаризації не зберігаються при переході від одного циклу до іншого.

Синтез механізмів – це область, в якій застосування методів математичного програмування є доволі перспективним внаслідок властивого їм вільного формулювання. Головною метою наведеного дослідження є широке ознайомлення із досягненнями у двох областях з надією, що існуючі на даний час засоби оптимізації будуть застосовуватись до цих задач синтезу і що, навпаки, засоби оптимізації будуть надалі вдосконалюватись внаслідок досліджень конструкцій механізмів засобів транспорту.

### Література:

1. Зинченко Е.И. Кинематический синтез шестизвенных механизмов четвертого класса с выстойным выходного звена: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. – Харьков. – 2007. – 176 с.
2. Пасіка В.Р. Синтез комбінованого мальтійського механізму з пружним валом за заданим законом руху веденої маси // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2007. – Вип. 29. – С. 95-108.
3. Alexander Evgrafov (editor). «Advances in Mechanical Engineering». Selected Contributions from the Conference «Modern Engineering Science and Education», Saint Petersburg, Russian, June 20-21, 2013. Springer, 2015. 142 p.
4. Измайлов А.Ф., Солодов М.В. Численные методы оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 304 с.
5. Сантылова Л.И. Вариационное исчисление и методы оптимизации. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2002. – 320 с.



**APPLICATION OF THE FULL FACTOR EXPERIMENT  
FOR THE DETERMINATION OF THE FORCE IMPACT  
IN PROCESSING WITH POLYMER-ABRASIVE DISC BRUSHES**

**Stepanov D. M.**  
**Senior Lecturer**

**Myronova N. O.**  
**Candidate of Technical Sciences (PhD),**  
**Associate Professor**  
*Zaporizhzhia National Technical University*  
*Zaporizhzhia, Ukraine*

In practical activity, we often need to estimate the parameters of a certain system by constructing its mathematical model and to find the numerical values of the coefficients of this model. It is an approximate representation of real objects, processes or systems, expressed in mathematical terms and preserving the essential features of the original. Mathematical models in quantitative form describe the basic properties of an object, process or system, its parameters, internal and external relationships using logical and mathematical construction.

The aim of this work was to construct a mathematical model of the force impact of polymer-abrasive brushes [1] on the sample surface.

To construct the mathematical model, a full factorial experiment (FFE) was applied [2]. Preliminary studies showed a linear form of dependencies predominantly, so it was sufficient to use a two-level FFE. Each factor is presented on two levels: maximum and minimum. The number of possible combinations of all factor levels is  $N = 2k$ , where  $k$  is the number of factors. The number of variable factors is four (tightness  $i$ , feed  $S$ , speed  $V$ , fiber length  $L$ ), hence, the number of experiments is 16. After the factors were normalized (Table 1), the experiment matrix was prepared (Table 2).

Table 1

**Variations in factor levels**

Factor	Tightness $i$		Feed $S$		Speed $V$		Fiber length $L$	
	X1		X2		X3		X4	
Level	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Factor value	0,5	3,0	1	10	17	40	8	32

According to this plan, the corresponding experiments were carried out, the force  $P_y$  (Table 2) was measured using a specially designed dynamometer [3]. The calculations were carried out using the «Statistica» software.

Table 2

**The experimental matrix and measurement results**

Number of experiment	1 <sup>st</sup> factor		2 <sup>nd</sup> factor		3 <sup>d</sup> factor		4 <sup>th</sup> factor		Response
	X1	<i>i</i> , mm	X2	<i>S</i> , m/min	X3	<i>V</i> , m/s	X4	<i>L</i> , mm	<i>P<sub>y</sub></i> , N
1	1	3	-1	1	-1	17	-1	8	67,4
2	1	3	1	10	1	40	1	32	47,1
3	-1	0,5	-1	1	-1	17	-1	8	11,8
4	-1	0,5	1	10	1	40	-1	8	42,8
5	-1	0,5	1	10	1	40	1	32	26,3
6	-1	0,5	-1	1	1	40	1	32	26,3
7	1	3	-1	1	-1	17	1	32	36,3
8	-1	0,5	1	10	-1	17	-1	8	11,8
9	1	3	-1	1	1	40	1	32	47,1
10	1	3	1	10	-1	17	1	32	36,3
11	1	3	-1	1	1	40	-1	8	91,9
12	1	3	1	10	1	40	-1	8	91,4
13	-1	0,5	-1	1	-1	17	1	32	11,2
14	-1	0,5	-1	1	1	40	-1	8	42,7
15	-1	0,5	1	10	-1	17	1	32	11,2
16	1	3	1	10	-1	17	-1	8	67,4

The coefficients of regression of the first-order model (without taking into account the interaction of the factors among themselves) and the second-order model (considering this interaction) were calculated. After the primary dispersion and regression analysis, a factor appeared that did not affect the value of the radial force. In the investigated range feed *S*, as well as its interaction with other factors, does not affect *P<sub>y</sub>* (Fig. 1,a; 2,a). After the removal of *S* and repetition of dispersion analysis (Fig. 1,b; 2,b), a first-order model ( $R = 0.89$ ) and a second-order model ( $R = 0.99$ ) were obtained:

$$P_y = 9,68 + 15,04 \cdot i + 0,8815 \cdot V - 0,9656 \cdot L; \quad (1)$$

$$P_y = -27,31 + 27,53 \cdot i + 1,58 \cdot V + 0,64 \cdot L - 0,09i \cdot V - 0,49 \cdot i \cdot L - 0,027 \cdot V \cdot L; \quad (2)$$

Graphically, the coincidence of «predicted» (calculated) and «observed» (experimental) values is shown in Figure 3 a,b, respectively, for the models of the first and second order. This illustrates the correlation coefficients  $R$  of the models: 0.89 and 0.99, respectively. The 10 control experiments on factors, which are close with rational modes of polymer-abrasive brushes, showed the average error in calculating the response function was 21.4% and 3.3%, respectively. Therefore, the second-order model is more precise.

Regr. Coefficients; Var.:Py; R-sqr=,89529; Adj:,85722 (Ok_ish_sily.sta) 2**(4-0) design; MS Residual=100,4475 DV: Py						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	9,71219	9,162842	1,05995	0,311885	-10,4551	29,87947
(1)i	<b>15,04000</b>	<b>2,004470</b>	<b>7,50323</b>	<b>0,000012</b>	<b>10,6282</b>	<b>19,45181</b>
(2)S	-0,00556	0,556797	-0,00998	0,992218	-1,2311	1,21995
(3)V	<b>0,88152</b>	<b>0,217877</b>	<b>4,04596</b>	<b>0,001929</b>	<b>0,4020</b>	<b>1,36107</b>
(4)L	<b>-0,96562</b>	<b>0,208799</b>	<b>-4,62466</b>	<b>0,000735</b>	<b>-1,4252</b>	<b>-0,50606</b>

a)

Regr. Coefficients; Var.:Py; R-sqr=,89529; Adj:,86912 (Ok_ish_sily.sta) 2**(4-0) design; MS Residual=92,07771 DV: Py						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(12)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	9,68163	8,268321	1,17093	0,264354	-8,33349	27,69675
(1)i	<b>15,04000</b>	<b>1,919143</b>	<b>7,83683</b>	<b>0,000005</b>	<b>10,85855</b>	<b>19,22145</b>
(3)V	<b>0,88152</b>	<b>0,208602</b>	<b>4,22585</b>	<b>0,001177</b>	<b>0,42702</b>	<b>1,33603</b>
(4)L	<b>-0,96562</b>	<b>0,199911</b>	<b>-4,83028</b>	<b>0,000412</b>	<b>-1,40119</b>	<b>-0,53006</b>

b)

**Fig. 1. The results of calculating the model of the 1<sup>st</sup> order**

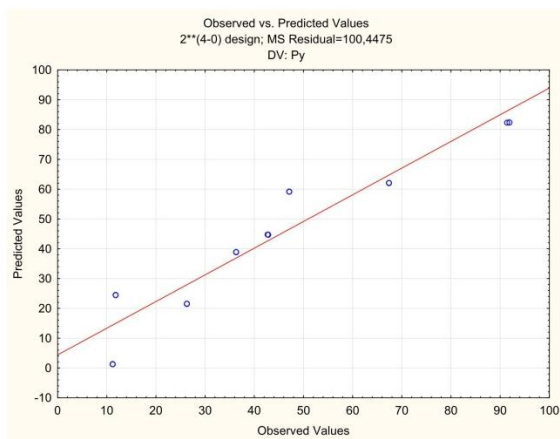
Regr. Coefficients; Var.:Py; R-sqr=,99986; Adj:,99957 (Ok_ish_sily.sta) 2**(4-0) design; MS Residual=,3035 DV: Py						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(5)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	<b>-27,3668</b>	<b>1,103265</b>	<b>-24,8053</b>	<b>0,000002</b>	<b>-30,2028</b>	<b>-24,5308</b>
(1)i	<b>27,5694</b>	<b>0,372234</b>	<b>74,0647</b>	<b>0,000000</b>	<b>26,6126</b>	<b>28,5263</b>
(2)S	0,0106	0,105489	0,1007	0,923722	-0,2605	0,2818
(3)V	<b>1,5824</b>	<b>0,032206</b>	<b>49,1324</b>	<b>0,000000</b>	<b>1,4996</b>	<b>1,6652</b>
(4)L	<b>0,6428</b>	<b>0,037359</b>	<b>17,2057</b>	<b>0,000012</b>	<b>0,5468</b>	<b>0,7388</b>
1 by 2	-0,0067	0,024485	-0,2723	0,796295	-0,0696	0,0563
1 by 3	<b>-0,0957</b>	<b>0,009581</b>	<b>-9,9835</b>	<b>0,000172</b>	<b>-0,1203</b>	<b>-0,0710</b>
1 by 4	<b>-0,4883</b>	<b>0,009182</b>	<b>-53,1849</b>	<b>0,000000</b>	<b>-0,5119</b>	<b>-0,4647</b>
2 by 3	-0,0005	0,002661	-0,1815	0,863090	-0,0073	0,0064
2 by 4	0,0005	0,002551	0,1815	0,863090	-0,0061	0,0070
3 by 4	<b>-0,0265</b>	<b>0,000998</b>	<b>-26,5924</b>	<b>0,000001</b>	<b>-0,0291</b>	<b>-0,0240</b>

a)

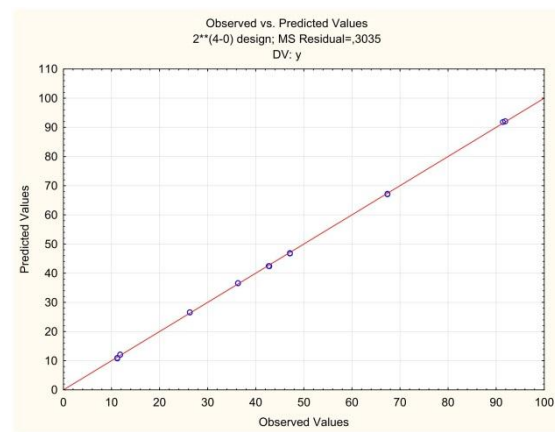
Regr. Coefficients; Var.:Py; R-sqr=,99985; Adj:,99975 (Ok_ish_sily.sta) 2**(4-0) design; MS Residual=,1744444 DV: Py						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(9)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	<b>-27,3084</b>	<b>0,711430</b>	<b>-38,3852</b>	<b>0,000000</b>	<b>-28,9178</b>	<b>-25,6990</b>
(1)i	<b>27,5328</b>	<b>0,263090</b>	<b>104,6514</b>	<b>0,000000</b>	<b>26,9376</b>	<b>28,1279</b>
(3)V	<b>1,5797</b>	<b>0,021749</b>	<b>72,6331</b>	<b>0,000000</b>	<b>1,5305</b>	<b>1,6289</b>
(4)L	<b>0,6453</b>	<b>0,026251</b>	<b>24,5833</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,5860</b>	<b>0,7047</b>
1 by 3	<b>-0,0957</b>	<b>0,007264</b>	<b>-13,1684</b>	<b>0,000000</b>	<b>-0,1121</b>	<b>-0,0792</b>
1 by 4	<b>-0,4883</b>	<b>0,006961</b>	<b>-70,1518</b>	<b>0,000000</b>	<b>-0,5041</b>	<b>-0,4726</b>
3 by 4	<b>-0,0265</b>	<b>0,000757</b>	<b>-35,0759</b>	<b>0,000000</b>	<b>-0,0283</b>	<b>-0,0248</b>

b)

**Fig. 2. The results of calculating the model of the 2<sup>nd</sup> order**



a)



b)

**Fig. 3. The coincidence of observed and predicted values for the models of the first (a) and second (b) order**

As a result of having conducted a minimum number of laborious experiments, a mathematical model of the force impact of polymer-abrasive brushes on the surface of the sample depending on the machining conditions and tool parameters was obtained. This information is important, for example, for polishing thin-walled parts with polymer-abrasive brushes, when a high level of force is unacceptable.

#### References:

1. Stepanov D.N. «Finishnaya obrabotka tonkostennyih i slozhnoprofilnyih detaley. Soobschenie 2. Schetochnyie instrumentyi», Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni, vol. 1, pp. 126-129, 2015.
2. Montgomery, Douglas C. Design and Analysis of Experiments (8th ed.), Wiley, 2013, 752 p.
3. Pat. 110930 Ukraina, MPK G01L 1/04. Dynamometr / Vnukov Yu.M., Stepanov D.M., Honchar N.V.; Zaiavnyk ta patentovlasnyk Zaporizkyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – № 110930; zaiavl. 15.04.16; opubl. 25.10.16, Biul. № 20. – 3 s.

# **ДИНАМІКА ЗМІНИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГРУНТУ ТА РОБОЧОГО ОРГАНУ ГРУНТООБРОБНОЇ МАШИНИ ПРИ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ**

**Солових Є. К.**  
доктор технічних наук,  
професор кафедри експлуатації  
та ремонту машин

**Тихий А. А.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри будівельних,  
дорожніх машин і будівництва

**Катеринич С. Є.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри експлуатації  
та ремонту машин

**Солових А. Є.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри експлуатації  
та ремонту машин

*Центральноукраїнський національний технічний університет  
м. Кропивницький, Кіровоградська область, Україна*

Створення високоефективних робочих органів ґрунтообробних машин (РОГМ) вимагає пошуку можливості визначення напруження, що виникає в ґрунтовому середовищі під час дії на нього робочого обладнання. Існуючі методи дослідження взаємодії РОГМ з ґрунтом не дозволяють досліджувати процес взаємодії робочих органів з ґрунтом в просторі.

Особливу увагу слід звернути на закономірності взаємодії РОГМ з ґрунтом, енергетичні характеристики цієї взаємодії та зношувальну здатність середовища ґрунту, враховуючи такі його характеристики, як механічний склад, щільність, вологість, фазовий склад, а також температуру. Температура розроблюваного ґрунту впливає на його характеристики міцності і на опір розпушування. Величини глибини розпушування і опору розробки ґрунту знаходяться в прямо пропорційній залежності.

Зміна стану поверхневих шарів РОГМ та напружено-деформованого стану (НДС) ґрунту є одним з методів управління формою і опором переміщення РОГМ.

Розподіл напружень в ґрунті в процесі його обробки вивчений недостатньо, хоча виникаюча картина напружень, ліній ковзання ґрунтових часток і їх відривання має велике значення для пояснення способів обробки і

отримання залежностей, що характеризують зміну об'ємної маси ґрунту від основних параметрів РОГЗМ і фізико-механічних властивостей ґрунту.

Метою даної роботи є розробка методики вимірювання та моделювання НДС ґрунту при дії на нього РОГМ.

Для зображення силової картини дії РОГМ на середовище ґрунту і дослідження його НДС, розроблено спеціальну установку (патент України №74655) для вимірювань розподілу виникаючих зусиль в горизонтальних і вертикальних площинах з використанням спеціальних тензодатчиків. Для обробки сигналів тензодатчиків використовували вимірювальний комплекс, що перетворює різницю тисків в місцях розміщення тензодатчиків в середовищі ґрунту у вихідний уніфікований сигнал взаємної індуктивності з лінійною залежністю.

Використовуючи методику описану в роботі [2] по визначенню НДС були отримані дані, що дозволяють побудувати просторовий розподіл картини НДС під час взаємодії РОГЗМ з ґрунтом.

Розрахунок поля напружень в ґрунті в процесі взаємодії його з РОГМ визначали і методом кінцевих елементів на ПЕОМ [4].

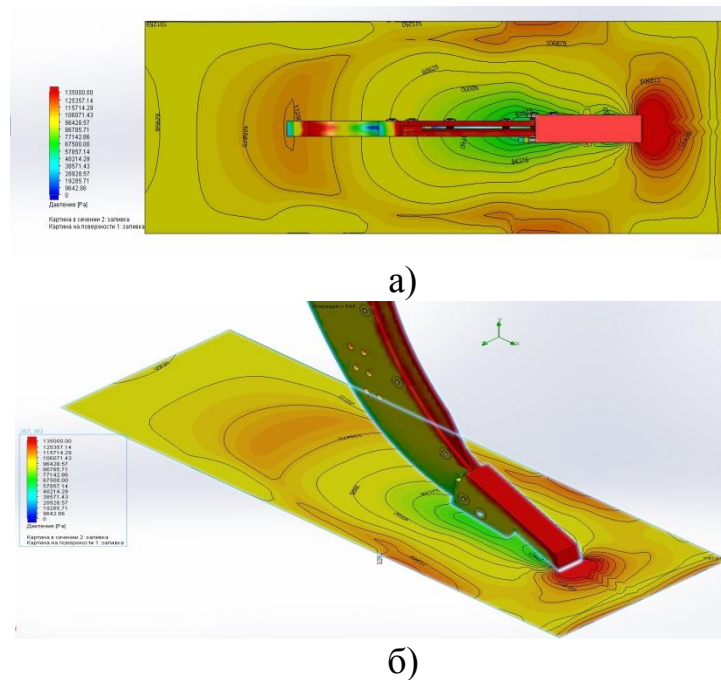
Аналіз та розрахунок поля напружень і деформацій ґрунту, аналогічно як і робочих поверхонь різальних елементів (РЕ) РОГМ виконували за допомогою пакету COSMOSWorks інтегрованого в САД-систему SolidWorks згідно методики розробленої в роботі [2].

Проведено моделювання розподілу напружень в ґрунті під час взаємодії з РОГМ на прикладі щілинорізу з ґрунтом і отримані картини розподілу ізобарних зон в горизонтальних і вертикальних площинах перед РЕ РОГМ.

Враховуючи отриману інформацію про поля напружень і деформацію, будували їх розподіл вздовж осей координат та отримували картину розподілу ізобарних зон в горизонтальних та вертикальних площинах.

Картини розподілу ізобарних зон в різних площинах дають можливість виявити зони концентрації найбільшого напруження ґрунтового середовища та з'ясувати характер його подальшого сколювання.

Під час взаємодії ґрунту з щілинорізом значна концентрація напружень приходить саме на зону дії долота щілинорізу, де відбувається сколювання пласту ґрунту [3]. Після чого сколений пласт розрізається вертикальним лезом, тому найбільше напруження приходить на його нижню частину. З наближенням до поверхні пласту ґрунту його напруження зменшується.



**Рис. 1 – Картини розподілу ізобарних зон в горизонтальних і вертикальних площинах перед різальними частинами щілинорізу**  
 а) напруження ґрунтового середовища перед РЕ щілинорізу у горизонтальній площині; б) напруження ґрунтового середовища перед РЕ щілинорізу у вертикальній площині

За розробленою установкою та методикою вимірювання напруження в локальних областях горизонтальній та вертикальній площині відносно різальних елементів РОГМ [4], в шарах ґрунту прилеглих до робочих поверхонь РОГМ визначали розподіл напружень з відстанню від робочої поверхні щілинорізу.

Експериментальні результати свідчать, що закономірності розподілу величини напруження в ґрунті з відстанню від робочої поверхні РОГМ залежать як від типу РОГМ, так і глибини шару ґрунту. Це підтверджує отримані якісні картини розподілу зон напружень в ґрунті перед РОГМ, що були отримані шляхом моделювання за допомогою методу скінчених елементів в середовищі COSMOSWorks.

### Література:

1. Аулін В.В., Тихий А.А. (2017) Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія, Кропивницький: Вид. Лисенко В.Ф., 2017. – 279 с.
2. Аулін В.В., Тихий А.А. (2016) Динаміка износа режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин при взаимодействии с почвой Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. – Vol. 18. № 2 – С. 41-48.
3. Аулін В.В., Войтов В.А., Тихий А.А. (2015) Фізичні аспекти взаємодії в системі «РОГМ-ґрунт» / Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб.

Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45, ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 132-142.

4. Аулін В.В. (2014) Вибіркове зношування робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин як відображення стохастичної природи їх взаємодії з частинками ґрунту / В.В. Аулін, В.А. Настоящий, А.А. Тихий / Зб. наук. праць Укр. держ. академії залізн. транспорту. – 2014. – Вип. 148. – С. 25-33.

5. Аулін В.В. (2013) Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problemsoftribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – № 1 – С. 120-126.

## **THE SCIENTIFIC PARADIGM OF ACHIEVING ANOMALOUSLY LOW FRICTION IN TRIBOLOGY**

**Troshin O. M.**

**Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer  
at the Department of Aviation Engineering Support  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University  
Kharkiv, Ukraine**

Introduction. When analysing tribosystems under conditions of anomalous low friction and wear, a number of scientists [1; 2] used waves of different nature for the surface layer structuring, however this component of external friction was not considered as a channel of the external energy dissipation.

One of the first attempts to attract the wave component as dissipation channel is made in [1]. The author believes that under conditions of anomalous low friction and wear there is formed on the surface a quasi-elastic layer, in the central part of which the hydrodynamic deformation is hypothetically possible, while on the periphery of the transit zone we should expect intensive rotary elastoplastic deformation that is similar to the structure of vortex formation in the boundary layer during the flow of liquid. This approach, in our opinion, can be considered as a special case of manifestation of the wave component of the frictional force as a dissipation channel of externally supplied energy.

Analysis of main achievements and publications. Through analysis of studies of ultrasound and vibration oscillations in tribology [4], we can conclude that practically in all these studies the wave component of the frictional force (introduced by the authors [5] in the expression for the frictional force with a minus sign) is present as a final result at the external wave impact on a tribosystem.

Goal of research. The purpose of this study is to analyze the effect of oscillations generated in the most tribosystem as a factor of achieving anomalous low friction and wear conditions from a position of the quantum-mechanical approach to real tribosystems operating under conditions of dry and boundary friction.



Presentation of the basic material. Thermodynamic analysis of externally supplied energy dissipation channels at the external friction carried out in [1] showed that there were two levels of self-organization – equilibrium and non-equilibrium. In the first instance, there are the dissipative equilibrium structures, in the later case – dissipative non-equilibrium structures. In the first instance, the equilibrium is achieved through the channel of the thermodynamic entropy, and in the later case the self-regulation occurs through the channel of excess entropy production.

According to the authors of [6], who conducted analysis of external friction based on thermodynamic, the excess entropy production can be only positive. At the same time, the studies of self-organization for chemical techniques [7; 8] have shown that under conditions of non-equilibrium self-organization the excess entropy production can vary both in positive and negative directions. So, it is recognized the simultaneous presence of dissipation anti-dissipation processes that can be realized both with heat release and absorption [7].

So, by analyzing kinetic interaction of this kind of rubbing bodies V. Veynik [9] hypothesized the possibility both of zero and negative friction in the tribology basing on recognition of simultaneous presence of dissipation and anti-dissipation processes at elastic interaction of tribosystem elements.

The same opinion is shared by the author of [10]. The ability of achieving anomalous low friction and wear is associated by the author of this paper with irreversible absorption of deformation energy through the elapsing of reversible elastic-plastic deformation. As in the previous paper, the thermal effect at the contact interaction is determined by the sum of two components – static and dynamic specific components of the energy dissipation.

Modern understanding of friction and wear from a position of synergetics and thermodynamics of non-equilibrium systems [5], the physical theories make it possible to define the physical meaning of the friction coefficient as the ratio of kinetic component of external friction to a gravity component (quasi-mass of friction that performs work on the path of motion) [10]. This approach just includes participation of the wave component in the self-regulation of energy flows, and their transformation (dissipation) in tribosystems with artificial intelligence.

Achievements of modern physical theories in the field of solid deformable body mechanics make it possible to change radically our vision on the mechanism of achieving anomalous low friction and wear. Until the present, it is used as such mechanism in tribosystems the selection of triboelements that create a positive gradient of hardness in the breaking-in process. At present, the transit from elastic to plastic contact is considered as such conditions. This approach is presented theoretically in the paper [10] and experimentally is implemented in [9].

In the process of energy exchange at anomalous low friction, when the balance is provided between molecular-mechanical and wave components of the frictional force, it is necessary to take into account that the wave channel of energy dissipation converts an unbalanced portion of the external friction into the inner friction [11].

Thus, the criterion of irreversibility of energy conversion at anomalous low friction is not violated, and the energy conservation law at an anomalous low friction and wear is observed.

The performed analysis of the dissipation mechanisms for externally supplied energy leads to the conclusion that the tribosystems perfection  $\mu$  (friction coefficient) at anomalous low friction is estimated by the ratio of the kinetic  $F_{fr}$  and gravitational  $N$  components of external friction:

$$\mu = \frac{F_{fr}}{N},$$

On the one hand – it is a parameter characterizing in a generalized sense the resistance to the surfaces relative displacement (movement), it reflects a part of the energy, which is «destroyed» by friction in the form of latent energy stored, in relation to the work of external forces (energy of external relative movement). Load  $N$  is perceived as a quasimass of friction that performs a work on the way. On the other hand – it is a generalized description of damageability, since it (friction coefficient) is determined by the density of latent energy that characterizes the measure of structure imperfection or perfection and is a generalized parameter of damageability or wearlessness measure [10].

The analysis performed for the physical meaning of friction coefficient allows to propose a scientific paradigm for implementation of the conditions for achieving the anomalous low friction and wear at external friction of the real tribosystems. Reduction of gravitational component of the frictional force: achieving a balance between molecular-mechanical and wave components of the frictional force. Implementation methods: creation of levitation conditions with formation of traveling and stationary waves in interacting elements:

1<sup>st</sup> method. Creation of heterogeneous materials with a negative gradient of surface layer hardness;

2<sup>nd</sup> method. Creation of heterogeneous coatings by fastening of solid particless in the elastic matrix;

3<sup>rd</sup> method. Creation of miniature oscillators to achieve harmonic resonance condition in tribosystems (formation of traveling wave in the kinetic nanofield).

Experimental and theoretical studies of anomalously low friction and wear carried out in accordance with this paradigm [5] makes it possible to form practical recommendations on the implementation of this effect for highly loaded aggregate elements.

Conclusions. According to the proposed hypothesis of existence of the wave component of the frictional force, the physical meaning of friction coefficient is the ratio of kinetic and gravitational components of friction forces. At the transit to anomalous low friction and wear, the kinetic component is a priority.

### References:

1. Pogodaev L. Structural and Energetic Models of Behavior (Reliability) of Materials at Impulsive Loading / L. Pogodaev // Friction, wear, lubrication. – 2013. Vol. 15, № 57. URL: <http://www.tribo.ru/>.

2. Schlichting I. Theory of the Boundary Layer / I. Schlichting – M.: Nauka, 1974. – P. 712.

3. Vasiliev A. Directed Formation of Engineering Products Properties / A. Vasiliev et al. – M.: Mashinostroenie, 2005. – P. 384.
4. Stadnichenko V. Synergetic Concept of Self-Organization in Tribological Systems at Heat Flow Managing / V. Stadnichenko, O. Troshin // Bulletin of Technical University «KhPI». Proceedings. Special issue: Technologies in mechanic engineering. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2007. – № 17 – Pp. 49-62.
5. Stadnichenko V. Gray's Paradox and Wave Solutions in Explaining Anomalously Low Friction and Wear in Tribology / V. Stadnichenko, O. Troshin // International Journal of Materials Science and Applications. – 2016. Vol. – 5, № 1. – Pp. 23-30.
6. Pogodaev L. et al. Structural and Energy Wear Model / L. Pogodaev // Friction and Wear. – 2001. – Vol. 22, № 2. – Pp. 168-172.
7. Nicolis G. Exploring Complexity / G. Nicolis, I. Prigozhin. Trans. from English – M.: Mir, 1990. – P. 344.
8. Haken G. Synergetics: Hierarchy of Instabilities in Self-Organizing Systems and Devices: Trans. from English / G. Haken – M.: Mir, 1985. – P. 423.
9. Veynik A. Thermodynamic Couple / A. Veynik – Minsk: Nauka i Tehnika, 1973. – P. 383.
10. Fedorov S. Common Denominators of Friction Evolution from the Standpoint of Self-Organization and Synergism / S. Fedorov. – In the book: Proceedings of KSTU. – Kaliningrad, 2007. – № 11. – Pp. 22-31.
11. Shevelya V. Tribochemistry and Rheology of Wearability: Monograph. / V. Shevelya, V. Oleksandrenko. – Hmel'nits.: HNU, 2006. – P. 278.

## **PROBLEM OF OSCILLATION IN LOADED SHELL OF REVOLUTION**

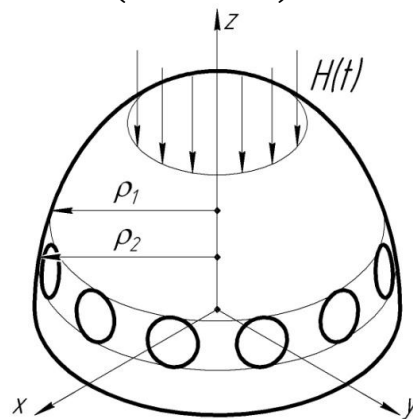
**Cherniavskiy A. Yu.**  
**Candidate of Technical Sciences,**  
**Acting Head of the Department of Descriptive Geometry**  
**and Computer Modeling**  
*National Aerospace University*  
*«Kharkiv Aviation Institute»*  
*Kharkiv, Ukraine*

**Pogorilyi D. F.**  
**Candidate of Technical Sciences,**  
**Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry**  
**and Computer Modeling**  
*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*  
*Poltava, Ukraine*

Shells of revolution are widely used in aircraft and rocket engineering, civil engineering, oil industry, exploration of oceanic shelves, etc. Growing interest to the shells can be explained by their efficiency to operate in loaded condition [1]. In engineering practice stability and vibrations problems as well as stress state problems [2; 3; 4] are very important for studying load-carrying capacity of polyharmonically loaded shells with holes [4].

The shell of revolution is shown in the figure 1.

$$Z = Z(\sqrt{x^2 + y^2}) = Z(\rho).$$



**Fig. 1. Shell of revolution**

The shell has holes  $(n, r_0)$ , where  $n$  – number of holes,  $r_0$  – radius of a hole. Damping belt is a zone of holes  $Z(\rho)$ , where  $\rho$  is constrained by inequality  $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$ .

Polyharmonic loading, applied to the shell from above, is described by the following analytical expression:

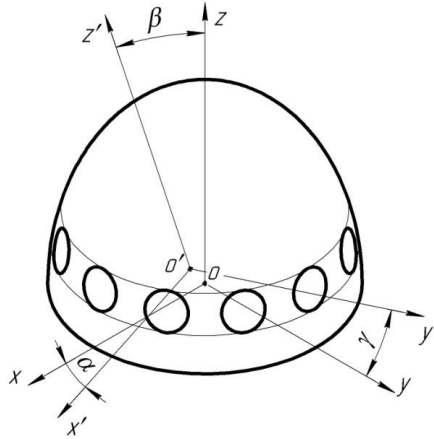
$$H(t) = \sum_{i=1}^{\infty} u_i \cos(\omega_i t + \varphi_i),$$

where  $u_i$  – harmonic amplitude;

$\omega_i$  – frequency;  
 $\varphi_i$  – initial phase.

Let's consider dome's behavior above damping belt. Two important aspects have an effect on load-carrying capacity of the shell in whole:

- a) waves, produced by periodic components of polyharmonic load  $H(t)$ ;
- b) vibrations of a dome in whole, i. e. oscillating motions of coordinate system, rigidly bound to the dome  $x_{0'}(t)\alpha(t)$ ,  $y_{0'}(t)\beta(t)$ ,  $z_{0'}(t)\gamma(t)$ , where  $O'$  – origin point for axes  $x, y, z$ , rigidly bound to the dome;  $\alpha, \beta, \gamma$  – Eulerian angles (fig. 2).



**Fig. 2. Vibrations of the dome**

Damping belt produces damping effect on wave frequency, spreading over the dome.

Let's explain effect of the damping belt: waves, produced by polyharmonic load  $H(t)$ , shouldn't be coherent to dome's proper waves. It eliminates local resonance and consequent local cracks forming.

Besides, the belt will damp vibrations of the dome in whole.

The equation to find perturbed shape of a shell is following:

$$a\Delta^2 Z(\rho, \varphi) + b \frac{\partial^4 z}{\partial^2 x \partial^2 y} = \rho h \frac{\partial^2 y}{\partial^2 t}, \quad (1)$$

where  $a = \frac{h^3(\lambda^2 + \mu^2)}{3\lambda}$ ;  $b = \frac{h^3}{b}(\mu - \lambda)$ .

For the loading:

$$\iint_{II} D\Delta^2 Z(\rho, \varphi) \rho d\rho d\varphi = H(t).$$

After transformations in (1) to polar coordinate system we obtain

$$\left[ \left( a + \frac{b}{6} \right) (\Delta^2 \rho + \Delta^2 \varphi) + bD \right] z(\rho, \varphi) + \rho h z(\rho, \varphi) = 0, \quad (2)$$

where

$$\Delta^2 \rho = \frac{\partial^4}{\partial \rho^4} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial^3}{\partial \rho^3} - \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho^3} \frac{\partial}{\partial \rho},$$

$$\Delta^2 \varphi = \frac{2}{\rho^2} \frac{\partial^4}{\partial \rho^2 \partial \varphi^2} - \frac{2}{\rho^3} \frac{\partial^3}{\partial \rho \partial \varphi^2} + \frac{4}{\rho^4} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{\rho^4} + \frac{\partial^4}{\partial \varphi^4}.$$

Solution (2) can be represented as trigonometric Fourier series of

$$z(\rho, \varphi) = z_0(\rho) + \sum_{n=0}^{\infty} z'_n(\rho) \cos n\varphi + z''_n(\rho) \sin n\varphi$$

Following expressions allow to find  $z_0(\rho), z'_n(\rho), z''_n(\rho)$ :

$$\begin{cases} \frac{b}{2} D' z_{2k} + \left(a + \frac{b}{6}\right) \Delta^\circ z_{2k+4} + \frac{b}{2} D z_{2k+8} + \rho h z_{2k+4} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots) \\ \frac{b}{2} D' z_{2k-1} + \left(a + \frac{b}{6}\right) \Delta^\circ z_{2k+3} + \frac{b}{2} D' z'_{2k+7} + \rho h z'_{2k+3} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots) \\ -\frac{b}{2} D \gg z_{2k} + \left(a + \frac{b}{6}\right) \Delta^\circ z_{2k+4} + \frac{b}{2} D \gg z_{2k+8} + \rho h z_{2k+4} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots) \\ \frac{b}{2} D \gg z_{2k-1} + \left(a + \frac{b}{6}\right) \Delta^\circ z_{2k+3} + \frac{b}{2} D \gg z_{2k+7} + \rho h z'_{2k+3} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots) \\ \left(a + \frac{b}{6}\right) \Delta_\rho^2 z_0 + \frac{b}{2} D \gg z'_4 + \rho h z_0 \\ \int_0^{2\pi} \int_0^R \left(a + \frac{b}{6}\right) (\Delta^2 \rho + \Delta^2 \varphi + bD) z(\rho, \varphi) d\rho d\varphi = H(t) \quad (3). \end{cases}$$

Formula (3) assumes surface integration over the shell, though passing through damping belt  $a, b$  and  $D$  characteristics, being functions of  $(n, \rho_0, \rho_1, \rho_2)$ , change.

Geometry of the damping belt should obey to the following conditions according to the purposes below:

1. Vibrations damping – limitation on the number of holes  $m$

$$u_2 \leq \frac{6am}{\pi} \leq u_1.$$

2. Strength loss limitation,  $h$  – height of the shell

$$0,12h \leq \varphi(u_1) \leq 0,14h$$

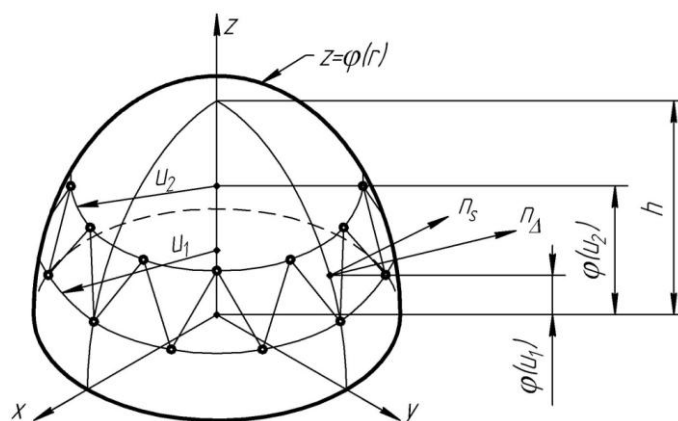
$$0,15h \leq \varphi(u_2) - \varphi(u_1) \leq 0,26h$$

3. Resonance elimination in case of poliharmonical loading  $|\alpha_{n_\Delta} - \alpha_{n_s}| \leq \delta_0$ , where  $\alpha_{n_\Delta}, \alpha_{n_s}$  numerical characteristic, defined in a following way

$$\alpha_{n_\Delta} = \arcsin \frac{\Delta_2}{\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}};$$

$$\alpha_{n_s} = \text{arctg}(\varphi'(r))^{-1}/r = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0; \varphi(u_2); 1 \\ u_1 \sin \frac{\pi u_1}{m}; \varphi(u_1); 1 \\ -u_1 \sin \frac{\pi u_1}{m}; \varphi(u_1); 1 \end{vmatrix}; \Delta_2 = \begin{vmatrix} u_2; 0; 1 \\ u_1 \cos \frac{\pi u_1}{m}; u_1 \sin \frac{\pi u_1}{m}; 1 \\ u_1 \cos \frac{\pi u_1}{m}; -u_1 \sin \frac{\pi u_1}{m}; 1 \end{vmatrix}$$



**Fig. 3 .Location of the damping belt (structural scheme)**

$n_s$  – normal vector to the middle line of the damping belt on the surface  $S$ ;

$n_\Delta$  – normal vector to the plane of the triangle, formed by adjacent holes: one on the upper belt and two on the lower belt.

Dynamical behavior of a dome, which is a shell of revolution, is being considered. It is shown, that double belt of holes damps waves, produced by polyharmonic loading. Optimization problem and local resonance damping problem can be solved by selecting proper geometric parameters of the damping belt.

#### **References:**

1. Дихтярь А.С., Ядгаров Д.Я. Форма несущая способность оболочек покрытий. Ташкент: «Уктивучи», 1983.
2. Рассказов А.О., Дихтярь А.С. Предельное равновесие оболочек. К.: Вища школа, 1987. 150 с.
3. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. Наука. 1966. 636 с.
4. Шишкин А.Г., Тертышный Г.В. Свободные колебания цилиндрических панелей и оболочек с вырезами. В кн.: Точные науки, математика, механика. Казань: Изд-во Казанского ун-та. 1975. С. 160-163.

# АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІДРООБ'ЄМНОЇ ПЕРЕДАЧІ В СКЛАДІ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРА

**Шевцов В. М.**  
асистент кафедри  
автомобіле- і тракторобудування  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
м. Харків, Україна

В роботі ставиться задача аналізу зміни температур робочої рідини гідрооб'ємної передачі в складі гідрооб'ємно механічної трансмісії при різних режимах роботи. Для досягнення найефективнішого використання ГОМТ слід враховувати фактори, що впливають на її основні техніко – економічні показники. Одним з таких факторів є температура робочої рідини систем, що входять до складу трансмісії та систем керування самохідних машин. Зміна температури суттєво впливає на силові, кінематичні та енергетичні параметри ГОМТ (збільшення тиску за рахунок теплового розширення робочої рідини, збільшення втрат на витоки) [1].

Існує підхід до визначення основних силових та кінематичних характеристик гідрооб'ємно – механічних трансмісій. Цей підхід включає в себе декілька етапів. На першому виконується складання послідовності кінематичних рівнянь кожної ланки в складі трансмісії. До зазначеної послідовності додаються рівняння силових характеристик кожної ланки з урахування коефіцієнта корисної дії. Слід зазначити, що в якості параметрів джерела крутного моменту та кутової швидкості можуть бути задані як постійні величини так і змодельовані з конкретного джерела змінні по часу значення (в залежності від поставленої мети). Теж саме стосується і навантаження на виході з трансмісії, яке може імітувати як виконання конкретних технологічних операцій, так і сталий рух з постійними коефіцієнтами опору руху. Для визначення температурних параметрів гідрооб'ємної передачі використовуються рівняння кінематичних та силових характеристик гідромашин з урахуванням визначення об'ємних та механічних втрат (формула 1) [2].

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M_1 |w_1| + \Delta p \Delta Q_1 = C \rho (t_n - t_{vs}) (q |w_1 e| - \Delta Q_1) \\ \Delta M_2 |w_2| + \Delta p \Delta Q_2 = C \rho (t_m - t_n) (q |w_2 e| - \Delta Q_2) \\ (\lambda q |\omega_1| - \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - Q_{ном}) t_{KL} + \Delta Q_1 t_H + (\Delta Q_2 + \Delta Q_{ном}) t_M - \lambda q |\omega_1| t_K = \dots \\ \qquad \qquad \qquad = -(\Delta Q_1 + \Delta Q_2) \frac{|\Delta p|}{(C \rho)} \\ e q |w_1| t_{vs} - (q |w_2| - Q_{ном}) t_m - \lambda q |w_1| t_p + (\lambda q |w_1| - \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - Q_{ном}) t_{kl} = 0 \\ \lambda q |\omega_1| C \rho (t_K - t_\theta) = \Delta M_1 |\omega_1| + \Delta M_2 |\omega_2| + |\Delta p| \Delta Q_1 + |\Delta p| \Delta Q_2 = \sum \Delta N \end{array} \right. \quad 1)$$



де  $t$  – температура робочої рідини на різних ланках гідрооб’ємної передачі, °С;

$\Delta Q$  – об’ємні втрати на гідромашині, м<sup>3</sup>/сек;

$\Delta M$  – механічні втрати в гідромашині, Нм;

$\Delta p$  – перепад тиску в гідрооб’ємній передачі, МПа;

$\Delta N$  – сумарні втрати потужності гідрооб’ємної передачі, Вт;

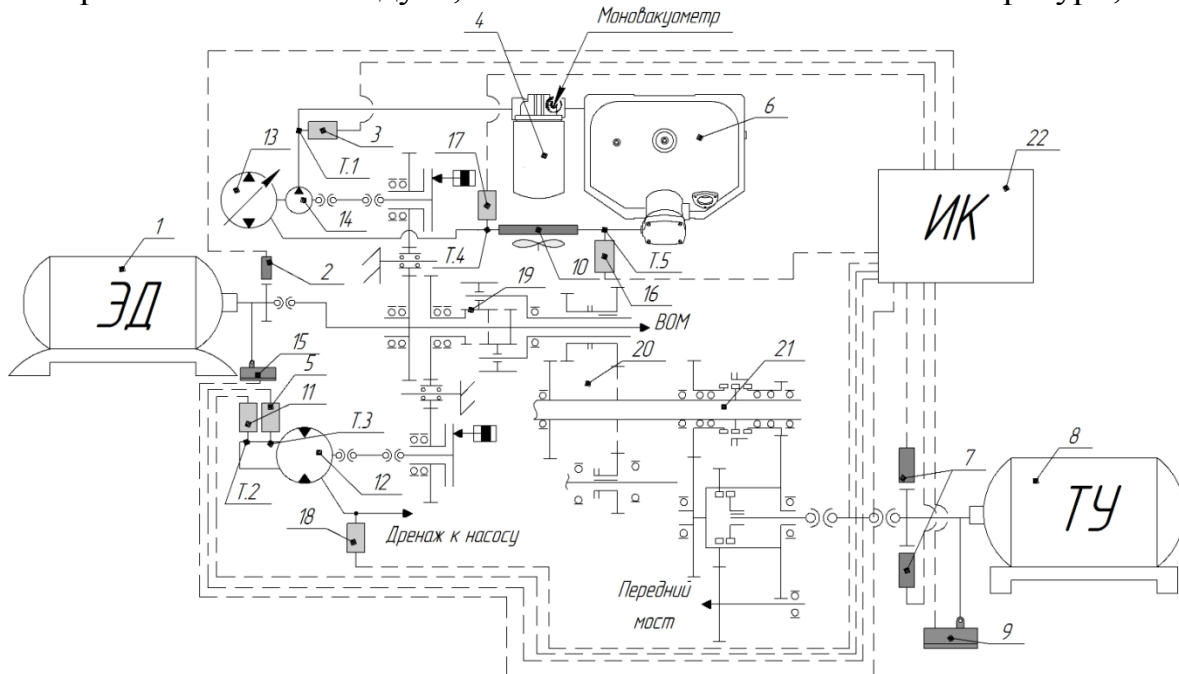
$\omega$  – кутова швидкість валу гідромашини, сек<sup>-1</sup>;

$C$  – теплоємність робочої рідини, Дж/кг·К;

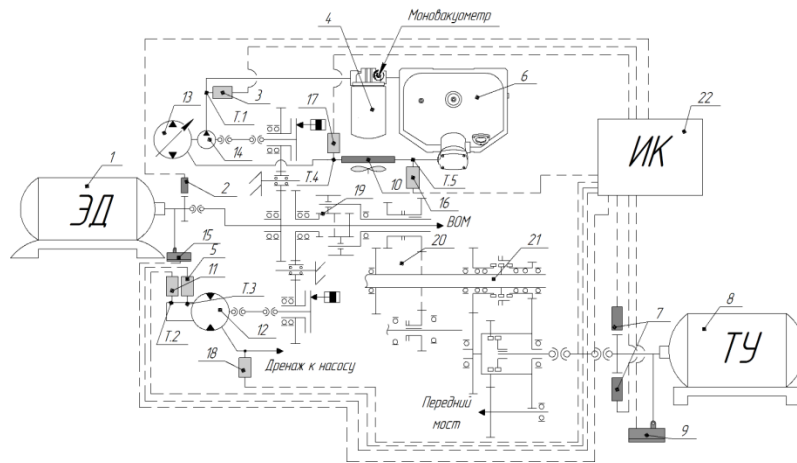
$\rho$  – густина робочої рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$e$  – параметр регулювання гідронасосом.

Для підтвердження адекватності представлених рівнянь проводиться експериментальне дослідження за допомогою стенду з фіксуючою апаратурою [2-4]. Для проведення експериментальних стендових досліджень та реєстрації отриманих даних розроблено вимірювальний комплекс, який складається з вимірювального модуля, системи живлення апаратури, трьох



датчиків надлишкового тиску, двох датчиків крутних моментів та трьох датчиків кутової швидкості.



**Рис. 1.1. Схема стенду двопотокової гідрооб'ємно-механічної передачі:**  
 1 – електродвигун; 2,7 – перетворювач обертів ПО-М12; 3 – перетворювач тиску магістралі підживлення; 4 – всмоктувальний фільтр тонкого очищення; 5, 11 – перетворювач тиску основних силових магістралей; 6 – бак; 8 – гальмівний пристрій; 9,15 – датчики крутного моменту; 10 – теплообмінник з вентилятором; 12 – аксіально-поршневий гідромотор; 13 – керований аксіально-поршневий гідронасос; 14 – насос підживлення героторного типу; 16,17,18 – перетворювачі температури; 19 – вхідний редуктор; 20 – коробка передач; 21 – роздавальна коробка; 22 – вимірювальний комплекс

Аналізуючи отримані результати експериментальних та теоретичних досліджень визначено, що найбільша похибка не перевищує максимального гостованого значення похибки, що робить можливим використання означеної математичної моделі, для аналізу теплових режимів роботи гідрооб'ємної передачі в складі гідрооб'ємно-механічної трансмісії трактора [5]. Користуючись цією моделлю можна вирішувати як пряму задачу по визначенню температури робочої рідини на будь якій ланці системи, так і зворотню – по визначенню впливу температури на кінематичні та силові параметри, пов'язавши її через вирази для визначення об'ємних та механічних втрат [6-7].

### Література:

1. Кондаков С.В. Температурный режим работы гидрообъемной передачи в составе механизма поворота быстроходной гусеничной машины при маневрировании. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. Выпуск № 14 (54) / 2005.
2. Самородов В.Б., Коняшкин В.А. Матричная температурная модель гидравлической системы гидрообъемно-механической трансмиссии транспортной гусеничной машины Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сборник научных трудов ХГПУ. Вып. 6. В четырех частях. Ч. 2. Харьков: ХГПУ, 1998.
3. Samorodov VB. Experimental appropriateness verification of K. Gorodetsky's mathematical model for losses determination in hydrostatic transmissions for

modern hydrolic machines / V. Samorodov, S. Shuba, O. Derkach, V. Shevtzov, N. Mittsel. Eastern European Scientific Journal. 2014. № 6. P. 285-291.

4. Bondarenko A.I., Mittsel M.O., Kogushko A.P. Laboratory Stand for Research of the Workflow in Hydrostatic Mechanical Transmissions. European Science and Technology: 9th International Scientific Conference. Munich 2014. P. 23-26.

5. Самородов В.Б., Шевцов В. М. Результати експериментального дослідження гідрооб'ємної передачі. Вісник НТУ ХПІ 2017. № 5 (1227). С. 41-46.

6. Самородов В.Б., Шевцов В. М. К определению температурных режимов работы гидрообъемной передачи в составе безступенчатой гидрообъемно – механической трансмиссии колесного трактора. WSPÓŁPRACA EUROPEJSKA NR EUROPEAN COOPERATION, 2016. № 6(13). С. 58-67.

7. Самородов В.Б., Шевцов В.М. Розвиток трансмісійного матричного аналізу введенням температурних матриць в системах гідроприводів гідрооб'ємно – механічних трансмісій. Вісник НТУ ХПІ. 2017. № 14 (1236). С. 85-92.

## SECTION 3. CONSTRUCTION

### РОЗРАХУНОК АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ЗА КРИТЕРІЄМ МІЦНОСТІ НА ЗСУВ

**Арсеньєва Н. О.**  
кандидат технічних наук,  
асистент кафедри проектування доріг,  
геодезії і землеустрою

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
м. Харків, Україна*

Зріст інтенсивності та зміна складу руху на автомобільних дорогах України привели до істотного зростання навантажень на конструкцію дорожнього одягу. Таким чином, експлуатація асфальтобетонного покриття в теплу пору року, при температурах  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  та вище приводить до накопичування пластичних деформацій у вигляді колії, напливів, випирання, тобто деформації зсуву [1]. Забезпечення зсувостійкості асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів в основному виконується за рахунок використання експериментально підібраних асфальтобетонних сумішей, які менше здатні до колієутворення під навантаженням.

Існуючі методи розрахунку монолітних шарів нежорстких дорожніх одягів базуються на теоріях міцності, які враховують крихкий стан матеріалу і руйнування відривом, що характерне для роботи асфальтобетону при низьких температурах. Такий підхід закріплений нормативними документами. Але він не відтворює реальні умови механізмів руйнування асфальтобетонних покриттів, так як в них при високих температурах проявляються пластичні властивості, а для пластичних матеріалів характерно руйнування не відривом, а зрізом (зсувом). У США та Європі існують методи, в яких оцінюють стан дорожніх одягів наявністю деформацій та руйнувань (глибиною колії, кількістю втомних і низькотемпературних тріщин), але вони не враховують напружено-деформований стан і прив'язані до конкретних ділянок доріг. Сучасні комп'ютерні програми розрахунку дорожніх одягів аналізують напружено-деформований стан дорожніх одягів та описують реакцію дорожнього одягу на дію навантаження, їх використовують в окремих розрахунках як частину традиційних розрахунків дорожніх одягів. Водночас існують методики прогнозування колієутворення та випробувань шарів з асфальтобетону на стійкість до колієутворення.

До теперішнього часу, навіть не зважаючи на беззаперечні факти, що на асфальтобетонних покриттях інтенсивно накопичуються пластичні деформації,

недостатньо проведено системних досліджень і теоретичних обґрунтувань методу розрахунку асфальтобетонних шарів за критеріями міцності на зсув.

Аналіз теорій міцності, на яких базуються розрахунки асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів, а також низка нових теорій, які враховують кінетичну теорію руйнування, дають можливість обґрунтувати застосування таких критеріїв (теорій) міцності, які б максимально враховували особливості поведінки під навантаженням шарів з асфальтобетону як композитного, термопластичного і структурно-неоднорідного матеріалу. З урахуванням особливостей поведінки під навантаженням шарів з асфальтобетону найбільш придатним для розрахунків на зсувостійкість, є критерій Писаренка-Лебедева (другий) [2]. Критерій міцності базується на енергетичній теорії міцності і враховує: різний опір асфальтобетону стиску і розтягу, направленість девіатора напружень і структурну неоднорідність матеріалу. Характеризує деформування структурно-неоднорідних матеріалів від крихкого до пластичного руйнування. Критерій міцності дозволяє визначити міцність асфальтобетонних шарів покриття нежорстких дорожніх одягів на зсув і запропонувати заходи щодо покращення їх конструкції.

Міцність асфальтобетонних шарів на зсувостійкість за критерієм Писаренка-Лебедева (другий) визначається [2]:

$$\chi\sigma_m + (1 - \chi)\sigma_1 \cdot A^{\left(1 - \frac{3\sigma_{сер}}{\sigma_m}\right)} \leq |\sigma_+|$$

$$\text{де } \chi = \frac{R_{роз}}{R_{ст}};$$

$R_{роз}$  – міцність асфальтобетону на розтяг, МПа;

$R_{ст}$  – міцність асфальтобетону на стиск, МПа;

$\sigma_m$  – еквівалентні напруження за енергетичною теорією міцності, МПа;

$|\sigma_+|$  – граничні напруження на розтяг, МПа;

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження, МПа;

$$A = \frac{\sigma_{роз} - \sqrt{3}\chi\tau_k}{(1 - \chi)\tau_k}$$

де  $\tau_k$  – міцність асфальтобетону на кручення, МПа;

$$\sigma_{сер} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}.$$

Критерій Писаренка-Лебедева (другий) складається з двох різних за походженням груп параметрів. Перша група параметрів характеризує напружено-деформований стан прийнятої конструкції і носить чисто розрахунковий характер. При вирішенні цієї задачі визначають головні

напруження ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) на найбільш небезпечних перетинах конструкції пакету асфальтобетонних шарів; еквівалентне напруження за IV (енергетичною) теорією міцності і середнє арифметичне головних напружень. Для вирішення подібних задач використовується рішення лінійної або нелінійної теорії пружності. В якості математичного апарату найбільш придатним є метод кінцевих елементів. Для практичної реалізації розрахунків напружено-деформованого стану за теорією пружності необхідно реальну конструкцію дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям привести до певної розрахункової схеми. Багатошарову конструкцію дорожнього одягу доцільно привести до розрахункової схеми, де верхні два-три шари є асфальтобетонними шарами покриття, а всі нижче розташовані шари замінити на еквівалентний напівпростір. Для такого приведення необхідно задати конструкцію дорожнього одягу з конкретними товщинами і модулями шарів. Крім того, значний вплив на напружено-деформований стан конструкції мають параметри розрахункового навантаження, які необхідно визначити для фактичних умов руху транспортного потоку.

Для аналізу напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетонів необхідна більш детальна інформація. Вона відноситься до визначення модулів пружності і коефіцієнта Пуассона асфальтобетонних шарів при розрахунково-експлуатаційних температурах.

Друга група параметрів у критерії Писаренка-Лебедева (другий) стосується фізико-механічних характеристик асфальтобетону шарів покриття. Згідно структури прийнятого критерію міцності необхідно мати показники міцності асфальтобетону за трьома різними методами випробувань: міцність на одновісний стиск і розтяг і міцність на кручення. Третім випробуванням, крім кручення, може бути випробування на чистий зріз. Характеристики міцності асфальтобетону шарів покриття не залишаються постійними на весь період експлуатації, а залежать від розрахункової температури і інтенсивності навантаження, що також необхідно враховувати.

Безпосередніми вихідними даними будуть: категорія дороги, конструкція дорожнього одягу, матеріали шарів; район проектування, кліматичні умови району: мінімальна і максимальна температури повітря, номер дорожнього району за умовами роботи асфальтобетону; характеристика транспортного потоку: інтенсивність, склад, умови руху на характерних ділянках дороги. На підставі безпосередніх вихідних даних визначається розрахунково-експериментальні параметри: температура шарів покриття, вид і характер розрахункового навантаження; розрахункові характеристики пружності і міцності матеріалу шарів.

Після розрахунку асфальтобетонних шарів за критерієм міцності, перевіряється умова міцності. Якщо умова міцності ( $\sigma_{e_{II-L}} \leq |\sigma_+|$ ) не виконується необхідно переглянути конструкцію дорожнього одягу.

### **Література:**

1. Бонченко Г. А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. – М.: Машиностроение, 1994. – 176 с.
2. Писаренко Г. С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – К.: Наукова думка, 1976. – 415 с.

## **СООРУЖЕНИЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ШНЕКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Борисов А. А.**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры  
технологии строительного производства

**Кирилюк С. В.**

кандидат технических наук, заведующий лабораторией  
кафедры технологии строительного производства

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
г. Одесса, Украина*

Эффективным способом защиты зданий и сооружений от подземных вод является сооружение противofильтрационных экранов. Вертикальные экраны плотно сопрягаются с водоупором и полностью перекрывают область фильтрации [1]. Часто водоупор находится на недостижимой глубине и сооружение вертикального противofильтрационного экрана является не целесообразным.

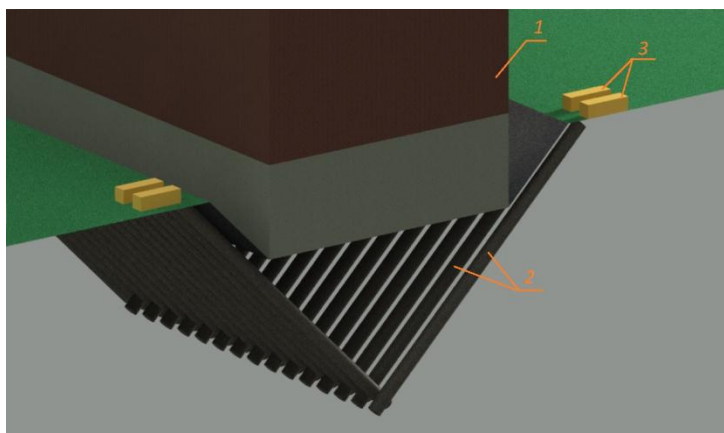
Для таких случаев разработана технология сооружения противofильтрационного экрана под существующим зданием или сооружением, которые подвержены подтоплению, с использованием шнекового оборудования.

Шнековое оборудование обычно используется для устройства вертикальных скважин [2] и шнек направлен вдоль разрабатываемой скважины. В разработанной технологии шнек расположен перпендикулярно направляющим скважинам и используется для разработки, транспортировки и смешивания грунта с твердеющими растворами.

Бурение технологических скважин производится под наклоном, вдоль существующего здания или сооружения (рис. 1). Требуемый наклон скважин проектируется с учетом глубины заложения фундамента и ширины участка, возможной для отведения под защитные строительные работы.

Длина технологических скважин определяется с учетом пересечения двух противоположных плоскостей в нижнем уровне противofильтрационного

экрана и их взаимного сопряжения. Шаг скважин зависит от геологических условий и составляет около 2 м. Расположение скважин двух наклонных плоскостей целесообразно выполнять в шахматном порядке для обеспечения их сопряжения при пересечении.



**Рис. 1. Бурение наклонных скважин:**

1 – существующее здание; 2 – наклонные скважины;  
3 – буровая установка

С торцов существующего строения противofильтрационный экран устраивается с помощью вертикальных экранов, которые сопряжены с наклонными плоскостями, описанными выше. Вертикальные экраны завершают создание сплошного противofильтрационного экрана в виде треугольной призмы.

Противofильтрационные экраны образуются за счет пересекающихся панелей, получаемых в результате перемешивания грунта основания с твердеющими растворами (бентонит, цемент, жидкое стекло и т. п.). При прямой проходке разработанный грунт транспортируется двунаправленным шнеком от центра к направляющим скважинам и насосами откачивается на поверхность. В результате проходки формируется плоская прорезь между направляющими скважинами. После подается твердеющий раствор, которым при обратной проходке заполняется сформированная плоская прорезь, посредством вращения двунаправленного шнека в противоположную сторону. После затвердевания указанного раствора образуется плоская (панельная) конструкция средней толщиной порядка 20 см. Из таких плоских панельных конструкций (секций) состоит противofильтрационный экран.

Преимущества разработанной технологии:

- исключение необходимости предварительной отрывки котлованов, строительного водопонижения, обязательного вывода сооружаемых конструкций на поверхность земли, поддержания устойчивости стенок выработки, предварительного усиления фундаментов соседних зданий и сооружений;

- отсутствие ударных нагрузок, сильных шумовых эффектов, существенных осадок фундаментов и подъемов поверхности грунта;



– можливість виконання будівельних робіт: в невідпосредственої близькості від будівель і споруд, під фундаментами будівель і споруд, в слабких і водонасичених ґрунтах, в стеснених умовах, на глибинах до 30 м;

– при спорудженні протифільтраційних екранів забезпечувати надійну стиківку сусідніх секцій – завдяки пересіченню їх в шаховій формі.

Розроблена технологія дозволить спорудити споряджений протифільтраційний екран під існуючими будівлями або спорудами, для їх захисту від підтоплення, в ґрунтах з недосягаємим водоупором.

### **Література:**

1. Зарубіна Л.П., Захист територій і будівельних площадок від підтоплення ґрунтовими водами. М.: Інфра-Інженерія, 2017. 212 с.

2. Бадьїн Г.М., Сычев С.А., Сусременні технології будівництва і реконструкції будівель. СПб: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.

## **ГІС-ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА ТА ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ**

**Нестеренко С. Г.**

**кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри  
земельного адміністрування  
та геоінформаційних систем**

**Вяткін К. І.**

**кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри  
міського будівництва**

**В'яткін Р. С.**

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова  
м. Харків, Україна*

ГІС являють собою один з найбільш перспективних видів інформаційних систем. З їх появою з'явилася можливість створення кардинально нової містобудівної документації. Більш того, докорінно змінився сам підхід до проектування. При цьому, ГІС-технології можуть бути ефективно застосовані для всього ряду містобудівної проектної документації: від схем розселення до проектів забудови.

Сам процес створення і структурна побудова містобудівної, проектної документації очевидно свідчить про ефективність використання ГІС-технологій:

– вихідні дані безлічі організацій, в тому числі графічні документи, зазвичай представляються на різних картографічних основах і часто у вигляді схем, тоді як ГІС-технології дозволяють їх уніфікувати.

– бази даних та картографічні матеріали створюються в цифровому вигляді за окремими напрямками, що представляють, по суті, тематичні, картографічні та семантичні бази геоінформаційної системи.

– проводиться загальний аналіз зазначеної вище інформації і створюється складна схема аналізу території, де весь потужний арсенал ГІС-технологій може бути успішно застосований.

– за результатами аналізу розробляються проектні пропозиції щодо містобудівного розвитку території (генеральний план) і галузеві інженерні проектні схеми, що деталізують і підкріплюють проектні пропозиції, де також ефективно використовують ГІС-технології.

Результатом такої роботи стає створення повноцінної містобудівної геоінформаційної системи, яка цілком може розглядатися як ядро територіальної ГІС, оскільки містобудівна документація містить в собі саме комплексне осмислення території. Створення такого роду даних для містобудівної ГІС не можливо без початкових даних таких, як територіальні карти великих масштабів, космічні знімки і т. д.

ГІС у містобудуванні дозволяє вирішувати безліч завдань: картографічні шари можна оновлювати, створювати нові тематичні шари; семантичні бази даних також можна оновлювати і, крім того, розширювати, тобто вводити нові характеристики. Таким чином, це реальне втілення ідеї моніторингу, підтримка баз даних в актуальному стані.

ГІС дають можливість поєднання цифрових картографічних шарів у будь-якому вигляді. Цю можливість важко переоцінити, так як вона дозволяє, по суті, створювати унікальні картографічні документи для кінцевого користувача, під конкретні завдання. ГІС-технології дозволяють в автоматичному режимі виконувати завдання з вибором територій, що відповідають заданим критеріям. При цьому, ГІС складається із значної кількості тематичних картографічних шарів з більш або менш широкою семантичною базою даних. Наприклад, архітектурно-планувальна організація території – містить наступні теми:

- опорний план (план існуючого міста);
- зони охорони і власне пам'ятки історії і культури;
- структуру землекористування;
- концепцію планувальної моделі міста;
- планувальні заходи по основним функціональним зонам міста;
- проектний план і проектне зонування.

Для створення такої ГІС потрібні значні інтелектуальні та фізичні затрати. Але для її подальшої експлуатації та підтримання в актуальному стані просто необхідна чітка організація процесу робіт та мінімальна підготовка фахівців. Сучасні ГІС-програми, зокрема використовувані продукти ESRI, орієнтовані на

кінцевого користувача – фахівця у своїй галузі, а не програміста. Вони зручні, прості в експлуатації, не вимагають тривалої спеціальної підготовки.

Стосовно до проектно-містобудівної документації це означає можливість прийняття науково обґрунтованих, чітких проектних пропозицій, що спираються на комплексний комп'ютерний аналіз сучасного стану та використання території міста, вулично-дорожньої мережі, інженерних систем і т. д. Особливо ефективні ГІС-технології при створенні, наприклад, схеми планувальних обмежень, коли на одну схему необхідно нанести відомості з різних галузей знань, що впливають на планувальні рішення генерального плану. Це інженерно-будівельні обмеження, та санітарно-захисні зони підприємств, водоохоронні зони водойм і водотоків, зони санітарної охорони водозаборів, зони від магістральних трубопроводів, ЛЕП та інших інженерних об'єктів, охоронювані природні території і т. п.

Але головним, мабуть, є те, що таким чином створюється єдиний міський інформаційний простір. При цьому, кожна з міських служб може не тільки використовувати у своїй роботі створені тематичні шари ГІС за своїм напрямком, але і розширювати і доповнювати бази даних. Тобто, на основі ГІС Генеральний план фактично створює свої галузеві ГІС. Як наслідок, служби можуть обмінюватися по мережі оновленими даними між собою і, тим самим, завжди мати свіжу інформацію не тільки по своєму, але і по суміжних напрямках, що виключно важливо для такого складного механізму, як територіальне управління.

Отримання об'єктивної картини стану території шляхом простого опитування керівництва окремих галузей отримати неможливо. На підставі комплексного містобудівного аналізу, в тому числі із застосуванням всіх можливостей ГІС-технологій, можлива розробка Концепції територіального розвитку. Саме вона дасть відповіді на такі питання: які галузі господарства і де територіально треба розвивати; які заходи необхідно проводити для оптимізації екологічної обстановки; які проекти і де територіально слід пропонувати для внутрішніх і зовнішніх інвесторів; які заходи є першочерговими і т. д.

Більш того, на основі схем районних планувань необхідно розробляти закон, який гарантував би як виконання проектних пропозицій схеми, так і право громадян на гідне середовище проживання.

### **Література:**

1. Larsson G. Land registration and Cadastral Systems: tools for land information and management. Essex: Longman Scientific and Technical, 1991. С. 387.

2. Палеха Ю., Нечаєва Т., Смілка В. Містобудівний кадастр – інформаційна основа оновлення містобудівної документації у місті Києві. Досвід та перспективи розвитку міст України. 2012. Вип. 23. С. 39-50. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu\\_2012.23.6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu_2012.23.6).

3. Мамонов К. А., Нестеренко С. Г., Вяткін К. І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. Науковий

## **К ВОПРОСУ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ МЕТОДОМ НАДСТРОЙКИ**

**Дмитриева Н. В.**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры технологии  
строительного производства  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
*г. Одесса, Украина*

**Бостан Н. С.**  
старший преподаватель кафедры  
промышленного и гражданского строительства

**Агафонова И. П.**  
преподаватель кафедры промышленного  
и гражданского строительства

**Агафонов С. В.**  
магистр кафедры промышленного  
и гражданского строительства  
*Бендерский политехнический филиал*  
*Приднестровского государственного университета*  
*имени Т. Г. Шевченко*  
*г. Бендеры, Республика Молдова*

Большая часть старого фонда городов Украины и Молдовы состоят из 5-ти этажных жилых зданий, которым уже с полвека. Многие города решают вопрос своеобразно – сносят и строят на их месте новые, но это с экономической точки зрения не целесообразно. Помимо этого наблюдается социальный аспект из-за неоправданно высокой стоимости жилья, отсутствия гибких программ кредитования, вследствие которых происходит эмиграция молодежи из наших стран.

Одним из вариантов решения этой проблемы является надстройка мансардных этажей. На опыте таких стран как Германия, Россия и Белоруссия можно судить о преимуществах таких экспериментальных домов.

Во-первых, внеочередной капитальный ремонт, ведь речь идет не просто о строительстве мансарды, а о комплексной реконструкции здания, включающей в себя замену инженерных сетей, термомодернизацию, замену оконных систем

и остекление лоджий и балконов и др. По расчетам проектных организаций, это приводит к снижению коммунальных платежей до 15% [1]. Во-вторых, нужно отметить и то, что территория Украины и Молдовы относится к климатической зоне с сухим и жарким климатом, что дает нам право выделить еще ряд преимуществ мансардных надстроек: привлекательный архитектурный вид зданий за счет выразительности крыш и дормеров, которые вписываются в общий антураж города и хорошо гармонируют с малоэтажной застройкой и историческими комплексами; возможность создания оригинального архитектурно-планировочного интерьера внутри мансарды и др.

Как пример, можно привести г. Бендеры (Молдова), где применен опыт надстройки мансардных этажей в результате реконструкции зданий, которые пострадали в результате вооруженного конфликта. В данном случае, перед реконструкцией не стоял вопрос переселения жильцов, так, как эти здания долгие годы пустовали по причине непригодности для жилья. Это повлияло на принятие смелых архитектурно-планировочных и конструктивных решений.

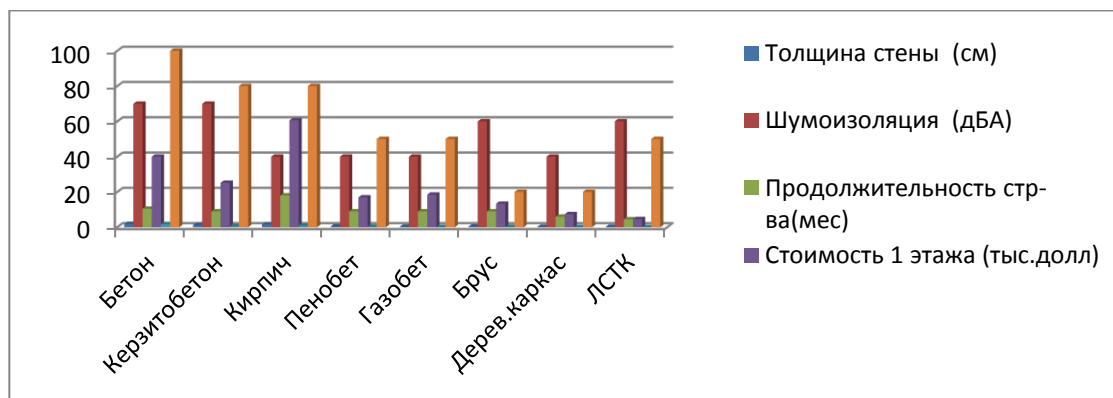
Однако вопросу обоснования конструктивно-технологического решения мансардного строительства в городах Украины и Молдовы с точки зрения энергосбережения не уделено должного внимания.

Проанализировав рынок строительных технологий, которые наиболее востребованы на территории Украины и Молдовы для строительства каркасных и бескаркасных конструкций, было отдано предпочтение бетону и керамзитобетону, пенобетону и газобетону, силикатному кирпичу, брусу, деревянному каркасу и легким стальным термопрофильным конструкциям (ЛСТК).

Для выбора наиболее энергоэффективного конструктивно-технологического решения была использована методика многокритериального анализа [2], на основе которого определены качественные и количественные критерии, Все критерии были сведены к единой бальной системе, по которой были определены весомые критерии.

Вес расчеты производились для надстройки мансарды размерами 13,6м x 34,0 высотой 3,0м на основании информации источника [3].

На основе многокритериального анализа по весомым критериям построена диаграмма (рис. 1), на основании которой определяем конструктивные решения по наиболее оптимальным показателям.



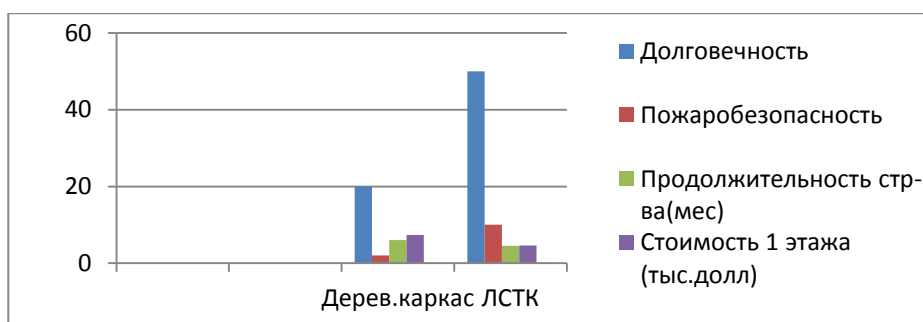
**Рис. 1. Сравнение конструктивных решений по основным показателям**

Анализируя данные диаграммы на рис. 1, можно выделить следующее. Конструктивные решения с применением таких материалов, как бетон и силикатный кирпич не следует использовать из-за наибольшего коэффициента теплопроводности, продолжительности и стоимости по сравнению с брусом или ЛСТК; наибольшая стоимость и продолжительность выполнения работ – более чем в 2 раза выше, чем ЛСТК.

Брус и керамзитобетон исключаем из рассмотрения так, как брус обладает наименьшей пожаробезопасностью и долговечностью, а керамзитобетон имеет большие показатели теплопроводности по сравнению с ЛСТК или деревянным каркасом.

Пенобетон и газобетон имеют неплохой коэффициент теплопроводности, но их продолжительность и стоимость строительства больше чем у деревянного каркаса или ЛСТК.

Делаем вывод, что они не соответствуют всем требуемым показателям. Оставшиеся решения: деревянный каркас и ЛСТК проанализируем по критериям, позволяющие численно отобразить наиболее существенные показатели: сопротивление теплотери, долговечность, сроки и стоимость работ по выбору материала для надстройки мансард (рис. 2).



**Рис. 2. Сравнение конструктивных решений из деревянного каркаса и ЛСТК**

Как видно из диаграммы (рис. 2) решение из деревянного каркаса уступает решению из ЛСТК по долговечности (меньше на 30 лет), пожаробезопасности и стоимости, которая превышает в 1,6 раз стоимость возведения каркаса из ЛСТК.

Кроме этого хотелось бы отметить еще ряд критериев, которые играют не маловажную роль при выборе конструктивного решения. Применение термопрофиля ЛСТК оправдано малым весом металлоконструкций и их хорошей несущей способностью, легкой обработкой, минимальными значениями нагрузок на фундамент, что особо важно при реконструкции зданий, а так же технологичностью и отсутствием потребности в грузоподъемной технике.

Выводы. В исследовании были выделены основные факторы, влияющие на выбор архитектурных и конструктивно-технологических решений реконструкции методом мансардной надстройки, с учетом энергоэффективности.

В целом, можно сделать вывод, что по большую часть исследованных критериев выбора конструктивно-технологических решений и наилучшие показатели показывает решение из ЛСТК.

#### **Литература:**

1. Хрущевки: реконструкция без отселения. URL: [https://zn.ua/ECONOMICS/hrushevki\\_rekonstruktsiya\\_bez\\_otseleniya.html](https://zn.ua/ECONOMICS/hrushevki_rekonstruktsiya_bez_otseleniya.html).
2. Дмитриева Н.В., Гострик А.М, Иванова Т.І. О многокритериальном анализе технологических решений гидроизоляции известняка-ракушечника. Научный журнал «Молодой ученый». № 7 (47) липень, частина 1. «Видавничий дім «Гельветика». м. Херсон, 2017. С. 20-25.
3. Стальной каркас ЛСТК. URL: <http://www.sconstruct.ru/company/feasibility-study-of-low-rise-lstk/>.

### **АНАЛІЗ ЗСУВОСТІЙКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

**Дорожко Є. В.**  
**кандидат технічних наук,**  
**доцент кафедри проектування доріг,**  
**геодезії і землеустрою**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
м. Харків, Україна*

Проектування дорожнього одягу значною мірою залежить від природно-кліматичних умов, які необхідно враховувати як в процесі конструювання, так і на стадії розрахунку дорожнього одягу та робочого шару земляного полотна. Кліматичні умови суттєво впливають на умови експлуатації дорожньої конструкції.

На теперішній час при проектуванні нежорсткого дорожнього одягу в Україні використовують районування території, за природно-кліматичними факторами. Недостатнє врахування природно-кліматичних факторів при проектуванні нежорстких дорожніх одягів призведе до невідповідності проектних значень деформативних і міцнісних характеристик матеріалів шарів покриття та основи фактичним умовам роботи конструкції, та як наслідок до передчасних руйнувань і додаткових витрат на ремонтні роботи. Тому доцільно виконати аналіз впливу зміни температурного режиму роботи конструкції дорожнього одягу на зсувостійкість земляного полотна.

Згідно з чинним в Україні порядком розрахунку за умовою зсувостійкості земляного полотна [1; 2] розрахункові параметри матеріалів (значення модулів пружності матеріалів) визначають в залежності від температури лише для

матеріалів, що містять органічне в'язуче. Розрахункова температура при цьому змінюється від 20 °С для умов дорожньо-кліматичного району У-І до 35 °С для умов південної частини дорожньо-кліматичного району У-IV [1; 2]. Тому при моделюванні напружено-деформованого стану з метою аналізу впливу зміни температурного режиму на напружено-деформований стан та зсувостійкість земляного полотна змінюється розрахункова температура та відповідно модуль пружності і коефіцієнт Пуассона лише асфальтобетонних шарів.

Виходячи з сучасних уявлень про вплив структури і текстури на напружено-деформований стан твердого тіла, при дослідженні асфальтобетонних шарів матеріал приймається як квазіоднорідне, квазіізотропне тіло [3; 4]. При цьому ідеалізація реального середовища відносно її однорідності, суцільності ізотропії не призводить до принципових помилок у розрахунках за загальними рішеннями теорії пружності [3-5].

За математичний апарат для моделювання напружено-деформованого стану ґрунту земляного полотна був вибраний метод скінченних елементів. Розрахункова модель є чотиришаровою, що складається з трьох шарів дорожнього одягу і одного шару – основи (що імітує ґрунт земляного полотна).

Параметри розрахункової моделі вибрані наступним чином – кожен шар з характеризується товщиною, модулем пружності і коефіцієнтом Пуассона. Основа характеризується загальним (еквівалентним) модулем пружності і коефіцієнтом Пуассона.

Виконано моделювання для удосконаленого полегшеного типу дорожнього одягу (група розрахункового навантаження  $A_3$ , нормативне статичне навантаження на вісь 100 кН, нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля 50 кН, тиск повітря в шині 0,6 МПа, діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля 0,371 м) згідно з [6] та умов Північно-східного регіону згідно з [7].

В якості нижнього шару моделі приймаємо ґрунт (суглинок) з наступними характеристиками:  $W_p=0,72$ ,  $W_T$ ,  $\sum N_p = 400000$ ,  $E_n=50$  МПа,  $\varphi=19^\circ$  та  $C=0,013$ . Наступні шари моделі з низу до гори:

- ЩПС С-7 оброблена цементом М-40 товщиною 25 см;
- АБ.АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І БМП 60/90-52 товщиною 7,5 см;
- ЩМА-20 БМП 60\90-52 товщиною 5 см.

Модуль пружності шару з ЩПС С-7 обробленого цементом М-40 при моделюванні приймається 700 МПа, згідно з [7]. Модулі пружності асфальтобетонних шарів варіюються в залежності від температури в межах від 25 °С до 30 °С, і визначаються згідно з [7]. В результаті моделювання напружено-деформованого стану ґрунту земляного полотна визначено головні напруження та напруження по Мізесу:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_m$ , значення яких зведено в таблиці 1.



**Значення головних напружень в ґрунті земляного полотна,  
визначених в результаті моделювання**

Значення головних напружень, МПа	Назва моделі					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	розрахункова температура асфальтобетонних шарів, °С					
	25 °С	26 °С	27 °С	28 °С	29 °С	30 °С
$\sigma_1$	0,169	0,171	0,172	0,174	0,176	0,178
$\sigma_2$	0,169	0,171	0,172	0,174	0,176	0,178
$\sigma_3$	-0,051	-0,052	-0,052	-0,053	-0,053	-0,054
$\sigma_m$	0,220	0,222	0,224	0,227	0,229	0,232

З аналізу результатів моделювання встановлено, зміна розрахункової температури на кожен 1 °С призводить до зміни напружень в ґрунті земляного полотна приблизно на 1%. Така сама залежність справедлива і для навантаження групи А<sub>2</sub> та В.

На основі результатів моделювання визначено активні напруження зсуву в ґрунті земляного полотна від тимчасового навантаження за формулою [2]:

$$\tau_n = [(\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi] / 2 \cos \varphi, \quad (1)$$

де  $\sigma_1$  – максимальне головне напруження, МПа;

$\sigma_3$  – мінімальне головне напруження, МПа;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя, град.

Результати розрахунку активних напружень зсуву в ґрунті земляного полотна від тимчасового навантаження та коефіцієнту запасу міцності на зсув в ґрунті земляного полотна при різних температурах наведено в таблиці 2.

**Значення напружень зсуву в ґрунті земляного полотна  
та коефіцієнта запасу міцності**

Параметр	Назва моделі					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	розрахункова температура асфальтобетонних шарів, °С					
	25 °С	26 °С	27 °С	28 °С	29 °С	30 °С
Значення напружень зсуву в ґрунті земляного полотна	0,0176	0,0179	0,0179	0,0182	0,0182	0,0186
Значення коефіцієнта запасу міцності $K_{mc}$	1,08	1,06	1,06	1,05	1,05	1,02

Зміна розрахункової температури на кожен 1 °С призводить до зміни активних напружень зсуву в ґрунті та зміни коефіцієнту запасу міцності земляного полотна на зсув на 1%. Результати моделювання свідчать, що необхідно вкрай точно визначати розрахункову температуру, особливо при мінімальному запасі міцності земляного полотна на зсув. В таких умовах районування території країни, за яким визначається розрахункова температура, необхідно розробляти за даними багаторічних спостережень та оновлювати з врахуванням зміни клімату.

**Література:**

1. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. – [Чинний від 2005–01–01]. – К.: Укравтодор, 2004 – 176 с. – (Національний стандарт України).
2. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування: ГБН В.2.3-37641918-559:201X (Проект, остаточна редакція). – К.: Міністерство інфраструктури України, 201X – 67 с. – (Національний стандарт України).
3. Арсеньєва Н.О. Удосконалення методу розрахунку нежорстких дорожніх одягів з урахуванням критерію міцності асфальтобетонних шарів на зсув: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 / Наталія Олександрівна Арсеньєва. – Х., 2014. – 213 с.
4. Дорожко Є.В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 / Дорожко Євген Вікторович. – Х., 2016. – 280 с.
5. Ryapuhin V. Criteria for flexible pavement calculation / V. Ryapuhin, N. Nechyaylo, V. Burlachka // TRANSBALTICA 2011. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Scientific Conference, May 5-6, 2011. – Lithuania, 2011. – P. 252-256.
6. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2015. – [Чинний від 2016–04–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2015. – 109 с. – (Національний стандарт України).
7. Довідник №1. Довідник розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів покриття і основи дорожнього одягу та навантажень від транспортних засобів. – К.: Укравтодор, 2017. – 34 с.

## **ОЦІНКА БАРАЖНИХ ВПЛИВІВ СПОРУД МЕТРОПОЛІТЕНУ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ**

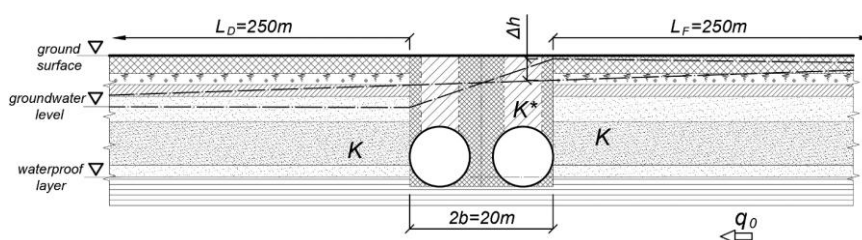
**Єгупов В. Ю.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
професор кафедри геотехніки та підземних споруд

**Купрейчик А. Ю.**  
аспірант кафедри геотехніки та підземних споруд  
*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
м. Харків, Україна*

Баражний ефект або підпір підземних вод виникає через перешкоди підземному фільтраційному потоку різними підземними спорудами. Зазвичай він виражається в підйомі рівня ґрунтових вод (РГВ) перед непроникною (можливо слабопроникною) перешкодою потоку і зниженням рівня за нею. Таке явище аналогічно дії гребель, що підпирають потоки річкових вод.

Баражний ефект спостерігався на ряді об'єктів (тунелів, станцій метрополітену), де відбувалося підвищення РГВ, що в деяких випадках призводило до підтоплення території, розташованих поруч будівель і споруд, деформацій ґрунтових основ та інших несприятливих наслідків [1]. Необхідність оцінки величини підпору через баражний ефект підкреслена в ряді діючих нормативних документів, що містять вимоги щодо врахування зміни гідрогеологічних умов у процесі будівництва та після його закінчення. Прогноз змін гідрогеологічного режиму виконують шляхом аналітичних розрахунків або із застосуванням математичного моделювання фільтраційних процесів чисельними методами.

Розглянемо схему змін в ґрунтовому потоці при баражних впливах. Найбільший підпір потоку ґрунтових вод утворюється безпосередньо перед підземною перешкодою, що перешкоджає фільтраційному потоку. Виникають деякі зони впливу: фронтальна  $L_F$  – зона підпору, зона зниження рівня ґрунтових вод за перешкодою  $L_D$  (рис. 1). Крім того має місце зона бічного латерального впливу  $L_L$ .



**Рис. 1. Схематичний розріз в місці підпору за рахунок баражного ефекту підземної перешкоди (тунелів та допоміжних споруд)**

Величина підпору за рахунок баражного ефекту може бути наближено розрахована в лінеаризованій постановці за I способом (спосіб Ж. В. Бусінеска). Аналітичний метод розрахунку підпору за рахунок підземних споруд був розроблений В. І. Сологаєвим [2; 3], яким обґрунтована апроксимація

прямокутних в плані споруд і будівель, що створюють в процесі нестационарної фільтрації ґрунтових вод баражний ефект, еліптичними формами. Метод був апробований при проектно-вишукувальних роботах для будівництва метрополітену в м. Омськ, Росія.

Баражний ефект від прямокутної в плані одиночної споруди, під якою умовний коефіцієнт фільтрації ґрунту зменшився від вихідної величини  $k$  до  $k^*$ , може бути розрахований за формулою, запропонованою В. І. Сологаєвим, у вигляді зміни РГВ:

$$\begin{aligned} \square h &= \frac{q_0 \cdot \sigma \cdot \gamma \cdot a}{k \cdot h_c (\xi^2 + \gamma^2)}; \\ \sigma &= (1 - \eta) / (1 + \eta); \quad \eta = k_* / k; \quad \xi = (x \pm a) / (a + b); \quad \gamma = (y \pm \beta) / (a + b); \\ \alpha &= \left( \frac{1}{2} \left[ \sqrt{(x^2 - y^2 - a^2 + b^2)^2 + 4x^2 y^2} + x^2 - y^2 - a^2 + b^2 \right] \right)^{0.5}; \\ \beta &= \left( \frac{1}{2} \left[ \sqrt{(x^2 - y^2 - a^2 + b^2)^2 + 4x^2 y^2} - x^2 + y^2 + a^2 - b^2 \right] \right)^{0.5}; \end{aligned} \quad (1)$$

де  $q_0$  – питома витрата природного потоку підземних вод;  $h_c$  – середня потужність потоку ґрунтових вод;  $x, y$  – просторові координати;  $2a, 2b$  – довжина і ширина підземної перепони, м;  $\xi, \gamma$  – відносні координати еліптичного циліндра (при визначенні « $\xi$ » слід брати знак «+», для точок  $x > 0$  і знак «-» для  $x < 0$ ; аналогічно для « $\gamma$ » – знак «+», для точок  $y > 0$  і знак «-» для  $y < 0$ ).

Зона фронтального впливу з похибкою визначення РГВ 10% або 5% може бути визначена відповідно як

$$L_F = L_D = (2,5 \dots 3) a \quad (2)$$

Зона фронтального впливу баражного підпору  $L_F$  відраховується від кромки споруди. Зона бічного впливу з похибкою визначення УПВ 10% або 5% може бути знайдена відповідно:

$$L_L = (1,5 \dots 2) a \quad (3)$$

Ці формули були підтверджені модельними експериментами.

У разі якщо потік підземних вод спрямований під кутом до підземної перешкоді, то вектор потоку  $q_0$  розкладають на дві складові по осях координат, розраховують підпір за формулою для кожної складової та складають за принципом суперпозиції.

В даний час виконаний проект і йде підготовка до будівництва продовження III лінії Харківського метро з двома станціями. Наведемо приклад розрахунку баражних впливів тунелів метрополітену на ділянці, де вони будуть підпирати потік ґрунтових вод при перетині балки Глибокий Яр. У середній частині тунелі проходять по поверхні водоупору, на північ – позначки закладення тунелів підвищуються, а глибина покрівлі водоупора знижується; на південь – тунелі входять в товщу водоупора. Таким чином, максимальний вплив баражного ефекту матиме місце на невеликій середній ділянці, яка використана в якості розрахункової.

Середні ухили поверхні землі і РГВ на даній ділянці  $I_{\text{п}} = I_{\text{РГВ}} = 0,02$ . Середня потужність потоку ґрунтових вод  $h_c = 11,5$  м. Коефіцієнт фільтрації ґрунтової товщі  $k = 0,9$  м / сут.

Потік ґрунтових вод спрямований під деяким кутом до осей тунелів, відповідно  $\varphi = 9^\circ$ . Розрахункові розміри баражних перепон в плані: довжина  $2a = 200$  м, ширина  $2b = 20$  м.

Потік ґрунтових вод, зустрівши непроникну перешкоду (тунелі і допоміжні підземні споруди), утворює зони підвищення (підпору) РГВ на схід від станції і зону зниження РГВ на захід. Розрахунок підпору РГВ за рахунок баражного ефекту тунелів з похибкою результатів 10% відповідає точності вихідних даних інженерно-гідрогеологічних досліджень.

Зона фронтального впливу на потік ґрунтових вод з похибкою визначення РГВ 10% за формулами (2, 3):

$$L_{\text{F}} = 2,5 a = 2,5 \cdot 100 = 250 \text{ м.}$$

Зона бічного впливу на потік ґрунтових вод:

$$L_{\text{L}} = 1,5 a = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ м.}$$

Бетонні стіни тунелів непроникні і, отже, коефіцієнт фільтрації перешкоди  $k^* = 0$ , тому у формулі (1) параметри будуть дорівнювати:

$$\eta = k_* / k = 0;$$

$$\sigma = (1 - \eta) / (1 + \eta) = 1;$$

Максимальне додаткове підвищення (підпір) РГВ  $\Delta h_{\text{max}}$  при  $x = 0$  і  $y = b$  знайдемо за формулою (1), яка спрощується до виду:

$$\square h_{\text{max}} = [q_0 / (k \cdot h_c)] \sigma \cdot a \cdot \cos \varphi = I_r \cdot \sigma \cdot a \cdot \cos \varphi = 0,02 \cdot 1 \cdot 100 \cdot \cos \varphi = 1,98 \text{ м.}$$

Кут напрямку потоку ґрунтових вод до осі розрахункової ділянки тунелів врахований за допомогою косинуса. Оскільки кут невеликий, то конструкції тунелів щодо направлення потоку ґрунтових вод майже не зменшують підпір.

Значення  $\Delta h_{\text{max}}$ , рівне майже двом метрам, показує, що в цьому місці ґрунтові води практично вийдуть на поверхню землі, що може викликати заболочування території. Тому для перехоплення ґрунтових вод і запобігання баражного ефекту нами було рекомендовано влаштувати горизонтальний трубчастий дренаж уздовж східного боку тунелів при перетині балки Глибокий Яр.

### Література:

1. Strizhelchik G.G., Iegupov V.Iu. Problems of subway construction in complex engineering and geological conditions by the example of the city of Kharkiv. Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Issue 2(49). Poltava, 2017. – P. 195-200. ISBN 2409-9074.

2. Сологаев В.И. Фильтрационные расчеты и моделирование защиты от подтопления в городском строительстве / Монография. – Омск, 2002. – 416 с. ISBN 5-93204-080-7.

3. Сологаев В.И., 1992. Прогноз и предотвращение подтопления подземными водами Омского метрополитена и прилегающей территории (1-я линия): Отчет о НИОКР. Омск, СибАДИ, 85 с.

## **КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СЛОЯХ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ СЕЗОННОМ УВЕЛИЧЕНИИ ИХ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОСТИ**

**Заец Ю. А.**

**кандидат технических наук,  
доцент кафедры высшей математики  
Национальный транспортный университет  
г. Киев, Украина**

В общем случае в проблемах разрушения асфальтобетонных дорожных покрытий можно выделить следующие механизмы зарождения и развития трещин [1]:

– образование трещин в нижних зонах асфальтобетонных покрытий на этапе их уплотнения при укладке, вызванное несоблюдением строительных технологий;

– высокие термоупругие напряжения, обусловленные большими градиентами полей температуры и наличием дополнительных конструктивных ограничений (связей), препятствующих свободному температурному деформированию фрагментов дорожного массива;

– замерзание в зимнее время частиц воды в микротрещинах, приводящее к их расклиниванию, расширению и росту;

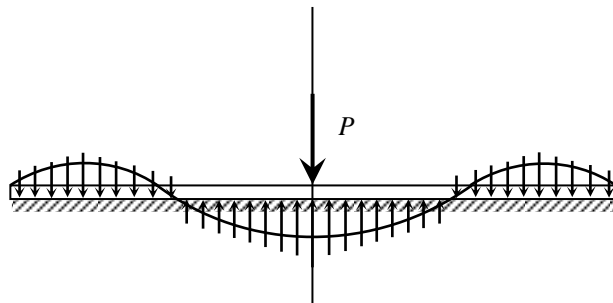
– возникновение в верхних слоях покрытия напряжений растяжения от действия транспортных нагрузок, связанное со свойством асфальтобетонов слабо сопротивляться этим напряжениям;

– возникновение в верхних слоях сдвиговых напряжений, также связанное с их слабой сопротивляемостью и этим напряжениям.

Однако в научно-технической литературе практически не уделяется внимание еще одному механическому аспекту, позволяющему дать более полное объяснение явлению интенсивного разрушения дорог в зимнее время под действием транспортных нагрузок. Для его интерпретации обратимся, на первый взгляд, к парадоксальному эффекту. В 1933 г. И. М. Рабинович [2] сформулировал утверждение, в соответствии с которым, если в статически неопределимой ферме увеличить модуль упругости одного из стержней, то при неизменной внешней нагрузке, продольная сила (и напряжения) в этом стержне увеличится. Таким образом, получается, что при этом остальные, более податливые стержни уступают внешнему воздействию, снимают с себя нагрузки и перераспределяют их на более жесткий стержень. Позже А. В. Перельмутер [3], применяя метод

теории чувствительности, обобщил это утверждение на статически неопределимые упругие системы более общего вида.

Непосредственной иллюстрацией рассматриваемого эффекта является решение задачи о напряженном состоянии бесконечной балки на упругом основании под действием сосредоточенной вертикальной силы  $P$  (рис. 1).

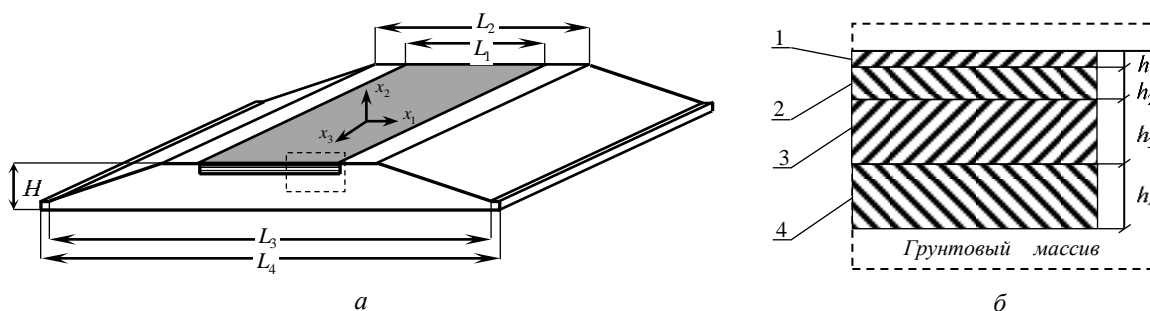


**Рис. 1. Схема изгиба балки на упругом основании под действием сосредоточенной силы**

Эта система также является статически неопределимой и её решение достигается за счет дополнительного учета совместности перемещений балки и основания. Пусть  $E$  – модуль упругости материала балки,  $I$  – момент инерции её сечения и  $k$  – коэффициент постели основания. Тогда изгибающий момент в балке в сечении, содержащем силу  $P$ , равен  $M = P\sqrt[4]{4EI/k}/4$  [4].

Из этой формулы следует, что момент  $M$  и напряжения в балке под неизменной силой  $P$  возрастают с увеличением её модуля упругости  $E$  при прочих одинаковых условиях.

Некоторое сходство с балкой на упругом основании имеет также модель деформирования слоистого дорожного покрытия под действием транспортных нагрузок. Действительно, конструкции дорожного покрытия представляет собой четырехслойную структуру, лежащую на грунтовой массе (рис. 2).



**Рис. 2. Геометрическая схема конструкции дороги**

Если учесть, что модули упругости слоев покрытия на два порядка выше модуля упругости грунта, то конструкцию покрытия можно представить как

слоистую плиту, лежащую на упругом основании, и предположить, что обсуждаемые эффекты имеют место и в этой системе.

Для подтверждения этого предположения рассмотрена трехмерная модель дорожного покрытия [5] шириной 7,5 м, содержащего четыре слоя. Два верхних слоя выполнены из мелкозернистого и крупнозернистого асфальтобетонных толщами 0,05 м и 0,1 м, обладающих модулями упругости  $E_1 = 3,57 \cdot 10^9$  Па и  $E_2 = 1,26 \cdot 10^9$  Па при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  в летнее время. В нижележащих слоях, выполненных из щебня и песка, толщами 0,2 м значения этих параметров составили  $E_3 = 0,4 \cdot 10^9$  Па и  $E_4 = 0,1 \cdot 10^9$  Па. Модуль упругости грунта также равен  $E_5 = 0,1 \cdot 10^9$  Па.

Под действием транспортной нагрузки интенсивностью  $q = 0,8$  МПа на пятно площадью  $f = 0,4$  м<sup>2</sup> в дорожном массиве сформировалось поле напряжений. Оно определено методом конечных элементов. Результаты расчетов показали, что под действием выбранной нагрузки два верхних асфальтобетонных слоя работают как изгибаемая плита и во втором слое возникла зона положительных (растягивающих) напряжений  $\sigma_{11}$  с максимальным значением  $\sigma_{11}^{\max} = 813$  кПа.

Затем было принято, что вследствие сезонных изменений температуры  $T$  в зимнее время в двух верхних слоях произошли термо-реологические изменения и их модули упругости достигли значений  $E_1 = 24,5 \cdot 10^9$  Па и  $E_2 = 8,65 \cdot 10^9$  Па при  $T = -20^\circ\text{C}$ , в то время как в щебеночном, песчаном и грунтовом фрагментах они остались без изменения. Расчеты, выполненные с сохранением исходных условий для всех остальных параметров модели, показали, что при этом напряжения растяжения сохранились в тех же зонах, но достигли значений  $\sigma_{11}^{\max} = 3027$  кПа. Проведенный анализ позволяет обосновать еще один парадоксальный механизм более интенсивного разрушения асфальтобетонных покрытий в зимнее время при увеличении модуля упругости материалов верхних слоев.

### Литература:

1. Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.I., Luo R., Hu S., Zhou F. Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. Research Report 669, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2010. – P. 61.
2. Рабинович И.М. К теории статически неопределимых ферм. – М.: Трансжелдориздат, 1933 – 120 с.
3. Перельмутер А.В. О влиянии изменения жесткостей на перераспределение усилий в статически неопределимой системе // Строительная механика и расчет сооружений, 1974. – № 5. – С. 64-67.
4. Писаренко Г.С. Соппротивление материалов. – К.: Вища школа. Головное издательство. 1986. – 775 с.
5. Гуляев В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2017. – № 1. – С. 6-12.



# ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКУ (ЙМОВІРНОСТІ) РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ З ЦЕГЛИ, ПОВ'ЯЗАНОГО З ВИЧЕРПАННЯМ МІЦНОСТІ КЛАДКИ НА ЗСУВ

**Кічаєва О. В.**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри механіки ґрунтів,  
фундаменту та інженерної геології

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова  
м. Харків, Україна*

Руйнування кам'яних конструкцій будівель і споруд розглядається як настання граничного стану, при якому відбувається вичерпання міцності перерізу або елемента. У методі граничних станів передбачено врахування виходу конструкцій з ладу шляхом уведення забезпеченості нормативних значень, тобто для навантаження – ймовірності того, що воно виявиться меншим, ніж граничне експлуатаційне значення, а для міцності – ймовірності того, що вона буде більшою, ніж характеристичне (нормативне) значення. Тобто всі розрахункові вимоги норм формулюються для граничних станів, які визначають межу між допустимими і неприпустимими (поза межними) станами конструкцій [1].

Для того, щоб оцінити ризик (ймовірність) настання граничного стану того чи іншого виду, необхідно вирішити задачу параметричної теорії надійності із залученням апарату теорії ймовірності. Вихідними даними для зазначеного завдання є параметри розподілу випадкових величин. При цьому послідовність вирішення такого завдання може бути наступною:

- 1) розглядається умова міцності кам'яного елемента (конструкції);
- 2) визначаються параметри розподілу випадкових величин, які є вихідними даними;
- 3) виконується рішення задачі по оцінці ризику (ймовірності) руйнування кам'яних конструкцій.

Імовірнісна оцінка міцності конструкцій з каменю здійснюється на основі виконання розрахунків по визначенню ймовірності руйнування за умови вичерпання міцності цегляної кладки. Для цього необхідно визначити розподіл відповідних напруг і граничного опору цегляної кладки; у даному дослідженні розглянуто роботу неармованих цегляних конструкцій на зсув. У відповідності з [2], у граничному стані втрати несучої здатності розрахункова величина зсувного навантаження, прикладеного до кам'яної стіни  $V_{Ed}$ , має бути меншою або дорівнювати розрахунковій величині міцності стіни  $V_{Rd}$  так, щоб:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} . \quad (1)$$

Розрахункова величина міцності на зсув дорівнює:

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c, \quad (2)$$

де  $f_{vd}$  – розрахункова величина міцності кладки на зсув у залежності від середнього значення вертикальної напруги в стислій частині стіни, яка забезпечує опір зсуву;

$t$  – товщина стіни, яка чинить опір зсуву;

$l_c$  – довжина стиснутої частини стіни без будь-якої частини перерізу, яка розтягується. Довжина стиснутої частини  $l_c$  розраховується, виходячи з лінійного характеру розподілу напруги стиску з урахуванням наявних отворів і пазів.

Опір кам'яної кладки зсуву по горизонтальних неперев'язаних швах складається з опору безпосередньо зсуву і опору тертя по шву:

$$V_{Ed} \leq (f_{vd} + 0,8n\mu\sigma_0)A, \quad (3)$$

тут  $n$  – коефіцієнт, що дорівнює 1 для кладки з суцільної цегли і каменів і рівний 0,5 – для кладки з порожнистої цегли і каменів з вертикальними порожнинами;

$\mu$  – коефіцієнт тертя по шву кладки, що приймається для кладки з цегли і каменів правильної форми рівним 0,7;

$\sigma_0$  – середня напруга стиску при найменшому розрахунковому поздовжньому навантаженню, яка визначається з коефіцієнтом перевантаження 0,9;

$A$  – розрахункова площа перерізу.

Тоді умова забезпечення міцності цегляної кладки при впливі зрушувальної сили, може визначатися наступною нерівністю:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}(f_{vd}, b, t, N_{Ed}), \quad (4)$$

Вираз для рівняння зв'язку при зсуві може бути записано так:

$$Y = V_{Rd}(f_{vd}, b, t, N_{Ed}) - V_{Ed} \geq 0. \quad (5)$$

Пропонується такий алгоритм для визначення ризику (ймовірності) руйнування кам'яних конструкцій на зсув методом Монте-Карло:

1. Виконується  $N$  статистичних випробувань.
2. Задаємося випадковими ймовірностями розрахункового зсувного навантаження, що припадає на ділянку цегляної стіни  $P_{V_{Ed}}$ .
3. За відомими значеннями  $P_{V_{Ed}}$  визначаємо квантилі навантаження.
4. Визначаємо випадкові значення зсувного навантаження  $V_{Ed}$  і напруги  $\sigma_0$ .
5. Задаємося випадковими ймовірностями міцності цегляної кладки на зсув  $P_{f_{vd}}$ .
6. За значенням  $P_{f_{vd}}$  визначаємо квантилі  $f_{vd}$  і величину опору зсуву стіни  $V_{Rd}$ .
7. Обчислюється значення сукупного фактора  $Y$  по формулі (5).
8. Перевіряється виконання умови  $Y \geq 0$ .

*Приклад розрахунку.*

Обчислимо ймовірність відмови для цегляного простінка з такими параметрами:  $b \times t = 1 \times 0,51$  м, з повнотілої силікатної цегли розмірами

250 x 120 x 65 мм, модуль деформації кладки  $E = 600$  МПа. Клас наслідків (відповідальності) будівлі СС2, категорія відповідальності конструкції – А. У табл. 1 наведені детерміновані величини, в табл. 2 – імовірнісні характеристики функцій нормального розподілу випадкових величин. Розрахунки виконані в програмі Mathcad. Число випробувань прийнято  $N = 1 \times 10^5$ .

Таблиця 1

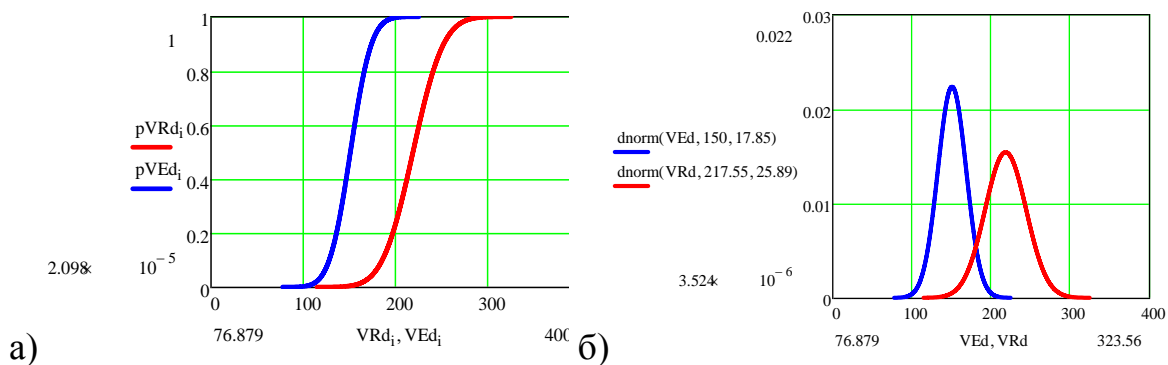
**Детерміновані величини**

№ п/п	Найменування параметра	Познака	Одиниці вимір.	Значення
1	Довжина перерізу	$b$	м	1,0
2	Товщина стіни	$t$	м	0,51
3	Висота поверху	$H$	м	3,0
4	Розрахункова висота стіни	$H_1$	м	2,5
5	Товщина перекриття	$t$	м	0,25
6	Вантажна площа	$A'$	м <sup>2</sup>	3,0
7	Величина обпирання плити перекриття на цегляну стіну	$c$	м	0,12

Таблиця 2

**Імовірнісні характеристики функцій нормального розподілу**

№ п/п	Параметр	Познака	Од. вим.	Математ. очікування $\mu$	Середньокв. відхил. $\sigma$
1	Питома вага цегляної кладки стін та перегородок	$\gamma_{kk}$	кН/м <sup>3</sup>	18,844	0,517
2	Питома вага залізобетонних конструкцій	$\gamma_b$	кН/м <sup>3</sup>	25,0	0,75
3	Розрахунковий опір кладки на стиск	$f_d$	кН/м <sup>2</sup>	2160	324
4	Розрахунковий опір кладки на розтяг при згині по неперев'язаному перерізу	$f_{xkl}$	кН/м <sup>2</sup>	120	18,0
5	Корисне навантаження	$P_{pol}$	кН/м <sup>2</sup>	0,9	0,315
6	Навантаження від снігу	$S_m$	кН/м <sup>2</sup>	0,13	0,065
7	Навантаження від вітру	$W$	кН/м <sup>2</sup>	0,51	0,1785
8	Вплив від нерівномірних осідань	$D$	кН	165,5	97,645
9	Величина вертикального навантаження	$N_{Ed}$	кН	242,77	28,9
10	Величина поперечної сили	$V_{Ed}$	кН	150,0	17,85
11	Розрахунковий опір розтягу при зрізі по неперев'язаному перерізу	$f_{vd}$	кН/м <sup>2</sup>	160	24
12	Напруга обтискання від розрахункового вертикального навантаження	$\sigma$	кН/м <sup>2</sup>	476,02	56,65
13	Міцність простінка на зсув по неперев'язаному перерізу	$V_{Rd}$	кН	217,55	25,89



**Рис. 1. Функції розподілу: а) поперечної сили  $V_{Ed}$  і міцності простінка на зсув по неперев'язаному перерізу  $V_{Rd}$ ; б) щільності ймовірності розподілу поперечної сили  $V_{Ed}$  і міцності простінка на зсув по неперев'язаному перерізу  $V_{Rd}$**

1. У рамках параметричної теорії надійності запропоновано методику розв'язання задач щодо визначення ймовірності (ризик) руйнування цегляних конструкцій внаслідок досягнення стану, пов'язаного з вичерпанням міцності на зсув. На основі запропонованих методик розроблений алгоритм і складена комп'ютерна програма (Mathcad), які призначені для виконання рішення таких імовірнісних задач методом Монте-Карло.

2. Виконано розрахунки щодо визначення ймовірності (ризик) руйнування цегляної кладки на зсув. Отримані значення ризику (ймовірності) руйнування показані у таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати розрахунків імовірності руйнування цегляного простінка на зсув**

Найменування величин	Значення
Імовірність руйнування цегляної стіни	$16 \times 10^{-3}$
Допустима ймовірність руйнування по ДБН В.1.2-14-2009	$5 \times 10^{-5}$

**Література:**

1. ДБН В.1.2–14:2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 73 с.

2. ДБН В.2.6-162:2010. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. К. Мінрегіонбуд України, 2011. 97 с.

## **СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ ПІДЛОГ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ**

**Ковальський В. П.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри будівництва,  
міського господарства та архітектури

**Бондар А. В.**  
асистент кафедри будівництва,  
міського господарства та архітектури

**Бурлаков В. П.**  
аспірант кафедри будівництва,  
міського господарства та архітектури

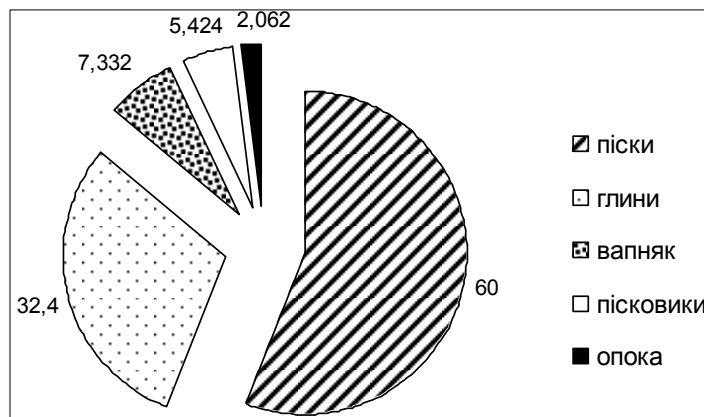
**Бричанський А. О.**  
студент кафедри будівництва,  
міського господарства та архітектури

**Ковальський А. В.**  
студент кафедри будівництва,  
міського господарства та архітектури  
*Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна*

Сучасне будівництво потребує інноваційних будівельних матеріалів з високими тепло– та звукоізоляційними властивостями, які дозволять значно скоротити кількість енергії, необхідної для опалення житлових будинків та громадських будівель, зменшити його тепловтрати та підвищити комфорт перебування і проживання людей. Одним з перспективних напрямків вирішення даних питань є використання легких розчинів та бетонів на основі сухих будівельних сумішей (СБС) в якості теплозвукоізоляційного шару в конструкціях підлог (перекриттів) цивільних будівель.

Теплозвукоізоляційні СБС мають ряд істотних переваг над давно відомими теплоізоляційними матеріалами (пінополістирол, мінераловатні і скловатні утеплювачі): не потребують попереднього вирівнювання, створюють суцільний теплоізоляційний шар без містків холоду, пластичні, володіють високими показниками вогнестійкості та стійкості до ураження організмами, екологічні, довговічні, технологічні, економічні, крім того мають також високі звукоізоляційні властивості.

Україна, зокрема Вінницька область, багата на мінеральну сировину, яка може служити для виготовлення СБС (рис. 1) [1].



**Рис. 1. Потужність родовищ будівельних корисних копалин Вінницької області, млн. м<sup>3</sup>**

Також для теплозвукоізоляційних сухих будівельних сумішей ефективно використовувати техногенну вторинну сировину та відходи промисловості [2-4].

При розробці складів СБС велика увага приділялась підбору активних заповнювачів і наповнювачів. Для отримання прошарків підлог з якісними теплозвукоізоляційними характеристиками використовувались мінерально-однорідні компоненти відповідної дисперсності, що володіють високою поверхневою активністю і енергією взаємодії у водному середовищі, виділяють велику кількість тепла і ущільнюють структуру цементного каменю [5-7]. Для покращення технологічних характеристик розчинових сумішей та затверділих розчинів на основі СБС до їх складу включали дисперсно-армуючі добавки та полімерні модифікатори [8].

Розроблені склади цементно-полімерних сухих будівельних сумішей на основі місцевих сировинних матеріалів та відходів промисловості. Створення дрібнопористої однорідної структури було досягнуто за рахунок введення поверхнево-активних речовин, а не використанням пористих заповнювачів, таких як перліт чи вермикуліт [9]. Результатом досліджень є отримання ефективних сумішей пористої структури для теплих підлог на основі звичайних щільних заповнювачів і наповнювачів, таких як кварцовий пісок, глина, карбонатний пісок без перевитрат цементного в'язучого (до 25% від маси сухих компонентів) та дорогих полімерних добавок. Пористість даних сухих сумішей складає 33-65%, а міцність значно (у 3,6-4,5 разів) вища, ніж у СБС на пористих заповнювачах. Порівняльна характеристика властивостей СБС приведена в таблиці 1 [5, 8, 10].

**Порівняльна характеристика властивостей розроблених СБС  
та відомих СБС на пористих наповнювачах**

Показники	Усереднені результати випробувань та досліджень	
	розроблені СБС	СБС відомих виробників
Середня щільність затверділого розчину, кг/м <sup>3</sup>	600-1100	350-800
Межа міцності на стиск, МПа	2,1-6,54	0,45-1,8
Межа міцності на згин, МПа	1,37-2,52	1,37-2,52
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(мК)	0,2-0,46	0,09-0,132
Водотвердне відношення, В/Т	0,21-0,28	0,33-0,45
Рухливість розчинової суміші, см	12-18	8

Також, отримані сухі будівельні суміші з пористою структурою характеризуються високими акустичними властивостями до дії шумів в діапазоні 400-1000 Гц [4; 8].

Таким чином, розроблені теплозвукоізоляційні СБС та розчини, виготовлені на їх основі, характеризуються підвищеними фізико-механічними властивостями у затверділому стані та кращими реологічними властивостями розчинової суміші, ніж аналогічні СБС, які є на ринку будівельних матеріалів сьогодні. Гарні показники тепло- та звукоізоляційних властивостей представлених СБС дозволяють ефективно їх застосовувати для влаштування прошарків підлог та перекриттів в приміщеннях, що зазнають тимчасових та довготривалих впливів низько- та середньочастотних шумів (400-1000 Гц), наприклад, житлових та громадських будівель.

Використання у складі СБС відходів промисловості та місцевої сировини дозволяє зекономити як матеріалі ресурси, так і знизити транспортні витрати на доставку сировини і уже готових сумішей до споживача, а також покращує екологічну ситуацію в країні та регіоні.

### Література:

1. Очеретний В. П. Перспектива виробництва і використання поризованих сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, А. В. Бондар // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 2. – С. 36-39.
2. Очеретний В. П. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2009. – № 6. – С. 36-40.
3. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ко-

вальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. – Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186-193.

4. Звукоизоляционные сухие строительные смеси на основании отходов производства. Инновационное развитие территорий: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Череповец, 26 февраля 2016 г.) – Череповец: ЧГУ, 2016. – С. 73-78. – ISBN 978-5-85341-688-8.

5. Очеретний В. П. Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Будівництво». – Випуск 10 (18). – 2014. – С. 44-47.

6. Бондарь А. В. Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры / А. В. Бондарь, В. П. Очеретний, В. П. Ковальский // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016: сборник материалов международной научно-практической конференции. – В 3-х т. – Т. I. – Тюмень: РИО ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2016. – С. 207-213.

7. Ковальський В. П. Використання глиняного порошку як мінерального мікронаповнювача у сухих будівельних сумішах / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар, А. С. Кузьмич // Международное периодическое научное издание «Научные труды SWorld». – Випуск 2(43). Том 7. – Иваново: Научный мир, 2016. – С. 86-92.

8. Бондар А. В. Модифікація мінеральних сухих будівельних сумішей полімерними добавками / А. В. Бондар // Тези XLVII Науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (2018), ВНТУ [Електронний ресурс] // Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5252/4244>.

9. Очеретний В. П. Використання поверхнево-активних речовин у якості поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 1. – С. 33-40.

10. Бондар А. В. Теплозвукоізоляційні властивості поризованих сухих будівельних сумішей для підлог / А. В. Бондар, В. П. Очеретний // Тези XLV Науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (2018), ВНТУ [Електронний ресурс] // Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2016/paper/view/1410/1005>.



# **АКТИВНОЕ ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГИБКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ**

**Лучковский И. Я.**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры геотехники  
и подземных сооружений

**Чепурной Д. А.**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры геотехники  
и подземных сооружений

**Есакова С. В.**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры геотехники  
и подземных сооружений

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
г. Харьков, Украина*

В практике проектирования подпорных стен инженерные методы учета многослойного основания при наличии нагрузок на поверхности не разработаны. Существующие методы Г. К. Клейна [1; 2] и других авторов не могут быть использованы, так как в каждом слое неоднородной засыпки при учете собственного веса грунта принимается свой невыгоднейший угол наклона плоскостей сдвига, а закономерности распространения в массиве давлений от различного вида полезных нагрузок пока не найдены.

Сложность задачи состоит в том, что в данном случае принцип независимости действия сил не справедлив. Поэтому идея Кулона о применении правил максимума и минимума к проблемам статики сыпучей среды может быть использована только при совместном действии веса грунта, местной нагрузки и сцепления.

Кроме того, в современном строительстве существуют всевозможные сложные виды загрузений, которые не всегда представляется возможным смоделировать (без значительных погрешностей) местной равномерно распределенной нагрузкой или силой на поверхности засыпки.

Представим закономерность распределения гибкой нагрузки  $q_x$  на поверхности грунта в виде

$$q_x = \frac{q^{\max}}{1 + m(\bar{x} - 1)^2}, \quad (1)$$

где  $m = \frac{q^{\max}}{q_0} - 1$ ;  $x = \frac{x}{a}$ .

Принятие закона (1) позволяет получить единое решение для горизонтального давления грунта на подпорные стены при гибкой нагрузке на поверхности, изменяющейся от равномерно распределенной (при  $m=0$ ) до сосредоточенной (при  $m \rightarrow \infty$ ).

В традиционных методах определения давления разнородных грунтов на ограждающую конструкцию принимается, что для каждого нижележащего слоя вышележащие грунты являются внешней нагрузкой. Это означает, что в каждом слое грунта невыгоднейшая плоскость сползания наклонена к горизонту под углом  $\theta_i$ , зависящим только от физико-механических характеристик грунта данного слоя. Следовательно, для многослойного грунта плоскости сползания при таком подходе получают изломы на границах слоев, характер которых зависит от свойств грунта в смежных пластах, т. е. нарушается принцип Кулона, предполагавшего наличие единой поверхности, заменяемой плоскостью сползания на всю глубину грунта, независимо от его неоднородности. При этом каждой глубине  $z$  соответствует своя невыгоднейшая плоскость сползания, проходящая через все вышележащие слои и наклоненная к горизонту под углом  $\theta$ .

Принятие единой плоскости скольжения для каждой глубины подпорной стенки позволяет сформулировать новые принципы определения горизонтального давления на подпорную стенку с учетом нагрузок на поверхности засыпки:

- массив засыпки между стенкой и плоскостью скольжения делится на отдельные призмы, опирающиеся в пределах каждого слоя  $h_i$  на плоскость обрушения;

- призмы разделяются вертикальными плоскостями, проходящими из точек пересечения плоскости скольжения (обрушения) с границами слоев грунта до поверхности засыпки (на участках незагружаемой поверхности), либо до подошвы местной нагрузки;

- часть распределенной нагрузки, находящаяся на какой-либо призме, суммируется с весом этой призмы, т. е. входит в величину  $G_i$ ;

- взаимодействие призм по вертикальным плоскостям не учитывается;

- каждой глубине соответствует своя плоскость скольжения, положение которой не зависит от общей глубины стенки  $H_{\max}$ .

Итак, разработана зависимость, позволяющая получить единое решение для горизонтального давления грунта на подпорные стены при гибкой нагрузке на поверхности, изменяющейся от равномерно распределенной до сосредоточенной. Кроме того, принятие гипотезы о существовании в многослойной засыпке на любой глубине подпорных стен единой плоскости скольжения позволило создать численный метод определения горизонтального давления грунта при наличии сложной (универсальной) трансформируемой нагрузки на поверхности.

### Литература:

1. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. Москва: Высшая школа, 1964. 196 с.
2. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Москва: Стройиздат, 1977. 256 с.
3. Лучковский И.Я. Определение нагрузок на подпорные стены: монография. Харьков: Коллегиум, 2011. 284 с.

## **ЗАСТОСУВАННЯ АКРИЛОВИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**Любченко М. А.**  
**кандидат технічних наук,**  
**доцент кафедри основ архітектурного проектування**  
*Національний університет міського господарства*  
*імені О. М. Бекетова*  
*м. Харків, Україна*

Водно-дисперсійні акрилові матеріали широко застосовуються в наш час для захисту зовнішніх поверхонь будівельних конструкцій, подовжуючи строк їхньої експлуатації. Сфера застосування цих матеріалів залежить від типу плівкотвірної речовини. Стирол-акрилатні дисперсії найбільш універсальні, вони утворюють покриття з високою світло- та атмосферостійкістю, тому здебільшого використовуються в будівництві.

Дослідження авторів в роботах [1; 2] вказують на те, що вивчення структури і властивостей сумішей та плівок сприяють вирішенню багатьох завдань, пов'язаних з підвищенням фізико-механічних та експлуатаційних характеристик захисно-декоративних покриттів.

Сучасні полімерні акрилові суміші, що застосовуються для захисту огорожувальних конструкцій від впливу негативних факторів середовища, є багатокомпонентними системами, які після висихання утворюють міцну плівку на поверхні. Отже, різні компоненти суміші впливають на процес формування покриттів в залежності від функціонального призначення складових. Оптимізація кількісного складу компонентів сумішей дає змогу застосовувати їх для одержання заданих характеристик покриттів. Слід враховувати, що плівка після висихання повинна мати високу покривну здатність та відповідати нормативним вимогам, щоб забезпечити необхідний декоративний вигляд і надійно захистити поверхню продовж тривалого часу від впливу негативних факторів середовища в різних кліматичних умовах.

Результати досліджень структури, адгезійної міцності та довговічності покриттів на основі полімерних сумішей, проведених автором в роботі [3], свідчать про переваги застосування акрилових полімерів, виходячи з конкретних умов експлуатації, та особливості матеріалу поверхні на яку вони наносилися.

Плівкотвірні речовини є макромолекулярними сполуками з масою від 500 до 30000 та більше [4]. Високу молекулярну масу мають поліакрилати, що формують міцні та довговічні покриття при висиханні на твердій поверхні. За даними досліджень [4], збільшення молекулярної маси плівкотвірної речовини покращує еластичність, твердість, стійкість до деформації покриття, але впливає на в'язкість сумішей. Пластифікатори в сумішах є органічною рідиною, яка використовується для зниження температури склування полімерної плівки, підвищуючи еластичність та адгезію цієї плівки до твердої поверхні.

Як відомо, кристалічна структура пігментів та наповнювачів у складі сумішей для захисно-декоративних покриттів, впливає на їх покривну здатність та колір. Високу покривну здатність мають суміші з вмістом пігменту диоксиду титану рутильної форми з розміром часток 0,1–2,0 мкм [4]. Для здешевлення фарб в сумішах застосовуються наповнювачі (карбонат кальцію або каолін), які повинні мати розмір часток, однаковий з розміром часток пігменту. Кількість пігменту визначається величиною його об'ємної концентрації в суміші (ОКП). Висока концентрація пігменту призводить до неповного змочування його поверхні плівкотвірною речовиною, що негативно впливає на рівномірність розподілу часток пігменту в суміші, міцність та фізико-механічні властивості покриттів. Функціональні добавки використовуються для покращення процесу формування плівок та підтримання стабільності сумішей під час зберігання. До цих добавок відносяться піногасники, диспергатори, структуруючі добавки та ін.

Незважаючи на велику кількість розроблених вітчизняними і зарубіжними фахівцями сумішей для декоративно-захисних покриттів, проблема захисту поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій від впливу атмосферних і інших чинників залишається актуальною. Це обумовлено комплексним впливом негативних факторів навколишнього середовища на захисно-декоративні покриття в різних умовах експлуатації об'єктів промислового і цивільного будівництва та недосконалістю методів прогнозування термінів служби покриттів. Внаслідок цього покриття руйнуються набагато раніше проєктованих термінів.

### Література:

1. Казакова Е. Е. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения / Е. Е. Казакова, О. Н. Скороходова. – М.: Пэйнт-Медиа, 2003. – 136 с.
2. Марек О. Акриловые полимеры / О. Марек, М. Томка. – М.: Химия, 1966. – 320 с.
3. Любченко М. А. Влияние модифицирующей добавки на повышение прочности акриловых покрытий / М. А. Любченко // Первый независимый научный вестник. – № 7. – Киев: Первый независимый научный вестник, 2016. – С. 68–72.
4. Краски, покрытия и растворители / Д. Стойе, В. Фрейтаг (ред.); пер. с англ. под. ред. Э. Ф. Ицко. – СПб.: Профессия, 2007. – 528 с.

# WAYS OF REDUCING THE NEGATIVE INFLUENCE OF HEAT CONDUCTING INCLUSIONS DURING A BUILDING RENOVATION

**Ocheretnyi A. M.**  
**Deputy General Director**  
*Concern «Podillia»*

**Ratushniak G. S.**  
**Candidate of Technical Sciences, Professor,**  
**Dean of the Faculty of Power Engineering**  
**and Heat and Gas Supply**

**Materynska O. Yu.**  
**Postgraduate Student at the Department**  
**of Engineering Systems in Building**  
*Vinnytsia National Technical University*  
*Vinnytsia, Ukraine*

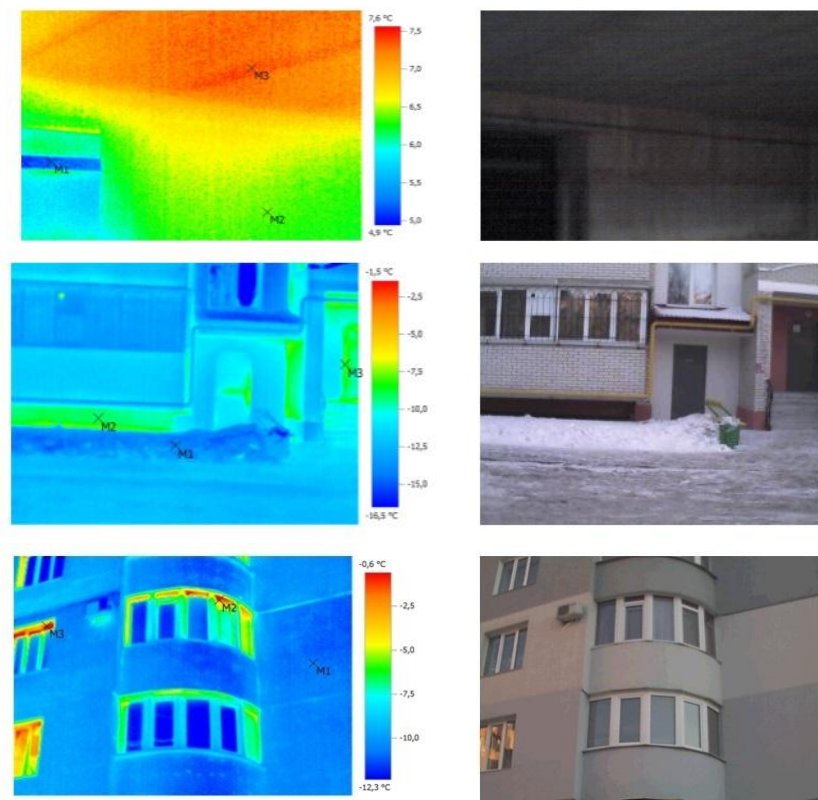
The global share from residential buildings towards energy usage have been increasing constantly reaching and in developed countries it has surpassed other major sectors. Energy demand reduction in the building sector is important for Ukraine, as it contributes to the achievement of national energy aims for reduced energy use in the future. For this reason, energy efficiency measures in buildings today is one of the main objective for energy policy towards 2020 goals [1]. Over the last years, the requirements for the thermal insulation of buildings in the Ukraine have been increased. Current Ukraine energy efficiency policies have focus on insulating external fencing structures in order to bring their energy efficiency to regulatory requirements [2]. However, the normative documents do not provide effective technical solutions for reducing heat losses due to the thermal heterogeneity of the external enclosing structures of buildings. Therefore, the zones of heat conducting inclusions cause a decrease in temperature on the surface of the construction, which contributes to the deterioration of the sanitary-hygienic regime of premises [3, 4]. To constructively determined of the cold bridging includes:

- the window and the door adjoining to the brattice;
- the concrete joists and overlap;
- the enclosing structures of basement floors above ground level;
- the seams between panel sand other similar knots.

This type of the thermal bridging can be avoided with a improvement an enclosing structures [5].

During a building renovation or refurbishment, the applied thermal insulation must provide a high level of thermal resistances to the building envelope, in order to lower the energy demand as far as possible. With the purpose of the theoretical substantiation of energy efficiency potential, the energy audit of existing buildings was performed. Measurements have been made for one of the houses of Vinnitsa

buildings on the street Academician Yushchenko 4. The results in the form of thermograms of the external facades of the house are presented on Fig. 1.



**Fig. 1. Thermograms external facades of a residential building in Vinnitsa**

According to the thermal imaging survey, the presence of nodes of individual elements of structures that require architectural and structural improvements to reduce heat losses in the cold bridging zones [6]. Energy retrofits analysis showed that combination of the following energy efficiency measures is the most effective and profitable: extra insulation (walls and roof), windows replacement in the buildings. One way to decrease the heat losses is to use insulation with lower thermal conductivity. To increase the thermal resistance of the adjoining nodes, a new design schemes of thermal insulation, which will increase the thermal resistance of the nodes and the temperature inside the room. The method of insulation of the site of adjacency of the base of the technical cellar, in which on the wall panel is imposed layer of insulation from the extruded polystyrene, after that – the reinforcing net and the finish layer, and on the inner side of the wall of the base of the technical underground are waterproofing in the form of a layer of ruberoid, protected cement-sand plaster. In the method of insulation of the site of adjoining the ceiling in the attic on the vertical surface of the inner side of the wall is placed insulation, protected by a putty on a grid of fiberglass. In the method of thermo-modernization of the site of the connection of the window to the outer wall impose a insulation, then the reinforcing net and the finishing layer, as a heat insulation material, use heat-insulating mixture «Teplover». The methods of constructive insulation of the assemblies of the adjoining of the

building envelope proposed, allow to increase the thermal resistance in the adjacent nodes and increase the energy efficiency of the building [7].

Hence, it is important to choose the most suitable one from today's existing traditional and state-of-the-art thermal insulation materials and solutions, continuously improve today's existing traditional insulation constructions. Implementation of the recommended energy efficiency measures will increase the thermal resistance and reduction in district heating and electricity energy use respectively.

### References:

1. Law of Ukraine «On energy saving»: as of July 1, 1994 / The Verkhovna Rada of Ukraine – Official type – K.: Vidomosti Verkhovnoi Rady, 1994. – 283 p.
2. Law of Ukraine «On Energy Efficiency of Buildings» [Electronic Resource]: as of June 2, 2017 / The Verkhovna Rada of Ukraine. – Official. – K.: Vidomosti Verkhovnoi Rady, 2017. – 204 p.
3. Beschinska O. V. / Otsinka yakosti teploizoliatsiinyh harakterystyk ogorodjuvalnyh konstruktsii budivel / O. V. Beschinska, G. S. Ratushniak «Ventilation, lighting and heat and gas supply.» Whip 9.-K.: KNUBA. – 2000. P. 107-111.
4. Phareniuk G. P. Osnovy zabezpechennia energoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosti ogorodjuvalnyh / G. P. Phareniuk – K.: Gamma-print, 2009. – 137 p.
5. DBN B.2.6-31-2006. Structures of buildings and structures. Thermal insulation of buildings. – K.: Derzhkombud. 2006. – 69 p.
6. Ratushniak G. S. / Otsinka dotsilnosti pivyschennia termichnogo oporu ogorodjuvalnyh konstruktsiy bahatopoverhovyh zhytlovyh budynkiv / G. S. Ratushniak, A. M. Ocheretnyi / Herald VPI – 2016. – № 6. – P. 11-16.
7. Berge I., A. & Johansson, P. (2012) Literature Review of High Performance Thermal Insulation. Report 2012:2, Division of Building Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

# ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ

**Москвітін А. С.**  
**аспірант кафедри**

**теплогазопостачання і вентиляції**

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
м. Київ, Україна*

Застосування міжсезонного акумулятора теплоти зможе підвищити енергонезалежність та ефективність теплопостачання об'єктів при використанні геліосистем, вторинних енергоресурсів (ВЕР) та надлишкової теплоти в теплий період року від когенераційних установок та ТЕЦ. Але у зв'язку з цим (та ростом цін на паливно-енергетичні ресурси), діючими нормативними документами (СНиП, ДБН, EN тощо), пред'являються ряд вимог з метою енергозбереження та раціонального використання теплової енергії. З урахуванням цих вимог сучасна система опалення перетворилася із системи з квазістаціонарним гідравлічним режимом в систему, що активно тепло та гідравлічно регулюється засобами автоматичного підтримання заданих температур в приміщеннях. Як правило, для цього, згідно ДБН, використовуються РТК або інші автоматичні регулятори. Це означає, що ці вимоги треба обов'язково враховувати і при виборі опалювального приладу, оскільки найбільш близькою до споживача частиною системи опалення безсумнівно є опалювальні прилади. Саме тому з вибору та розміщення опалювальних приладів починається конструювання і монтаж системи опалення. Водяні опалювальні прилади, які широко пропонуються сьогодні, за матеріалом та конструктивними ознаками поділяють на 5 груп: чавунні, сталеві панельні, алюмінієві, біметалеві, дизайн-радіатори та змієвики для гарячого водопостачання. У окрему групу виділяють мідно-алюмінієві радіатори [1].

Природно виникає питання. Якому опалювальному приладу віддати перевагу? При виборі радіатора звичайно враховуються наступні чинники: архітектурно-планувальні і будівельні рішення, які визначають висоту, глибину і довжину приладу; розрахункова теплова потужність одного опалювального приладу; категорії виробництва в приміщеннях за пожежною безпекою; вимоги замовника до зовнішнього виду приладу; якість теплоносія і схема теплопостачання (від автономного джерела чи теплової мережі міста, району); величина робочого тиску в тепловій мережі і системі опалення; ціна приладу, віднесена до 1 кВт теплового потоку [2].

Тобто, сучасний ринок радіаторів дуже різноманітний, тому дуже часто вибір радіатора заводить споживача в глухий кут, оскільки сталеві, чугунні, алюмінієві, біметалеві радіатори активно конкурують між собою. Важливу роль при виборі відіграє зовнішній вид та ціна приладу, але на першому плані



залишаються його технічні та експлуатаційні характеристики. З цього випливає, що строк експлуатації опалювального приладу повинен бути максимальний [3].

Але зараз існує лише один параметр оцінки опалювального приладу – теплове напруження металу, та ця характеристика нічого не показує споживачу. Тому стає актуальним питання техніко-економічного порівняння сучасних опалювальних приладів. Задача полягає в тому, щоб вивести критерій, який зможе використовувати кожен споживач при виборі опалювального приладу [4].

Пропонуємо техніко-економічне порівняння опалювальних приладів. Основні критерії для порівняння: інерційність опалювального приладу; питома вартість 1кВт номінальної теплової потужності опалювального приладу, також враховуємо питомий об'єм теплоносія та питому масу приладу (секції). Під тепловою інерційністю слід розуміти теплоенерговміст опалювального приладу ( $W_{оп}$ , кДж). Складається з: тепловмісту металу опалювального приладу ( $W_m$ , кДж) та тепловмісту теплоносія в опалювальному приладі ( $W_t$ , кДж). Тепловміст металу опалювального приладу залежить від: маси приладу / секції ( $M_m$ , кг), теплоємності металу з якого виготовлено опалювальний прилад ( $c_m$ , кДж/(кг\* $^{\circ}$ C)) та середньої температури опалювального приладу ( $\bar{t}_{оп} = 70$   $^{\circ}$ C, при параметрах теплоносія 80-60  $^{\circ}$ C). Тепловміст теплоносія опалювального приладу залежить від: об'єму теплоносія, теплоємності теплоносія та середньої температури опалювального приладу. Для визначення теплової інерційності різних опалювальних приладів, слід привести її до числового показника, віднесеного до теплової потужності порівняно однакових опалювальних приладів ( $Q_n^{відн}$ , кВт), тобто визначити відносний теплоенерговміст опалювального приладу. Спочатку визначаємо теплову інерційність опалювального приладу ( $W_{оп}$ , кДж) при його номінальній тепловій потужності ( $Q_n$ , кВт), а потім шляхом складання пропорції виходимо на відносний теплоенерговміст опалювального приладу ( $W_{оп}^{від}$ , кДж) при потрібній нам тепловій потужності ( $Q_n^{відн}$ , кВт). Найчастіше  $Q_n^{відн} = 1$  кВт. Тобто, відносний теплоенерговміст опалювального приладу ( $W_{оп}^{від}$ , кДж) визначається як відношення теплоенерговмісту опалювального приладу до його номінальної теплової потужності. Теплову інерційність також можна виразити в грошовому еквіваленті ( $C_i$ , грн). Часова інерційність ( $I$ , с) визначається як відношення теплоенерговмісту опалювального приладу ( $W_{оп}$ , кДж) до номінальної теплової потужності опалювального приладу ( $Q_n$ , кВт).

Питома вартість 1кВт встановленої теплової потужності опалювального приладу ( $C$ ) – це ціна 1кВт теплової енергії, віднесена до середнього строку експлуатації приладу. Цей параметр допомагає вирішити питання співвідношення ціна – якість опалювального приладу. Користуючись цим параметром ми визначимо скільки ж буде коштувати 1кВт теплової енергії в рік, впродовж всього терміну експлуатації приладу.

Для дослідження показника техніко-економічної ефективності роботи приладу / групи приладів ( $E$ , €/(кВт·рік)) грошовий еквівалент теплової інерційності  $C_i$  треба перевести в питомий грошовий еквівалент теплової інерційності опалювального приладу ( $C_i^p$ , €/(кВт·рік)).

Показник техніко-економічної ефективності роботи приладу, визначається як середньозважена величина питомого грошового еквіваленту теплової інерційності ( $C_i^p$ , €/кВт·рік)) та питомої вартості 1кВт встановленої теплової потужності опалювального приладу ( $C$ , €/кВт·рік)).

Техніко-економічне порівняння різних типів опалювальних приладів наведено в таблиці 1. В даному розрахунку: 1. Теплоносій – вода,  $\rho_v = 971,81$  кг/м<sup>3</sup> при  $\bar{t}_{оп} = 70$  °С (параметри теплоносія 80 °С – 60 °С); 2. Теплоємність алюмінію  $c_a = 0,92$  кДж/(кг\*°С), теплоємність чавуну  $c_ч = 0,504$  кДж/(кг\*°С), теплоємність сталі  $c_c = 0,462$  кДж/(кг\*°С), теплоємність води  $c_v = 4,19$  кДж/(кг\*°С), з табл. П-1 [5]; 3.  $C_T = 1\,325,95$  грн/Гкал [6]; 4. Теплова потужність опалювальних приладів при якій розраховується теплова інерційність  $Q_n^{від} = 1$  кВт; 5. Курс валюти 32,30 грн/€.

Аналізуючи таблицю 1, можна зробити висновки, що конвектори та мідно-алюмінієві радіатори є найефективнішими опалювальними приладами для сучасних систем опалення, коли необхідно раціонально використовувати енергоресурси або є обмежена кількість тепла (наприклад, закумульована в сезонному акумуляторі теплоти).

Таблиця 1

Назва, тип радіатора	Потужність опалювального приладу (секції), кВт	Вартість опалювального приладу (секції), €	Середній строк експлуатації опалювального приладу (секції) рік	Маса приладу (секції), кг	Теплове напруження металу, М, кг/кВт	Об'єм теплоносія, V, л	Питомий об'єм теплоносія, g, л/кВт	Питомий теплотерговміст опалювального приладу $W_{оп,від}$ , кДж при $Q_{від} = 1 \text{ кВт}$	Питомий грошовий еквівалент теплової інерційності опалювального приладу, $C_p$ , €/ср.секція	Показник часової інерційності опалювального приладу, I, с	Показник часової інерційності опалювального приладу, I, хв	Питома вартість опалювального приладу С,	Показник техніко-економічної ефективності роботи приладу
Алюмінієві радіатори (секційні)													
Sira AMBRA 500	0,161	6,810	30	1,35	8,39	0,25	1,55	982,6	0,00963	982,60	16,38	1,41	0,12
Mirado 500/80	0,163	6,656	30	1,47	9,02	0,38	2,33	1245,3	0,01220	1245,28	20,75	1,36	0,13
Чавунні секційні радіатори													
ЛЛМЗ РД-100-500-1,2	0,12	8,607	80	4,6	38,33	0,8	6,67	3252,6	0,03187	3252,61	54,21	0,90	0,17
Kiran 92/500	0,089	2,941	80	4,2	47,19	0,6	6,74	3586,5	0,03514	3586,46	59,77	0,41	0,12
Радіатори біметалеві секційні													
Алтермо ЛРБ -500	0,145	8,885	40	2	13,79	0,15	1,03	1183,1	0,01159	1183,14	19,72	1,53	0,13
HERTZ 500/80	0,145	5,789	40	1,45	10,00	0,3	2,07	1233,7	0,01209	1233,72	20,56	1,00	0,11
Радіатори панельні сталеві													
Korado Radik Тип 22 500(h)x700мм	0,995	52,63	25	26,16	26,29	5,64	5,67	2465,9	0,02416	2465,92	41,10	2,12	0,23
Kermi Тип22 500(h)x800мм	1,324	89,78	25	23,27	17,58	4,32	3,26	1498,4	0,01468	1498,41	24,97	2,71	0,20
Мідно-алюмінієві радіатори													
«Термія» 40/120	1,29	68,11	40-50	6,4	4,94	0,80	0,62	494,62	0,00485	494,62	8,24	1,17	0,08
REGULUS R4/100	1,417	126,3	40	5,7	4,02	0,64	0,45	387,79	0,00380	387,79	6,46	1,98	0,09
Конвектори													
Термія КСК 40/100К	1,29	30,5	20	13,3	10,34	0,9	0,70	534,06	0,00523	534,06	8,90	1,19	0,08

### Література:

1. Отопление. Оборудование и технологии. – М.: Стройинформ, 2006. – 696 с.
2. Джакомино Редонди. Новая жизнь радиаторов. Журнал АВОК № 1/2000.
3. Юлия Захаренко-Березьянская. Украинский рынок радиаторов. Обзор журнал «С. О. К.». № 7/2006.
4. Юлия Березьянская. Радиаторы в каждый дом. Журнал «С. О. К.». № 8/2007.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. – 344 с.
6. [https://kyivenergo.ua/ru/te-company/teplova\\_energiya](https://kyivenergo.ua/ru/te-company/teplova_energiya).

## INCREASING THE RELIABILITY OF EXISTING HEATING NETWORKS

**Nechepurenko D. S.**

**PhD (of Technical Sciences), Associate Professor  
at the Department of Planning  
and Organization of Production**

*Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture  
Dnipro, Ukraine*

Today the issue of energy efficiency in heat supply systems in the conditions of constant increasing prices for using energy resources, the reduction of the resource base of the world is becoming of great importance in Ukraine. The fact is that, under such conditions of pricing policy for energy resources, the consumer will be forced to refuse centralized heat supply as the most expensive source of life support.

In the European Union, thermal energy has the largest share of final energy consumption (45%). In turn, the housing stock consumes 40% of the total amount of final energy, of which 68% – for heating, 14% – for hot water supply [1; 2]. In the Nordic countries, centralized heat supply is widely used as the most important source of heat supply for residential buildings, offices and enterprises. Its use for the production of more heat volumes allows to operate generating heat equipment with a significant unit capacity, which increases the efficiency of fuel use and reduces irrational heat losses in the process of heating the coolant. The efficiency of the centralized heat supply system is due to low heat losses in distribution networks, the creation of new constructions of pipes (including plastic ones), the use of thermal insulation of pipelines and advanced methods of its installation and operation. Thus, centralized heat supply system has many advantages and it is expedient to carry out reconstruction and restoration of the system in Ukraine in order to increase energy efficiency in the sector of housing and communal services.

Most heat losses in heat supply systems occur during its transportation (13%), therefore it should be paid proper attention to the reconstruction of existing heating networks. About 40% of the central heating points and about 15.8% of the heating networks are in a worn out and emergency condition, most of them are not equipped with modern types of thermal insulation (losses in main and distribution networks together make up 30% of the released thermal energy). All this causes excessive losses of heat energy, and only 66-70% of the energy of burned fuel reaches the consumer. The exploitation of obsolete and physically worn out equipment leads also to significant pollution of the environment [3; 4].

The total length of the pipelines in Ukraine is about 47000 km in two-pipe calculation. On the balance of enterprises of the municipal heat and power industry of Ukraine there are 20.8 thousand kilometers of heating networks in two-pipe calculations with a diameter from 50 to 800 mm [5]. A significant part of the pipelines of the heating networks needs to be replaced as a result of corrosion. The term of trouble-free operation of heating networks does not exceed 10-15 years. Transportation of thermal energy from energy sources to consumers is carried out through network pipelines in which the coolant is water with a temperature of 95...150

°C. Heat networks are laid mainly in impenetrable reinforced concrete channels with pendant insulation of mineral wool. The main type of anticorrosive coating of pipelines is an izol on an izol mastic. In general, the pipe laying channels are unprotected from the moisture penetration (including groundwater), which leads to significant heat loss, corrosion damage to metal pipes and the disconnection of consumers [6].

Based on the researches in this field, we can systematize all factors that influence on the heating network reliability into three groups:

- 1) mistakes made at the designing stages:
  - insufficient diameters of main and distribution pipelines for ensuring the transportation of coolant to consumers in the event of failure;
  - losses of thermal energy in heat networks do not correspond to the design documentation;
  - outdated way of reserving heat supply systems;
  - materials of thermal insulation do not fully meet the requirements of normative documentation, fire safety norms and are chosen regardless of the specific conditions and methods of its laying;
- 2) constructions factors (ones which take place during the process of construction and installation works):
  - the quality of construction and installation work;
  - observance of minimum distances between pipelines and equipment that meet current technical standards;
  - the presence of waterproofing and slope of pipelines that are laying in channels below the maximum level of groundwater and the presence of an anticorrosive layer on the outer surface of the pipelines;
  - qualified workers who perform network construction;
- 3) operational factors (ones which take place during the process of further operation of heating systems):
  - assumption of ineffective use and unreasonable losses of heat energy;
  - failure to comply with the agreement on the use of thermal energy of hydraulic and thermal conditions;
  - lack of organization of accounting the thermal energy production by means of metering devices, lack of automated systems and devices controlling hydraulic and thermal regimes;
  - untimely organization of training, instructing and checking knowledge, regulatory documents on occupational safety, fire and environmental safety of personnel serving heat networks;
  - untimely investigation of failures in the operation of thermal installations and networks, as well as accidents related to their operation.

In order to increase the durability of networks and to ensure the quality of heat supply it is necessary to develop mathematical models for forecasting the reliability of heat networks.

### References:

1. Energy Efficiency Directive 2012/27/EU. – Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>.
2. Analysis of tariff setting in the district heating sector of EU countries – 14th Position Paper of UABio. – Available at [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics).
3. Kontseptsiiia Derzhavnoi tsilovoi prohramy modernizatsii ta rozvytku system teplozabezpechennia Ukrainy na 2012–2022 roky [The concept of the state-of-the-art progres of modernizing and developing the heat-and-care systems of Ukraine for 2012-2022]. – Available at: [http://www.journal.esco.co.ua/2012\\_3/art59.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/2012_3/art59.pdf) (in Ukrainian).
4. Shevtsov A. I. Stan ta perspektyvy reformuvannia systemy teplozabezpechennia v Ukraini [Status and prospects of reforming the heating system in Ukraine]. – 2010. Available at: <http://www.db.niss.gov.ua/docs/energy/Teplozabezpechennya.pdf>. (in Ukrainian).
5. Optymizatsiia system teplopostachannia iz vykorystanniam ekonomiko-matematychnoho modeliuвання [Optimization of heat supply systems for economically and mathematical models]: Monograph / by O. M. Havrys. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – 209 p. (in Ukrainian).
6. Bilotserkivskiyi O. B. Vykorystannia ekonomiko-matematychnoho modeliuвання dlia optymizatsii system teplopostachannia [Use of economical-mathematical modeling for optimization of heat supply systems] / O. B. Bilotserkivskiyi // Materials International sciences – practice conf. «Socio-economic development of countries: experience and perspectives» [Materials International sciences – practice conf. «Socio-economic development of countries: experience and perspectives»]. – P. 2. – Lviv: LEF. – 2014. – P. 82–85. (in Ukrainian).

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ПОБУТОВИМИ СПОЖИВАЧАМИ

**Предун К. М.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції

**Франчук Ю. Й.**  
здобувач

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
м. Київ, Україна*

Згідно з Енергетичною стратегією України [1] в структурі загальнодержавного первинного постачання енергії природний газ залишається пріоритетним енергоресурсом.

У нашій державі основні вимоги щодо проектування, будівництва та експлуатації систем газопостачання як окремих об'єктів, так і населених пунктів загалом викладені у низці нормативно-правових актів [2; 3]. Деякі положення цих документів вступають у протиріччя одне з одним. Неоднозначність трактувань призводить до виникнення корупційних ризиків, особливо у питаннях обліку.

Отримуючи майже 40% (за підсумками 2017 р.) природного газу з країн ЄС, Україна при магістральному транспортуванні уже перейшла до взаємних розрахунків за спожите паливо в одиницях енергії. Проте, як і раніше, в межах держави розрахунки відбуваються за показами лічильників (для тих споживачів, у яких вони встановлені) у метричних одиницях з відповідною точністю, до яких лише додається величина спожитої енергії. Необхідність ведення розрахунків в одиницях енергії породило низку запитань щодо якості природного газу, достовірності його реальних фізико-хімічних властивостей задекларованим у стандарті [4].

В чинному ДБН [3] при розрахунку витрат газу (на стадії розробки генплану населеного пункту) вказано нормативи газоспоживання мешканцями житлових будинків в залежності від ступеню благоустрою житла і номенклатури встановлених побутових газових приладів. Причому, як у теплових одиницях – МДж/(мешк.рік), так і у метричних – м<sup>3</sup>/(мешк.рік). Також зазначено, що при виконанні розрахунків у разі відсутності даних про фізико-хімічні властивості природного газу величину теплоти спалювання необхідно приймати  $Q_n = 34$  МДж/м<sup>3</sup>. Нескладний перерахунок питомих витрат газу з теплових одиниць у метричні показує певну невідповідність (у межах від 6 до 20%) вказаних у нормативному документі [3] значень.

У Кодексі газорозподільних систем [2], прийнятому нещодавно, значно розширена кількість можливих варіантів забезпечення природним газом мешканців житлових будинків. Переважна більшість норм газоспоживання значно зменшені, проте розмірність вказана лише в метричних одиницях. Наведені у [2] значення можна вважати більш достовірними, оскільки з часу прийняття ДБН [3] відбулись значні зміни в структурі енергоспоживання мешканців житлових будинків: з'явилися нові побутові електричні прилади і, відповідно, зменшилась частка газу в енергозабезпеченні окремої квартири (індивідуального будинку).

У документі [2] усіх споживачів запропоновано поділити на декілька груп в залежності від величини річної витрати газу. Наприклад, мешканців житлових будинків віднесено до У категорії споживачів (річний об'єм не перевищує 10 тис. м<sup>3</sup>). Хоча краще було б виконати таку класифікацію в залежності від максимально годинної витрати, тим більш, що у цьому ж документі вводиться встановлення тарифів за так званим договором розподілу природного газу, виходячи з величини приєднаної потужності об'єкта споживача.

Сьогодні у мешканців житлових будинків встановлено приблизно 10 млн. побутових лічильників газу (ПЛГ). У більш чим 3 млн. абонентів житлових будинків оплата за спожитий газ нараховується в залежності від кількості мешканців і номенклатури встановлених газових приладів, а також від

опалюваної площі. Субсидіювання державою комунально-побутових послуг аж ніяким чином не заохочує економію палива. Окрім того, приблизно у 80% від встановленої кількості ПЛГ відсутня можливість приведення показів до стандартних умов. А температурна похибка серед інших у показах лічильників відіграє панівну роль [5]. Дистанційна передача даних (згідно з термінологією Кодексу [2]) взагалі не передбачалась як вимогами тогочасних нормативно-технічних документів, так і безпосередньо конструкцією вимірювальних приладів.

Облік природного газу з урахуванням його енергетичних показників є більш об'єктивним. Особливої актуальності впровадження розрахунків в одиницях енергії набуває для мешканців житлових будинків. Це дозволить побутовим споживачам оцінювати економічність, ефективність та доцільність використання природного газу у порівнянні з електричною енергією.

Як правило, контроль якості газу виконують хіміко-аналітичні лабораторії газотранспортної компанії ПАТ «Укртрансгаз» у відповідності з вимогами Кодексу газотранспортної системи [6].

Встановивши чіткі вимоги щодо якості природних газів держава не у повній мірі розробила заходи щодо їх дотримання, однозначного трактування та застосування. Так, наприклад, у регіональних підприємств з надання послуг з газопостачання практично відсутні можливості, що дозволяють визначати і контролювати фізико-хімічні властивості газу в режимі реального часу. Натомість пропонується створити так звані «маршрутні карти» транспортування газу від газорозподільної станції, де відбуваються операції купівлі / передачі газу, до кінцевого споживача, В Кодексі [2] рекомендовано «обсяг енергії вимірюваного об'єму за певний період часу розраховувати шляхом перемноження цього об'єму, приведеного до стандартних умов, на середньозважене значення вищої теплоти згоряння газу за цей період». У той же час в Україні для широкого доступу пропонується інформація щодо середньозважених щомісячних значень лише нижчої теплоти згоряння  $Q_p^H$  (при стандартних умовах) для кожної з областей. Наприклад, за січень 2018 р. згідно з даними [7] діапазон вимірювань  $Q_p^H$  знаходився у межах від мінімального значення – 34.04 (Донецька область) до максимального – 34,66 МДж/м<sup>3</sup> (Харківська область), яке дещо перевищує рекомендовану Кодексом [6] величину.

Положення низки нормативно-правових документів в галузі газопостачання, як чинних на території України з часів колишн. СРСР, так і нещодавно прийнятих, вступають у протиріччя один з одним, наприклад, стосовно визначення витрат природного газу. Усунення протиріччя чинних, уточнення їх окремих положень, розробка нових нормативних документів (наприклад, на заміну ГОСТ 5542-87 [4]), реалізація запропонованих рішень дозволить споживачам і населенню, зокрема, сплачувати кошти за реально спожите паливо, а точніше – спожиту енергію, а у державі буде упорядковано облік природного газу, що дозволить скласти реальні баланси палива.



### **Література:**

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. № 605-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085).
2. Кодекс газорозподільних систем. – Затвердж. Постановою НКРЕКП № 2494 від 30.09.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15>.
3. ДБН В.2.5-20-2001. Газопостачання / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2001. – 286 с.
4. ГОСТ 5545-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М.: Изд.-во стандартов, 1987. – 2 с.
5. Предун К.М. Удосконалення обліку природного газу абонентами житлових будинків / К.М. Предун, О.М. Шевчук // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / К.: КНУБА, 2016. – Вип. 19. – С. 82-86.
6. Кодекс газотранспортної системи. – Затвердж. Постановою НКРЕКП № 2493 від 30.09.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z1378-15>.
7. Якість газу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://utg.ua/utg/business-info/yakst-gazu.html>.

## **АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ЧИСЛОВО-АНАЛІТИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ З АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РЕБРИСТОГО ПЕРЕКРИТТЯ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ**

**Срібняк Н. М.**

**кандидат технічних наук, доцент**

*Сумський національний аграрний університет*

*м. Суми, Україна*

Основним видом перекриттів у всіх типах будівель, як промислових, так і цивільного призначення, є залізобетонні плоскі перекриття, що сприймають навантаження, забезпечують просторову жорсткість будівлі.

Метод кінцевих елементів є числовим методом та є одним із методів розрахунку статично невизначених систем, якими є диски перекриття. Цей метод дає можливість врахувати багато факторів при створенні розрахункової схеми будівлі та її розрахунку. В програмних комплексах, що реалізують метод кінцевих елементів, стало можливим врахування просторової роботи конструкції, яка обумовлює нерівномірний перерозподіл зусиль між елементами. В роботах багатьох авторів [1; 2; 3; 4; 5] та інших дослідженнях

показано, що просторова робота монолітних і збірних ділянок перекриттів впливає на напружено-деформований стан їхніх окремих елементів.

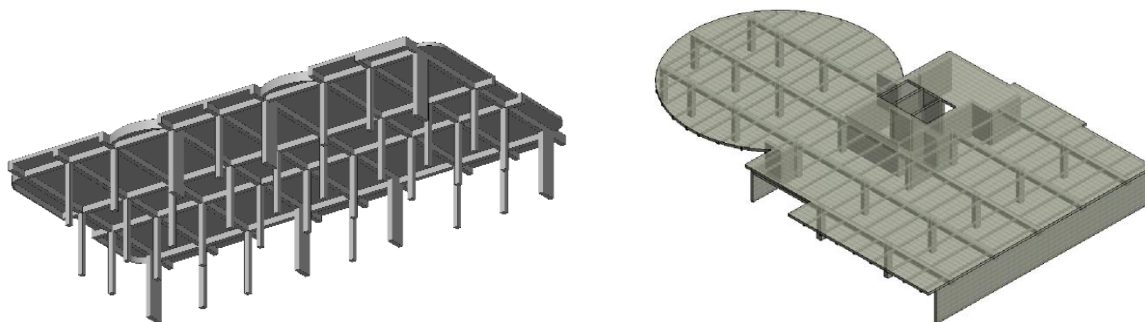
У ребрах таких перекриттів виникають різні зусилля – згинальні та крутні моменти, що залежать від жорсткостей на вигин та кручення та навантаження, що прикладено. В залізобетонних елементах від навантаження виникають тріщини різного виду. Тріщиноутворення впливає на напружено-деформований стан і характеристики жорсткості перерізів. Експериментальними дослідженнями встановлено вплив тріщин на зміну не лише жорсткостей при згині, але й жорсткостей при крученні [6; 7; 8; 9].

Значні крутні моменти виникають в крайніх балках балочного перекриття (в тому числі й монолітного ребристого) або при локальному чи не симетричному завантаженні балочного перекриття. Тріщиноутворення обумовлює перерозподіл жорсткостей залізобетонних елементів, що значним чином впливає на зміну внутрішніх зусиль в цих елементах. Тому важливим є врахування уточнених зусиль для більш точного конструювання елементів перекриття.

Для більш точного обчислення крутних моментів потрібно визначити реальну жорсткість при крученні цих елементів. Як правило, і, здебільшого, ребра (поперечні і поздовжні) працюють на вигин, тобто здебільшого в нижніх шарах цих стержневих елементів виникають нормальні від вигину тріщини.

Дослідженню жорсткості при вигині елементів з нормальними тріщинами присвячено багато теоретичних робіт та практичних досліджень. Щодо визначення жорсткостей при крученні залізобетонних елементів з нормальними тріщинами практично відсутні відомості у відомій науковій літературі, хоча експериментальними дослідженнями встановлено вплив нормальних тріщин на зміну не лише жорсткостей при згині, але й жорсткостей при крученні. В роботі [10] запропонована аналітична методика визначення жорсткості при крученні залізобетонного елемента прямокутного перерізу, що має нормальні від вигину тріщини.

На основі методики [10] для ребристих перекриттів різної конфігурації (рис. 1), розрахункова схема яких задана в програмному комплексі, що реалізує метод кінцевих елементів (рис. 3), запропоновано алгоритм числового виконання експерименту (рис. 2).



**Рис. 1. Просторові схеми ребристих перекриттів**

Послідовність виконання числового експерименту наведена на рис. 2

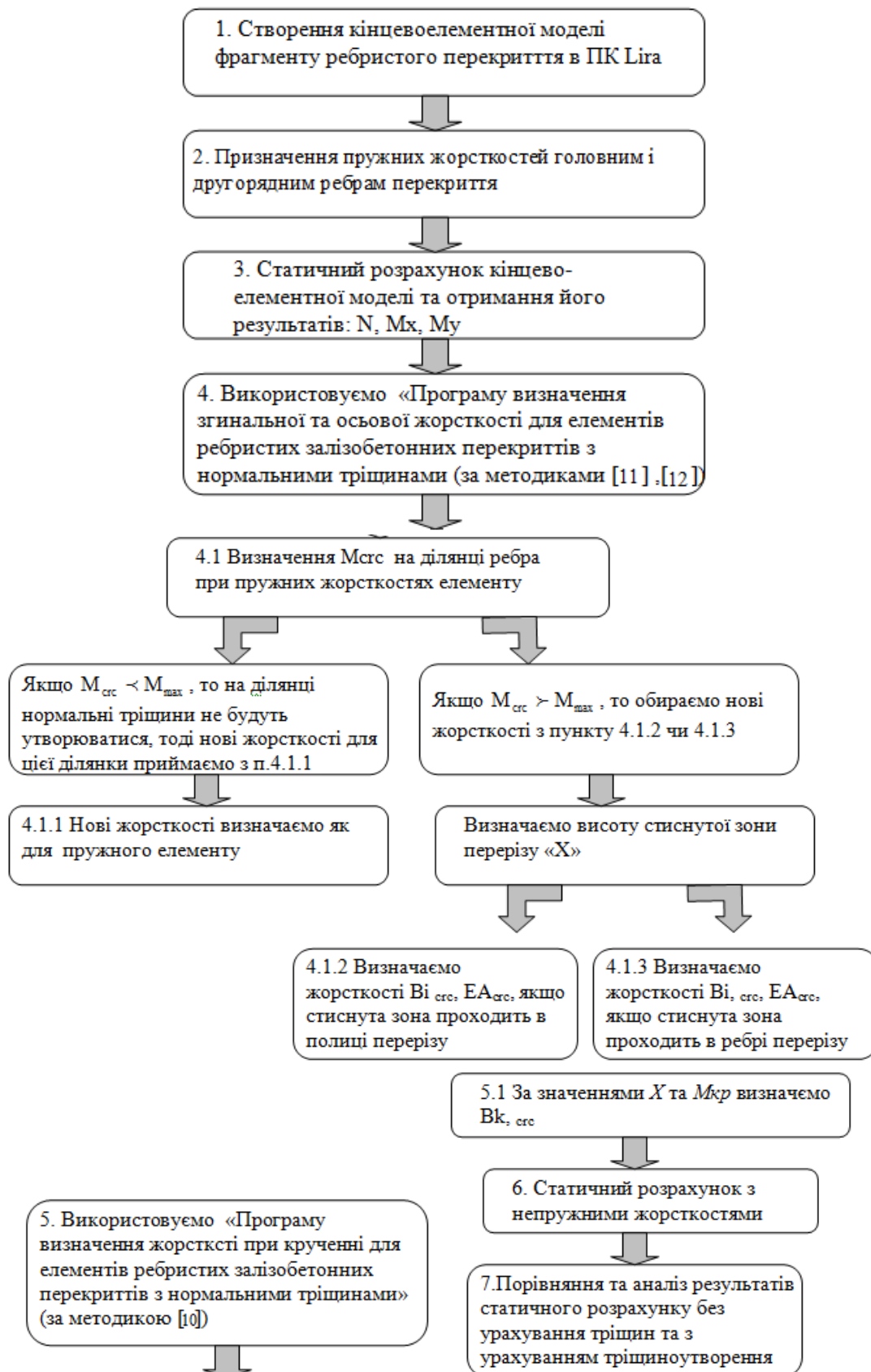
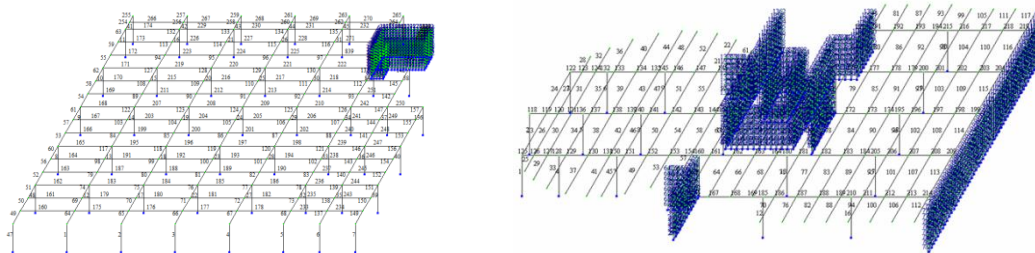


Рис. 2. Алгоритм виконання числово-аналітичного експерименту з визначення НДС ребристого перекриття з нормальними тріщинами

Результати розрахунку за алгоритмом зокрема показали, що в порівнянні з пружними значеннями жорсткостей при крученні та згині жорсткості елементів з нормальними тріщинами відрізняються від пружних жорсткостей близько на 20-45%.



**Рис. 3. Розрахункові схеми перекриттів за рис. 1, створені в ПК «ЛИРА-САПР»**

Статичний розрахунок двох ребристих перекриттів за рис. 1, розрахункові схеми яких наведено на рис. 3, показав, що зміна жорсткостей внаслідок утворення нормальних тріщин істотно впливає на зміну та перерозподіл внутрішніх зусиль в ребрах залізобетонного ребристого перекриття.

#### **Література:**

1. Горнов В.Н. Исследование прочности и жесткости сборных железобетонных перекрытий из лотковых настилов // Горнов В.Н. – М.: Стройиздат, 1950. (Материалы и конструкции в современной архитектуре.)
2. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий / Азизов Т.Н. – К.: Науковий світ, 2001. – 276 с.
3. Айвазов Р.Л. Сборное панельное перекрытие, опёртое по контуру / Айвазов Р.Л. – М., 1971. (Пространственная работа железобетонных конструкций) (Сб. трудов; вып. 90).
4. Lubel L. Recherche experimentale sur la repartition transversale des charges pour un pont-dalle / Lubel L., Popescu A. // Annales des Travaux Publics de Belgique. – 1967. – № 5.
5. Крамарь В.Г. О совместной работе пустотных настилов пролётом 12 м в составе перекрытия / Крамарь В.Г., Орловский Ю.И., Кунь В.Л. // Исследования и вопросы совершенствования арматуры, бетона и железобетонных конструкций. – Волгоград: ВГИСИ, 1974.
6. Краснощеков Ю.В. Работа ребристых плит в сборных железобетонных настилах / Ю.В. Краснощеков, Л.И. Мрачковский // Бетон и железобетон. – 1991. – № 1. – С. 28-30.
7. Мурашкин Г.В. Влияние предварительного напряжения на прочность и трещиностойкость железобетонных балок прямоугольного сечения, работающих на изгиб с кручением: дис. ... канд.техн.наук: 05.23.01 / Мурашкин Г.В. – Куйбышев, 1966. – 169 с.

8. Немчинов Ю.И. Метод пространственных конечных элементов (с приложениями к расчёту зданий и сооружений) / Немчинов Ю.И. – К.: Изд-во НИИСК, 1995. – 368 с.

9. Карабанов Б.В. Пространственный расчёт сборно-монолитных ребристых перекрытий / Б.В. Карабанов // Бетон и железобетон. – 1987. – № 3. – С. 19-21.

10. Срибняк Н.Н. Крутильная жесткость железобетонных элементов перекрытий с нормальными трещинами: дис.:... канд. техн. наук: 05.23.01 / Срибняк Наталия Николаевна – Одесса, 2009. – 257 с.

11. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010 – [Введено 2011-06-01] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с.

12. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84\* – [Введен 1986-01-01] – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

## **ЗАХИСНИЙ ЕКРАН З ТРУБ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ**

**Тімченко Р. О.**  
доктор технічних наук,  
професор кафедри промислового,  
цивільного та міського будівництва

**Крішко Д. А.**  
кандидат технічних наук, старший викладач  
кафедри промислового, цивільного  
та міського будівництва

**Мацишин С. О.**  
асистент кафедри технології машинобудування  
*ДВНЗ «Криворізький національний університет»  
м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, Україна*

У комплексі міських підземних споруд особливе місце займають тунельні системи: транспортні тунелі, пішохідні тунелі, підземні багатоярусні автостоянки, колекторні тунелі. Особливою складністю відрізняється будівництво підземних тунельних систем, розташованих в складних інженерно-геологічних умовах та на підроблюваних територіях. Основними вимогами при будівництві подібних споруд є виключення просадки, деформації поверхні і мінімальний вплив будівельного процесу на повсякденну роботу міської інфраструктури [1; 2].

Виконані раніше роботи [3-8] з розробки конструкцій поперечного тунелю мають подальший розвиток у створенні захисного екрану з труб на

нерівномірно-деформованій основі. Метою дослідження є розробка захисного екрану з труб для складних інженерно-геологічних умов.

Тунелі – це протяжні підземні або підводні споруди, призначені для пропуску через висотні або контурні перешкоди транспортних засобів, пішоходів, води, інженерних комунікацій або технологічних ліній. Область застосування і різновиди тунелів настільки широкі, що дозволяють скласти лише їх загальну класифікацію за призначенням, місцем розташування, глибиною закладення і способом будівництва.

Підземне будівництво споруд вулично-дорожньої і транспортної мережі дозволяє організувати швидкісний рух автотранспорту і одночасно підвищити безпеку пішоходів. Відсутність затримок автомобільного транспорту перед світлофорами і в «пробках» знижує витрати часу на пересування по місту, сприяє зниженню рівнів транспортних шумів, а також рівнів забрудненості повітряного басейну вихлопними газами автомобілів.

Основним засобом організації швидкісного руху наземного транспорту є пристрій транспортних і пішохідних тунелів неглибокого закладання, а також автотранспортних тунелів глибокого закладання. Загальні принципи проектування автотранспортних тунелів в містах зводяться до наступного: вибір автомобільних трас, на яких доцільно устрій тунелів; забезпечення повного поділу в тунелях зустрічного руху; виняток злиття в тунелях другорядних потоків з головними потоками транспорту.

Будівництво автотранспортних тунелів доцільно на окремих ділянках найбільш завантажених магістральних вулиць і доріг як засіб підвищення їх пропускної спроможності. Для забезпечення збереження історичної забудови міста будівництво автотранспортного тунелю часто виявляється єдиним можливим рішенням.

Головним завданням будівництва підземних споруд в умовах щільної міської забудови є зведення до мінімуму осідання земної поверхні. Оптимальним рішенням при будівництві таких об'єктів буде застосування захисного екрану. Конструктивним призначенням екрану є попередження і мінімізація деформацій і осідань поверхні, розташованої над склепінням тунелю в період його проходки і кріплення. Існують різні модифікації цього способу, що відрізняються матеріалом, формою і розмірами екрану, способами зведення, наявністю або відсутністю замкових елементів.

Для екранів застосовують сталеві, залізобетонні, азбестоцементні та пластмасові труби діаметром від 80 до 250 см і довжиною до 30-40 м. Труби продавлюють в породу по контуру вироблення домкратними установками або проштовхують в пробурені свердловини окремими ланками по 2-5 м. По мірі продавлювання з труб витягують породу, а після закінчення продавлювання труби заповнюють бетоном, і вони утворюють суцільну огорожу, під захистом якої проводиться розробка породи і зводиться тунельне оброблення. По мірі розробки породи в тунелі ланки труб з'єднують між собою зварюванням або омоноличують стики, або з'єднують за допомогою замкових пристроїв хомутами, або бандажами по типу шпунта. Найбільшого поширення набули екрани зі сталевих труб, заповнених бетоном з арматурними каркасами.

Розрахунок конструкцій захисного екрану з труб при споруді тунелів роблять для призначення або перевірки його параметрів і можливості сприймати задані навантаження. У деяких випадках метою розрахунку є також визначення деформацій елементів конструкції (труби екрану і рами тимчасового кріплення).

Характеристики ґрунтів гірського масиву навколо тунелю, що використовуються в розрахунках захисного зводу, повинні визначатися натурними або лабораторними дослідженнями. При попередніх розрахунках допускається використання даних з нормативних документів. Використовуються ізотропні однорідні лінійно-деформовані і упругопластичні моделі ґрунту. Для цих моделей деформаційними параметрами є модуль деформацій  $E$ , МПа, і коефіцієнт Пуассона  $\mu$ .

Перехід ґрунту в пластичний стан рекомендується визначати за умовою руйнування Кулона – Мора. Міцність гірських порід характеризується: для нескельних ґрунтів параметрами зсуву (кутом внутрішнього тертя  $\varphi$ , град. і зчепленням  $C$ , МПа); для скельних ґрунтів – міцністю на стиск  $R_c$ , МПа, і міцністю на розтягнення  $R_p$ , МПа.

Важливим моментом у створенні екрану є виконання замкових пристроїв. З урахуванням можливих розтягуючих і зсувних зусиль ці конструкції повинні компенсувати виникаючі деформації основи.

Найбільш точно напружено-деформований стан захисного екрану в процесі проходки може бути оцінений проведенням просторового розрахунку напружено-деформованого стану системи «конструкція – масив» з використанням методів механіки суцільного середовища. Для наближеного визначення зусиль в трубах екрану можуть використовуватися плоскі розрахункові кінцево-елементні моделі, площина яких паралельна осі тунелю. Захисний екран з труб при будівництві підземних споруд не вимагає великих економічних витрат і зупинки рухів, дозволяє розвантажити дорожній рух вуличної мережі та забезпечити пішоходів. Тому при будівництві тунелів на забудованих міських територіях, а також при перетині залізничних і автодорожніх магістралей, застосовують захисні екрани, що влаштовуються по технології випереджаючого кріплення.

Розглянуто фактори, які ускладнюють, з геомеханічної точки зору, будівництво підземних споруд на підроблюваних територіях і в складних інженерно-геологічних умовах. Запропоновано передумови розрахунку захисного екрану з труб, призначення якого полягає в попередженні та мінімізації деформацій і осідань поверхні, розташованої над склепінням тунелю в період його проходки і кріплення. З метою поліпшення роботи екрану, тобто зменшення величини відносних деформацій поверхні території і перерозподілу навантаження на підземні споруди необхідна подальша конструктивна розробка замкових з'єднань у вигляді лінійно-рухомих конструкцій.

### Література:

1. Шаповалов А.Н. Инженерные сооружения: учебн. пособие / А.Н. Шаповалов. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2017. – 292 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков, М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
3. Тимченко Р.А. Конструктивное решение поперечного тоннеля / Р.А. Тимченко, В.Л. Седин // Вісник КНУ. – Кривий Ріг, 2011. – Вип. 28. – С. 3-7.
4. Timchenko R.A. Constructive solution to the tune by the permanent transport master / R.A. Timchenko, D.A. Krishko, S.O. Macyshin // International scientific and technical conference «Geotechnics – XXI» (October 24 – 26, 2017, Poltava). – Poltava: PNTU, 2017. – P. 214-220.
5. Використання порушених територій під об'єкти рекреаційних зон в містобудівному проектуванні / Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, О.В. Шевчук, Л.В. Петрова // Вісник КТУ. – Кривий Ріг, 2013 – Вип. 34. – С. 194-197.
6. Процесс управління територіальним розвитком міста / Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, Д.Ю. Пасічна, Г.Ю. Піддубна // Вісник КТУ. – Кривий Ріг, 2012 – Вип. 30. – С. 50-54.
7. Тімченко Р.О. Прокладання інженерних мереж з використанням методу горизонтально-спрямованого буріння (ГСБ) / Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, К.О. Порохненко // Містобудування та територіальне планування – К.: КНУБА, 2013. – Вип. 48 – С. 452-456.
8. Сучасні питання містобудівного проектування / Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, Б.А. Думіч, Т.Ю. Горобець, О.О. Кошевий, А.О. Авдєєва, А.С. Романюк // Вісник КТУ. – Кривий Ріг, 2012 – Вип. 30. – С. 54-58.

## ANALYSIS OF PROCESSES OF STRUCTURE FORMATION OF DISPERSE SYSTEMS AND CONSTRUCTION COMPOSITE MATERIALS ON THEIR BASIS

**Trofimova L. E.**  
**Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,**  
**Associate Professor of Technology of Building Production**  
*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
*Odesa, Ukraine*

As it is shown in N.B.Uriev's works [1-3], methods of physical-chemical governing of highly concentrated disperse systems rheological characteristics in different technological processes are based on determining regularities and mechanism of formation, stability and destruction of such structures under dynamic conditions. The main properties of these systems are caused by the force and energy



of the units of disperse phase contact interaction. Superposing on the highly concentrated disperse system of external field of force (vibration) there occurs a unit shift from one fixed position in structure net to a new set position. For such systems the determining factor is the correlation between potential energy of units interaction and kinetic energy, given them by external mechanical influence.

For disclosing the essence of the phenomena and processes, which regulate disperse systems formation we suggest using the Catastrophe Theory [4]. The main issues the Catastrophe Theory is dealing with are equilibrium, stability and loss of stability. This theory let us analyse abrupt spasmodic changes in the state of the dynamic systems of any nature, changing under certain circumstances from one equilibrium position to another, different from the primary one. The analysed process is considered to be described by a number of governing parameters and variables of state; in smooth changing of parameters there may be observed quality reconstruction of the functional system. All the variety of the situations met in practice can be presented in a small number of canonical models («fold», «ruffle» etc.). In particular we should notice the analogy between one of the catastrophes geometry, wedging pressure isotherms qualitative aspect, isotherms of the disperse phase units interaction forces. This identity gives us the possibility to translate on the Catastrophe Theory language a number of earlier published in physical-chemical literature results. So, there was reformulated in new terms analyses of wedging pressure isotherms and stability of water pellicle state, shown in B.V.Deijagin works. Spasmodic and hysteresis effects, which can also be the subject of this theory, are observed on investigating: peculiarities of different disperse systems flow; processes of black pellicles grow, stability and break; the formation and stability of liquid-crystal contiguous structures etc. From the Catastrophe Theory point of view there were analysed such phenomena having contiguous character as loss of physical-chemical stability and connected with it completeness break etc.

It should be noted that in modeling real situations with sudden catastrophic changes of regimes, it is necessary to take into account the presence of two main directions connecting the geometry of catastrophes to the system being investigated (maximal delay and Maxwell principles). The choice of one of the principles is determined by the nature of the phenomenon itself.

As was shown in [1-3], the continuity can be disturbed by the jump of the solid phase concentration near the boundaries of macroinhomogeneities with the formation of shear planes. The initial structure is split into layers (i. e., local volumes bounded by the slip surfaces). Inside these volumes contacts between dispersed-phase particles are not broken and the degree of nonuniformity, which corresponded to the moment of the appearance of the initial (static) structure in the systems, is preserved. A breakage of cross-links, with respect to the flow direction, between the structural elements of the initial cellular-type space mesh and a displacement of the liquid phase from the spacing between particles when the cell boundaries break down are observed. There is a clear tendency for a transformation of the cellular structure to a layer structure, which becomes most pronounced when the solid phase concentration decreases within limits sufficient for self-organization. The cells extend in the shear direction and dissipative layer structures are formed. The development of these

structures was preceded by a compaction in local volumes of particle microaggregates with a gradual formation of shear planes in the zones of the largest aggregations of packing defects.

Thus, at a deformation in disperse system irreversible processes of restructuring caused by the cooperative interaction of defects can proceed. A deformable dispersion with defects (initial local imperfections) displays a behavior which can be represented as an asymmetric bifurcation diagram. In terms of the theory of catastrophes to such an evolution pattern there corresponds the above-mentioned assembly-type catastrophe («ruffle» model). It also seems informative to describe the mechanism of layering of disperse systems as a process of formation of contrast dissipative structures. Since for the existence of such a structure the presence of a set of «activator-inhibitor»-type parameters in the literal sense is not necessary, it is expedient to consider, as a deforming variable, the initial nonuniformity.

Consequently, the moment of the appearance of a layering is a precursor of the transition to the accumulation of reversible damages under the action of external force fields. The superposition on a deformable system of a vibration with optimum parameters radically changes the character of its destruction in the shear flow. A destruction of compacted layers with an avalanche formation of microaggregates of particles with simultaneous formation of a structure in the form of cells with loosened coagulation contacts is observed, and the slip zones thereby disappear. From the point of synergetics such an effect can be explained by the increase in the degree of nonequilibrium of the system under an additional action of the vibration, as a result of which the structure is shredded, as a rule. This interpretation is in qualitative agreement with experimental results: a combination of a continuous shear with an oscillation orthogonally directed to it causes [1-3] the structure to break down into aggregates whose size decreases and whose number increases with increasing vibration intensity  $I = a^2 w^3$  ( $a$  is the oscillation amplitude and  $w$  is the circular frequency). It is assumed that the «ruffle» model clearly illustrates the peculiarities of structural changes in disperse systems with increasing  $I$  that are manifested in the reconstruction of flow curves.

In conclusion, it is also necessary to note that, in addition to a distinctly differentiated geometric ruffle structure, there are also other features that indicate the applicability of the methods of Catastrophe Theory to some processes initiating the appearance of discontinuities in the evolution of a system. The recognition of these features makes it possible to establish the presence and type of catastrophe whose standardized structure facilitates the elucidation of clear regularities and, thereby, determines the directions for the optimization of various situations of both research and applied character.

#### References:

1. Uriev N.B. Visokokontsentrirrovannye dispersnye sistemy [Highly Concentrated Disperse Systems], Moscow: Khimiya, 1980. 320 p.
2. Uriev N.B. Fizikokhimicheskie osnovy tekhnologii dispersnykh sistem i materialov [Physicochemical Fundamentals of the Technology of Disperse Systems and Materials], Moscow: Khimiya, 1988. 256 p.

3. Uriev N.B. Fizikokhimicheskaia dinamika dispersnykh sistem [Physicochemical Dynamics of Disperse Systems and Materials], Moscow: Intellect, 2013. 232 p.

4. Trofimova L.E. and Uriev N.B. Modelirovanie protsesov strukturoobrazovaniia dispersnykh sistem i materialov [Modelling of Structure Formation of Disperse Systems and Materials], Odessa: Astroprint, 2011. 36 p.

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В УМОВАХ БУДІВНИЦТВА УНІВЕРСАЛЬНОГО ШЛАНГОВОГО БЕТОНОНАСОСА З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ**

**Чайка Д. О.**  
аспірант кафедри механізації  
будівельних процесів

**Ємельянова І. А.**  
доктор технічних наук,  
професор кафедри  
механізації будівельних процесів

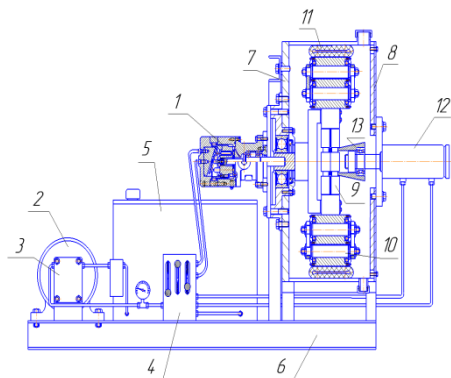
*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
м. Харків, Україна*

В умовах будівельного майданчика при зведенні будівель і споруд із монолітного залізобетону, нарівні з двопоршневими бетононасосами з гідравлічним приводом з успіхом можуть використовуватися безпоршневі шлангові бетононасоси [1]. Відомі їх використання як при укладанні монолітного залізобетону [2], також і при виготовленні залізобетонних конструкцій складних геометричних форм безпосередньо в умовах будівельного майданчика з використанням способу мокрого торкретування при безопалубному бетонуванні [3].

З цих позицій заслуговує уваги новий універсальний шланговий бетононасос із гідравлічним приводом (Рис. 1.) [4].

Особливістю конструкції нової машини є можливість його використання для роботи з різною продуктивністю та при цьому, зі шлангами різних діаметрів ( $d_{\text{шл}} = 32, 50, 75$  мм) при мінімальних витратах часу на його перебудову для конкретних умов експлуатації. Це досягається тим, що його робочий орган виконаний у вигляді ротора 9, що має дві протилежно розташовані обойми з роликів однакового діаметра, серед яких вісь центрального ролика розміщена ближче до осі шланга, а осі двох інших далі. При цьому, завдяки наявності спеціального гідравлічного регулятора 12 є можливість змінювати радіуси контакту торцевих поверхонь роликів зі шлангом для його перетиску залежно

від продуктивності насоса та використання, при цьому, шлангів відповідного діаметра.



**Рис. 1. Універсальний безпоршневий шланговий бетононасос нового конструктивного рішення з гідравлічним приводом**

1 – гідромотор; 2 – електродвигун; 3 – насос гідравлічний;  
4 – гідророзподільник; 5 – бак з гідравлічною рідиною; 6 – рама бетононасоса; 7 – корпус бетононасоса; 8 – кришка корпусу; 9 – ротор;  
10 – притискні ролики; 11 – еластичний шланг; 12 – гідравлічний регулятор продуктивності; 13 – конічна втулка

Бетононасос працює таким чином, що при обертанні ротора, завдяки тому, що осі роликів в обоймах знаходяться на різних відстанях від осі шланга, контакт шланга з роликами здійснюється поступово, виникає дуга деформації шланга з більшим радіусом кривизни, що зменшує напруження шланга та підвищує надійність роботи бетононасоса в цілому при порівнянні з діючими машинами.

На надійність роботи шлангових бетононасосів впливають їх динамічні характеристики, частково, моменти пуску та гальмування [5]. Визначався коефіцієнт надійності нового бетононасоса  $k_{н1}$ , який порівнювався із коефіцієнтом надійності діючих бетононасосів  $k_{н2}$ .

Для нового бетононасоса:

$$k_{н1} = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{G_1 + G_3} = 1,43 \quad (1)$$

де  $G_1, G_2$  – відповідно вага бетонної суміші в перерізах деформованого шланга, під впливом центрального та бокових роликів ротора;  $G_3$  – вага бетонної суміші, що знаходиться в проміжку між внутрішніми стінками максимально деформованого шланга під притисненням центральних роликів.

Для шлангового бетононасоса традиційної конструкції з центральними роликами:

$$k_{н2} = \frac{G}{G - G_3} = 1,02, \quad (2)$$

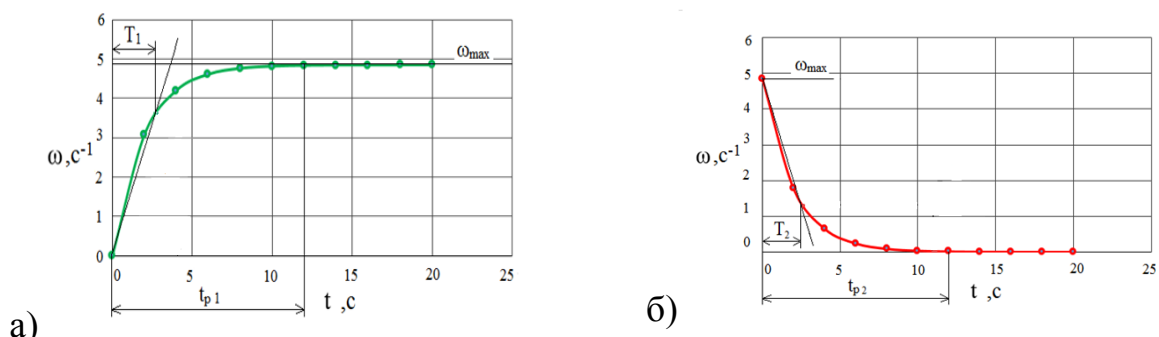
де  $G$  – загальна вага бетонної суміші, котра рухається по шлангу під тиском роликів.

Розрахунок робочих циклів  $z_{ц}$  обох бетононасосів (нового і діючого) слід проводити відповідно до залежності:

$$Z_{ц} = \frac{3600 \cdot T \cdot k_{н}}{T_1 + T_2} \quad (3)$$

де  $T$  – час безвідмовної роботи бетононасоса [5];  $T_1$  – час розгону ротора бетононасоса;  $T_2$  – час гальмування ротора бетононасоса.

Для розрахунку робочих циклів можна скористатися графічними залежностями на Рис. 2 а, б [6].



**Рис. 2. Залежність кутової швидкості обертання ротора бетононасоса від часу: а) розгону; б) гальмування**

Розрахунок робочих циклів нового бетононасоса із гідравлічним приводом та діючих машин показав, що строк служби нового насоса на 25% перевищує ресурс годин у сучасних шлангових бетононасосів.

В даному випадку аналізувалась надійність тільки конструкції бетононасоса. Для визначення загального коефіцієнта надійності роботи обладнання слід до уваги також брати приводну частину машини та транспортну магістраль бетонної суміші.

В такому разі, загальний коефіцієнт надійності розглядається як:

$$k_{заг} = k_{прив.г} \cdot k_{бн} \cdot k_{тр}, \quad (4)$$

де  $k_{прив.г}$  – коефіцієнт надійності роботи гідропривода бетононасоса;  $k_{бн}$  – коефіцієнт надійності конструкції бетононасоса (його робочої частини);  $k_{тр}$  – коефіцієнт надійності транспортного трубопровода.

Ефективність роботи шлангових бетононасосів також залежить від умов подачі бетонної суміші в транспортний трубопровід. Оцінка роботи машин може проводитися по коефіцієнту нерівномірності подачі суміші [7].

Для шлангових бетононасосів цей коефіцієнт визначається:

– при гідравлічному приводі

$$\delta_{бн.г} = \frac{4(d_{шл} \pi n R^* - k_{эпр} h_3 \sqrt{\frac{2 \Delta p_{бн}}{\rho_0}})}{d_{шл} (v_1 + v_2)} \quad (5)$$

де  $d_{шл}$  – діаметр шланга в корпусі бетононасоса;  $R^*$  – відстань між віссю ротора і віссю центрального ролика;  $k_{екв}$  – еквівалентний коефіцієнт, що враховує витрату суміші при послідовному впливі роликів ротора на шланг;  $h_3$  – висота зазору, який утворюється між внутрішніми стінками максимально деформованого шланга під впливом центрального ролика;  $\Delta p_{н}$  – перепад тиску в насосі;  $\rho_0$  – середня щільність бетонної суміші.

– при механічному приводі

$$\delta_{\text{бн м}} = \frac{4(d_{\text{шл}} \pi n R^* - k_{\text{зпр}} h_3 \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{бн}}}{\rho_0}})}{d_{\text{шл}} v_{\text{л}}} \quad (6)$$

де  $v_{\text{л}}$  – швидкість руху бетонної суміші по шлангу в корпусі бетононасоса ( $v_{\text{л}} = 2\pi n r_{\text{шл}}$ )

Визначення коефіцієнтів  $\delta_{\text{бн г}}$  та  $\delta_{\text{бн м}}$  показує, що при гідравлічному приводі бетононасоса пульсації подачі суміші по трубопроводу на 15% менше, ніж у насоса з механічним приводом, що свідчить про підвищення надійності в експлуатації нового універсального шлангового бетононасоса.

Таким чином, проведені дослідження показали ефективність використання в умовах будівельного майданчика універсального шлангового бетононасоса з гідравлічним приводом.

### Література:

1. Henikl, J. Estimation and control of the tool center point of a mobile concrete pump [Text] / J. Henikl, W. Kemmetmiller, A. Kugi // Automation in Construction. – 2016. – Vol. 61. – P. 112–123.
2. [www.monolithic.org/about-us-s.2/5](http://www.monolithic.org/about-us-s.2/5).
3. Емельянова И.А. Технологические особенности возведения зданий и сооружений криволинейной формы по строительной системе «монофант» с использованием малогабаритного оборудования способом мокрого торкретирования / Емельянова И.А., Гузенко С.А., Чайка Д.О. // Інноваційні технології в архітектурі і дизайні. Колективна монографія. – 2017. – 668 с.
4. Пат.112585 Україна F04 В43/12 (2006.01), F04 В15/02 (2006.01) Універсальний шланговий бетононасос / Ємельянова І.А., Задорожний А.О., Клименко М.В., Чайка Д.О. – Харківський національний університет будівництва та архітектури.
5. Ємельянова І.А., Андренко П.М., Чайка Д.О. Оцінка надійності безпоршневого шлангового універсального бетононасоса на стадії його проектування // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 162.
6. Чайка Д.О. Дослідження умов роботи нового універсального шлангового гідравлічного бетононасоса з урахуванням його динамічних характеристик / Науковий вісник будівництва. – 2017. – № 3 (89). – С. 230-234. – ISSN 2311-7257.
7. Ємельянова І.А., Андренко П.М., Чайка Д.О. Степень неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом как функция параметров рабочего процесса // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 165.

## ШЛЯХИ ПЕРЕРОБКИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

**Шишкін Е. А.**  
кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри  
міського будівництва

**Панкєєва А. М.**  
асистент кафедри  
міського будівництва

**Мороз Н. В.**  
старший викладач кафедри  
міського будівництва  
*Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова  
м. Харків, Україна*

Найважливішою проблемою, що вимагає негайного рішення у великих містах, є проблема обігу з небезпечними відходами виробництва й споживання. Не обійшла ця проблема й будівельну сферу. Тому що строк експлуатації більшості будинків, побудованих в 50–60-і роки, минає, найближчим часом намічається масштабний знос цих старих будинків. При цьому буде утворюватися величезна кількість будівельних відходів. І проблема утилізації будівельних відходів і безпечних умов при демонтажі будинків стає досить актуальною.

Під поняттям «будівельне сміття» варто розуміти всі відходи, які утворюються в ході ремонтно-будівельних робіт (демонтаж, ремонт, будівництво), що підлягають тільки спеціалізованому вивозу й утилізації.

Рециклінг (вторинна переробка матеріалів) дозволяє більш раціонально використати непоправні природні ресурси й мінімізувати екологічний збиток від виробничої діяльності. Для будівельної галузі проблема більш ніж актуальна. Грамотний рециклінг може скоротити собівартість будівництва, а відходи будівництва й зносу стають досить привабливим ресурсом в умовах реконструкції та відновлення міст.

У світовій практиці застосовуються два основних принципи організації переробки важких будівельних відходів і некондиційної продукції будіндустрії [1]:

- переробка відходів на спеціальних комплексах (полігонах);
- переробка відходів, що утворилися, на місці їхнього виникнення (на будмайданчику).

Перший варіант передбачає додаткові транспортні витрати на доставку відходів до місця переробки, які компенсуються ефективною роботою дробильно-сортувального комплексу великої потужності, можливістю більш глибокої переробки, відбором всіх сторонніх включень, можливістю організації

постійної логістики й маркетингу, відносно простим рішенням екологічних проблем.

Принцип роботи полігону (площадки) утилізації будівельних відходів найбільше точно можна розглянути на прикладі переробки залізобетонних виробів. Залізобетонний лом, отриманий на місці руйнування будинків, що зносять, транспортується на полігон (площадку) по переробці, де попередньо складається для підготовки до первинного дроблення (рис. 1).



а)



б)

**Рис. 1. Полігон для утилізації будівельних відходів:  
а) загальний вигляд полігону; б) переробна установка**

Як правило, комплекс складається з декількох ділянок:

- ділянка прийому відходів, де здійснюється їхнє складування, попереднє сортування й обробка негабаритних плит або уламків до розмірів, які здатна пропустити дробарка. Цю ділянку звичайно обслуговують екскаватори з гідростроубцями;

- ділянка підготовленого матеріалу, де працюють фронтальні навантажувачі з ємністю ковша 4-5 м<sup>3</sup> здатні забезпечити безперервну роботу високопродуктивної дробарки;

- переробна установка, що включає прийомний бункер, дробильний агрегат, магнітний сепаратор і сортувальний вузол. У якості первинних дробильних агрегатів найчастіше використовують шоківі дробарки, а також роторні агрегати ударно-відбивної дії, причому останні часто не вимагають установки дробарки другого ступеня. На великих переробних підприємствах до складу установки входять також дробарка вторинного дробіння, більш повний набір гуркітів, система повітряної сепарації легких часток (залишки утеплювача, шпалер, лінолеуму тощо), а іноді й установка для мийки вторинних щебенів;

- склад готової продукції може бути укомплектований поворотними конвеєрами, що відсипає щебінь різних фракцій у конічні відвали, або автоматизованими силосними складами. В силосах зберігається щебінь, який розподіляється по фракціях і по міцності, звідки він автоматично відвантажується замовникові в заданому процентному співвідношенні.

Звичайно комплекси обладнані автомобільними вагами для зважування матеріалу що надходить й продукції що відпускається.

Комплекси не тільки виконують важливу екологічну й економічну завдання державного значення, але також є високорентабельними підприємствами. Їхні



доходи складаються з плати за приймання матеріалу на переробку (постачальник заощаджує транспортні витрати на доставку до місця смітника й плату за смітник) і доходів від продажу вторинних щебенів, що дешевше природного.

Продуктивність комплексів залежно від їхньої комплектації й завантаження становить 100-800 тис. т у рік.

Другий варіант переробки відходів, що утворилися, на місці їхнього виникнення це повна переробка за допомогою спеціального устаткування або так званий рециклінг [2]. Такий метод не дозволяє застосовувати високопродуктивне встаткування, що забезпечує одержання чистого й фракціонованого продукту. Крім цього, воно вимагає особливих мір екологічного захисту прилеглих житлових будинків, виключає можливість безперервної роботи дробильної установки.

На сьогоднішній день рециклінг будівельних відходів відбувається переважно комбінованим засобом, який складається із чотирьох етапів [3]. Перший етап: підготовка будинку до зносу. З нього виносяться максимальна кількість матеріалів, які можна переробити. Другий етап: знесення будинку (як правило, механізованим способом). Третій етап: попереднє сортування будівельних відходів, що утворилися, і навантаження їх на самоскиди. Четвертий етап: переробка отриманих відходів на дробильно-сортувальному комплексі. Це замкнений цикл, при якому сполучається знос і переробка відходів будівництва. Однак завжди дотримувати подібної технології, як показує світовий досвід, не вдається через стислі строки виконання демонтажних робіт.

Безумовно, зручно, практично й економічно, коли є можливість утилізувати залишки від демонтажу будівельних конструкцій відразу, на місці зносу спорудження, і в самоскидах немає ніякої потреби. Також потрібно врахувати той факт, що в тому місці, де відбувалася ліквідація будь-якого будинку, у перспективі буде закладений фундамент для нового спорудження, тому знадобиться щебінь. Бетон, перероблений у щебінь, служить для засипання котлованів, а також для створення тимчасових доріг. Асфальт повторно застосовують у будівництві доріг, але спочатку його термічно обробляють при дуже високій температурі. У результаті значна економія матеріальних засобів, у випадку повторного застосування будматеріалів, стає усе більше очевидною.

Але, незважаючи на всі переваги рециклінга, багато організацій і будівельні фірми як і раніше просто вивозять все сміття на смітник, не замислюючись про майбутнє, здоров'я людей і екології, і вважаючи, що вивіз будівельних відходів і їхнє поховання є менш дорогим і менш заморочливим заняттям, чим їхня переробка. Можливо, тільки економічне підґрунтя, викликане здоровою конкуренцією, зможе підштовхнути будівельну галузь до придбання ліній по вторинній переробці будівельних відходів.

### **Література:**

1. Олейник П.П. Организация системы переработки строительных отходов: монография / П.П. Олейник, С.П. Олейник // Федеральное агентство по

образованию, Московский государственный строительный университет, Институт строительства и архитектуры. – Москва: МГСУ, 2009. – 252 с.

2. Семенов В.Т. Переробка будівельних відходів в умовах редевелопменту міських територій / Семенов В.Т. Шишкін Е.А., Гайко Ю.І. // Архітектурний вісник КНУБА: Наук.-вироб. збірник / Відповід. ред.. Куліков П.М. – К.: КНУБА, 2016. – Вип. 8-9. – С. 248-256.

3. Шишкін Э.А. Рециклинг строительных отходов в условиях реконструкции городской застройки / Э.А. Шишкин, Ю.И. Гайко // Economics, science, education: integration and synergy: materials of international scientific and practical conference (Bratislava, 18-21 January 2016).: in 3 V. – V. 3 – К.: Publishing outfit «Centre of educational literature», 2016. – P. 123-124.

## **НЕНЬЮТОНОВСКИЕ ЖИДКОСТИ В БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАНЕЛЯХ СРЕДСТВ МАЛОЙ И МОБИЛЬНОЙ ФОРТИФИКАЦИИ**

**Шушкевич В. И.**

**кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
строительного производства**

*Сумской национальной аграрный университет  
г. Сумы, Украина*

Сегодня внимание ученых разных стран (США, Великобритания, Польша), работающих как в сфере индивидуальной защиты военнослужащих, (бронежилеты, каски и пр.), так и в сфере малой фортификации и защиты военной техники, привлекают так называемые «неньютоновские» жидкости. Это происходит в силу их специфических свойств, которые сегодня оказалось возможным использовать для повышения пулестойкости преграды.

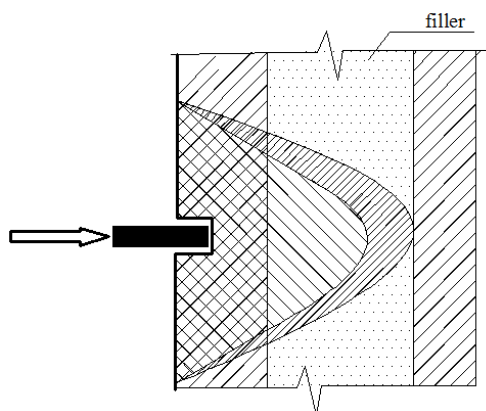
Именно в этом аспекте авторами решается проблема разработки эффективной баллистической панели для средств малой и мобильной фортификации.

Для конструирования эффективной тактической защиты следует получить как можно более детальное представление о характере взаимодействия быстродвижущегося объекта (в данном случае – пули) с преградой. Как зачастую и случается, исследования в этой области разделились на теоретические и экспериментальные.

Для моделирования ударного воздействия на компоненты инженерных сооружений распространение получили феноменологические модели Мизеса, Хилла, Джонсона-Кука, Престона-Тонкса-Валласа, Цая-Ву, Ямада-Сана, Хашина, Пука и др. [1; 2; 3].

Актуальной проблемой является разработка физической модели материала, основанной на рассмотрении основополагающих для проявления механической прочности колебаний частиц материала. Принципиальным для настоящей работы является то обстоятельство, что все без исключения вышеперечисленные модели оказываются единодушны в признании распространения зоны ударного импульса,

возникающей при столкновении пули с преградой, не только в направлении ее полета, но и в поперечном направлении (рис. 1).



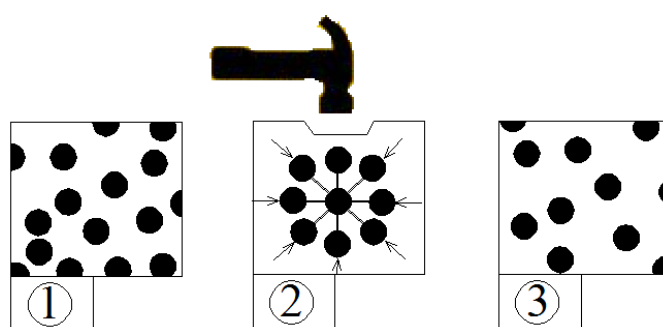
**Рис. 1. Зона распространения ударно-волнового импульса**

Экспериментальные исследования характера взаимодействия пули с преградой также весьма обширны [1; 2; 3], что в значительной мере объясняется многообразием конструкций самих пуль: обычные без стального сердечника, пули, включающие в свою конструкцию стальной сердечник, бронебойные, зажигательные, трассирующие и т. д.

По нашему мнению, наиболее универсальный результат при конструировании баллистической панели может быть достигнут с учетом характера взаимодействия с преградой именно пули со стальным сердечником внутри.

Взаимодействие летящей пули с преградой длится крайне короткое время, доли секунды.

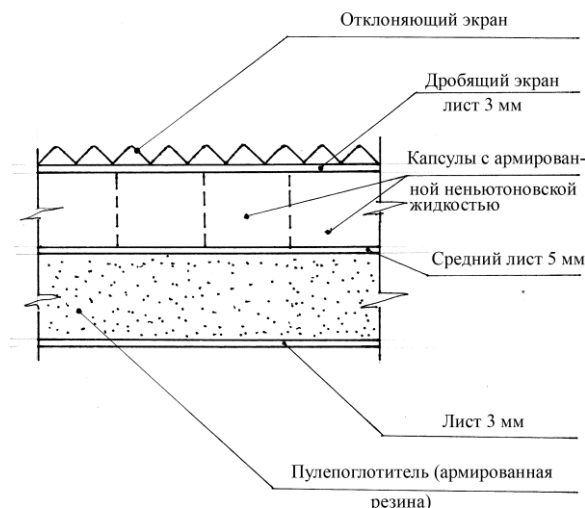
На уровне механического контакта, подобную реакцию в виде моментального изменения механических свойств демонстрируют *неньютоновские жидкости*, известные давно, но востребованные учеными, работающими над проблемами пулевой защиты, относительно недавно.



**Рис. 2. Иллюстрация того, как ведут себя молекулы неньютоновской жидкости при воздействии на нее:**

1. обычное состояние – броуновское движение, мягкая и податливая среда;
2. реакция на удар – концентрация в точке воздействия, твердая среда;
3. снятие нагрузки – обычное состояние

Именно свойства «жидкой брони» мгновенно затвердевать и создавать препятствия для дальнейшего механического воздействия будут использованы при конструировании основного элемента баллистической панели.



**Рис. 3. Состав баллистической панели**

Для испытаний на пулестойкость были изготовлены образцы-фрагменты баллистической панели размером 50 x 50 см.

Дистанция обстрела образцов баллистической панели была принята равной 50 метров.

Поражение образцов осуществлялось в тире воинской части из автоматов Калашникова калибра 7,62 мм и 5,45 мм

В результате испытательных обстрелов установлено, что пулестойкость образцов баллистической панели на дистанции 50 м обеспечена.

Выводы.

1. В результате проведенных исследований предлагаемая авторами конструкция баллистической панели, заполненной армированной неньютоновской жидкостью подтвердила свою жизнеспособность и пулестойкость.

2. Подтверждена возможность использования в элементах баллистической панели рядовых строительных марок сталей, что позволяет сделать конструкцию экономичной при массовом производстве.

3. Также подтвердил свою эффективность состав неньютоновской жидкости на основе полиэтиленгликоля с армированием полипропиленовой фиброй.

### **Литература:**

1. Астанін В.В. Моделювання ударного пошкодження елементів інженерних споруд з використанням імовірнісного підходу [Текст] / В.В. Астанін, Г.О. Щегель // 6-а Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті», Харків, 19-21 квітня 2017 р.: Тези доповідей Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 94.

2. Liu P.F., Zheng P.F. Recent developments on damage modeling and finite element analysis for composite laminates: A review. – *Materials and Design*. – 2010. – Vol. 31. – P. 3825-34.

3. Astanin V.V., Shchegel G.O. Probabilistic modeling of physical damage processes of fiber-reinforced composite plates under dynamic loading. – *Sci. J. of the Ternopil Nat. Techn.Univ. (Mech. and Material Sci.)*. – 2016. – № 2(82). – С. (p.) 7-22.

4. Виктор Дик. Средства индивидуальной бронезащиты. Книга I. История доспеха. Издатель: Litres, 2018. ISBN 5041073996, 9785041073992.

5. Игнатова А.М., Артемов А.О. Игнатов М.Н. Исследование пулестойкости синтетических минеральных сплавов // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10-2. – С. 261-265.

## SECTION 4. TRANSPORT

### LINEAR SPEED OF VEHICLE IN VECTOR-MATRIX FORM ON THE SPATIAL CURVILINEAR TRAJECTORY

**Bas K. M.**

**Candidate of Technical Sciences,  
Doctoral Candidate at the Department  
of Motor Transport Vehicles  
National Transport University  
Kyiv, Ukraine**

**Bas T. P.**

**Postgraduate Student at the Department  
of Technology of Mining Engineering  
National Technical University «Dnipro Polytechnic»  
Dnipro, Ukraine**

At different modes of the vehicle movement on turns, slopes and straight lengths of the spatial route the tasks of estimating the dynamic load of the structure and the road surface [1-3], as well as the stability and controllability of the vehicle [4-6] are relevant. To solve this problem, the most accurate determination of the car linear velocity is necessary.

It is known that the vector of a material point linear velocity is based on a given hodograph in the form [7]:

$$\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{dt} \text{ or } \bar{V} = \bar{i}\dot{r}_1 + \bar{j}\dot{r}_2 + \bar{k}\dot{r}_3.$$

The velocity is determined by the dot product as

$$\bar{V} \cdot \bar{V} = v^2 \text{ or } v^2 = \dot{r}_1^2 + \dot{r}_2^2 + \dot{r}_3^2.$$

By definition, the velocity is found as a derivative of the path of time

$$v = \frac{ds}{dt} \text{ or } v = \dot{s}.$$

The path that a material point passes through an arbitrary time interval is calculated using an integral with an arbitrary upper bound:

$$s(t) = \int_0^t v(t) dt \text{ or } s(t) = \int_0^t \sqrt{\dot{r}_1^2 + \dot{r}_2^2 + \dot{r}_3^2} dt.$$

Introducing the path as an intermediate argument, the velocity vector is represented in the form

$$\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{ds} \frac{ds}{dt} \text{ or } \bar{V} = \frac{d\bar{r}}{ds} \dot{s}$$

Taking into account  $\frac{d\bar{r}}{ds} = \bar{\tau}$  we obtain  $\bar{V} = \bar{\tau} \dot{s}$

Obviously, the projection of the velocity vector onto the unit vector tangent to the spatial trajectory  $\bar{\tau} \cdot \bar{V} = \bar{\tau} \cdot \bar{\tau} \dot{s}$  defines the velocity  $V_\tau = \dot{s}$ ;

The projection of the velocity vector on the unit vector of the principal normal is defined as  $\bar{n} \cdot \bar{V} = \bar{n} \cdot \bar{\tau} \dot{s}$ . Thus,  $V_n = 0$ .

The projection of the velocity vector on the unit binomial is defined as  $\bar{b} \cdot \bar{V} = \bar{b} \cdot \bar{\tau} \dot{s}$ . Thus,  $V_b = 0$ .

$$\begin{vmatrix} \bar{\tau} & \bar{n} & \bar{b} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_\tau \\ V_n \\ V_b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \dot{r}_1 \\ \dot{r}_2 \\ \dot{r}_3 \end{vmatrix}$$

In vector-matrix form, we get that

$$\text{or } \bar{\tau} \dot{s} = \bar{i} \dot{r}_1 + \bar{j} \dot{r}_2 + \bar{k} \dot{r}_3.$$

The dot product of vectors is represented in quaternion matrices has the form [8; 9]:

$$\left\| \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{0} \right\| \leftrightarrow \frac{1}{2} (A_0 + A_0^t) b_0$$

Then in the system of terrestrial coordinates we get that

$$\left\| \frac{\bar{V} \cdot \bar{V}}{0} \right\| \leftrightarrow \frac{1}{2} (\dot{R}_0 + \dot{R}_0^t) \dot{r}_0$$

Thus, also

$$\dot{R}_0 = \begin{vmatrix} 0 & \dot{r}_1 & \dot{r}_2 & \dot{r}_3 \\ -\dot{r}_1 & 0 & -\dot{r}_3 & \dot{r}_2 \\ -\dot{r}_2 & \dot{r}_3 & 0 & -\dot{r}_1 \\ -\dot{r}_3 & -\dot{r}_2 & \dot{r}_1 & 0 \end{vmatrix}, \dot{R}_0^t = \begin{vmatrix} 0 & \dot{r}_1 & \dot{r}_2 & \dot{r}_3 \\ -\dot{r}_1 & 0 & \dot{r}_3 & -\dot{r}_2 \\ -\dot{r}_2 & -\dot{r}_3 & 0 & \dot{r}_1 \\ -\dot{r}_3 & \dot{r}_2 & -\dot{r}_1 & 0 \end{vmatrix}, \dot{r}_0 = \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{r}_1 \\ \dot{r}_2 \\ \dot{r}_3 \end{vmatrix},$$

$$\text{or } \left\| \frac{\bar{V} \cdot \bar{V}}{0} \right\| \leftrightarrow \begin{vmatrix} 0 & \dot{r}_1 & \dot{r}_2 & \dot{r}_3 \\ -\dot{r}_1 & 0 & 0 & 0 \\ -\dot{r}_2 & 0 & 0 & 0 \\ -\dot{r}_3 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ \dot{r}_1 \\ \dot{r}_2 \\ \dot{r}_3 \end{vmatrix},$$

$$\left\| \frac{\bar{V} \cdot \bar{V}}{0} \right\| \leftrightarrow \left\| \frac{\dot{r}_1^2 + \dot{r}_2^2 + \dot{r}_3^2}{0} \right\|.$$

Similarly, in the axes of a natural triad, we obtain

$$V_0 = \begin{vmatrix} 0 & V_\tau & V_n & V_b \\ -V_\tau & 0 & -V_b & V_n \\ -V_n & V_b & 0 & -V_\tau \\ -V_b & -V_n & V_\tau & 0 \end{vmatrix}, V_0^t = \begin{vmatrix} 0 & V_\tau & V_n & V_b \\ -V_\tau & 0 & V_b & -V_n \\ -V_n & -V_b & 0 & V_\tau \\ -V_b & V_n & -V_\tau & 0 \end{vmatrix}, \nu_0 = \begin{vmatrix} 0 \\ V_\tau \\ V_n \\ V_b \end{vmatrix},$$

$$\left\| \frac{\bar{V} \cdot \bar{V}}{0} \right\| \leftrightarrow \begin{pmatrix} 0 & V_\tau & V_n & V_b \\ -V_\tau & 0 & 0 & 0 \\ -V_n & 0 & 0 & 0 \\ -V_b & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \left\| \begin{matrix} 0 \\ V_\tau \\ V_n \\ V_b \end{matrix} \right\|,$$

$$\text{or } \left\| \frac{\bar{V} \cdot \bar{V}}{0} \right\| \leftrightarrow \begin{pmatrix} 0 & \dot{s} & 0 & 0 \\ -\dot{s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \left\| \begin{matrix} 0 \\ \dot{s} \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\|,$$

$$\left\| \frac{\bar{V} \cdot \bar{V}}{0} \right\| \leftrightarrow \left\| \frac{\dot{s}^2}{0} \right\|.$$

From which follows the obvious equality:

$$\dot{s}^2 = \dot{r}_1^2 + \dot{r}_2^2 + \dot{r}_3^2.$$

First, the resulting vector-matrix form of velocity allows us to refuse numerical methods when using computing equipment. Secondly, it improves the accuracy of the experiments associated with the investigation of the car's motion.

### References:

1. Hachaturov A.A., Afanasiev, V.L., Vasiliev, V.S. Dynamics of «road-tire-vehicle-driver» system. M.: «Mashinostroenie», 1976. 535 pp.
2. Martynyuk A.A., Lobas, L.G., Nikitina, N.V. Dynamics and sustainability of transport vehicle wheelset movement. Kiev: Tekhnika, 1981. 223 pp.
3. Kravets V.V., Kravets, T.V. Evaluation of the Centrifugal, Coriolis and Gyroscopic Forces on a Railroad Vehicle Moving at High Speed. Int. Appl. Mech. 2008. 44, № 1. P. 101-109.
4. Igdalov I.M., Kuchma, L.D., Poliakov, N.V., Sheptun, Yu.D. Rocket as a controlled object. Dnipropetrovsk.: ART-press. 2004. 544 pp.
5. Kravets T.V. Control forces and moments determining in the process of asymmetric aircraft along program trajectory of complex spatial configuration. Technical Mechanics. 2003. № 1. P. 60-65.
6. Beshta O., Kravets V., Bas K., Kravets T., Tokar L. Control of tandem-type two-wheel vehicle at various motion modes along spatial curved lay of line. Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems, 2015 Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02804-3, P. 27-32.
7. Lobas L.G., Lobas, Lyudm G. Theoretical mechanics. Kiev: DETUT, 2009. 407 p.
8. Kravets V.V., Bass K.M., Kravets T.V., Tokar L.A. Dynamic Design of Ground Transport With the Help of Computation Experiment. Mechanics, Materials Science and Engineering, Vol. 1, October 2015 – Pp. 105-111. – ISSN 2412-5954, MMSE Journal. Open Access [www.mmse.xyz](http://www.mmse.xyz).
9. Pivnyak G.G., Kravets V. V., Bas K. M., Kravets T.V. & Tokar L.A. (2016). Elements of Calculus Quaternionic Matrices And Some Applications In Vector Algebra And Kinematics. Mechanics, Materials Science & Engineering, Vol 3. Pp. 46-56. doi:10.13140/RG.2.1.1165.0329.



**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЙ РОЗВИТКУ  
АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ  
З НАДЛИШКОВОЮ ВИРОБНОЧО-ТЕХНІЧНОЮ БАЗОЮ**

**Біліченко В. В.**  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри автомобілів  
та транспортного менеджменту

**Цимбал С. В.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри автомобілів  
та транспортного менеджменту

**Романюк С. О.**  
кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри автомобілів  
та транспортного менеджменту  
*Вінницький національний технічний університет  
м. Вінниця, Україна*

Кількість рухомого складу, яка експлуатувалась на автотранспортних підприємствах (АТП) України на початку 90-х років ХХ століття, суттєво відрізнялась: були підприємства як з кількістю рухомого складу менше 100 одиниць, так з кількістю рухомого складу понад 600 одиниць. Близько 17% підприємств мали кількість рухомого складу від 50 до 100 одиниць, 27% – від 100 до 150 автомобілів, 37% – від 150 до 200 автомобілів [1]. При цьому 14% підприємств мали кількість рухомого складу від 200 до 250 автомобілів та 5% – більше 250 автомобілів. Слід також відзначити, що практично усі АТП з кількістю автомобілів понад 200 одиниць розташовувались в обласних центрах.

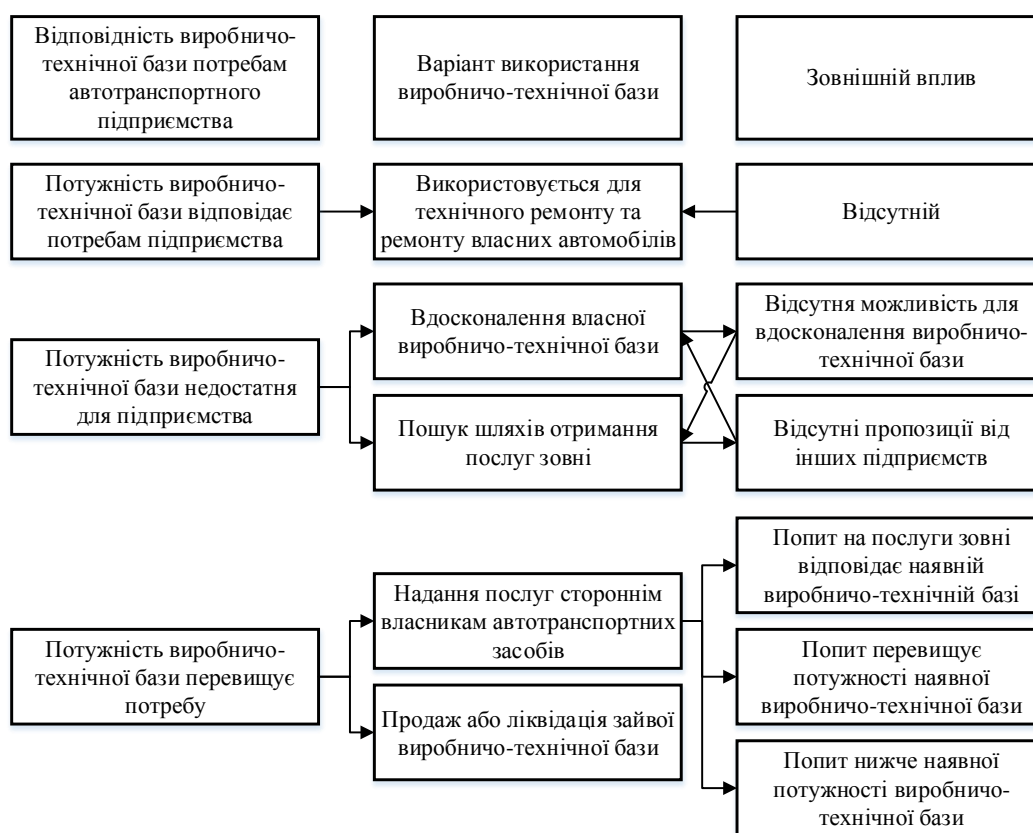
Традиційний розвиток виробничо-технічної бази, який був притаманний АТП того часу, обумовлює наявність на кожному АТП всього комплексу обладнання і оснащення, призначеного для виконання робіт з технічного обслуговування і поточного ремонту рухомого складу, а також приміщень, необхідних для розташування всіх виробничих підрозділів.

Після приватизаційних процесів значна частина комплексних АТП перетворились на дрібні транспортні фірми. Проведені дослідження показали, що в результаті розукрупнення АТП суттєво змінились їхні розміри, частка підприємств з кількістю автомобілів від 3 до 10 на даний час складає приблизно 41% від загальної кількості, тоді як раніше таких підприємств взагалі не було. Окрім того 23% підприємств мають від 11 до 50 автомобілів, 6% АТП мають кількість рухомого складу від 51 до 100 автомобілів, та 1% підприємств з кількістю більше 100 автомобілів [1].

Як показав аналіз діяльності АТП, може існувати три варіанти відповідності потужності виробничо-технічної бази (рис. 1):

- потужність виробничо-технічної бази відповідає потребам підприємства в обслуговуванні та ремонті власних автомобілів;
- потужність виробничо-технічної бази недостатня для підприємства;
- потужність виробничо-технічної бази перевищує потребу.

У випадку відповідності наявної виробничо-технічної бази потребам підприємства, вона використовується для технічного обслуговування та поточного ремонту власних автомобілів. Коли потужність виробничо-технічної бази недостатня для підприємства, то можна або удосконалити наявну виробничо-технічну базу, або отримати послуги по технічному обслуговуванню та поточному ремонту зовні.



**Рис. 1. Варіанти відповідності потужності виробничо-технічної бази АТП**

Але для більшості сучасних АТП України, які утворились після роздержавлення раніше існуючих, характерним є варіант, коли потужність наявної виробничо-технічної бази перевищує потребу в наданні послуг з технічного обслуговування та ремонту власних автомобілів. Як слідує з рисунку 1, в цьому випадку можливі наступні варіанти [2]:

- попит на послуги ззовні відповідає надлишковій потужності виробничо-технічної бази автотранспортного підприємства;
- попит перевищує потужності наявної виробничо-технічної бази;
- попит нижче наявної потужності виробничо-технічної бази.

Методика визначення стратегії розвитку базується на даних про стан та функціонування підприємства та даних про ситуацію на ринку транспортних послуг. Основу методики складає економіко-математичне моделювання, суть якого полягає у прогнозуванні діяльності підприємства за заданий проміжок часу за різними варіантами розвитку підприємств автомобільного транспорту.

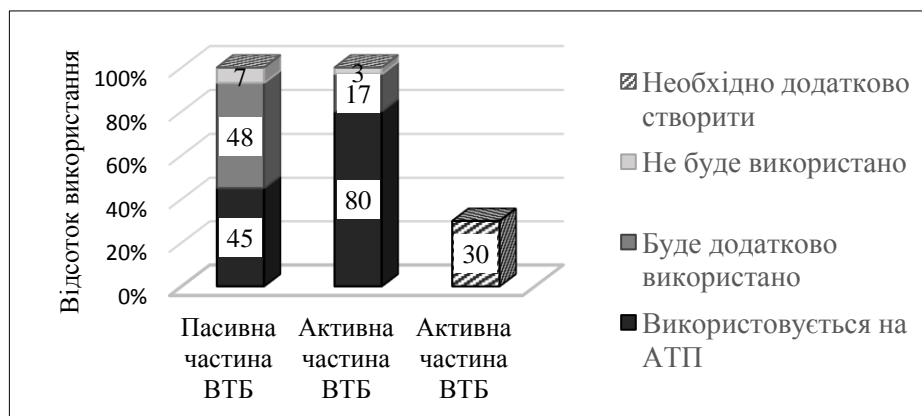
Спочатку необхідно провести збір інформації про роботу підприємства та аналіз ефективності його роботи. Інформація про роботу підприємства поділяється на зовнішню і внутрішню. Збір внутрішньої інформації передбачає аналіз звітної інформації про діяльність підприємства за визначений період. До цієї групи відносяться такі дані: наявність та стан рухомого складу; витрати на експлуатаційні та запасні частини; наявність необхідних фінансових ресурсів та можливість залучення додаткових фінансових ресурсів; наявність кваліфікованого персоналу; ефективність служби маркетингу, тощо.

Зовнішня інформація являє собою сукупність даних про стан ринку транспортних послуг, на якому працює підприємство, та дані про діяльність конкурентів. До цієї групи відносяться наступні дані: кількість споживачів транспортних послуг; доля ринку транспортних послуг; тенденції розвитку ринку транспортних послуг; тарифна політика та вплив конкурентів.

Після збирання необхідної інформації необхідно провести SWOT-аналіз для визначення ефективності роботи АТП та пошуку конкурентних переваг та недоліків підприємства. В залежності від результатів SWOT-аналізу можуть розглядатись варіанти обох стратегій розвитку, а саме [3]:

- стратегії, спрямованої на розвиток виробничо-технічної бази і пов'язаної з наданням послуг із забезпечення працездатності автомобілів;
- стратегії, пов'язаної з розвитком системи перевезень.

Далі аналізується наявна виробничо-технічна база та визначається об'єм робіт, який ще можна виконати на цій базі. Проводиться аналіз існуючої виробничо-технічної бази, яка використовується у даний час і проводиться співставлення потреби у виробничо-технічній базі з можливостями наявної як пасивної, так і активної частини виробничо-технічної бази, що не використовується (рис. 2).



**Рис. 2. Використання виробничо-технічної бази при реалізації стратегії розвитку**

Економічна ефективність визначається за допомогою таких показників, як чистий дисконтований дохід, індекс дохідності, внутрішня норма прибутковості та термін окупності.

Остаточне рішення про схвалення або відхилення стратегій розвитку приймається керівництвом підприємства на раді директорів або зборах акціонерів.

### **Література:**

1. Сайт Державного комітету статистики України. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/tz/tz\\_rik/tz\\_u/ts\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/tz/tz_rik/tz_u/ts_u.htm).

2. Бідняк М. Н. Виробничі системи на транспорті: теорія і практика: [монографія] / М. Н. Бідняк, В. В. Біліченко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 176 с.

3. Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: стратегії розвитку: [монографія] / В. В. Біліченко. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 308 с.

## **WAYS OF A SOLUTION TO ENSURE THE SAFETY OF TRANSPORT WHILE CHANGING TRAFFIC FLOWS**

**Bondarenko A. G.**  
**Candidate of Technical Sciences,**  
**Lecturer of Department Technology**  
**International Delivery and Logistic**  
*Pryazovskyi State Technical University*  
*Mariupol, Donetsk Region, Ukraine*

The increase of transport safety in recent years is relevant for the Azov Sea region and is included in a number of strategic directions. Improvements should be fundamental and change and maintain the infrastructure of the region. The scope of transformation concerns all modes of transport and serves to control the rules of transportation.

The measures taken contribute to the regulation of traffic in the event of congestion, unforeseen circumstances, sudden violations of the sequence. A variety of factors leads to consideration of a complex of issues and decision-making of organizational, technological, and technical.

Accumulation of information on the behavior of transport facilities allows to harmonize the impact of transport on personnel, the environment. The actual control of the state allows minimal means to organize recycling, to set up the production of Mariupol wagons, oil garbage collectors, boats, yachts, gantry cranes, long rails. Guaranteed service will help attract customers to the production of transport equipment.

Effective survey with the use of devices recording the permissible vibration during operational loads serves a good service to labor safety inspectors and safe port operations. It is hoped that the work of the author of this research will help in the search for reliable modes of operation of equipment, reduce cargo losses, expand the possibilities of diagnosing problems of machines, mechanisms, structures.

When delivering rails with a length of 100 meters, the conditions of passage with small turning radii [1], counter waves require control of the oscillations to ensure the safety of delivery. Consider vertical vibrations to ensure a steady movement [2].

The tasks that are relevant are the expansion canal of the water area, the renewal of technology, the replacement of the road to Kamysh-Zary for long rails from 100 meters, the reconstruction of a runway aircraft, navigation equipment, airport certification, coordination of short-range vessels; they are more successfully resolved when creating a database for accounting transport lines, maintaining a timetable.

Ensuring the successful operation, operating parameters, reliability indicators, and transport efficiency are achievable with continuous diagnostics and accordingly planning replacement, renovation of transport equipment, reducing or maintaining the permissible regime, equipment operation regulations. It is necessary to study the vibrations of a string when examining the securing of a cable on an emergency marine vessel while being held on an aircraft with a load of 100 kg.

Speed serves as a criterion for the success of the transport structure at comparable costs with the previous version and the most progressive brands. Speed, along with the time of motion, forms the amplitude and, mainly, the frequency of the forced vibrations [3]. Consider speed as a function of displacement.

The vibration level indicates the possibility of adjusting the materials, the rigidity of the gasket. This narrows the search for solutions on the most promising direction. When diagnosing a connection, recommendations for changing the range of vibrations accelerate the identification of the cause – the external environment, the parameters of the load, the load during operation.

Consideration of the model of the movement of transport elements allows to regulate the work when registering the permissible vibration, expand the possibilities of diagnostics, as studies show, the frequency of inspections is reduced from one week to six months.

Consideration of the scheme of action of forces for transport elements raises reliability by revealing failures, deterioration of damages. The study of vibration models of transport elements reduces the risk of exploitation with malfunctions and damage to the cargo during transportation, as studies show that the risk of work with lack of gaskets is reduced by 10%.

The influence of vibrations from the medium on transport reflects the parameters of viscosity, elasticity, saturation, and temperature. This requires the installation of proximity sensors, GPS, speed. Passing the way, overcoming obstacles at a safe distance requires the limitations of the dimensions and the project of the advancement by the water route.

Automation of processes on the basis of micro controllers establishes a technological mode of the prosecution. In our case, from the rolling shop to the ship to the port of destination.

The experience of the Kalchik floodplain reaction gives the tradition of developing the Kalmius estuary – trees are planted on the right bank and the gradual strengthening of its engineering facilities in combination with natural outlines creates colorful installations of the river port, revives the sports sections, rowing base, model navigation clubs.

Complex impact on the society increases the labor potential of the population, strengthens entrepreneurship, re branding. Legislation does not restrain the implementation of socially useful activities, the conclusion of contracts without full functional authentication of the enterprise in the revenue sphere, but does not exempt from paying taxes when making a profit. Therefore, full-scale investment infrastructure projects attract businesspeople.

The presented offer is, first of all, an alternative to the existing methods of delivery by rail, by cars to the port, the latter at a length of one hundred meters is impossible. Therefore, for the development of a promising commodity, the convenience of the river route is undeniable. Capital investments are recouped when they reach the projected existing capacity of the mill.

To raise production by an order, it is necessary to improve the quality of steel, and in the reconstruction and rolling products. This is possible when adding domestic ferro alloy, titanium, tungsten, replacing arsenic for molybdenum, controlling the surface in a polarized light chamber. This will increase the elasticity and hardness of the surface. Control of the raw material for the gaskets will be done after precipitation and separation in the field of electromagnetic induction in an ionized medium. Venture trend of the project involves spreading the proposed innovations to the transport directions for branding significant achievements with the personal efforts of the ambition region.

The implementation of infrastructure solutions consists in modeling the state of the trough for excavating the path. Later this model can be supported by frames, buoys, milestones of depth registration, flow velocity, subsequently temperature, humidity, and soil viscosity. Then the role of initial research is considerable, and at the same time, the data of the factory, meteorological, port laboratories are generally available for the emergence of the transport hub, the synergistic effect of obtaining investment.

An acceptable form of reflection of the surface model is finding the Newton polynomial, the Lagrange polynomial, the solution of the surface function of a figure of  $n$  nodes with the dimension of the matrix  $n-1$ . The vector direction encompasses the area of the ridge of the transverse profile.

The contours of the path determine the terrain, which in our case has a clay formation from the factory dumps of construction origin on the east side. On the left bank there is a gradual blurring, a change in deposits from industrial enterprises of Donbas.

With the fall of production, silt deposits begin to predominate. This greatly adds to the cost of planning. For the erosion of sediments, a dam device with closures facilitates maintaining the required depth.

The restriction of raising the level above one meter is due to the blurring of the roadbed of the Embankment and the tramway, the flooding of Ajakhi, the houses with

the transition to the Harbor. For complete control, concreting is possible with the opening of a cement plant when developing, apart from the Komsomolskoe mine, limestone deposits or its delivery. The expansion of auxiliary industries from the processing of metallurgical slag makes the task close to implementation.

When coating the bottom with a film, we use the painting with an aluminum substrate and then with titanium dioxide 0.4-0.75 mm thick. Changing the color in operation after 3 to 4 months signals the need to restore the film for actual wear or damage with low material costs. For small coastal waters, this acquires the spectacular effect.

The development of yacht tourism with spending the night on the coast undoubtedly gives dynamism to local entrepreneurship. For safety for small reservoirs and ecological stability, it is useful to periodically scan the bottom surface with an indication of attractive routes through the site on the map.

### **References:**

1. Парунакян В. Е. Развитие теории и методов повышения эффективности системы технического удержания железных колес промышленных предприятий. – Мариуполь: ПДТУ. – 2004. – 35 с.

2. Патент SU 1799942 Устройство для определения положения железнодорожного пути в вертикальной плоскости / Парунакян В. Э., Хоменко В. И., Стеблин А. М., Домбровский Л. И., 13. 12. 1990.

3. Дзюба А. В. Влияние динамических нагрузок от движения метрополитена на напряженно-деформированный стан высотных зданий / А. В. Дзюба, Т. Л. Миронец // Вісник НАУ. – К.: Національний авіаційний університет, 2010, № 4. – С. 143-146.

# ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ S-ПОДІБНИХ ПЕРЕХІДНИХ КРИВИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ШЛЯХІВ

**Борисенко В. Д.**  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри комп'ютерної інженерії

**Устенко С. А.**  
доктор технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії  
*Миколаївський національний університет  
імені В. О. Сухомлинського*

**Устенко І. В.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри програмного забезпечення  
автоматизованих систем  
*Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, Україна*

План залізничної лінії складається з прямих і кривих ділянок. Наявність кривих ділянок пояснюється багатьма факторами, такими як: рельєф місцевості, геологія, гідрографія, «доступність» земель для прокладки траси і т. п. Для плавного переходу між прямими і кривими ділянками залізничної колії чи між прямими ділянками, розташованими паралельно між собою або під деяким кутом одна до одної, влаштовуються так звані перехідні криві. Призначенням перехідних кривих є забезпечення плавної зміни кривини в місцях з'єднання ділянок колії з різними сталими кривинами рейок.

Метою цієї роботи є розробка методу геометричного моделювання S-подібних перехідних кривих, які забезпечують плавний перехід між двома паралельними прямими ділянками залізничного шляху, або між двома прямолінійними рейками, розташованими під деяким кутом відносно одна до одної. Моделювання цих кривих виконується із застосуванням натуральної їх параметризації та закону розподілу кривими у вигляді поліному p'ятого степеня.

Зазначимо, що в сучасній практиці будови залізничних колій S-подібний перехід між двома прямолінійними рейками, розташованими паралельно чи під деяким кутом, реалізується двома круговими ділянками та двома перехідними кривими.

При моделюванні перехідних кривих застосуємо наступні граничні умови [1]:

$$k(0) = 0; \quad k(S) = \frac{1}{R}; \quad \left. \frac{dk}{ds} \right|_{s=0}^{s=S} = 0, \quad (1)$$



де  $k$  – кривина кривої;  $R$  – радіус кривини кругової ділянки;  $S$  – довжина перехідної кривої.

Для зменшення кількості ділянок при переході між двома прямолінійними рейками змодельємо бажану перехідну криву, застосовуючи натуральну параметризацію. При цьому залежність кривини від довжини дуги опишемо поліномом п'ятого степеня, взятому у наступному вигляді:

$$k(s) = as^5 + bs^4 + cs^3 + ds^2 + es + f. \quad (2)$$

Похідна від кривини визначається залежністю:

$$\frac{dk(s)}{ds} = 5as^4 + 4bs^3 + 3cs^2 + ds + e. \quad (3)$$

Кут нахилу дотичної до модельованої кривої знаходиться за виразом:

$$\varphi_{\text{КПК}} = \varphi_{\text{ППК}} + \frac{aS^6}{6} + \frac{bS^5}{5} + \frac{cS^4}{4} + \frac{dS^3}{3} + \frac{eS^2}{2} + fS, \quad (4)$$

де  $\varphi_{\text{ППК}}$  – кут нахилу дотичної до перехідної кривої на її початку;  $\varphi_{\text{КПК}}$  – кут нахилу дотичної наприкінці перехідної кривої.

Застосувавши умови (1) до закону розподілу кривини (2) та її похідної (3), прийдемо до висновку, що  $f = 0$  і  $e = 0$ . Оскільки кути  $\varphi_{\text{ППК}}$  і  $\varphi_{\text{КПК}}$  задані, то послідовним застосуванням виразів (2) – (4) знаходимо залежності для коефіцієнтів  $c$ ,  $b$  і  $a$ :

$$c = 60 \frac{(\varphi_{\text{КПК}} - \varphi_{\text{ППК}})}{S^4} - \frac{4d}{S};$$

$$b = -\frac{2cS + 3d}{S^2}; \quad a = -\frac{bS^2 + cS + d}{S^3}.$$

Коефіцієнт  $d$  і довжина дуги  $S$  визначаються шляхом розв'язання оптимізаційної задачі, пов'язаної з узгодженням проміжно отриманої кінцевої точки перехідної кривої з заданою кінцевою точкою.

За цільову функцію в оптимізаційній задачі приймається вираз:

$$\delta = \sqrt{(\bar{x} - x)^2 + (\bar{y} - y)^2},$$

де  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – координати проміжної точки, визначеної з деякими значеннями невідомих параметрів, а  $x$ ,  $y$  – координати заданої кінцевої точки модельованої кривої.

Для розв'язання оптимізаційної задачі застосовано високоефективний алгоритм, призначений для мінімізації функції багатьох змінних, запропонований Хуком – Дживсом [2].

Базуючись на положеннях диференціальної геометрії [3], параметричну криву в натуральній параметризації можна описати наступними рівняннями:

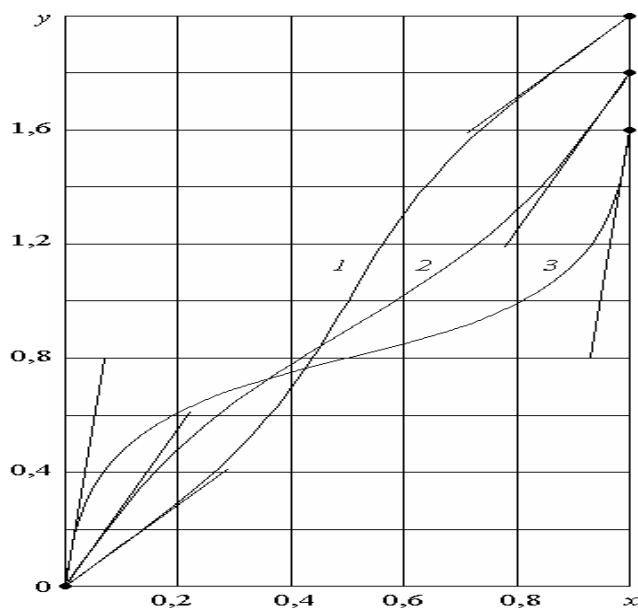
$$x_{\text{КПК}} = x_{\text{ППК}} + \int_0^S \cos \varphi(s) ds, \quad (5)$$

$$y_{\text{КПК}} = y_{\text{ППК}} + \int_0^S \sin \varphi(s) ds. \quad (6)$$

Оскільки координати кінцевої точки перехідної кривої відомі, то цих двох рівнянь достатньо для визначення двох невідомих, необхідних для моделювання бажаної кривої.

За запропонованим методом геометричного моделювання перехідної кривої розроблено програмний код, який, окрім розрахунків, дозволяє візуалізувати отримані результати.

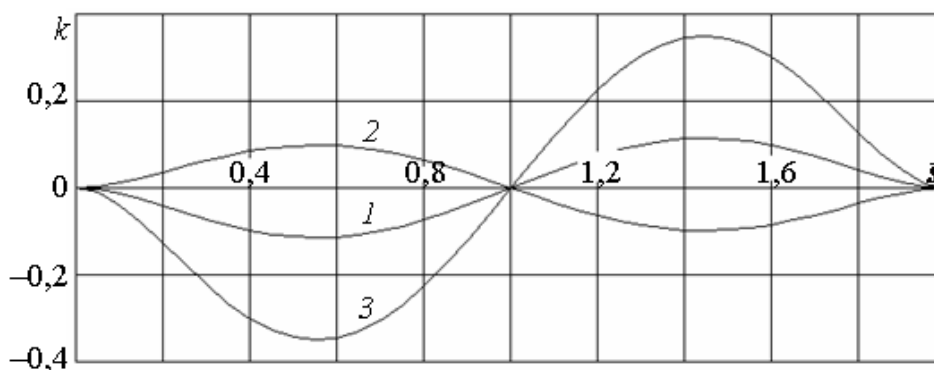
На рис. 1 для прикладу наведені результати моделювання трьох перехідних кривих, для яких кути  $\varphi_{ПК}$  і  $\varphi_{КПК}$  зростали від  $55^\circ$  з кроком  $15^\circ$ . Крім того, зменшувалася ордината кінцевих точок перехідних кривих.



**Рис. 1. Тестові приклади S-подібних перехідних кривих**

За прийнятих вихідних даних перехід здійснювався між двома паралельними прямими рейками.

Графіки розподілу кривини кривих, показаних на рис. 1, наведені на рис. 2. Вони побудовані залежно від відносної довжини кривої. Криві розподілу кривини, як і перехідні криві, мають симетричний характер.



**Рис. 2. Графіки розподілу кривини перехідних кривих**

На завершення треба відзначити, що проведені розрахункові дослідження у широкому діапазоні варіювання вихідних даних підтвердили працездатність запропонованого методу моделювання перехідних кривих між прямими рейками залізничного шляху.

#### **Література:**

1. Амелин С.В., Дановский Л.М. Путь и путевое хозяйство – М.: Транспорт, 1986. – 215 с.
2. Hooke R., Jeeves T.A. Direct search solution of numerical and statistical problems // Journal of the ACM. – 1961. – Vol. 8, № 2. – P. 212-229.
3. Фиников С.П. Дифференциальная геометрия. – М.: Издательство МГУ, 1961. – 159 с.

### **КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

**Вдовиченко В. О.**

**кандидат технічних наук, доцент**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
м. Харків, Україна*

Головною метою організації техніко-технологічної взаємодії в транспортно-пересадочних вузлах (ТПВ) міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) є підвищення сервісно-ресурсної ефективності маршрутів та забезпечення умов зниження негативного впливу їх роботи на міське середовище. Огляд робіт [1-3] показав, що основним недоліком існуючих методів технологічної координації взаємодії транспорту в ТПВ є відсутність в них обліку ресурсних можливостей елементів МГПТ. Це робить їх малопристосованими для реального використання у сучасних умовах. Виходячи з цього виникає необхідність проведення дослідження спрямованого на виділення умов та послідовності координації взаємодії у ТПВ в якому цей процес розглядається з позицій орієнтації на забезпечення максимальної реалізації сервісно-ресурсного потенціалу МГПТ в межах існуючих можливостей його суб'єктів. Основні технологічні механізми досягнення такого стану передбачають ліквідацію непродуктивних простоїв транспортних засобів у межах зупиночних пунктів. Для цього можуть використовуватися оптимізаційні (слот-координація розкладу руху, раціоналізація розподілу маршрутів між зупиночними пунктами, оперативне направлення маршрутів у вільні зупиночні пункти) або конструкційні заходи (збільшення кількості постів обслуговування, впровадження пріоритетного руху МГПТ, архітектурно-планувальна реконструкція). Вибір відповідних механізмів та їх адаптація до реальних умов потребує використання об'єктивної інформації про параметри,

що визначають умови формування та обслуговування маршрутного потоку в ТПВ. Складність цього процесу обумовлюється стохастичним характером їх зміни та необхідністю обліку особливостей їх формування для різних типів ТПВ. В умовах обмеженості класифікації ТПВ, та відсутності їх розподілу за критеріями впливу параметрів на маршрутний потік для встановлення характеристик розподілу параметрів маршрутного потоку доцільно провести їх кластерний аналіз. Кластерний аналіз є методом класифікаційного аналізу який в межах визначеного предмету дослідження дозволяє розділити ТПВ та множини класифікаційних ознак вхідних маршрутних потоків на однорідні групи або кластери.

Кластерний аналіз ТПВ передбачає реалізацію наступних етапів:

- формування сукупності номерів (збір вихідної інформації про фактичні параметри вхідних маршрутних потоків);
- виділення сукупності об'єктів (розподіл параметрів кластеризації за групами чинників);
- формування множини алгоритмів кластеризації;
- побудова графіків розподілу номерів на сукупності об'єктів;
- оцінка алгоритму кластеризації;
- виділення кластерних груп та їх характеристичних ознак.

Для реалізації кластерного аналізу були проведені натурні спостереження за параметрами формування маршрутних потоків на реальних ТПВ. Обстеження проводилися протягом пікового періоду доби в наступних ТПВ м. Харкова: «ст. м. Пушкінська» (50.004166, 36.247660), «ст. м. Барабашова» (50.001925, 36.304162), «ст. м. Героїв Праці» (50.024270, 36.335501), «вул. Г. Широнинців – вул. Валентинівська» (50.013268, 36.341187), «ст. м. Університет – Держпром» (50.005511, 36.231318), «пр. Л. Ландау – Салтівське шосе» (49.988124, 36.312063), пр. Ювілейний – пр. Тракторобудівників» (49.996579, 36.340361). У ході обстеження обліковцями у відповідних картках фіксувалися первинні данні о параметрах прибуття вхідних транспортних засобів. Після обробки натурних спостережень був отриманий масив який складається з сукупності векторів  $\lambda_j = \{t_{fl}, q_{pen}, q_{pex}, t_{pen}, t_{pex}, \gamma_{ex}, t_{me}, t_{md}, t_{as}\}$ , що описують вхідні параметри суб'єктів маршрутного потоку. Загальна кількість елементів масиву складає 2062 одиниці.

Відповідно до структури та складу операцій у ТПВ чинниками впливу на тривалість простою транспортних засобів є: флуктуація часу прибуття ( $t_{fl}$ ), кількість пасажирів, що входять у транспортний засіб ( $q_{pen}$ ) та виходять ( $q_{pex}$ ), час посадки ( $t_{pen}$ ) та висадки ( $t_{pex}$ ) пасажирів, рівень заповнення транспортного засобу при прибутті ( $\gamma_{ex}$ ), час маневрування при подачі ( $t_{me}$ ) та звільнення зупиночного пункту ( $t_{md}$ ), час додаткового простою пов'язаного з накопиченням пасажирів ( $t_{as}$ ). Тривалість часу простою транспортного засобу в ТПВ визначається техніко-технологічними умовами організації процесів.

Проведення якісного розподілу параметрів за групами чинників впливу дозволяє значно знизити рівень невизначеності та скоротити розрахункову процедуру. Для цього виділимо групи факторних ознак ТПВ та маршрутів МГПТ які за характером протікання процесів можуть впливати на значення параметрів маршрутного потоку. До таких ознак відноситься: довжина ділянки маршруту до ТПВ ( $l_{th}$ ), питома вага поїздок на початкових ( $s_{pst}$ ) кінцевих ( $s_{pft}$ ) та транзитних ( $s_{ptt}$ ) маршрутах, кількість дверей у транспортному засобі через яку відбувається посадка-висадка пасажирів ( $n_{dt}$ ), кількість постів обслуговування на зупиночному пункті ( $k_{sp}$ ).

Об'єднання сукупності векторів параметрів вхідного маршрутного потоку та груп чинників впливу дає можливість визначити загальну варіантність двомірних алгоритмів кластеризації. Алгоритм кластеризації представляє собою функцію  $a_{ij} : O_j \rightarrow P_i$  яка кожній групі чинників ( $O_j$ ) ставить у відповідність мітку кластера ( $P_i$ ). Вибір алгоритму кластеризації передбачає проведення процедури оцінки його адаптованості до визначення діапазонів технологічних параметрів формування простою транспортних засобів у ТПВ. Процедура передбачає оцінку рівня структурної адаптації алгоритму шляхом використання еволюційних механізмів. Критерієм оцінки якості алгоритму кластеризації є показник ефективності розподілу. Структурна адаптація передбачає для кожного типу номерів прямий перебір факторної ознаки шляхом випадкового пошуку з нелінійною тактикою. Кожен новий варіант алгоритму кластеризації характеризує зміну індексу ефективності кластеризації. У разі якщо наступний крок при переборі призводить до зниження значення індексу ефективності то відбувається повернення до попереднього варіанту. На основі обробки результатів натурних спостережень в ТПВ у програмному середовищі MS Excel побудовані графіки розподілу параметрів маршрутного потоку для різних алгоритмів кластеризації у відповідних групах. Шляхом перебору варіантів алгоритмів кластеризації відділені варіанти які забезпечують максимальне значення індексу кластеризації, а саме:  $a_{11} : l_{th} \rightarrow t_{fl}$ ,  $a_{22} : s_{pst} \rightarrow q_{pen}$ ,  $a_{33} : s_{pft} \rightarrow q_{pex}$ ,  $a_{45} : n_{dt} \rightarrow t_{pen}$ ,  $a_{55} : n_{dt} \rightarrow t_{pex}$ ,  $a_{61} : l_{th} \rightarrow \gamma_{ex}$ ,  $a_{76} : k_{sp} \rightarrow t_{me}$ ,  $a_{86} : k_{sp} \rightarrow t_{md}$ ,  $a_{92} : s_{pst} \rightarrow t_{as}$ . Виходячи з представлених правил відповідності чинників отриманим міткам можна виділити наступні кластери ТПВ МГПТ. У залежності від відстані маршруту від початкового зупиночного пункту ТПВ розподіляються на наступні кластери: початкові (0 км), мало віддаленні (0 км – 3 км), середньо віддаленні (3 км – 10 км), значно віддаленні (понад 10 км). За питоною вагою початкових (кінцевих) поїздок у загальному обсязі відправлення: відсутні початкові (кінцеві) поїздки (0%), мала частка (0%-30%), середня частка (30%-80%), велика частка (80%-99%), повністю початкові (кінцеві) (100%). За довжиною площадки простою транспортних засобів у зупиночних пунктах: малі (до 20 м), середні (20 м-40 м), великі (понад 40 м). За кількістю дверей в транспортних засобах через які здійснюється посадка (висадка) пасажирів: одно дверні, двох дверні, трьох дверні та чотирьох дверні.

Виділені кластерні групи дозволяють розподілити ТПВ у залежності від характерних типових умов реалізації технологічного процесу в межах їх зупиночних пунктів. Використання отриманих класифікаційних ознак ТПВ дає можливість проведення в подальшому експериментальних імітаційних досліджень закономірностей впливу параметрів взаємодії суб'єктів МПТТ для різних їх типів.

### **Література:**

1. Азаренкова З. В. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов / З. В. Азаренкова // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2011. – № 1. – С. 76-80.
2. Копылова Т. А. Анализ компактности интермодальных узлов городского пассажирского транспорта при определении градостроительного потенциала территории транспортно-пересадочных узлов / Т. А. Копылова, А. Ю. Михайлов // *Вестник ИрГТУ*. 2017. – № 4 (123). – С. 166-175.
3. Dai G. Signal optimization and coordination for bus progression based on MAXBAND / G. Dai, H. Wang, W. Wang // *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2016. – № 20(2). – P. 890-898.

## **INFLUENCE OF FEATURES OF THE TRANSPORT NETWORK PATTERN ON THE HAUL CYCLE LENGTH BETWEEN ITS NODES**

**Dolia K. V.**

**Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Lecturer  
at the Department of GIS, Land and Real Estate Appraisal  
*O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv***

**Dolia O. Ye.**

**Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Independent Researcher  
*Kharkiv, Ukraine***

One of the most problematic places is quality improvement of transport performance. For the most part, scientists considered the optimization of traffic schedules, the choice of rolling stock and invented optimal routes [1; 2]. The transport network is a composite transport system and provides the ability to transport goods and passengers between its nodes. Along with this, the properties of the transport network affect the overall performance of the transport process, namely: the density and intensity of the flow of vehicles, the speed of the connection, the haul cycle length.

At this stage of development of scientific approaches to the determination of the parameters of transport functioning, many different approaches have been proposed [3]. It is determined in [4] that the availability of passenger transport correspondences

has a significant impact on the state of social and economic development of the society. Dependence of transport correspondence on routes taking into account social components is mathematically described. In work [5] the question of modeling of intercity passenger transport system is solved. In certain works, the distance traveled by the nodes of the transport network is a factor in the resistance to the realization of potential correspondence between cities.

The author of [6] considers the factors influencing the formation of the cost of rail freight. It is determined that the haul cycle length of the cargo convoy in direct proportion increases the transportation costs. The study of the cost price and the cost of rail transportation are also disclosed in [7], in which the author determines the need to reduce the lengths of the technological race of cars and the composition to reduce the cost of implementation, both passenger and freight traffic.

In [8], the authors define how the transport infrastructure is a transport network that consists of nodes and arcs. It is determined in [9] that the model of the transport network is aimed at describing transport communications (roads and railways, waterways and air routes) as a bound graph. At the same time, the authors establish that the route network consists of nodes and arcs, and sometimes contains routes. Drawing on such conclusions, the authors of [9] propose the description of nodes by points, arcs – polylines and realize such models with the help of geographic information systems. In work [10] the solution of a problem of modeling of transport processes, which, among other things, is based on the graph theory applied to road networks, is given.

To determine the indicators of the efficiency of road networks, the impact of the road network development on social and economic indicators, it is suggested to use methods of system analysis. The actual state of the road networks development is proposed to be determined with the interruptions of the means of geoinformation systems on the example of Ukraine.

There is no doubt that the combined time of a medium-range haul cycle depends on the length of the medium-range haul cycle, which in turn is determined by the features of the road network pattern.

Under these conditions, it is a fair assertion that the optimal aggregate haul cycle time of the medium range is the minimum time. Minimization of the combined time of medium-range haul cycle can be ensured by increasing the haul cycle speed or by reducing its range.

The haul cycle speed is a quantitative reflection of the complex interaction of a set of factors, among which are the technical capabilities of the vehicle, road characteristics, the number and nature of stops and the like. Reducing the haul cycle distance is achieved by determining the shortest route option for a haul cycle. When planning variants of route schemes, modern mathematical approaches mainly use the theory of graphs.

Let's calculate the matrix of shortest distances between the regional centers of Ukraine. For this let's use ArcGIS software (USA) and models of automobile and railway networks in Ukraine. The next step is calculation of the geographical distances between the regional centers of Ukraine.

Obtained values of the straightness coefficient of the road network for each pair of nodes of the investigated system provide information on the pattern quality of the network under consideration. The actual quality values of the road network pattern determine the priority directions of its development. The cost of one hour of transport time is a component of this dependence and is a derivative, including the mileage of vehicles. This makes it possible to determine the potential public transportation costs for individual transport nodes of the road network.

From the performed calculations it is possible to calculate the average value of the straightness coefficient of the road network  $k_{SN}$  for each of the nodes.

To determine the efficiency indicators of road networks, the impact of the development of the road network on social and economic indicators, it is suggested to use methods of system analysis. The actual state of development of road networks is determined with geostationary means of geoinformation systems on the example of Ukraine. When planning variants of route schemes, modern mathematical approaches mainly use graph theory. The matrix of shortest distances between the regional centers of Ukraine is calculated. As a result of the research it is shown that transportation to Kherson, Odesa or Simferopol is carried out on routes that are on average 44%, 46% and 64% more than possible if there is an appropriate road network.

### References:

1. Constantine Dolya, Anastasiia Botsman, Viktoriia Kozhyna Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system // Technology audit and production reserves. – 2017 г. – 2(36): Т. 4. – Стр. 24-28. – ISSN 2226-3780.
2. Constantine Dolya Modeling of passenger transport correspondence between regional centers in Ukraine // Technology audit and production reserves. – Харьков: [s.n.], 2017. – 2(33): Vol. 1. – Pp. 44-48. – UDC 656.081.
3. Dolia Costiantyn; Dolia, Olena; Economic-mathematical modeling influence of environment at the development of systems passenger transport // Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки. – Херсон: [s.n.], 2016. – 16: Vol. 1. – Pp. 152-154.
4. Dolia Costiantyn; Variativity of the Transport System at Intercity Passenger Transport from the Demand // International Journal of Data Science and Analysis. – 2017 г. – 10.11648. – 6: Т. 3. – Стр. 77-84.
5. Dolya Constantine, Dolya Olena Methods of Establishing and Implementing the Optimal Fares for Passenger Transport // American Journal of Traffic and Transportation Engineering. – Харьков: [б.н.], 2016 г. – 4: Т. 1. – Стр. 60-67.
6. Dolya Constantine; Gyulyev, Nizami; The Issue of Probability of Traffic Road Accident on the Elements of the Transport Network // American Journal of Social Science Research. – Kharkiv: [б.н.], 2017 г. – 5: Т. 3. – Стр. 17-24. – ISSN: 2381-7712; ISSN: 2381-7720.
7. Dolya Constantine; Lyfenko, Sergey; Nesteren, Sergey; Influence of features of the transport network pattern on the haul cycle length between its nodes on the example of the transport network of Ukraine // Technology audit and production reserves. – 2017 г. – 2(37): Т. 5. – Стр. 54-58. – ISSN 2226-3780.



8. Kostiantyn Dolia Influence of the seasonal factor on the long-distance passenger correspondence // Technological Complexes. – Харків: О. М. Beketov National University of Urban Economy, 2017 г. – Т. 1(14). – С. 57-67.

9. Kostiantyn Dolia Influence of the seasonal factor on the passenger correspondence // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2017 г.

10. Kostiantyn Dolia Modeling of intercity passenger transportation system // Technology audit and production reserves. – 2017 г. – 2. – 34: Т. 2. – Стр. 37-43. – UDC 656.081.

11. Доля К. В.; Доля, О. Є.; Геоінформаційні системи на транспорті. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – С. 1-230.

12. Доля К. В. Вплив сезонних чинників на міжміські пасажирські кореспонденції // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир: [б.н.], 2017 г. – 2 (80) Т. 1. – С. 144-152.

13. Доля К. В. Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук. – Харків: [автор невідомий], 2017.

14. Доля К. В., О. Є. Доля Геоінформаційні системи на транспорті // Посібник для проведення практичних та самостійних занять. – Харків: ХНУГХ ім. О. М. Бекетова, 2017 г. – С. 1-230.

15. Доля К. В., О. Є. Доля До питання формування системи обмежень на параметри перевезень пасажирів громадським транспортом // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої п'ятдесятиріччю кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем. – Харків: [б.н.], 2016. – С. 167.

16. Доля К. В., О. Є. Доля Щодо поєднання міських 3д моделей з гетерогенною просторовою інформацією // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої п'ятдесятиріччю кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем. – 2016: [б.н.]. – С. 167.

17. Доля К. В., Бойко Ю. Ю. Щодо застосування гравітаційного моделювання в мережевому аналізі // Коммунальное хозяйство городов. – Харків: [автор невідомий], 2017 р. – 139. – С. 98-103.

## РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПЛАТИ ЗА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ РІЗНИМИ ТИПАМИ РУХОМОГО СКЛАДУ ВІД ВІДСТАНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

**Журавель І. Л.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри управління експлуатаційною роботою

**Журавель В. В.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри станції та вузли  
*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
м. Дніпро, Україна*

В сучасних умовах гостро постало питання підвищення ефективності функціонування вантажних станцій мережі за рахунок зниження собівартості переробки, зокрема шляхом раціональної зміни структури вагонного парку, що застосовується під навантаження (використання інноваційного рухомого складу, розвитку перспективних видів перевезень, застосування способів завантаження до непередбаченого рухомого складу тощо).

Аналіз роботи дирекції залізничних перевезень Д регіональної філії «Залізниця Пр» ПАТ «Укрзалізниця» показав, що останніми роками в умовах зростання обсягів відвантаження зернових вантажів продовжує збільшуватися дефіцит зерновозів, а дефіцит піввагонів поступово зменшується. В той же час є достатній запас великотоннажних контейнерів і фітінгових платформ для їх перевезення.

Для клієнтів залізничного транспорту домінуючим фактором під час вибору типу рухомого складу з кількох можливих варіантів з урахуванням властивостей вантажів, наявності власних вагонів і контейнерів, наявності відповідних механізмів безумовно є плата за перевезення вантажів. Порядок визначення плати за перевезення вантажів залізничним транспортом в межах України встановлено Тарифним керівництвом № 1 [1].

Плату за перевезення вантажів у внутрішньому сполученні можна представити у вигляді функції

$$T_{\text{ПДВ}} = f(L_{\text{тар}}, s, B, Q_p, w_B, CX_{\text{тар}}, v, K_{\text{інд}}), \quad (1)$$

де  $L_{\text{тар}}$  – тарифна відстань перевезення вантажу, км (для дослідження обрано інтервал від 100 км до 1200 км із кроком 100 км);

$s$  – характерні особливості вантажу, що вимагають застосування передбачених для них правил (наприклад, швидкопсувний, наливний тощо);

$B$  – вид відправки вантажу (вагонна, контейнерна тощо);

$Q_p$  – розрахункова маса вантажу, т;

$w_B$  – належність рухомого складу;

$CX_{\text{тар}}$  – тарифна схема перевезення вантажу,

$v$  – швидкість перевезення вантажу (вантажна або велика);

$K_{\text{інд}}$  – діючий коефіцієнт індексації базових ставок тарифу [2].

Для подальшого дослідження прийнято, що середньодобовий обсяг 3,5 тис. т зерна відправленням зі станції Д може перевозитися за варіантами:

1 власними піввагонами існуючого парку (ПВз) вантажопідйомністю 70 т із використанням біг-бегів разового використання розмірами 105×105×90 мм місткістю 1 т і розрахунковою вартістю 42 грн.;

2 власними інноваційними піввагонами (ПВі) вантажопідйомністю 75 т із використанням біг-бегів разового використання розмірами 105×105×90 мм місткістю 1 т і розрахунковою вартістю 42 грн.;

3 власними зерновозами існуючого парку (ЗВз) вантажопідйомністю 65 т;

4 власними інноваційними зерновозами (ЗВі) вантажопідйомністю 76 т;

5 власними 40-футовими великотоннажними контейнерами (К) вантажопідйомністю 26,6 т з використанням контейнерного вкладишу розрахунковою вартістю 2 тис. грн.

Аналізуючи природу залежності, встановлено характер функції, яка виражає зміну значень плати за перевезення зерна різними типами рухомого складу  $y_x$  в залежності від відстані перевезення  $x$ .

Коефіцієнти регресійної моделі  $y_x = f(x)$  визначено за методом найменших квадратів [3]. В якості оцінки дисперсії випадкової величини  $Y$  використовується залишкова дисперсія [4].

Для перевірки значимості регресійної моделі використано  $F$ -критерій Фішера [5].

Регресійна модель адекватно описує результати експериментів [5], якщо виконується умова

$$F > F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T, \quad (2)$$

де  $F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T$  – межа  $F$ -критерію у разі визначених: рівня значимості  $\alpha$ , ступеня свободи емпіричної дисперсії  $m_1$  і ступеня свободи залишкової дисперсії  $m_2$ . Для дослідження прийнято, що  $\alpha = 5\%$ .

Аналіз отриманих даних дозволив висунути гіпотезу про те, що залежність плати за перевезення зерна різними типами рухомого складу від відстані перевезення можна описати регресійною моделлю у вигляді поліному першого ступеню параметри якого наведено у таблиці 1.

$$T_{\text{пдв}} = b_0 + b_1 L_{\text{пер}}, \quad (3)$$

Таблиця 1

### Параметри регресійних моделей

Тип рухомого складу		Коефіцієнти моделі		$D_3$
		$b_0$	$b_1$	
піввагон	звичайний (ПВз)	42,523	0,218	8,879958
	інноваційний (ПВі)	30,061	0,131	2,78583
зерновоз	звичайний (ЗВз)	45,423	0,257	9,81566
	інноваційний (ЗВі)	41,627	0,236	8,593846
контейнер (К)		65,807	0,283	11,34424

Результати перевірки адекватності регресійних моделей наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

### Перевірка адекватності регресійних моделей

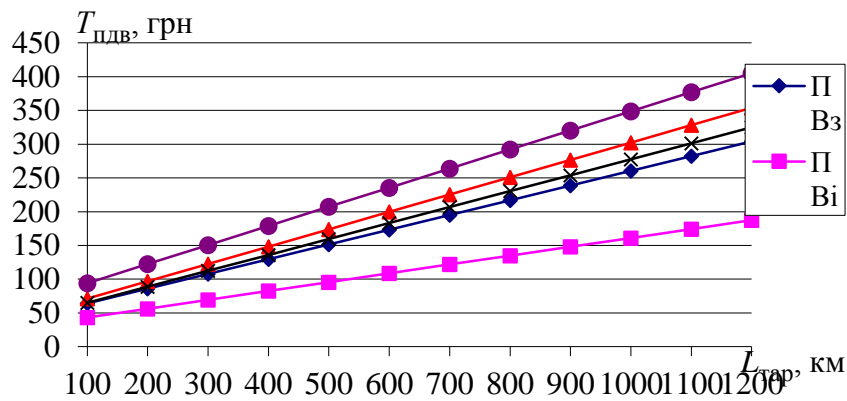
Тип рухомого складу		$D_y$	$F$	$F_{(5\%;11;10)}^T$
піввагон	звичайний (ПВз)	32706,78	3683,21	2,94
	інноваційний (ПВі)	12590,54	4519,49	
зерновоз	звичайний (ЗВз)	43860,73	4468,44	
	інноваційний (ЗВі)	36979,62	4303,04	
контейнер (К)		59133,2	5212,62	

Дані, наведені в табл. 2, дозволяють зробити висновок, що умова (2) виконується для всіх типів рухомого складу.

На основі розрахунків побудовано криві регресії, які описують зв'язок між тарифною відстанню перевезення та платою за перевезення зерна за варіантами в розрахунку на 1 тонну (див. рис. 1).

Аналіз кривих регресії показав, що для різних типів рухомого складу вони не пересікаються. Таким чином, клієнти залізничного транспорту на етапі прийняти рішення щодо вибору типу рухомого складу для перевезення зерна можуть з використанням отриманих формул швидко визначити орієнтовне значення плати за перевезення.

При зростанні тарифної відстані в 12 разів плата за перевезення зерна в розрахунку на 1 тонну для інноваційних піввагонів і контейнерів збільшується в 4,3 рази, для піввагонів існуючого парку – в 4,8 рази, а для зерновозів існуючого парку та інноваційних – у 5 разів.



**Рис. 1. Криві регресії, які описують зв'язок між тарифною відстанню перевезення та платою за перевезення зерна різним рухомих складом в розрахунку на 1 т**

У порівнянні з кращим варіантом (інноваційними піввагонами) плата за перевезення зерна в розрахунку на 1 тону піввагонами існуючого парку є дорожчою в 1,5...1,6 разів, інноваційними зерновозами – в 1,5...1,7 разів, зерновозами існуючого парку – в 1,7...1,9 рази, а контейнерами – в 2,2 рази.

#### Література:

1. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги (Тарифне керівництво № 1) [Електронний ресурс]: зі змінами і доповненнями. – Режим доступу: [http://uz.gov.ua/cargo\\_transportation/tariff\\_conditions/transportation\\_in\\_ukraine/collection\\_rates/](http://uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_conditions/transportation_in_ukraine/collection_rates/).
2. Коефіцієнти до Збірника тарифів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://uz.gov.ua/cargo\\_transportation/tariff\\_conditions/transportation\\_in\\_ukraine/collection\\_rates/](http://uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_conditions/transportation_in_ukraine/collection_rates/).
3. Акулиничев В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
4. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
5. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст]: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.

## **ІНТЕГРОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД**

**Кашканов А. А.**  
**кандидат технічних наук, доцент,**  
**доцент кафедри автомобілів**  
**та транспортного менеджменту**  
*Вінницький національний технічний університет*  
*м. Вінниця, Україна*

Розвиток апаратної бази персональної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, що застосовується в експертизі дорожньо-транспортних пригод (ДТП), підвищують роль інформаційних технологій, які реалізуються в спеціалізованих програмних засобах [1; 2; 3].

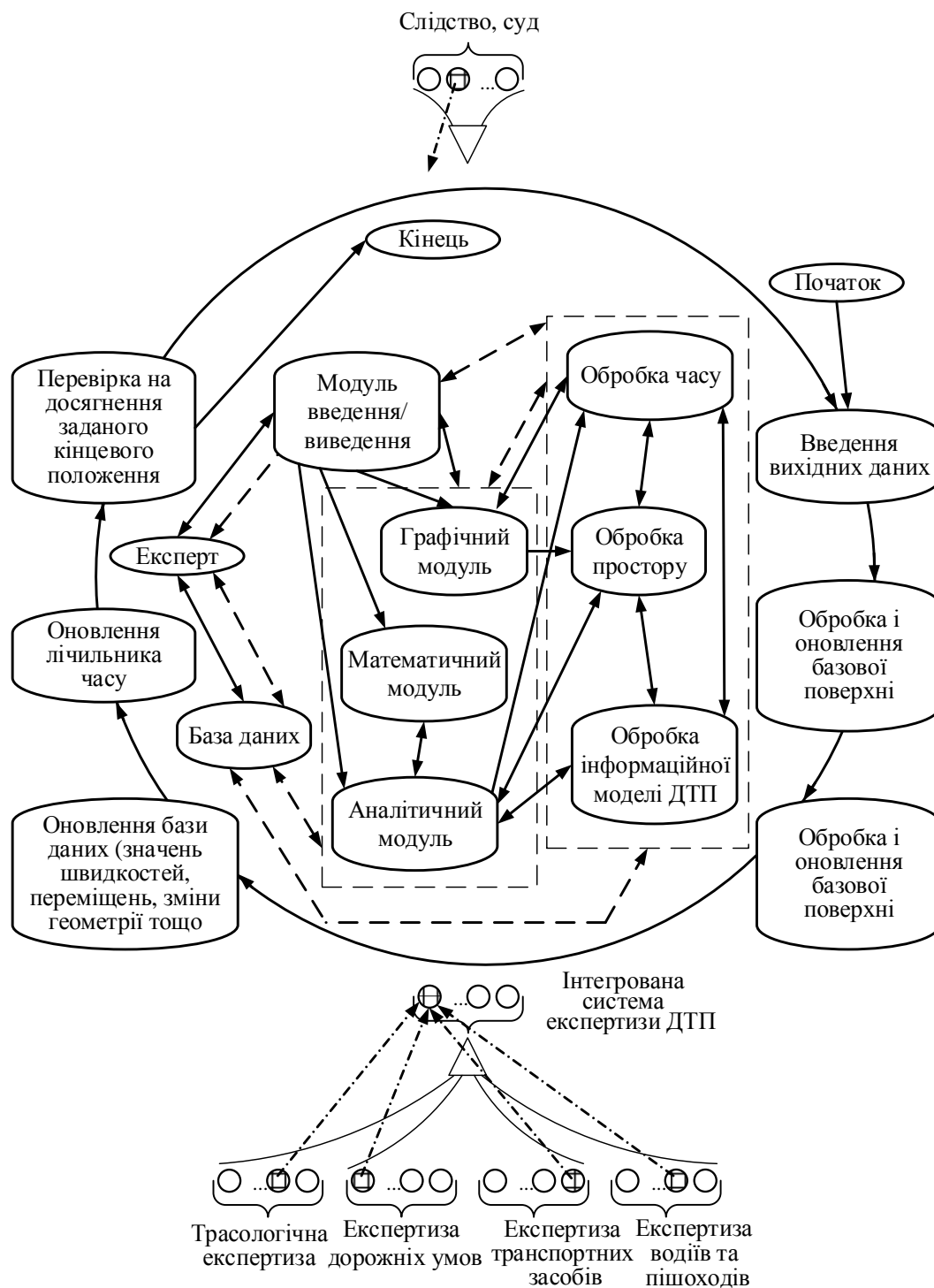
Сучасні інформаційні технології дослідження ДТП можна класифікувати за призначенням, адекватністю результатів реконструкції, використанням математичним апаратом, вимогами до продуктивності комп'ютерної техніки та необхідним рівнем підготовки фахівців (рис. 1).

Взаємозв'язок елементів та адекватність інтегрованих інформаційних систем підвищення ефективності експертних досліджень ДТП обумовлюється якістю та обсягом оброблюваної інформації [4]. Комплексне використання спеціалізованих комп'ютерних програм для розрахунку механізму ДТП та автоматизованих систем формування вихідних даних (комплекси лазерного сканування місця ДТП; реєстратори даних про події, які дозволяють фіксувати параметри руху транспортних засобів (ТЗ) до та після ДТП; спеціальна цифрова апаратура) можна розглядати як набір модулів, зібраних із множин стандартних модулів.



**Рис. 1. Класифікація інформаційних технологій експертизи ДТП**

Кожний модуль, виконуючи свої функції, забезпечує досягнення загальної мети інтегрованої системи (ІС), взаємозв'язки в якій можна подати у вигляді схеми (рис. 2), де в інтегрованому часовому циклі показані інформаційно-потоківі (пунктир) та керуючі (суцільна лінія) взаємозв'язки.



**Рис. 2. Взаємозв'язок елементів ІС експертизи ДТП в часовому циклі**

Завдяки модульності, інтегрована система забезпечує високу якість провадження експертизи: комплексність дослідження; високу гнучкість для адаптації до різних умов; економічність за рахунок скорочення витрат; ефективність через можливість автоматизації операцій однотипного характеру. Очевидно, що зі зростанням інтеграції розширюються потенційні можливості системи, збільшується ступінь різноманіття і альтернативності. Це, в свою чергу, породжує проблеми, пов'язані з якістю функціонування системи, в тому



числі, проблему формалізації процесу формування інтегрованої системи експертизи ДТП та оцінки її якості [5].

Формування інтегрованої системи експертизи ДТП (рис. 2) відбувається на основі аналізу запиту органів слідства чи суду та різних умов і обставин ДТП та визначаються функції, які вона повинна виконувати. В якості мети системи автотехнічної експертизи ДТП можна прийняти такі показники, як забезпечення прав громадян на об'єктивне розслідування аварійних ситуацій, підвищення якості та зменшення фактора суб'єктивності при формуванні експертних висновків, мінімізація витрат ресурсів та часу необхідних для проведення експертиз.

Модель інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП можна подати в такому математичному виді

$$DS = \{X, F, D, t\}, \quad (1)$$

де  $X$  – множина множин стандартних модулів,  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ,  $X_1$  – множина стандартних модулів, здатних виконати завдання  $Y_1$ ,  $X_1 = \{x_{i1} | x_{i1} \in X_1; i = 1, \dots, m_1\}$ ;  $x_{i1}$  – стан модуля  $x_{i1}$  множини  $X_1$  (змінюється у часі);  $m_1$  – кількість модулів в множині  $X_1$ ;  $X_2, \dots, X_n$  – відповідно множини стандартних модулів, здатних виконати завдання  $Y_2, \dots, Y_n$ ;  $n$  – кількість множин стандартних модулів (кількість видів завдань);

$F$  – цільова функція інтегральної системи;

$D$  – множина вимог до системи  $D = \{Y, Z\}$ ,  $Y$  – множина вимог щодо виконуваних завдань (вид, обсяг робіт, час, місце і т. п.),  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ;  $Z$  – множина вимог щодо якості системи автотехнічної експертизи ДТП в цілому (своєчасність, надійність, гнучкість, ефективність і т.п.);

$t$  – момент проектування інтегральної системи експертизи.

Рішення задачі (1) або набір обраних модулів

$$\begin{cases} X^* = \{x_{i1}^1, x_{i2}^2, \dots, x_{in}^n\}, \\ F(X^*, t) \rightarrow \max, \\ D(X^*, t) \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Модульна технологія проектування надає засоби для автоматизації компонентного формування інтегрованої системи автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод любого рівня складності та якості зі стандартних модулів за аналогією зі складанням комп'ютерів, автомобілів чи програмних комплексів із готових блоків, що називаються комплектуючими виробами. Процес збирання інформації про модулі та їх стандартизація доволі складний і трудомісткий. Проте в подальшому це забезпечує можливість швидко створювати нову інтегровану систему автотехнічної експертизи ДТП чи модифікувати її у відповідності до зміни умов та вимог при розслідуванні обставин певної аварійної ситуації.

**Література:**

1. Кашканов А.А. Новітні автоматизовані технології дослідження ДТП / А.А. Кашканов // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – № 2. – С. 29-35.

2. Struble, D. Automotive accident reconstruction: practices and principles [Text] / Donald E. Struble. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 498 p.

3. Туренко А. М. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП: підручник для вищих навчальних закладів / А.М. Туренко, В.І. Клименко, О.В. Сараєв, С.В. Данець. – Харків: ХНАДУ, 2013. – 320 с.

4. Кашканов А.А. Модульний принцип синтезу системи автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод / А.А. Кашканов, О.Г. Грисюк, А.О. Яровенко // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – № 45 – С. 245-250.

5. Кашканов А.А. Методика багатокритеріального оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод / А.А. Кашканов // Вісник Житомирського державного технічного університету. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – № 3(62) – С. 68-73.

## **УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК**

**Кунда Н. Т.**  
кандидат технических наук, доцент,  
профессор кафедры  
международных перевозок  
и таможенного контроля

**Лебедь В. В.**  
кандидат технических наук,  
старший преподаватель кафедры  
международных перевозок  
и таможенного контроля  
*Национальный транспортный университет  
г. Киев, Украина*

Производственная деятельность предприятий транспортной отрасли неразрывно связана с рисками. Риски в проектах транспортного обеспечения грузовых перевозок, как правило, возникают в условиях неопределенности и характеризуются недостаточностью или отсутствием полной и достоверной информации об условиях реализации заявки на перевозку и противоречиями интересов участников проекта транспортного обеспечения (грузовладельцев, перевозчиков, экспедиторов и т. д.).

Управление рисками в проектах перевозки грузов – это набор процессов, связанных с планированием управления рисками, их идентификацией и анализом, реагированием на риски, мониторингом и управлением рисками [1, с. 310].

Риск в проектах перевозки проявляется в неблагоприятных ситуациях, для перевозчика – это задержки на пунктах пропуска, нарушение требований ЕСТР, ухудшение технического состояния транспортного средства, ДТП и т. п., для грузовладельца – несвоевременная доставка груза, повреждение груза в процессе транспортировки, невыполнение условий договора перевозки и т. д.

Установлено, что риски, возникающие при принятии управленческих решений по выбору реализации того или иного проекта при отсутствии полной и точной информации об условиях выполнения процесса перевозки на международных маршрутах, влияют на уровень конкурентоспособности украинских перевозчиков [2, с. 305]. В частности, к рисковому событиям, которые оказывают негативное влияние на качество перевозочного процесса на маршрутах транспортных коридоров, на автомобильных международных дорогах класса «М» и «Е», следует отнести низкую пропускную способность международных маршрутов, снижение скорости доставки грузов вследствие неудовлетворительного технического состояния дорог, увеличение времени доставки грузов из-за задержек на пунктах пропуска, отставание развития информационных технологий, низкое качество обслуживания сервисными пунктами, несоблюдение правового поля при выполнении международных перевозок грузов.

Учитывая степень достоверности экспертной информации, исполнители проекта могут еще на стадии планирования жизненного цикла проекта откорректировать решение о его снижении.

Методы анализа и оценки рисков в проектах перевозки грузов многочисленны, как и способы классификации рисков [3, с. 106]. Алгоритм управления рисками представим в виде логической последовательности:

- идентификация факторов риска, а именно определение рисков событий, которые могут негативно влиять на будущую деятельность участников транспортного процесса, и их качественная характеристика по различным признакам;

- определение величины риска при выполнении международных грузовых перевозок в проектах транспортного обеспечения;

- управление рисками, то есть принятие решения по снижению вероятности возникновения рисков событий в процессе перевозки.

Классификацию проектных рисков представим на рисунке 1.



**Рис. 1. Структура проектных рисков по источникам возникновения**

Для определения величины риска необходимо провести анализ проектов на предмет комплексной оценки риска с учетом всех перечисленных факторов и возможностью сравнения рисков по альтернативным проектам. При предоставлении автотранспортных услуг качество выполнения проекта может постоянно меняться вследствие возникновения рисков событий и условий неопределенности. Поэтому управление рисками в проектах перевозки грузов, независимо от сложности такого вида проектов, является результатом взаимодействия многих составляющих (элементов) процесса перевозки.

Составляющие процесса перевозки характеризуются большим количеством параметров и существуют в течение всего жизненного цикла проекта. Учет рисков событий и их оценка на этапе планирования проекта перевозки грузов позволит снизить возникновение потенциального риска на этапе реализации проекта (при непосредственном выполнении перевозки) и на этапе завершения проекта.

Фаза планирования проекта перевозки грузов характеризуется входными параметрами, ограничениями, накладываемыми на проект, и допустимым

риском, Модель управления рисками в проектах перевозки может быть описана следующим образом:

$$R_{k_{proj}} = \{Y_t, Z_{sec}, Q_{ser}\} \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $R_{k_{proj}}$  – риск  $k$ -го проекта;  $Y_t$  – время доставки грузов;  $Z_{sec}$  – безопасность транспортировки грузов;  $Q_{ser}$  – сервис предоставления транспортных услуг в пунктах пропуска международных маршрутов.

Определив входные параметры и параметры, учитывающие степень риска, представим проект перевозки грузов через функцию управления качеством с учетом комплексной оценки риска (2):

$$Q_{III}^{proj} = f(Z_{proj}, S_{proj}, r_{proj}, P_{proj}, C_{proj}^{nl}, C_{proj}^P, L_{proj}) \cdot R_{k_{proj}} \quad (2)$$

где  $Q_{III}^{proj}$  – качество проекта перевозки груза;  $Z_{proj}$  – содержание проекта;  $S_{proj}$  – требования, предъявляемые к проектам перевозки согласно стандартам ЕС об условиях выполнения перевозки грузов;  $r_{proj}$  – ресурсы, необходимые для выполнения работ проекта на стадии планирования и реализации (наличие программного обеспечения);  $P_{proj}$  – требования заказчиков к качеству транспортного обслуживания перевозчиков);  $C_{proj}^{nl}$  – стоимость работ на разработку проекта (на стадии планирования проекта);  $C_{proj}^P$  – расходы на стадии реализации проекта;  $L_{proj}$  – накладываемые ограничения (требования грузовладельцев, грузоотправителей и грузополучателей, ограничения расходов на реализацию проекта);  $R_{k_{proj}}$  – оценка риска проекта;  $j$  – индекс, обозначающий вид проекта.

Предложенная модель управления рисками может служить основой для разработки метода управления транспортными рисками в проектах транспортного обеспечения грузовых перевозок для повышения качества транспортных услуг.

В дальнейших исследованиях, учитывая случайный характер возникновения рисков событий, для принятия оптимального решения в условиях неопределенности применяется математический аппарат теории нечетких множеств с целью разработки системы продукционных правил нечеткой логики.

### Литература:

1. Управление рисками проекта. Перевод главы из Guide to PMBOK 2000. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://md-management.ru/articles/html/article32632.html>.

2. Лебідь В.В. Проблеми управління ризиками в проектах розвитку транспортних коридорів / В.В. Лебідь // Проблеми транспорту: збірник наукових праць. 2013–2014. – Випуск 10. – Київ: НТУ. – С. 305-310.

3. Кунда Н.Т., Лебідь В.В. Модель управління ризиками при оцінці проектів якості функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів / Н.Т. Кунда, В.В. Лебідь // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 13. – К.: НТУ, 2016. – 372 с. – С. 105-114.

## ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ

**Ніколаєнко І. В.**

**кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології міжнародних перевезень і логістики  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»  
м. Маріуполь, Донецька область, Україна**

У проекті «Середньострокового плану пріоритетних дій Уряду до 2020 року» одним з п'яти ключових показників досягнення цілей економічного зростання зазначено місце України в рейтингу Doing Business – не нижче 30 [1]. У 2017 році Україна посіла 80 місце (серед 190 країн).

Провідною галуззю української економіки довгі роки залишається металургія [2]. При цьому у 2017 році порівняно з 2016-м загальне виробництво сталі в Україні зменшилося на 12% – до 21,3 млн. тонн; виплавка чавуну знизилася на 5% – до 20 млн. тонн; виробництво металопрокату скоротилося на 14% – до 18,4 млн. тонн. Зараз у світовому рейтингу виробників сталі Україна знаходиться на 12 місці, хоча останні 20 років займала сходинки в першій десятці.

Дослідження показують, що ланцюг поставок і вартості в металургійній промисловості досі залишається доволі неефективним. Багато операцій, як і раніше, виконуються по телефону, факсом або електронною поштою. Немає наскрізного цифрового замовлення і управління виробництвом. Непрозорість, що виникає в результаті порушення потоку інформації в декількох точках, означає, що занадто багато учасників ринку накопичують велику кількість металовиробів на всіх рівнях ланцюга поставок. Технологічні витрати також залишаються дуже високими [3].

Сучасні тенденції такі, що багато українських компаній не наважуються використовувати більш досконалі цифрові технології по ряду внутрішніх причин, включаючи: відсутність цифрової культури та достатніх знань співробітників; проблеми конфіденційності і вартості оформлення ланцюгів поставок; невпевненість щодо того, яке нове апаратне і програмне забезпечення вплине на прибутковість і в цілому на організаційну ефективність.

Надзвичайно складна фінансово-економічна ситуація в Україні є головною зовнішньою причиною низького рівня впровадження цифровізації логістичних ланцюгів металопродукції.

У найближче десятиліття цифрові платформи (digital platforms) стануть домінуючими для світової металургійної промисловості шляхом цифрового з'єднання всіх учасників ринку. Головною метою цього процесу є підвищення ефективності для всіх ланок, що дозволить прогнозувати попит на сталеві вироби і цінові тенденції з набагато більшою точністю.

Функціонування логістичних ланцюгів металовиробів знаходиться в постійно мінливому високотехнологічному середовищі, тому вирішення великих проблем вимагає часу, точності та досконалості. Сервісні металоцентри (СМЦ) перетворилися в специфічну галузь промисловості, що займається обробкою металів, і виконують більшість операцій заготівельного виробництва:

різання на стрічки і листи, виготовлення профілів і конструкцій різного ступеня складності.

У світі через СМЦ проходить не менше однієї третини від усієї виробленої металопродукції. Поставка «точно в строк» є однією з головних задач металоцентру, з цілодобовим обслуговуванням для своєчасного реагування на непередбачений попит на сталеві вироби. При цьому, організація ефективної роботи СМЦ повинна забезпечуватися за рахунок активного використання сучасних цифрових методів управління всіма операціями, а також своєчасного впровадження інформаційних технологій.

В найближчі роки сервісні металоцентри зіткнуться з досить серйозними змінами в організації роботи. Цифрові платформи ринку сталі та металовиробів змінюють традиційні бізнес-моделі, які залежать від готових запасів та арбітражних угод як основних елементів взаємовідносин постачальника та споживача. СМЦ повинні знайти нові способи створення цінності для покупців, виробників та інших учасників ланцюга постачання – інакше вони зникнуть.

Основною метою сучасного сервісного металоцентра є надання комплексного сервісу як для покупців металу, так і для його виробників. В найближчій перспективі клієнти СМЦ зможуть використовувати такі сучасні цифрові інструменти, як контрактні портали (contract portals), інтернет-магазини (online shops) і огляд замовлень (order reviews). Індивідуальні рішення дозволяють сервісним центрам запропонувати клієнтам більш спеціалізовану металопродукцію і різноманітні послуги.

Дослідження та практичний досвід конкурентоспроможних підприємств на ринку металів показують, що більш високий бізнес з доданою вартістю має великий потенціал та перспективу. Хорошим прикладом цього є інвестиції в 3D-лазери, які можна використовувати для об'єднання кількох завдань клієнта, таких як свердління, розпилювання та розрізання за привабливою ціною, великим рівнем точності та якості виконання замовлення.

Впровадження цифрових робочих міст (digital workplace) дозволяє отримувати не тільки перевагу доступного рішення для модернізації та інтеграції розрізнених операцій, але і рішення, які об'єднують всіх учасників виробництва та сервісних центрів, дозволяючи їм спілкуватися і співпрацювати з виробничою метою, які відповідають як їх індивідуальним потребам і перевагам, а також загальним потребам підприємства та ланцюга постачань металовиробів.

Разом з оцифруванням процесів в логістичному ланцюзі металовиробів, також все більшого значення набуває інтелектуальне використання отриманих даних. Наприклад, один з найбільших європейських дистриб'юторів сталі та металовиробів Klöckner & Co співпрацює з провідним постачальником штучного інтелекту (artificial intellect) німецькою компанією Arago GmbH [4]. Використання штучного інтелекту допомагає сервісному металоцентру автоматизувати частини ІТ-інфраструктури за рахунок постійних процесів навчання і самовдосконалення.

### **Література:**

1. Середньостроковий план пріоритетних дій Уряду до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 03.04.2017 № 275-р // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/275-2017-%D1%80> (дата звернення: 18.04.2018).

2. Промисловість України – 2016: стан та перспективи розвитку: наук.-аналіт. доп. / О.І. Амоша та ін. НАН України, Інститут економіки промисловості. Київ, 2017. 120 с.

3. John E. Lichtenstein. Five inconvenient truths for the global steel industry. Steel Survival Strategies XXXII. New York City, 2017. URL: [https://www.accenture.com/t20170725T014117Z\\_\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/PDF-57/Accenture-Five-Inconvenient-Truths.pdf](https://www.accenture.com/t20170725T014117Z__w_/us-en/_acnmedia/PDF-57/Accenture-Five-Inconvenient-Truths.pdf) (дата звернення: 18.04.2018).

4. Arago's artificial intelligence supports Klöckner & Co's digital strategy. URL: <https://arago.co/press-release-aragos-artificial-intelligence-supports-kloeckner-cos-digital-strategy/> (дата звернення: 19.04.2018).

## **ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ СЕРВІСНОЇ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДІЯЛЬНІСТЮ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

**Петров І. М.**

**кандидат технічних наук, професор,  
капітан далекого плавання**

**Кузьменко Є. С.**

**аспірант**

*Національний університет «Одеська морська академія»*

**Рудніченко М. Д.**

**кандидат технічних наук, доцент**

*Одеський національний морський університет*

*м. Одеса, Україна*

Вступ. Підвищення ролі управління людськими ресурсами вимагає врахування рівня професіоналізму і компетентності службовців при визначенні відповідності їх займаним посадам на морському транспорті. Застосовуваний в даний час анкетний підхід не забезпечує необхідного рівня ідентифікації функцій посади з якостями самого працівника, у зв'язку з чим існує необхідність формалізації таких функцій.

Аналіз проблематики. Існуючі обставини зажадали створення адекватних моделей посад службовців, що відображають всі професійно необхідні характеристики фахівця, з можливістю їх формалізації для використання в



сучасних ергатичних системах. З огляду на, що такі моделі, як правило, є вербальними і відрізняються слабкою структурованістю, суттєвою нечіткістю, невизначеністю та суб'єктивністю, розробка їх пов'язана з певними труднощами та є актуальною задачею [1]. Це зумовлює зміни в підходах до оцінки діяльності фахівців, зайнятих в сервісному сегменті на морському транспорті. Провідною постаттю в ньому є морський агент (МА), як представник і помічник судновласника, який виступає від його імені і за його рахунок відповідно до повноважень, заснованими на законі або договорі, у всіх справах судновласника комерційного й адміністративного характеру, які пов'язані з морським перевезенням вантажів або пасажирів [2]. У свою чергу, МА є елементом сервісної ергатичної системи (СЕС), її оператором. Для забезпечення якісного та ефективного функціонування таких систем повинні бути розроблені і враховані вимоги до навчання, добору, розстановки і діяльності МА як операторів СЕС. Ці вимоги повинні максимально відповідати функціональній моделі, яка є найважливішим елементом підготовки МА. Для вирішення означеної задачі слід провести моделювання бізнес-процесів (БП) за допомогою застосування існуючих, використовуваних в практиці сучасних морських організацій, нотацій. Це дозволяє підвищити якість виконуваних виробничих процесів, виявити і наочно уявити логічний взаємозв'язок їх протікання на різних етапах життєвого виробничого циклу. Під БП розуміється серія логічно взаємопов'язаних дій МА, необхідних для ефективного вирішення поставлених перед ним функціональних завдань.

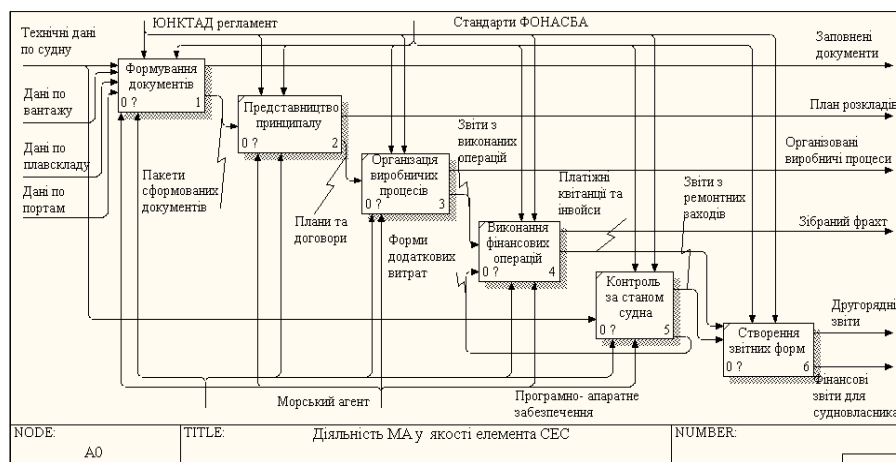
Мета даної роботи полягає в формалізації специфіки і основних аспектів діяльності МА, які є ключовими факторами в існуючих багатоланкових транспортних СЕС. Для виконання поставленої мети необхідно означити ключові класифікаційні аспекти МА. За характером та видом об'єкта обслуговування функціями МА є: представницькі, посередницькі, з надання допомоги капітану, пасажиром і екіпажу, послуги парку обладнання, а також функції другорядні. За періодом часу обслуговування – до приходу судна в порт, під час перебування в порту (до початку вантажної обробки, в процесі вантажних / пасажирських операцій, після їх виконання), і після відходу судна в рейс. В цілому функції МА можуть бути класифіковані наступним чином: постійні функції, функції з обслуговування судна, епізодичні функції [3].

В результаті виконання формалізації БД створено контекстну діаграму діяльності МА у якості елемента СЕС, яка графічно наведена на рис. 1. До вхідних даних відносяться технічні дані по судну, дані по вантажу, плавскладу та портах. Регламентуючими документами є ЮНКТАД та стандарти ФОНАСБА. Механізмами є МА та програмно-апаратне забезпечення. Вихідними даними моделі є заповнені документи відповідного характеру звітності, організовані виробничі процеси, зібраний фрахт, плани розкладів, фінансові звіти для судновласника.



**Рис. 1. Контекстна діаграма діяльності МА у якості елемента СЕС**

Для конкретизації функціональної моделі виконана декомпозиція контекстної діаграми діяльності МА у якості елемента СЕС у нотації IDEF0, результати наведено на рис. 2. До основних категорій функцій МА в рамках СЕС відносяться: формування документів, представництво принципалу, організація виробничих процесів, виконання фінансових операцій, контроль на станом судна та створення звітних форм.



**Рис. 2. Декомпозиція контекстної діаграми діяльності МА у якості елемента СЕС у нотації IDEF0**

Висновки. Отримані результати виконання формалізації дозволяють реалізувати автоматизацію управління СЕС, що веде до оптимізації чисельності персоналу та скорочення його робочого часу. На базі отриманих результатів формалізації БП СЕС управління діяльністю морських транспортних систем стає можливим проектування реляційного розподіленого сховища взаємопов'язаних даних про ключові аспекти діяльності МА у вигляді бази даних з чітко означеними сутностями, що є необхідним для подальшої реалізації системи єдиного вікна.

### **Література:**

1. Петров И.М. Организационные и коммерческие взаимоотношения морского агента / И.М. Петров. – Севастополь, УМИ, 2007. – 131 с.
2. Лапкин А.И. Организация и управление работой флота последовательными рейсами / А.И. Лапкин. – Одесса: ОГМУ, 2000. – 200 с.
3. Довженко В.А. Обоснование функциональной модели должности командира корабля / В.А. Довженко // Морской сборник. – 2012. – № 1. – С. 49-56.

## **ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ КЛІЄНТІВ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ**

**Помазков М. В.**

**кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології  
міжнародних перевезень і логістики**

**Пірч І. І.**

**кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автомобільного транспорту  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»  
м. Маріуполь, Донецька область, Україна**

Аналіз науково-дослідної роботи «Розвиток можливостей нових територій морського порту «Бердянськ» виявив у споживачів послуг надаваних у логістичному ланцюгу наступні парадокси [1].

Парадокс ринку 1.

Майже половина клієнтів (46%) однозначно не готові передати логістичні процеси на аутсорсинг. Компанії, які віддають перевагу інсорсинг, кажуть, що послуги логістичного оператора дорожче (45%), висока ймовірність зриву термінів поставок (42%), недостатня компетентність персоналу провайдера (32%), недостатній рівень якості послуг (26%) і відсутність довіри (16%). Відповіді клієнтів говорять про те, що ці компанії не завжди можуть правильно порівняти витрати на власну логістику з ціновими пропозиціями логістичних операторів. Адже 3PL-провайдери працюють в основному за річними контрактами і вартість обслуговування залежить від вимог клієнтів, від обсягів, кількості і якості послуг, які прописані в контракті. Такі ціни можна порівняти з тарифами вузькоспеціалізованих транспортних компаній. Крім того, при визначенні вартості власної логістики керівники логістичних підрозділів виробничих і торгових компаній часто «лукавлять» – враховують тільки прямі витрати, що створює ілюзію, що виконувати логістичні операції краще самому. Вони також не враховують ефект синергії. Я вже не кажу про узгоджену

логістичної стратегії між клієнтом і його постачальником. Парадоксом ринку є те, що переважна більшість респондентів не готові передавати логістику на аутсорсинг через страх втрати контролю над процесами, хоча розуміють, що могли б заощадити на витратах. Проблемою слід визнати недостатній рівень знань про принципи і специфіку логістичного сервісу, умов укладення контракту, визначення KPI і ін.

#### Парадокс ринку 2.

Всі респонденти серед клієнтів замовляють транспортні та / або транспортно-експедиторські послуги, 33% – митно-брокерські, 31% – складські, 8% – управління ланцюгами поставок. Деякі відзначають, що вважають за краще користуватися послугами власників транспортних засобів. 41% опитаних висловили бажання замовляти експрес-доставку товарів. Парадокс ринку полягає в тому що, з одного боку, клієнти говорять про відсутність спеціалізації і необхідному їм пропозиції, а з іншого – у них немає конкретних запитів на нові види послуг (в анкетах це не відображено).

#### Парадокс ринку 3.

Дослідження виявило, що частка клієнтів, задоволених співробітництвом з 3PL-провайдери, становить 33%. Частково задоволені клієнти (54%) відзначають недостатній рівень кваліфікації персоналу логістичного оператора, відсутність гарантій якості сервісу, зриви термінів доставки, відсутність нюансів. Незадоволені клієнти (8%) вказують відсутність довіри і спеціалізації, низький рівень кваліфікації і відповідальності персоналу логістичного оператора. В цілому вони відзначають низький рівень клієнтоорієнтованості логістичних операторів. З іншого боку, серед основних конкурентних переваг логістичні оператори називають свою клієнтоорієнтованість (57%), високу компетентність персоналу (48%), висока якість послуг, що надаються (30%). Парадокс ринку полягає в тому, що логістичні провайдери пропонують значно більший перелік послуг, ніж хочуть клієнти. При цьому кожна сторона по-своєму розуміє клієнтоорієнтованість: клієнти хочуть все за мінімальну вартість, постачальники намагаються стандартизувати операційні послуги для зменшення своїх витрат.

#### Парадокс ринку 4.

Українські та міжнародні логістичні компанії нарощують обсяги і асортимент послуг по координації логістичних процесів клієнтів та управління ланцюгами поставок. Це відповідає глобальним трендам. Лідери світового ринку 3PL все більше позиціонують себе не як операціоністів, які виконують для вантажовласників операції з транспортування і зберігання вантажів, а як консультантів, які допомагають бізнесу в просуванні товарів до споживачів. Тобто вони пропонують клієнтам не послуги, а рішення логістичних проблем. Відрадно, що багато логістичні компанії в Україні впроваджують кращий світовий досвід, все більше уваги вони приділяють планування та оптимізації логістичних процесів клієнтів. З іншого боку, тільки 10% опитаних компаній-клієнтів орієнтовані на стратегічне партнерство з логістичними операторами, а 41% – на операційне співпрацю і сервісне партнерство.

### **Література:**

1. Імплементация парадигми сітілогістичних рішень ефективної транспортної мережі в умовах раціонального природокористування / Міністерство освіти і науки України, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»; керівник Губенко Володимир Костянтинович; викон.: Лямзін А.О. [та ін.]. – Маріуполь, 2014. – 237 с. – ДР. 0113U001330.

## **ЛОГІСТИЧНА КОНЦЕПЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАТИ ЛОГІСТИЧНИЙ РОЗПОДІЛЬНИЙ ЦЕНТР**

**Помазков М. В.**

**кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології  
міжнародних перевезень і логістики**

**Пірч І. І.**

**кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри  
*ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»  
м. Маріуполь, Донецька область, Україна***

Сучасні процеси міжнародного співробітництва в галузі транспорту, що обслуговує роботу логістичних розподільних центрів (ЛРЦ) неминуче призводять до необхідності коригування діючих транспортних систем з позицій подальшого їх розвитку та підвищення конкурентоспроможності на міжнародних ринках. Для розробки методів і моделей вдосконалення вітчизняних транспортних систем, які обслуговують роботу ЛРЦ необхідно сформулювати логістичну концепцію транспортної системи. Основні правила побудови такої концепції можуть бути зведені до чотирьох положень: об'єктами досліджень, досліджень і перетворень в логістиці є потокові (матеріальні, фінансові і відповідні їм інформаційні або їх поєднання) процеси, що протікають в сфері діяльності логістичного розподільного центру; цільова функція досліджень, досліджень і розробок передбачає оптимізацію відповідних потоків шляхом пошуку і максимальної мобілізації наявних резервів для підвищення ефективності їх реалізації; оптимізація поточкових процесів ведеться з позиції єдиного цілого, як системи; базовим інструментом логістичної оптимізації поточкових процесів служить математичний апарат (економіко-математичне моделювання).

У світлі зазначених положень важливо помітити, що всесвітня історія науково-технічного, економічного і соціального прогресу є ні що інше, як нескінченний процес вдосконалення всіх видів людської діяльності і утворених при цьому системних взаємозв'язків. Слід зазначити, що на науковому мовою

всьяке вдосконалення іменується оптимізацією [1]. Сам процес послідовної оптимізації роботи логістичного розподільного центру може бути зображений траєкторією у вигляді S-образної кривої, яка ідентифікується в математиці так званої «логістичної функцією». Її закономірність описана відомим рівнянням Ферхюльста:

$$Y = A/(1 + 10a + bx) + C, \quad (1)$$

де:

Y – значення функції;

A – відстань між верхньою і нижньою асимптотами;

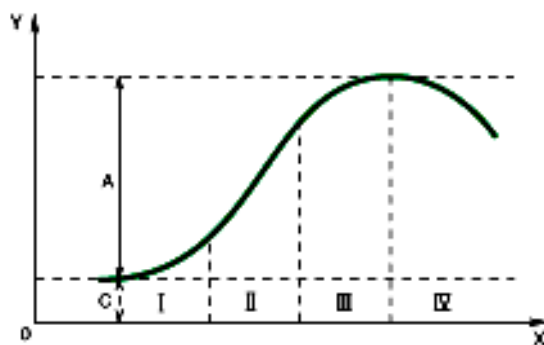
a і b – параметри (нахил, вигин, точки перегину кривої);

x – час;

C – значення нижньої асимптоти, з якого починається зростання функції.

На рисунку 1 вважаємо той факт, що частина кривої характеризує початковий етап розвитку процесу обробки потоків в ЛРЦ (I).

Крутий підйом кривої (II) відповідає прискореному етапу оптимізації процесу. Асимптотична – майже горизонтальна частина кривої (III) відображає рівень гранично можливої оптимізації процесу.



**Рис. 1. Схема послідовної оптимізації роботи логістичного розподільного центру**

Нарешті, закінчення кривої (IV) знаменує собою необхідність переходу до принципово нової методології оптимізації.

В рамках даної універсальної концепції логістики оптимізація не передбачає обов'язкового досягнення екстремуму, цільової функції, а лише активний рух назустріч до нього. Іншими словами, в логістиці мова завжди йде про пошук і виборі рішення, кращого в порівнянні з тим, який уже записано. Саме такий розгляд поточних процесів в управлінні ефективністю транспорту, ув'язане з методологією їх вивчення, способами оптимізації та оцінки прийнятих рішень (заходів чи дій), мало б послужити універсального тлумачення понять «логістика» і «логістична діяльність».

### Література:

1. Семененко А.А. К універсальному пониманию сути и значения логистики. «Логистика», № 1. 2001. 68 с.

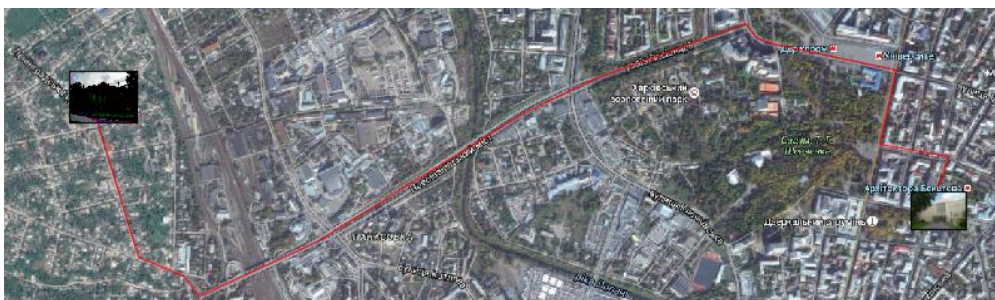
## МІСЦЕ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ У ПРОЕКТУВАННІ ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТУ

**Поморцева О. Є.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри земельного адміністрування  
та геоінформаційних систем  
*Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова  
м. Харків, Україна*

Рівень розвитку суспільства прямо пов'язаний з рівнем розвитку транспортної інфраструктури. В транспортній галузі як і в інших галузях, головною метою є підвищення продуктивності. Критерієм продуктивності у транспортній галузі є середня швидкість пересування пасажирів по місту.

На сьогоднішній день транспортні маршрути будь-якого міста, у тому числі міста Харкова, потребують значного поліпшення. Необхідно вдосконалювати маршрути міського пасажирського транспорту для скорочення витрат часу на пересування [1]. У разі позбавлення доріг зайвого перевантаження і підвищення провізної здатності частково можна досягти цих вимог. Потрібно проектувати маршрути ґрунтуючись на реальних потребах в транспортних послугах, виявляючи ймовірність та закономірності пересування пасажирів по місту [2].

Допоможе у цьому автоматизована система для оптимізації руху міського пасажирського транспорту [1]. Така система повинна враховувати час очікування транспорту на зупинках, оптимізувати місця розташування зупинок та мінімізувати їх кількість, зменшувати кількість машин на дорогах, коли потік людей зменшується. Приклад розробленого транспортного маршруту наземного транспорту наведено на рисунку 1.



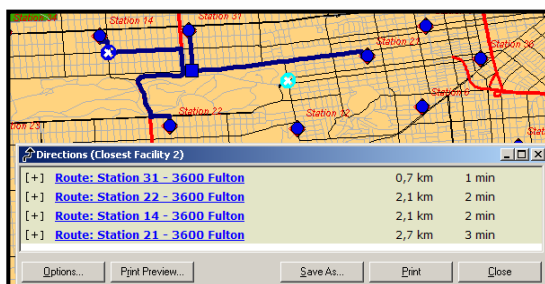
**Рис. 1. Приклад розробленого транспортного маршруту**

Дані, які необхідно знати про транспортні об'єкти – їх координати в просторі і описові характеристики. Саме це і становить загальний сенс роботи з мережевими об'єктами – з'єднання координатної інформації з описовою в одне ціле, яке буде належно функціонувати і виконувати всі поставлені завдання. Для оптимізації зупинок необхідна база геоданих, з її допомогою можна буде визначити необхідні зупинки з точки зору зручності пасажирів та оптимізації



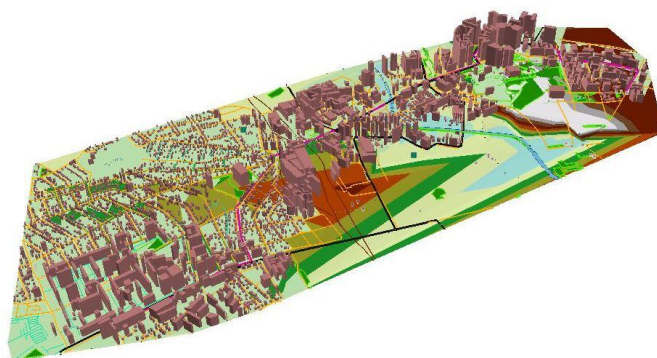
пасажиропотоків. Вирішити таке завдання можна за допомогою програмного продукту ArcMap. Використання ГІС-технологій (геоінформаційних), зокрема модуля Spatial Analyst дозволить безпомилково приймати єдино правильні рішення в даній непростій оптимізаційній задачі.

ГІС дозволяють не тільки планувати перевезення, але і в повній мірі контролювати їх. Популярності набуває спостереження за транспортними засобами за допомогою GPS-навігаторів. Природно, що вся ця інформація повинна генеруватися в ГІС – для відстеження у географічному контексті. Так, наприклад, модуль ArcGIS Tracking Analyst дозволяє зберігати траєкторії руху транспортних засобів і аналізувати їх у подальшому, наприклад, моделювати в різних масштабах часу з метою розробки оптимального маршруту (рис. 2).



**Рис. 2. Приклад визначення оптимально маршруту**

Застосування тривимірної міської ГІС надає численні потенційні переваги. Наприклад тривимірна об'ємна модель будівлі, розташованої вздовж транспортної магістралі дозволяє моделювати поширення шуму [3]. Можливість аналізу просторових даних і представлення результатів аналізу в зручному для сприйняття вигляді (тривимірному) дозволяє зосередити зусилля на пошуку найкращого і оптимального рішення, що у свою чергу призводить до покращення кінцевого результату щодо проектування найбільш зручного та оптимального транспортного маршруту (рис. 3).



**Рис. 3. Тривимірний вигляд розробленого транспортного маршруту**

Важливо відзначити, що засоби аналізу, що є в ГІС, дозволяють не тільки прокладати маршрути по існуючій вулично-дорожній мережі, але й оцінювати ефективність самої цієї мережі, виявляти вузькі місця, планувати розвиток.



Практично у будь-якому місті можна знайти приклади, коли довжина навіть самого оптимального маршруту у багато разів перевищує геометрично найкоротшу відстань між пунктами відправлення і призначення. А на ідеальній мережі перевищення не може бути більше 40%. Причини цього – низька зв'язність мережі, обумовлена перешкодами (залізниця, річки, магістралі безперервного руху), а також невдала організація руху. Результат – значний перепробіг для всіх учасників дорожнього руху: і муніципального транспорту, і комерційного, і особистого. Наслідками цього можуть бути пробки, шум, загазованість, прискорення зносу дорожнього полотна.

Впровадження інформаційних, а зокрема ГІС-технологій для вирішення транспортно-навігаційних задач дозволить заощадити значні кошти, які витрачаються на проекти дорожнього будівництва, що дають копійчаний результат тільки тому, що при їхній розробці, обґрунтуванні і відборі не проводився комплексний аналіз.

### **Література:**

1. Поморцева Е.Е. Використання геоінформаційних технологій при розробці проекту по створенню нових маршрутів міського транспорту «Геоінформаційні технології у територіальному управлінні», науково-практична конференція, Одеса – 2014 р., ви-во ОРІДУ при Президентові України – С. 78-81.

2. Поморцева Е.Е., Евдокимов А.А., Маслий Л.А. Использование геоинформационных систем при проектировании инженерной инфраструктуры города «Геоінформаційні технології у територіальному управлінні», науково-практична конференція, Одеса – 2017 р., ви-во Львівської політехніки – С. 111-114.

3. Поморцева Е.Е. Трёхмерное моделирование местности и управление пространством. «Європейські стандарти економічного розвитку, оцінки, землеустрою та кадастру: шляхи їх реалізації в Україні» / Поморцева Е.Е., Маслий Л.А. / Міжнародна науково-практична конференція, Харків – 2016 г., ви-во ХУПС ім. І. Кожедуба – С. 120-121.

## **DETERMINATION OF OPTIMAL CHARACTERISTICS OF TRANSPORT NETWORKS**

**Prokudin G. S.**  
**Doctor of Technical Sciences, Professor,**  
**Head at the Department International Transportation**  
**and Customs Control**

**Chupaylenko O. A.**  
**Candidate of Technical Sciences (PhD),**  
**Associate Professor at the Department International Transportation**  
**and Customs Control**

**Dudnik O. S.**  
**Candidate of Technical Sciences (PhD),**  
**Associate Professor at the Department International Transportation**  
**and Customs Control**

**Prokudin O. G.**  
**Candidate of Technical Sciences (PhD),**  
**Associate Professor at the Department International Transportation**  
**and Customs Control**

**Dudnik A. A.**  
**Assistant at the Department International Transportation**  
**and Customs Control**  
*National Transport University*  
*Kyiv, Ukraine*

The process of cargo transportation in the network representation was studied with the aim of improving the existing methods of determining the optimal characteristics of transport networks. Influence of indicators of network structure, direction of movement and throughput of transport communications on determination of actual traffic density on the transport network in static state is established. The mechanism of transformation of network models of the cargo transportation process into matrix models, which are specified in the form of oriented graphs and allows the transportation of cargo through intermediate transport nodes, is determined.

Transport in Ukraine is a powerful communication system, which includes all its types (water, road, railway, pipeline, air). The main production funds of transport constitute about 20% of the production funds of the country.

Designing efficient delivery of cargos with the alignment of all the links of the transportation process necessitated a large number of theoretical and experimental studies on various issues of development of transport systems.

Relevance of the research is determined by the need to improve efficiency of the transportation of goods in international traffic through the development and implementation of models, methods and software for the rational organization of international freight traffic.

The transport problem in the matrix and network forms of representation are equivalent by definition. However, sometimes it is more convenient to solve the network problem in the matrix form. There are two main ways to reduce a network problem to the matrix form.

We propose to solve the network transport problems in the Excel environment. A directed graph is called a network, where the following are determined: node-source that has only the output arcs (denoted by letter  $s$  from «source»); node-runoff that has only the input arcs (denoted by letter  $t$ , from «terminal» – final destination); all other nodes – intermediate (transit), interconnected by arcs, which include the input and output arcs.

Directed arcs in the network are marked with arrows, non-directed arc is replaced with two arrows facing each other. Arc with arrow and a certain value of the appropriate parameter specifies universal concept – flow that moves from the initial node of the arc to the final node. The objects of flows in practical problems are the cargos, gas, passengers, vehicles, communication signals, fluids, etc.

Most of the optimizing problems in networks are the problems on flows in the networks (*network flow problems*). For the network optimization problems, a fundamental principle is the *principle of maintaining the flow* at any node, particularly, the total of flows  $F_{\text{BHX}}(x)$  at the node output is equal to the total of flows at its input  $F_{\text{BX}}(x)$  + potential  $p(x)$  of node (+ proposal/ –demand), for example:

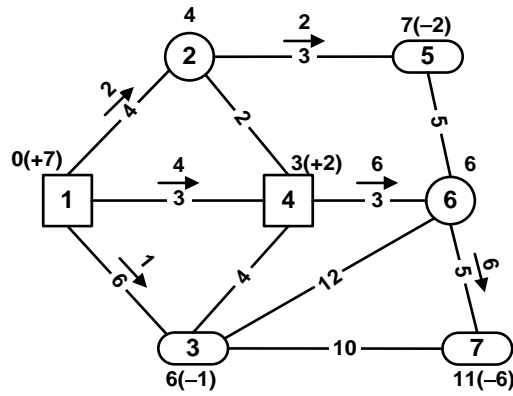
– node–source  $s$ :  $F_{\text{BHX}}(s)=0+p(s)=P$ , where  $P$  is the magnitude of total flow along the network; potential  $p(s)=+P$ ;

– node–runoff  $t$ :  $F_{\text{BHX}}(t)=P+p(t)=0$  because potential  $p(t)=-P$ ;

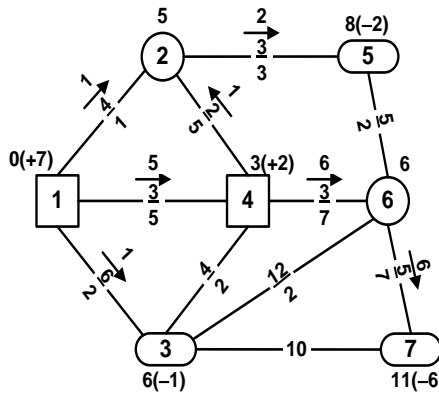
– intermediate node  $x$ :  $F_{\text{BHX}}(x) = F_{\text{BX}}(x) \pm p(x)$ .

A flow in each node of the network is function that satisfies linear equations and inequalities, where each arc  $(x_i, x_j)$  of the network is in line with one or more positive numbers. For example, magnitude  $d(x_i, x_j)$  in the problem on maximum flow is the throughput capacity of the arc (maximum amount of product that can be delivered with node  $x_i$  to node  $x_j$  along this arc per unit of time); in the transport problem, this is the distance or the cost of transportation. Hence the magnitude of flow along arc  $(x_i, x_j)$  does not exceed throughput capacity of this arc  $d(x_i, x_j)$  if it is set.

The purpose of the study is the reduction of network representation of the transport problem to the matrix form that will allow us in future to solve the problems of cargo transportation optimization. Fig. 1 displays TN without limitation for the throughput capacity; Fig. 2 presents TN with limitations for the throughput capacity.



**Fig. 1. Example of TN without limitation in the throughput capacity**



**Fig. 2. Example of TN with limitation in the throughput capacity**

Fig. 1, 2 display networks with 7 vertices and 11 links. Next to the corresponding vertex in parentheses is the number with a plus sign that indicates the volume of production while the volume of consumption is, respectively, denoted by the number with a minus sign. Fig. 1, 2 presents distributions of cargo flows and potentials.

The first way is the improvement of the method Ordena. Every vertex of the network shown in Fig. 1 is assigned with a line and a column. Thus, in our case, the table consists of seven lines and seven columns. It should always be square.

The second way is improving the Wagner method. It is more convenient for the networks with throughput capacity limitations. Such a network is depicted in Fig. 2, where an optimal plan of transportation is also presented.

Often, when solving practical problems, there is a need to show the links between certain objects. Directed and non-directed graphs, which are referred to in the scientific literature as networks, are a natural model for the implementation of such links.

The new algorithm for constructing the shortest paths between specified sets of vertices in the network was implemented in the form of software package, which was verified at a large number of examples, thus proving its reliability and universality in the network transport tasks of large dimensions.

The improvement of the method for the shortest paths is resolved by using the modified Dijkstra's algorithm. Solving the problem on finding the shortest path, in addition to the value of the shortest distance from a given vertex to all others, we

obtain the shortest route, in particular, a list of vertices that it passes. It might be used for imposing flows on the networks. By having matrix of correspondences of freight traffic from each vertex to all others, we build a tree of the shortest paths and then, returning from each point of unloading by the shortest route, we summarize flows at the arcs of the network. Going from one vertex to another vertex, we receive density of traffic in the network without limitation in the throughput capacity. This technique might be used to determine actual density of traffic in the network in the static state.

The improvement of the methods for reducing a network representation of the transport problem to the matrix form is carried out by the more effective modified Dijkstra's method that has algorithmic and software provision of its implementation.

#### Conclusions

1. It is proposed to improve the method for maximum flow in the transportation network through the use of the method of trees. The solution can be applied to a problem with multiple sources and runoffs. This will solve the problems on the optimization of transportation networks with and without limitations in throughput capacity.

2. We proposed an improved method for building the shortest paths in a transport network between different sets of vertices on the graph, namely, sets of providers and consumers. The method is implemented in the form of software package that might be used for the transport problems of large dimensionality.

3. We defined a conversion mechanism for the network models of the process of cargo transportation in the matrix model, which are set in the form of directed graphs and which allow the transportation of cargo through intermediate transportation nodes.

#### References:

1. Prokudin G. (2006). Optimization of traffic on a road network. *Economy and management*, 3(4), 54 – 59 (in Ukrainian).

2. Teodorovic, D., Janic, M. (2016). *Transportation Systems*. *Transportation Engineering*, 2, 5–62 (in English).

3. Prokudin, G., Chupaylenko, A., Dudnik, O., Prokudin, A., Omarov, D. (2016). The conversion process network models of freight transport in the matrix model. *Project management, systems analysis and logistics*. *Science journal*, 16 (1), 125 – 136 (in Ukrainian).

# ECOLOGICAL PROBLEMS OF RAILWAY TRANSPORT AND THE WAYS OF THEIR SOLUTION

**Samarska A. V.**  
**Postgraduate Student**

**Zelenko Yu. V.**  
**Doctor of Technical Sciences, Professor**  
*Academician Vsevolod Lazarian*  
*Dnipro National University of Railway Transport*  
*Dnipro, Ukraine*

The impact of railway transport on the environment is manifested in many negative aspects:

1) biocenotic pollution: fragmentation of wildlife habitat, creation of insurmountable barriers for small animals, accidents with animals on the railway. All this contributes to the reduction of populations and biodiversity;

2) aesthetic pollution: changing the landscape, creating an artificial ballast prism, power lines;

3) ingredient contamination with organic (oil, petroleum products, polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, lubricants, pesticides, herbicides) and inorganic substances (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, heavy metals). A significant role in this type of pollution is played by accidents involving dangerous cargoes, which results in the large-scale and acute poisoning of all the biosphere components.

4) biological pollution – bacteriological, viral and fungal resulting from the passenger traffic. In addition, railway transport contributes to the introduction of alien and invasive plant species, which leads to a change in authentic phytocenoses, which in turn can cause animals and humans poisoning due to the toxic substances migration in the soil-plant-animal-human system.

5) parametric pollution: noise, vibration, electromagnetic, light.

At the moment, most researchers identify railway transport as a source of organic and inorganic substances to the environment. Such pollutants as heavy metals and polycyclic aromatic carbohydrates are able to accumulate in the ground environment, plants and even spider webs and exceed the target values in dozens [1-6]. Due to their toxic effect on the living organisms of any hierarchy, these pollutants significantly reduce the level of ecological safety of the rail interspaces and adjacent territories soils.

The following processes occurring during the railway transport operation can be the sources of the ingredient pollution: the cargo loss due to the wagons leakage and the weather conditions (wind, precipitation, temperature, pressure); the use of a large amount of pesticides to combat unwanted vegetation; application of lubricants, creosote for impregnating wooden sleepers; emissions of harmful substances in the combustion of fuel in locomotive engines; friction of the contact wire and pantograph, wheels and rails, brake pads and bearings.

In Ukraine, increasing the level of ecological safety of the railways, requires a detailed assessment of the vehicle impact on the environment and then, on the basis of the data obtained, developing the effective and environmentally friendly methods for controlling all types of pollution. Whereas the aesthetic pollution cannot be avoided, the biocenotic one can be significantly reduced by means of biospheric overground and underground passes in combination with animal fences. But the most important task for researchers is to prevent or reduce the levels of ingredient contamination.

It should be noted that nowadays in Ukraine there is no statutory act regulating maximum permissible concentration of pollutants for lands of different purpose and use, in this case for the land of railway transport (transport infrastructure). Table 1 presents the values of maximum permissible concentrations of heavy metals in soils in Ukraine and EU countries.

Table 1

**Maximum permissible concentration, trigger and intervention values  
for heavy metals in soil, depending on the terrain usage  
(Ukraine and EU countries)**

Ukraine, maximum permissible concentration, mg/kg														
Pb		Mn			Cd		Zn			Ni		Cu		Cr <sup>+3</sup>
32 <sup>total form</sup>		1500 <sup>total form</sup>			0,5 <sup>mobile form</sup>		23 <sup>mobile form</sup>			4 <sup>mobile form</sup>		3 <sup>mobile form</sup>		6 <sup>mobile form</sup>
German, trigger values, mg/kg														
Playgrounds					Parks and recreational facilities					Land used for industrial and commercial purposes				
Pb	Cd	Cr	Ni	Hg	Pb	Cd	Cr	Ni	Hg	Pb	Cd	Cr	Ni	Hg
200	10	200	70	10	1000	50	1000	350	50	2000	60	1000	900	80
Poland, permissible levels of heavy metal concentration in surface soils, mg/kg														
As	Ba	Cr	Sn	Zn	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Hg			
urban lands														
20	200	150	20	300	4	20	150	10	100	100	2			
transport/industrial lands														
60	1000	500	350	1000	15	200	600	250	300	600	30			
Bulgaria, trigger values and intervention values, mg/kg dry soil														
Substances	Residential areas, parks, sport facilities					Industrial/commercial areas								
	Trigger values		Intervention values			Trigger values		Intervention values						
As	25		50			40		120						
Cd	8		12			10		40						
Cu	300		500			500		1000						
Cr	200		550			300		600						
Ni	100		300			250		700						
Pb	200		500			500		1000						
Hg	8		10			10		40						
Zn	400		300			600		1500						

The obtained data of the railway infrastructure soil physicochemical analysis can only be compared to the background concentrations or the referent sites indices. Therefore, for estimating the pollution levels of railway infrastructure we recommend using such criteria as the potential environmental risk (RI) and the enrichment factor (EF), with aluminum being used as a referent metal.

The results of the soil investigation in the three railway stations of Prydniprovskia Railway (Zaporizhzhia – Kamianske, Trytuzna and Kamianske – Passenger) show different degrees of heavy metal contamination.

The most polluted soils are those of the cargo-and-passenger station Zaporizhzhia – Kamianske (Table 2).

Table 2

**Actual concentrations of gross forms of heavy metals in the soils of the station Zaporizhzhia – Kamianske, mg/kg**

HM	Background concentration	Reference concentration	The Zaporizhzhia – Kamianske station	
			Between rails	Behind rails up to the end of ties
Mn	600	240,55±4,72	2220,39±101,91	2220,30±159,98
Cu	20	5,36±0,62	456,44±16,08	476,21±9,04
Zn	30	30,13±2,91	678,43±23,82	656,33±29,63
Ni	10	5,88±1,23	111,04±6,51	115,41±5,09
Pb	10	8,12±1,39	340,34±7,08	323,98±14,49
Cd	1	0,31±0,14	3,99±0,32	3,89±0,64
Fe	22000	3078,60±46,24	61860,27±334,90	61230,49±635,34

The soil pollution at this station results mainly from loading and unloading operations. To prevent further contamination, we recommend the use of special structures (Fig. 1), consisting of the modular steel pans and drains systems, which can be easily installed on the existing tracks. This structure can catch oil, greases and fuel leaks and prevent the ingress of bulk materials into the soil.

Installation of this structure requires the preliminary removal of soil and crushed stone, which can be further cleaned of the contamination by chemical washing (crushed stone) and phytoremediation (soil).



**Fig. 1. Modular systems of steel pans and drains easily installed on existing or new tracks to catch spilled or leaking fuel, oils, greases and other pollutants (Contech Collector Pans™)**



### References:

1. Chen Z., Wang, K., Ai, Y. W., Li, W., Gao, H., & Fang, C. (2013). The effects of railway transportation on the enrichment of heavy metals in the artificial soil on railway cut slopes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(2), 1039-1049. doi: 10.1007/s10661-013-3437-3.
2. Effects of heavy metal pollution on enzyme activities in railway cut slope soils / Meng X, Ai Y, Li R, Zhang W // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. – P. 190–197. doi: 10.1007/s10661-018-6567-9
3. Mętrak M., Chmielewska M., Sudnik-Wójcikowska B., Wiłkomirski B., Staszewski & T., Suska-Malawska, M. (2015). Does the Function of Railway Infrastructure Determine Qualitative and Quantitative Composition of Contaminants (PAHs, Heavy Metals) in Soil and Plant Biomass? *Water Air Soil Pollution*, 226(8), 1-12. doi: 10.1007/s11270-015-2516-1
4. Rybak J., & Olejniczak, T. (2013). Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the spider webs in the vicinity of road traffic emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(3), 2313–2324.
5. Wierzbicka M., Bemowska-Kałabun O., & Gworek B. (2015). Multidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks. *Ecotoxicology*, 24(4), 805-822. doi: 10.1007/s10646-015-1426-8.
6. Wiłkomirski B., Sudnik-Wójcikowska B., Galera H., Wierzbicka M., & Malawska M. (2011). Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water Air Soil Pollution*, 218(1-4), 333-345. doi: 10.1007/s11270-010-0645-0.

## POTENTIAL FIELD-BASED UNMANNED AERIAL VEHICLES SWARM FORMATION AND CONTROL

**Skyrda I. I.**  
**Postgraduate Student (PhD program)**  
*National Aviation University*  
*Kyiv, Ukraine*

### Introduction.

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) become more popular for use in different domains due significant list of advantages in comparison to manned aircraft such as low manufacturing and operational costs, flexibility in accommodating different payloads, risk reduction of human lives (no pilot or crew), and so on. Especially, these benefits can feel in case of multi-UAVs flight performance, so-called UAVs swarming, when a group of UAVs forms a structure with indicated shape and start to perform flight mission with respect to separation minima. The issues that appear in this case connected with multiple conflict detection and resolution between UAVs and any static or dynamic obstacles.

The objective of conflict resolution is to guide conflict related UAVs return to predefined paths, when the main requirements are cost efficiency of conflict free trajectory and safety in respect to flight performance characteristics of UAVs. Conflict detection and resolution methods that are available now divided into two groups: reactive method (decentralized) and trajectory planning method (centralized) [1]. In our case, we consider a group with three or more UAVs, so it can lead to high percentage load of communications channels between ground station and UAVs. Decentralized way chosen and it means only inter-UAVs communication. In order to detect obstacles different types of sensors used to provide a range data. The maximum detection distance depends on energy parameters of on-board power supply. This range directly influence on time and space available for conflict resolution maneuvers. There are three groups of strategies to resolve conflicts: heading control, speed control, and attitude control. This article researches on conflict resolution with static obstacles by heading and ground speed control.

Problem statement.

To solve UAVs swarm flight control problem the potential field method used. Aircraft movement in general presented by kinematic equation system:

$$\begin{aligned}\dot{x}_i &= f(V_i, \Psi_i, x_i); \\ \dot{y}_i &= f(V_i, \Psi_i, y_i); \\ V_i &\in (0, V_{imax}); \\ \Psi_i &\in (0^\circ, 360^\circ); \end{aligned} \quad (1)$$

where  $x_i, y_i$  – are the coordinates of the  $i$ -th aircraft;  $V_i$  – is a flight-path velocity vector of the  $i$ -th aircraft;  $\Psi_i$  – angular position of the vector  $V_i$ ;  $V_{imax}$  – is maximum permitted value of a speed of the  $i$ -th aircraft. The value (module) of the velocity vector and the angle of its orientation (heading angle) are the control parameters in the kinematic model of the aircraft motion (1).

This method consist in use of the real world charged particles properties to generate a force field (electric or magnetic), which at their interaction causes attraction and repulsion forces. UAVs considered as the dynamic objects with the same sign and destination point has opposite sign, it analogous to free movement of the aircraft autonomous motion where they constantly have potential conflicts and it is required to avoid collisions with static. General character of the attractive force from the distance for different dynamic objects is qualitatively the same: the attractive force of dynamic objects to each other dominates at large distances between them and the repulsive force act at short distances [2].

At a critical distance  $r = r_{cr}$  the resultant force is equal to zero, i.e. the forces of attraction  $F_{ij}^+$  and repulsion  $F_{ij}^-$  are counterbalanced. This distance  $r_{cr}$  corresponds to the equilibrium distance between the dynamic objects [3]:

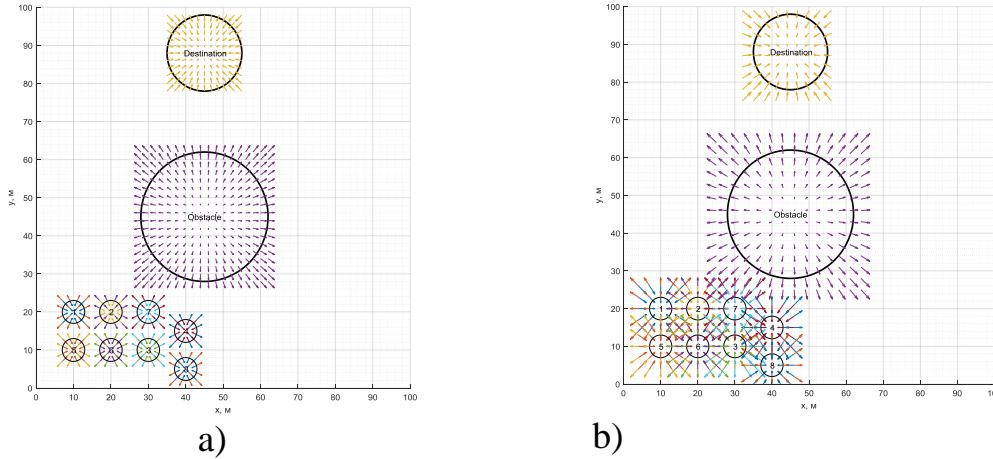
$$F_{ij}^+ = \frac{Gm_i m_j}{r_{ij}^\alpha}; \quad \alpha \in \{2, 3, \dots\}; \quad (2)$$

$$F_{ij}^- = \frac{Gm_i m_j r_{cr}}{r_{ij}^\beta}; \quad \beta \in \{3, 4, \dots\}; \quad (3)$$

$$F_{ij} = F_{ij}^+ + F_{ij}^- \quad (4)$$

where  $m_i, m_j$  – masses of  $i$ -th and  $j$ -th dynamic bodies,  $G$  – gravitational constant and  $r_{ij}$  – distance between objects.

Taking into account objects positive or negative sign assignments, around each dynamic objects the force field formed. In Fig. 1 represented it action with different values of obstacles and UAVs detection range 3 m and 6 m.



**Fig. 1. Force fields generated by objects with obstacle detection range:**  
a) 3 m; b) 6 m

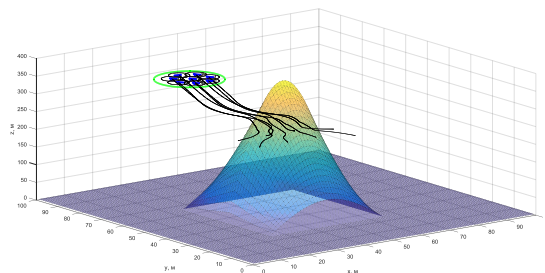
At points of forces vectors intersection the heading and speed values change under condition: if their direction coincide the speed increases, in case of opposite direction the speed decrease; and heading angle formulated by geometric sum of two vectors destination zone attraction force vector and obstacle repulsion force vector. Since all objects characterized attraction and repulsion force, in order to prevent UAVs stop near obstacle this forces obtain user-defined weighting factors  $a, b$ . As a result, the form of resulting force (4):

$$F_{ij} = aF_{ij}^+ + bF_{ij}^- \quad (5)$$

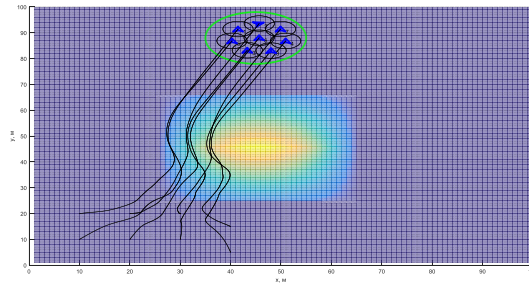
Uav swarm formation and control.

The modelling performed to check applicability of method. One scenario performed with eight UAVs with next parameters: initial speed equal to 0 m/s; mass is 1 kg; protection radius is 3 m.

During potential field method application, the flight trajectory in 3D (Fig. 2) and 2D (Fig. 3) in horizontal plane view with one obstacle in the form of mountain.

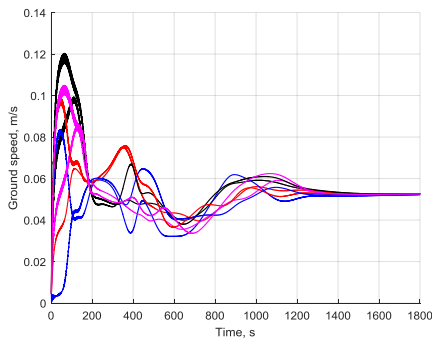


**Fig. 2. UAVs swarm flight trajectory in 3D with one obstacle**

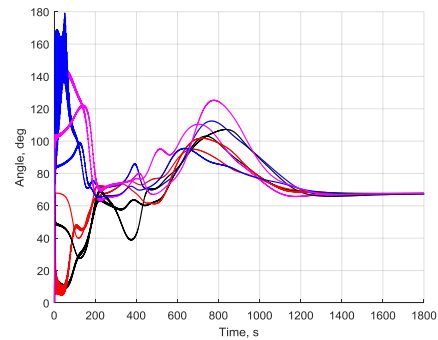


**Fig. 3. UAVs swarm flight trajectory in 2D with one obstacle**

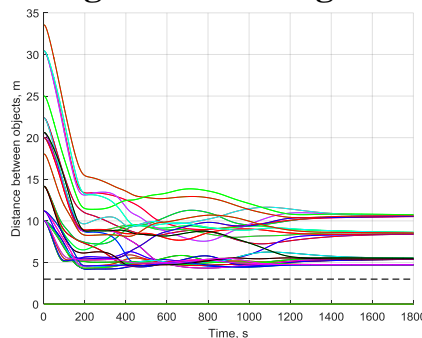
UAVs swarm control provided by ground speed (Fig. 4) and heading angle (Fig. 5) change. In our simulation fixed-wing UAVs applied and the main safety condition of flight performance is that ground speed should be in limits of allowed value and critical distance within 3 m not violated (Fig. 6).



**Fig. 4. Ground speed change**



**Fig. 5. Heading angle change**



**Fig. 6. Distance between UAVs**

### Conclusions.

Thus, the issue of UAVs swarm formation and control realized by use potential field method. The main advantage of this method, it helps to solve potential conflicts between UAVs or static obstacles globally and reaction time is faster than other methods provide, so separation minima lower. Decentralized cooperative control allows increasing the size of swarm and keeping their motion in a group. The result of modelling approve method applicability and outline future works tasks.

### **References:**

1. Chepizhenko V.I., Skyrda I.I.: Analiz isnuuyuchykh metodiv upravlinnya hrupoyu bezpilotnykh povitryanykh suden. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu aviatsiyi, № 13(20), pp. 130-135 (2017) (In Ukrainian).
2. Chepizhenko V.I.: Synthesis of Artificial Gravitational Fields Virtual Meters for the Polyconflicts Resolution in the Aeronavigation environment. Proceedings of the National Aviation University, № 2, pp. 60–69 (2012).
3. Chepizhenko V.I.: Energy-potential method of dynamic objects polyconflicts guaranteed collision resolution. Cybernetics and computer engineering, № 168, pp. 80-87 (2012) (In Russian).

## **КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**Спіркін Є. В.**  
старший викладач кафедри  
конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів

**Глущенко П. А.**  
ад'юнкт науково-організаційного відділу

**Шевченко С. О.**  
викладач кафедри  
конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів  
*Харківський національний університет Повітряних Сил  
імені Івана Кожедуба  
м. Харків, Україна*

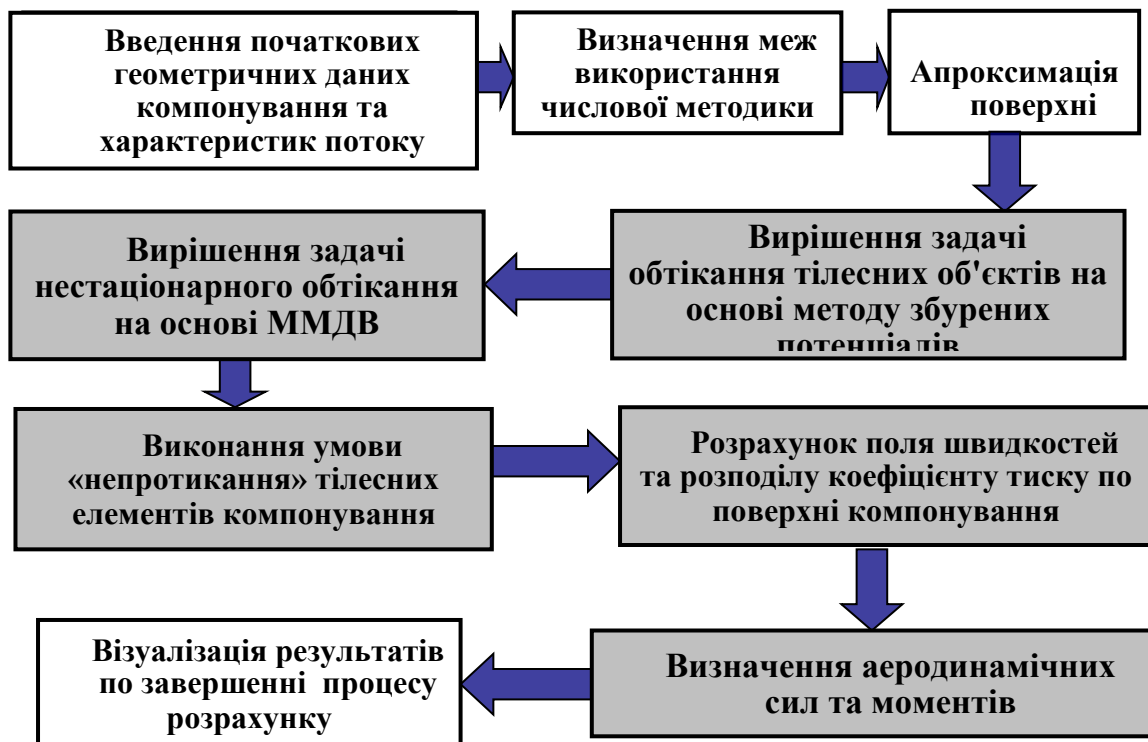
Безпілотні літальні апарати (БПЛА) отримали широке застосування в бойових діях для виконання розвідувальних та ударних завдань. З аналізу особливостей аеродинамічних характеристик компонувань БПЛА зроблено висновок, що для надійного визначення аеродинамічних характеристик малорозмірних БПЛА необхідне комплексне застосування чисельних і експериментальних методів аеродинаміки.

Розроблена комплексна теоретико-експериментальна методика визначення аеродинамічних характеристик малорозмірних БПЛА дозволяє оцінити закономірності інтерференційного впливу елементів складного просторового компонування, в тому числі, при роботі повітряних гвинтів. Комплексне використання експериментальних методів [1-2] та числових методів [3-4] – методу збурених потенціалів для визначення потенціалу тілесних елементів компонування та модифікованого методу дискретних вихорів (ММДВ) для

визначення положення вихрового сліду повітряних гвинтів. Такий підхід дозволив поєднати високу достовірність експериментальних методів аеродинаміки при дослідженні фізичної сутності явищ, які відбуваються при обтіканні крила у взаємодії з повітряними гвинтами, високу точність визначення аеродинамічних сил на основі панельного методу Моріно з ефективним та раціональним застосуванням ММДВ при побудові положення вихрової пелени від повітряних гвинтів.

Розглядається задача про безвідривне нестационарне обтікання крила у взаємодії з повітряними гвинтами дозвуковим нестисливим потоком нев'язкої рідини. Течія вважається потенційною всюди, за винятком поверхонь крила, повітряних гвинтів та вихрової пелени. Відомі роботи, в яких проводилось сумісне розв'язання задачі обтікання різними методами числової аеродинаміки з використанням блочно-ітераційного методу. На відміну від відомих робіт [3], запропоновано наступне удосконалення сумісного розв'язання задачі обтікання з використанням методу збудених потенціалів та ММДВ, що полягає у визначенні положення пелени з урахуванням можливої нелінійності її просторового положення за допомогою ММДВ. Таким чином, розглянуто застосування методу збудених потенціалів для визначення швидкостей на поверхні тіла, а ММДВ – для розв'язання задачі течії рідини у просторі, як у стаціонарній, так і у нестационарній постановках задачі.

Структурно-логічна схема сумісного розв'язання задачі обтікання з використанням ММДВ і методу збудених потенціалів в розробленій методиці визначення аеродинамічних характеристик, представлена на рис. 1, елементи, які повторюються при розрахунку по крокам за часом позначені сірим фоном.

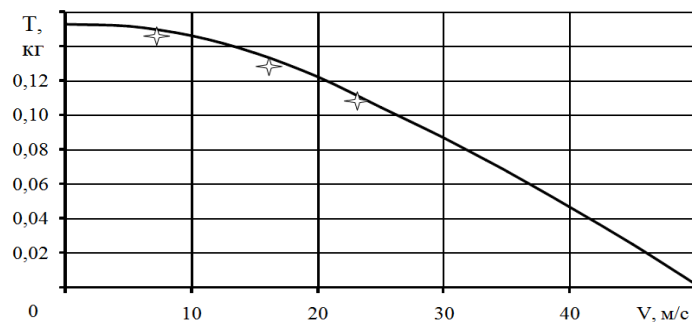


**Рис. 1. Структурно-логічна схема сумісного розв'язання задачі обтікання з використанням ММДВ і методу збудених потенціалів**

До застосованих експериментальних методів відносяться ваговий, дренажний експеримент в аеродинамічній трубі малих дозвукових швидкостей (АДТ) Т-1 Харківського національного університету Повітряних Сил, методи візуалізації течії (рис. 2). У загальному випадку умови випробувань в АДТ в повному обсязі не відповідають натурним і, отже, результати експериментальних досліджень потребували введення методичних поправок для переходу від АДХ моделі, отриманих на вагах АДТ, до аеродинамічних характеристик в умовах безграничного потоку без впливу підвісних пристроїв [5]. Обґрунтування достовірності результатів, отриманих за розробленою методикою проведено шляхом порівняння їх з даними проведених фізичних експериментів (рис. 3).



**Рис. 2. Фотографія зовнішнього виду робочої частини АДТ Т-1**

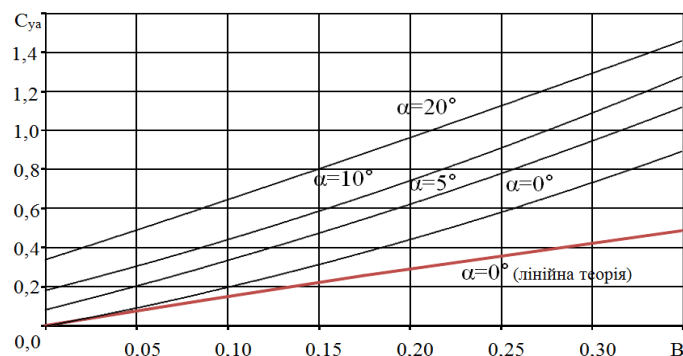


**Рис. 3. Залежність тяги моделі повітряного гвинта СДВ-1 від швидкості потоку в робочій частині аеродинамічної труби та отримані експериментальні дані**

Отримані за розробленою методикою аеродинамічні характеристики складних просторових компонувань БПЛА задовільно узгоджуються з відомими достовірними даними, що дозволяє зробити висновок про працездатність розробленої методики і правильності виконання експериментального дослідження теоретичних. Слід зазначити, що відмінністю розробленої методики від відомих є можливість виконання дослідження нелінійних та нестационарних аеродинамічних характеристик складних просторових компонувань.

На рис. 4 представлена отримана за розробленою методикою залежність коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили крила подовженням 1 одиниця

від кута атаки компонування та режиму роботи повітряних гвинтів (коефіцієнту навантаження на площу повітряного гвинта  $B$ ).



**Рис. 4. Залежності коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили від кута атаки компонування та режиму роботи повітряних гвинтів**

Отримані на основі створеної методики результати можуть бути використані при розробці та дослідженні аеродинамічних компонувань малорозмірних БПЛА.

#### Література:

1. Радциг А.Н Экспериментальная гидроаэромеханика. Москва: МАИ. 2004. 296 с.
2. Дубов Б.С., Радциг А.Н., Семенчиков Н.В., Яковлевский О.В. Моделирование условий полета летательных аппаратов при испытаниях в аэродинамических трубах. Москва: МАИ. 2004. 76 с.
3. Гоцак В.В. Синтез методу збурених потенціалів та методу дискретних вихорів для розрахунку нелінійних нестационарних аеродинамічних характеристик літаків. Збірник наукових праць ХУПС. Харків: ХУПС. 2005. Вип. 3(3). С. 29-31.
4. Анипко О.Б., Башинский В.Г., Украинец Е.А. Аэродинамический облик, радиолокационная и инфракрасная заметность самолетов военного назначения при их обнаружении [монография]. Запорожье: «АО Моторсіч». 2013. 250 с.
5. Ukrainets E., Loginov V., Kotov A., Rasstrygin A. Experimental research into aerodynamic characteristics of the model of a maneuvered aircraft with an airflow passage through engines. Eastern-european journal of enterprise technologies. Vol 5, No 7 (89). 2017. С. 45-52.



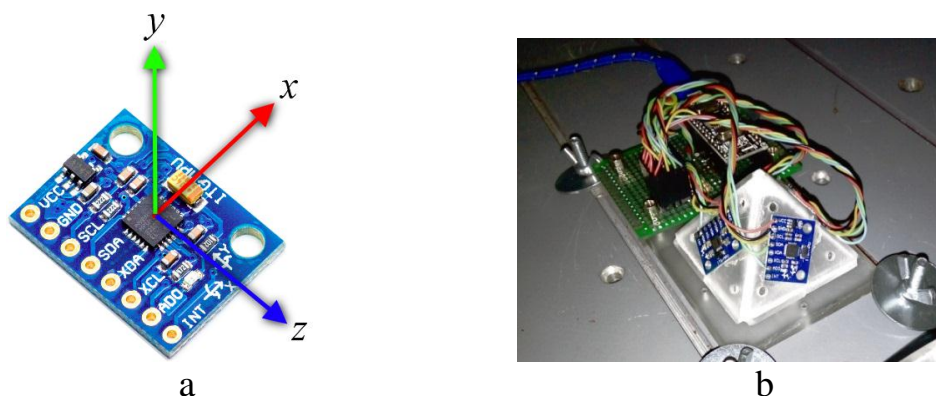
# DYNAMICAL ACCURACY OF NONORTHOGONAL REDUNDANT INERTIAL MEASURING UNIT

**Sushchenko O. A.**  
**Doctor of Technical Sciences,**  
**Professor at the Department**  
**of Aerospace Control Systems**

**Bezkorovainy Yu. M.**  
**Candidate of Technical Sciences,**  
**Associate Professor at the Department**  
**of Aerospace Control Systems**  
*National Aviation University*  
*Kyiv, Ukraine*

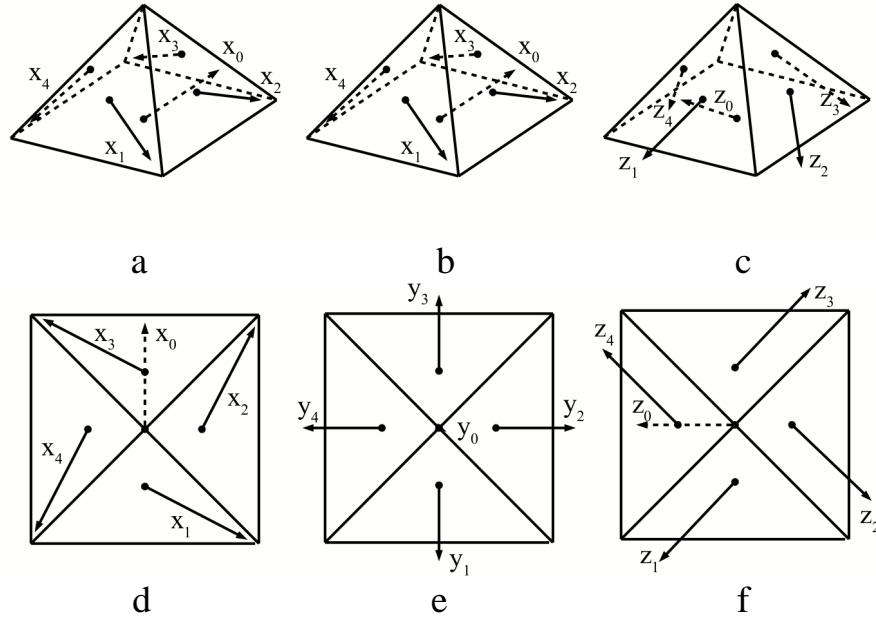
Nowadays inertial measuring units based on MEMS (micro-electro-mechanical systems) gyroscopes are widespread in practical transport applications. Autopilot of unmanned aerial vehicles is one of these applications. Taking this factor into consideration it is important to create more reliable and precision inertial measuring units. It can be done based on redundancy of measuring reference frames using nonorthogonal configurations of MEMS-sensors. Such configurations can be based on sensors mounted perpendicularly to faces of regular polyhedrons [1]. In this case it is possible to choose such geometrical figures as the tetrahedron (the triangular pyramid) and the octahedron. From the point of view of construction implementation and dimension restrictions it is convenient to use a half of the octahedron (the tetragonal pyramid) [2].

Integrated motion tracking devices MPU-6050 can be used as sensors in nonorthogonal redundant configurations [3]. The device MPU-6050 represents the 6-axis Motion Tracking device that includes a 3-axis gyroscope, a 3-axis accelerometer, a temperature sensor, and a Digital Motion Processor. The device MPU-6050 and nonorthogonal redundant configuration based on MEMS-sensors located on faces of the tetragonal pyramid are shown in Fig. 1.



**Fig. 1. The device MPU 6050(a) and nonorthogonal redundant configuration based on such constructive element as the tetragonal pyramid (b)**

To obtain navigation information it is necessary to determine the navigation and measuring reference frames. As a rule, axes of the navigation references frame are chosen as follows. The axis  $Oy$  is up-directed along the pyramid symmetry axis. Axes  $Ox$ ,  $Oz$  of the navigation reference frames coincide with appropriate axes of the inertial measuring unit located at the pyramid base. Location of measuring axes of the inertial measuring unit based on such constructive block as the tetragonal pyramid is shown in Fig. 2.



**Fig. 2. Location of axes of measuring reference frames based on the tetragonal pyramid: frontal views (a, b, c) and views from above (d, e, f)**

Directional cosines of the nonorthogonal redundant configuration based on the tetragonal pyramid can be represented in the following form

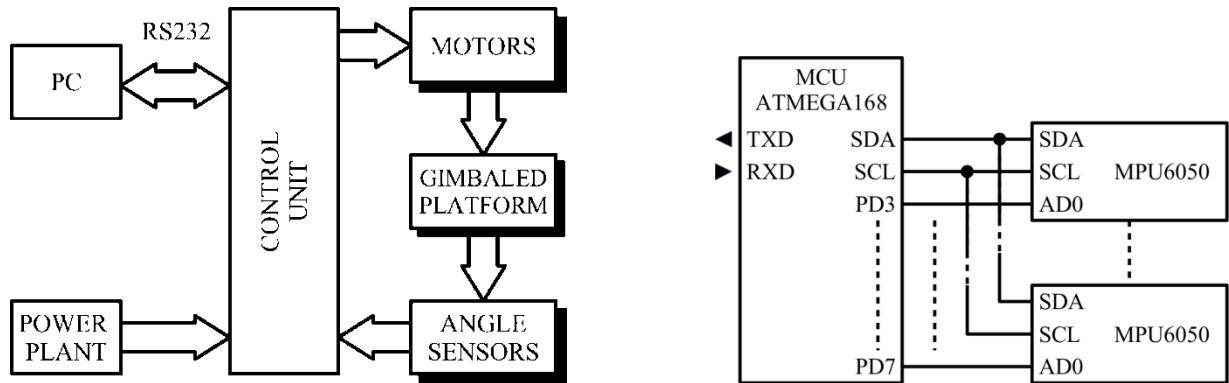
$$\mathbf{D}_1 = \mathbf{A}_x; \mathbf{D}_2 = \mathbf{A}_{y1} \mathbf{A}_z \mathbf{A}_y; \mathbf{D}_3 = \mathbf{A}_{y2} \mathbf{A}_z \mathbf{A}_y; \mathbf{D}_4 = \mathbf{A}_{y3} \mathbf{A}_z \mathbf{A}_y; \mathbf{D}_5 = \mathbf{A}_{y4} \mathbf{A}_z \mathbf{A}_y,$$

$$\mathbf{A}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A}_y = \begin{bmatrix} \cos \psi_0 & 0 & -\sin \psi_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi_0 & 0 & \cos \psi_0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}_{yi} = \begin{bmatrix} \cos \psi_i & 0 & -\sin \psi_i \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi_i & 0 & \cos \psi_i \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A}_z = \begin{bmatrix} \cos \vartheta & -\sin \vartheta & 0 \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

The matrix  $\mathbf{A}_x$  defines location of the inertial measuring unit located at the base of the tetragonal pyramid. The angle  $\vartheta$  in the matrix  $\mathbf{A}_y$  defines a slope of the side face to the base of the tetragonal pyramid. Angles  $\psi_i$  define location of axes of the measuring reference units on the side faces. They are equal to  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  respectively.

The dynamic accuracy of the nonorthogonal redundant can be estimated using the three-degree-of-freedom test bench. The structural scheme of the dynamic test bench is shown in Fig. 3a. Scheme of connection of the motion tracking device and the microcontroller is represented in Fig. 3b.



**Fig. 3. Structural scheme of the dynamic bench (a) and scheme of connection of the inertial measuring unit and the microcontroller (b)**

The least square method can be used for processing of redundant information [1]. The minimum trace of the correlation matrix of errors can be chosen as the optimization criterion for this method. In this case, the statistic characteristics are believed to be independent and the mathematical expectation – equal to zero. The correlation matrix of errors can be determined by the expression [1].

$$\mathbf{D} = [\mathbf{H}^T \mathbf{H}]^{-1}, \quad (2)$$

Trace of the matrix  $\mathbf{D}$  represents a sum of its diagonal elements that is variances of errors [3]

$$\text{tr}(\mathbf{D}) = \sum_{i=1}^n d_{ii} \quad (3)$$

where  $d_{ii}$  are diagonal elements of the matrix  $\mathbf{D}$ ;  $n$  is quantity of sensors.

Comparative analysis of accuracy of nonorthogonal measuring instruments based on expressions (2), (3) is given in Table 1.

Table 1

**Results of comparative analysis of calculated accuracy**

Type of configuration	Trace of the correlation matrix
Orthogonal configuration	1
Configuration using the triangular pyramid	0.75
Configuration using the tetragonal pyramid	0.6

Results represented in Table 1 prove efficiency of nonorthogonal redundant configurations for navigation accuracy improvement.

Registered measuring information includes the vector of platform attitude

$$\varphi = [\psi \ \vartheta \ \gamma]^T, \quad (4)$$

where angles  $\psi, \vartheta, \gamma$  correspond to rotations of the platform in the horizontal, vertical and lateral planes respectively.

The vector of measured angular rate of the platform in projections onto the navigation reference frame is determined as

$$\mathbf{\Omega} = [\omega_x^1 \quad \omega_y^2 \quad \omega_z^3 \quad \dots \quad \omega_x^{n-2} \quad \omega_y^{n-1} \quad \omega_z^n]^T, \quad (5)$$

where  $n$  is quantity of MEMS-sensors ( $3 \times 4$  for the nonorthogonal measuring instrument based the triangular pyramid and  $3 \times 5$  for the tetragonal pyramid).

Vector of the measured angular rate of the test bench in projections of the navigational reference frame on the basis of (4) and taking into consideration expressions (1) and (5) can be determined in the following form

$$\mathbf{\omega}_\varphi^T = [\omega_\psi \quad \omega_\vartheta \quad \omega_\gamma] = \mathbf{\Omega}^T \mathbf{H} \quad (6)$$

Further it is necessary to carry out averaging of measured angular rate (6)

$$\omega_{\varphi \text{ av}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \omega_{\varphi_i}, \quad \varphi = \psi, \vartheta, \gamma, \quad (7)$$

where  $m$  is quantity of measurements.

Assessment of inertial measuring instrument accuracy can be done based on comparison of measured angular rate (7) and the given angular rate (6) of the test bench. The systematic temperature error must be also taken into consideration

$$\varepsilon_\varphi = \omega_{\varphi \text{ av}} - \dot{\varphi} - \Delta_{t\varphi}, \quad \varphi = \psi, \vartheta, \gamma \quad (8)$$

here  $\varepsilon_\varphi$  is the measuring error of the inertial measuring instrument,  $\dot{\varphi}$  is derivative of the given angular rate of the test bench.

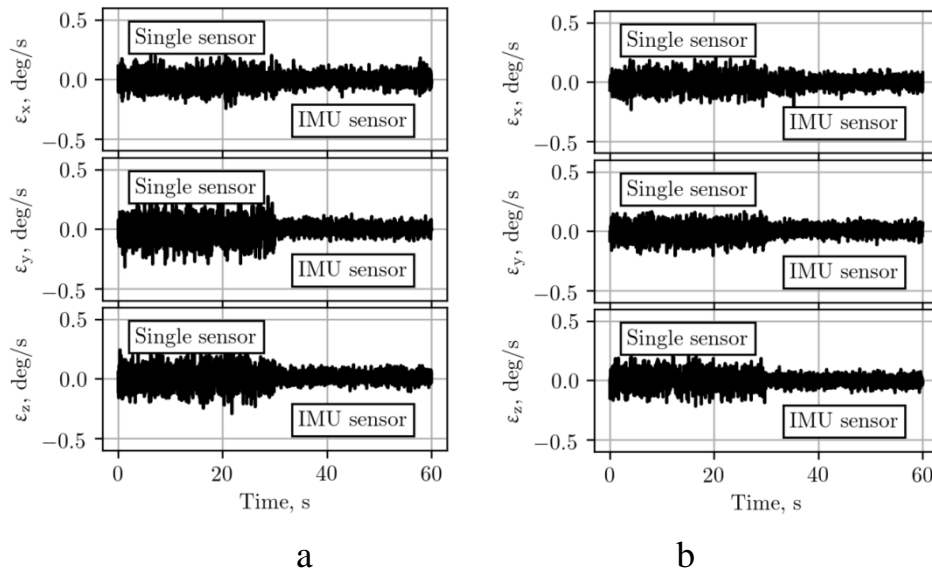
It is known that root mean square is the widespread representation of a measuring error. Respectively, using (8), expression for variance determination takes form

$$\sigma_\varphi = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\varepsilon_{\varphi_i} - \varepsilon_\varphi)^2}, \quad \varphi = \psi, \vartheta, \gamma; \quad i = 1, \dots, m.$$

Experimental results obtained during carrying out dynamic test of the nonorthogonal redundant inertial measuring instruments based on such constructive units as the triangular and tetragonal pyramids are represented in Fig. 4. These results are averaged readings of angular rates, which have been measured in accordance with the above mentioned approach to the dynamic test carrying out.

Assessment of dynamic accuracy of the nonorthogonal inertial measuring instrument has been carried out based on the normalized value of root-mean-square error relative to root-mean-square error of single MEMS-sensor, which has been calculated during the dynamic test. To make perception easier, assessment results are given in Table 2.

Table 2 includes information about error of navigation information determined for different types of nonorthogonal inertial measuring instruments. It follows from Table 2 that accuracy of redundant MEMS-sensor array based on the tetragonal pyramid is more preferring in comparison with triangular one.



**Fig. 4. Errors of angular rate determination for nonorthogonal redundant inertial measuring instrument based on triangular (a) and tetragonal (b) pyramids**

Table 2

**Results of experimental assessment of dynamic accuracy**

Type of constructive unit	$\sigma_{rel} = \sigma_i / \sigma_i^0$		
	x	y	z
The triangular pyramid	0.6651	0.4163	0.4845
The tetragonal pyramid	0.5481	0.5094	0.4460

Conclusion. Assessment of dynamic accuracy of nonorthogonal redundant configuration based on MEMS-sensor is carried out. The appropriate graphical dependences and relative variances of measuring errors are represented.

**References:**

1. Епифанов А.Д. Избыточные системы управления летательными аппаратами. Москва, 1978. 178 с.
2. Sushchenko O.A., Bezkorovainy Y.M., Novytska N.D. Nonorthogonal Redundant Configurations of Inertial Sensors. 2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Kyiv, 2017. P. 73–78.
3. 17. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification. URL: [https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050\\_DataSheet\\_.pdf](https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_.pdf).

## **ДОДАТКОВІ МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЗІМКНУТИМИ СИСТЕМАМИ «ИНВЕРТОР-АД» ШАХТНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПРИ МАЛІЙ ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ**

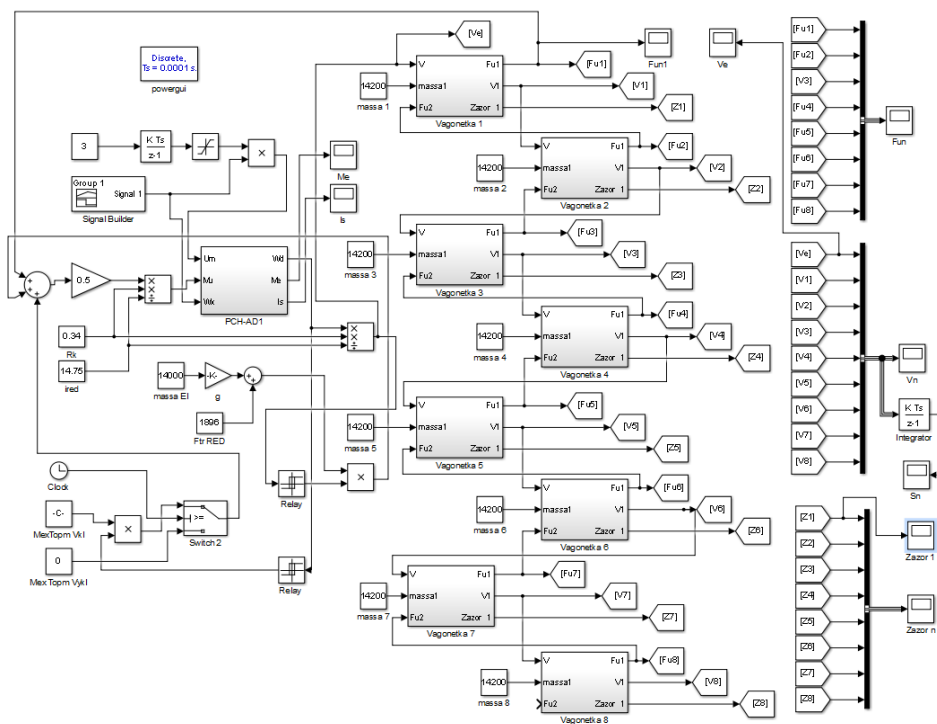
**Сьомочкин А. Б.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж

**Федотов В. О.**  
старший викладач кафедри  
автоматизованих електромеханічних систем  
в промисловості та транспорті

**Сьомочкина С. В.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж  
*ВДНЗ «Криворізький національний університет»  
м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, Україна*

Одним з важливих показників якості процесу транспортування гірничої маси підземним способом рудничними електровозами є ефективність управління переміщенням вагонеток під розвантаження та навантаження. Як відомо, в умовах шахт Кривбасу цей процес досі не автоматизовано, тобто машиніст здійснює переміщення вагонеток вручну. Операції пересування вагонеток під розвантаження виконуються машиністом електровоза за командами спеціального робочого зовні. З огляду на можливі труднощі комунікації між двома працівниками, їх індивідуальний психофізичний стан, а найголовніше – через наявність ривків при переміщенні вагонеток на короткі відстані, стає зрозумілим, що операції перестановки під розвантаження і навантаження іноді займають зайвий час.

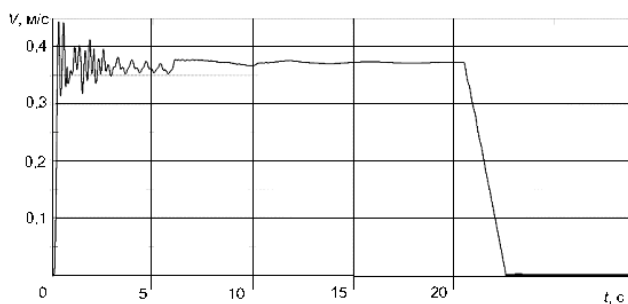
Головною причиною ривків під час руху вагонеток є те, що в зчіпних пристроях (ЗП) вагонеток є значні люфти – до 0.2 метра. Ці люфти технологічно необхідні для того, щоб забезпечити перевертання вагонеток під розвантаження в перекидачі. У загальному випадку сумарний люфт при вісьми вагонетках для всього рухомого складу може досягати  $0,2 \cdot 8 = 1,6$  м. Тобто, при зупинці складу, кожна вагонетка може зайняти в певних межах випадкове положення. Якщо за допомогою автоматизації збільшити точність позиціонування вагонеток і скоротити час виконання цих робіт, то можна інтенсифікувати роботу шахтного транспорту в цілому, тим самим підвищуючи економічність його використання.



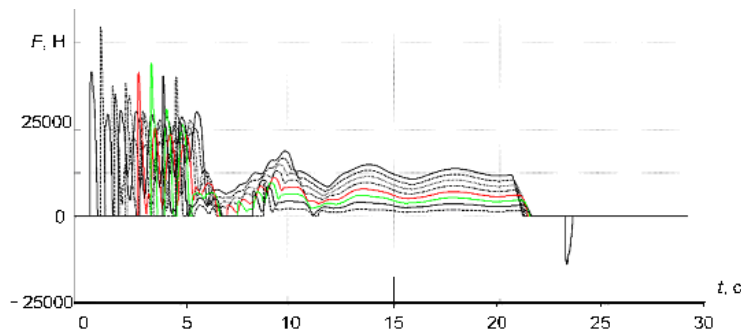
**Рис. 1. Структура моделі для дослідження динаміки електровоза з 8-ма вагонетками**

Для дослідження динаміки [1] в механіці складу з електровозом використовувалися рівняння за другим законом Ньютона з урахуванням зазорів, в'язкого тертя в амортизаторах зчпних пристроїв, і закону Гука. Для дослідження електромагнітних процесів в системі «інвертор – асинхронний двигун» використовувались диференційні рівняння в ортогональній системі координат « $\alpha, \beta, 0$ » [2]. На основі цих рівнянь була побудована програмна модель в MatLab (рис. 1).

Змоделюємо процес переміщення вагонеток на малій швидкості (приблизно 0,3 м/с) під розвантаження на невелику відстань (близько 8 м). Будемо використовувати закон скалярного управління  $U_H / f_H = const$ . Врахуємо при цьому, що амплітудне значення номінального струму двигуна типу 4A250S6Y3 (в моделі використовуються амплітудні значення) становить 118.4 А.

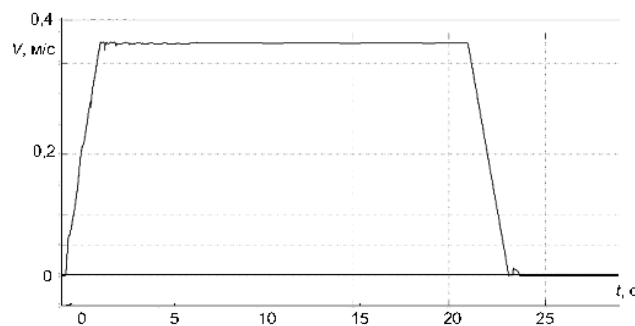


**Рис. 2. Графік швидкості електровоза при скалярному управлінні**



**Рис. 3. Графіки пружних зусиль у зчепленні**

Видно, що з початково зімкнутими СУ в міру витягування складу електровозом на швидкості  $\approx 0,3$  м/с вагонетки послідовно через зчпні пристрої вдаряють по електровозу (див. рис. 3), збурюючи його швидкість в значних межах (див. рис.2). Тобто, для автоматизації управління точним переміщенням вагонеток складу жорсткості підтримки швидкості розімкнутої системи електропривода «ІН-АД» недостатньо. Очевидним є подальший шлях підвищення жорсткості швидкості двигунів електропривода за допомогою замкнутої системи векторного керування. Однак попередньо змодельємо тепер переміщення на ту саму відстань на тій же швидкості при законі управління  $0,5 \cdot U_H / 0,13 \cdot f_H = 3,85 \cdot const$  (тобто «форсованій» напрузі по відношенню до частоти). Отримаємо наступний графік (рис. 4), з якого видно, що жорсткість підтримки швидкості електровоза за допомогою електроприводу значно збільшилася.



**Рис. 4. Графік швидкості електровоза**

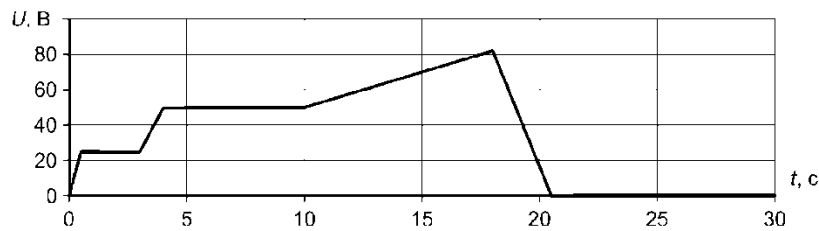
При цьому струм, що розвивається двигунами електровоза, трохи менший 100 А (нехтуючи початковою ділянкою розгону), тобто менше номінального значення. Як наслідок, на малих швидкостях система скалярного управління при форсуванні напруги має практично достатню точність відпрацювання заданої тахограми руху, і необхідність у впровадженні систем векторного керування на електровозах зникає.

Надалі авторами за допомогою багатоваріантних досліджень на моделі, наведеній на рис. 1, була розроблена універсальна тахограма завдання швидкості двигунів електровоза, яка дозволяє переміщати всі вагонетки складу на певну відстань з високою точністю.

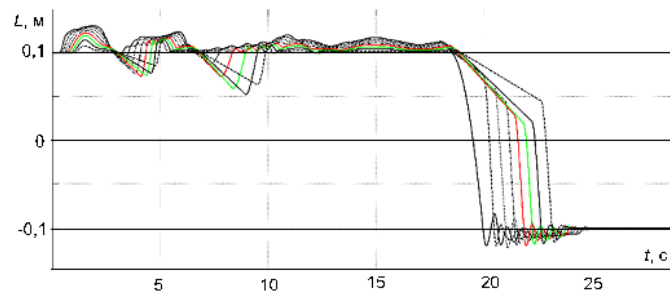


Ідея точного переміщення вагонеток з виключенням впливу зазорів полягає в тому, щоб при гальмуванні електровоза всі вагонетки зупинялися ударним способом об електровоз і не відскакували від нього і одна від одної за рахунок пружних сил в зчіпних пристроях. При цьому було враховано, щоб на зчіпному пристрої електровоза не було пружних зусиль величиною вище максимально допустимої дотичній сили тяги, щоб не викликати у електровоза юза або боксування, в іншому випадку втрачається актуальна інформація про місцеположення електровоза, а значить порушується процес автоматичного управління.

Нижче приведена задана тахограма руху і графіки зазорів в системі з повністю навантаженими вагонетками і спочатку роз'єднаними зазорами.



**Рис. 5. Графік заданої тахограми частоти інвертора електровоза**



**Рис. 6. Графіки зазорів у зчіпних пристроях**

#### **Література:**

1. Поршнеv С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете Матлаб. М.: Горячая линия. – Телеком, 2003. – 592 с.
2. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. – Энергия, 1974. – 328 с.

# **IMPROVEMENT TECHNOLOGY OF ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT OF TRAIN TRAFFIC VOLUME ON THE CRITERION OF REDUCING OPERATING EXPENSES OF THE RAILWAY**

**Troian A. V.**  
**Postgraduate Student at the Department  
of Stations and Junctions**  
*Academician Vsevolod Lazarian*  
*Dnipro National University of Railway Transport*  
*Dnipro, Ukraine*

Nowadays, Ukraine has chosen the path of energy independence so activities concerning energy saving and energy efficient management in all sectors of economic activities is a priority and is supported at the national level. In railway transport there were also policies for the reduction of energy consumption for transportation of freight and passengers. Development and improvement of methods of train control associated with the need to use the criteria of minimum cost of energy consumption allows reducing the total operational expenses of transportation [1]. In the conditions of constant rise in prices for fuel and energy resources (FER), technologies and methods of energy saving, fuel is a priority type of economic activity for each train unit [2].

One of the main measures savings operating costs is the efficient use of fuel and energy resources (FER) to ensure the movement of trains and to meet the production needs of the economy and implementation of measures aimed at reducing the expenses of electricity and diesel fuel. This is one of the priorities of state policy.

In the conditions of world financial crisis for Ukraine it is important not to lose the positive direction, which increase production efficiency, including transport. Electrification of railways is one of those areas. Electrified Railways is given a clear advantage in the transportation process, they realized much more freight traffic and reduced transportation costs compared to diesel traction, save fuel and energy resources, improvement of ecological state of the environment [3].

To achieve this goal have been carried out scientific research on section of diesel traction Ivano-Frankivsk Directorate of railway transportation of the regional branch «Lviv railway»: Khryplyn – Khodoriv. Was studied the technical and operational characteristics of the station Khryplyn and section Khryplyn – Khodoriv developed the general phases of the improvement project section by electrification and the economic evaluation of the project. Based on data, built simulation model of train operation direction according to the train diagram of passenger trains and main characteristics of the section, the parameters of the flow of trains and their impact on the overall performance of the railway section. Also defined rational parameters of train traffic on the criterion of energy consumption [4; 5; 6].

On the basis of these studies identified economic evaluation of the electrification project: the total estimated cost of construction – 469750000,0 UAH.; the construction period – 16 months; the payback project of 5.6 years; expected economic efficiency 163,45 M UAH/year; increase of the capacity of line – 25%. Also, it is determined

that is optimal freight trains with a length of 54-57 conventional cars and loading section should be 80-85% (25 pairs of trains / day) from the available bandwidth.

Further developed efficient institutional arrangements to manage the flow of trains, which include: optimizing the train diagram by a uniform distribution of train traffic on the time of day; the planning of train operation with standby personnel management, and prevention of condensed arrival of trains; minimize the number nongraphic of stops and parking of freight and passenger trains on the section, etc., that will reduce the energy consumption of the skipping train traffic by 15-20%.

### **References:**

1. Mozolevych G.Ya. The influence of the main parameters of train traffic volume on total profits of railways / G.Ya. Mozolevych, A.V. Trojan // Visnyk of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – 2015 – Vol. 3 (57). – P. 58-76.

2. Logvinova N.O. Reducing expenses operation-using energoobedineny train / Logvinova N.O., Bosyi D.O., Poliah O.M. // Visnyk of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – 2012. – Vol. 42 – P. 110-113.

3. Pull trains, history and development. [Electronic resource] – Mode: [http://odz.gov.ua/lean\\_pro/materials/20141223-143142--2014\\_12\\_23\\_1.pdf](http://odz.gov.ua/lean_pro/materials/20141223-143142--2014_12_23_1.pdf) – screen name. Checked: 21.02.2017.

4. Practical advice on technology and economic management operational work of Railways (CSD-0068), approved by the order of Ukrzaliznytsia from 05.08.2008 № 128/3, Main Department of transport. – Kiev, 2006.

5. The method of calculation of norms of consumption of diesel fuel and electricity for traction trains, approved by the order of Ukrzaliznytsia from 09.06.2004 № 113-C.

6. Kochnev F.P., I. Sotnikov B. operation Management Railways: Textbook. Manual for schools. – M.: Transport, 1990.

# СИНХРОНІЗАЦІЯ КОЛЕКТИВНОГО РУХУ ПОТОКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ВУЗЛАХ АВТОДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

**Шелудченко Л. С.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології  
і збалансованого природокористування

**Овчарук О. В.**  
доктор сільськогосподарських наук, доцент,  
професор кафедри екології  
і збалансованого природокористування

**Кобринська Л. В.**  
асистент кафедри садівництва, овочівництва  
і садово-паркового господарства, інженер-технолог  
*Подільський державний аграрно-технічний університет  
м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, Україна*

Характер колективного руху автотранспортних засобів у потоці загалом визначається його швидкістю  $V(t, x)$ , яка відповідно є функцією інтенсивності  $q(t, x)$  та щільності  $\rho(t, x)$  автотранспортного потоку. В умовах наближення до вузла автотранспортної мережі зростає ймовірність виконання маневрів окремими автотранспортними засобами, які мають бути визначені як випадкові події. Відповідно відбувається розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів у потоці, а отже зростає значення дисперсії  $\sigma_V^2$  швидкості  $V(t, x)$  потоку. Найпомітнішою є розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів при перехрещенні двох (або декількох) транспортних потоків, які є сумірними за показниками їх інтенсивності  $q(t, x)$  та щільності  $\rho(t, x)$ . В цьому випадку необхідно розрізняти:

–  $V(t, x)$  – синхронізовану просторову швидкість потоку, тобто усереднену швидкість автотранспортних засобів, які перебувають на заданій ділянці автомобільної дороги у визначений момент часу  $t$ ;

–  $V_D$  – середню миттєву швидкість автотранспортного засобу, тобто усереднену швидкість  $n$  автотранспортних засобів, які переміщуються через визначений поперечний переріз автомобільної дороги (в даному випадку через точку перехрещення потоків) за визначений проміжок часу  $t$ .

При цьому  $V(t, x) = V_D \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_D^2}{V_D} \right) \right]$ . Звідки походить, що для забезпечення синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у складі перехрещуваних потоків має бути забезпечено умову  $V(t, x) = V_D$ , що досягається при дотриманні  $\lim_{V_D \rightarrow V(t, x)} \sigma^2 = 0$ .

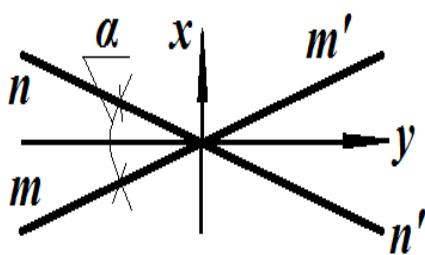
Таким чином, синхронізація колективного руху автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі забезпечується дотриманням синхронізованої просторової швидкості кожного з потоків, які мають рухатись не залежно один від одного з послідовною дотичною перебудовою траєкторій руху. Розглянемо перехрещення траєкторій  $mm'$  та  $nn'$  руху автотранспортних потоків під довільним кутом  $\alpha$  в деякій прямокутній системі координат  $xOy$  (рис. 1).

Якщо визначити, що прямі  $mm'$  та  $nn'$  траєкторій руху автотранспортних потоків є асимптотами кривих другого порядку на координатній площині  $xOy$ , то відповідно отримуємо сімейство спряжених гіпербол (рис. 2), які в загальному випадку описуються рівнянням  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ , де  $a$  та  $b$  – дійсна та уявна напівосі гіперболи (рис. 3).

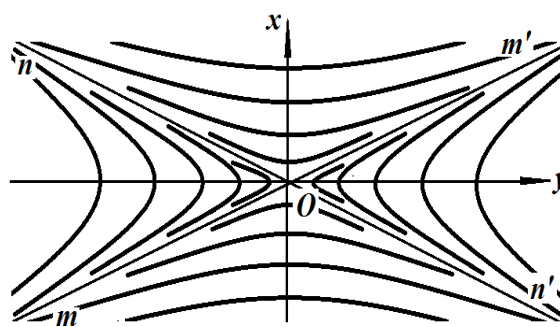
Основними характеристиками гіперболи є відрізок  $FF'$ , який визначає її фокусну відстань  $c$  (точки  $F$  та  $F'$  – фокуси параболи), а саме  $FF'=2c$ ; дійсна вісь гіперболи  $2a$ , яка визначена точками  $A$  та  $A'$ , які є вершинами обох гілок гіперболи, тобто  $AA'=2a$ ; уявна вісь гіперболи  $BB'=2b$ , які пов'язані відповідно (4) рівнянням  $b^2 = c^2 - a^2$ . При цьому завжди виконується  $c > a$ , а гілки гіперболи є симетричними відносно точки  $O$ , яка визначає центр гіперболи. Траєкторії напрямків руху автотранспортних потоків  $mm'$  та  $nn'$  є асимптотами гіперболи, проходять через центр  $O$  гіперболи, описуються рівняннями  $y=kx$ , при чому  $|k| \geq b/a$ , а отже рівняннями асимптот гіперболи

$$\text{є } y = \frac{b}{a}x \text{ та } y = -\frac{b}{a}x.$$

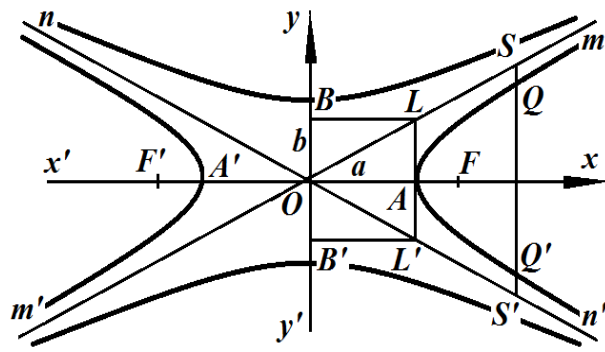
Отже, якщо деяку пряму  $SS'$ , яка є паралельною до координатної осі  $yy'$ , необмежено віддаляти від центра  $O$  гіперболи (вправо або вліво), то відрізки  $QS$  та  $Q'S'$  поміж гілками гіперболи і траєкторіями  $mm'$  та  $nn'$  руху автотранспортних потоків будуть необмежено зменшуватись (точки  $Q$  та  $Q'$  належать прямій  $SS'$ ).



**Рис. 1.** Траєкторії  $mm'$  та  $nn'$  руху перехрещуваних автотранспортних потоків на координатній площині  $xOy$

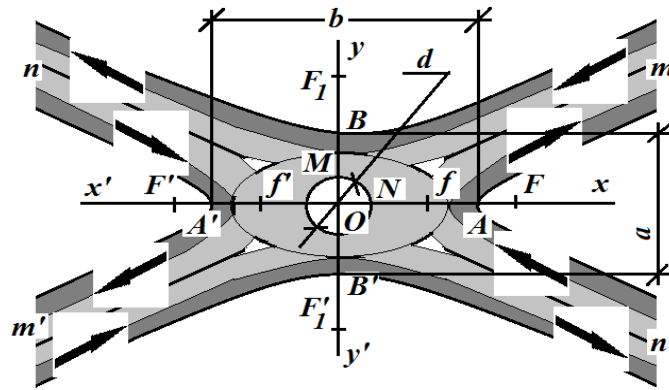


**Рис. 2.** Сімейство спряжених гіпербол з асимптотами  $mm'$  та  $nn'$



**Рис. 3. Геометричні ознаки спряжених гіпербол**

На підставі вищевикладених ознак гіперболи, запропоновано варіант (рис. 4) синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у вузлі перехрещення для рівнозначних за інтенсивністю  $q$  транспортних потоків (автомобільні дороги категорії 2).



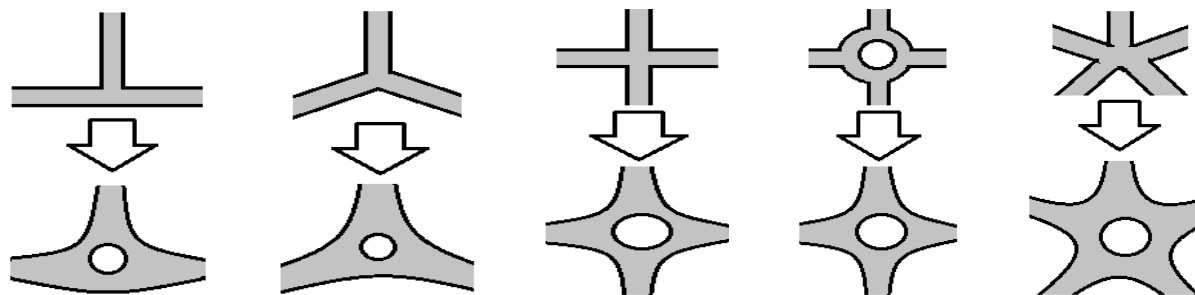
**Рис. 4. Перехрещення автотранспортних потоків у вузлах автодорожньої мережі**

Форма внутрішньої зони вузла (рис. 4) перехрещення автотранспортних потоків визначається еліпсом з фокусами, які розташовано в точках  $f$  та  $f'$ . Контур (повнота) еліпсу залежить від кута  $\alpha$  і у випадку  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  перетворюється на коло. Для забезпечення максимально можливої синхронізації колективного руху автотранспортних засобів з інтенсивністю  $q$  у вузлі автодорожньої мережі визначальними є розміри дійсної  $2a$  та уявної  $2b$  осей спряжених гіпербол, тобто розміри відрізків  $NA$  та  $MB$  (рис.4.18). Розміри  $NA$  та  $MB$  для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2 і 3 визначається як  $NA(MB) = k \cdot s$ , де  $k$  – кількість смуг руху,  $s$  – ширина смуги руху, м. Розміри проїжджої частини ( $NA$  та  $MB$ ) для автомобільних доріг відповідних категорій і наведено в таблиці.

На підставі вищевикладених досліджень запропоновано принципові схеми руху автотранспортних потоків у вузлах автотранспортної мережі з варіантами організації напрямків руху автотранспортних засобів (рис. 5).

**Мінімально допустима ширина проїжджої частини  
у вузлах автомобільної мережі для автотранспортних потоків  
визначеної інтенсивності  $q$ , м**

Категорія автодороги (ДБН В.2.3-4:2007)	1а, 1б	2	3
Мінімально допустима ширина проїжджої частини у вузлах перехрещення автотранспортних потоків, м	11,3 (7,5)	11,3 (7,5)	10,5 (7,0)
В дужках наведено значення ширини проїжджої частини в напрямку, який орієнтовано вздовж меншої з осей спряжених гіпербол			



**Рис. 5. Варіанти транспортно-екологічної оптимізації автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків**

Пропонована оптимізація конструкційних параметрів автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків передбачає можливість синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків, що забезпечує стабілізацію режимів роботи двигунів цих засобів, а отже, як наслідок, зменшує обсяги газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками.

**Література:**

1.Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автотранспортними мережами / Л.С. Шелудченко // Науковий журнал «Екологічна безпека». Кременчук: КрНУ, 2017. № 2/2017 (24). – С. 9-13.

## **INCREASE THE EFFICIENCY OF VIRTUAL MANAGEMENT OF TRANSPORT SERVICES PROCESSES**

**Shulika O. O.**  
**Candidate of Technical Sciences,**  
**Assistant Lecturer at the Department**  
**of Transport Technologies**

**Potaman N. V.**  
**Candidate of Technical Sciences,**  
**Associate Professor at the Department**  
**of Transport Technologies**

**Orda O. O.**  
**Assistant Lecturer at the Department**  
**of Transport Technologies**  
*Kharkiv National Automobile and Highway University*  
*Kharkiv, Ukraine*

The dynamics of freight transportation in 2010–2017 indicates a crisis in the economy and the policy of the country [1]. The key tasks of more efficient development of road transport are the following: the formation of a competitive environment in freight transport markets; the sustainability of work in crisis conditions; the introduction of new approaches to shaping the profile of transport companies' behavior strategies at the price, resource and technological levels; attracting investors to state development programs at attractive conditions; increasing the quality of services and etc.

The rapid scientific and technological progress of the last decades in the field of transport, computer technology and telecommunications, including the development of the Internet and electronic commerce, have led enterprises to use more remote resources and can serve increasingly extensive markets. The development and introduction of the virtual management of transportation services in the development of the model of the functioning of the freight transportation market will allow to increase the level of competitiveness of the enterprises of the transport industry of Ukraine.

In modern conditions of a spontaneous nature of the freight transportation market, it becomes necessary to create a virtual logistics system. The main function of this system is to manage cargo delivery process that based on the principle of consolidating request flow in a single information base. It will solve the problem of virtual routes forming for cargo delivery process depending on the requests with using a virtual system for managing cargo delivery process.

Based on the both domestic and foreign enterprises analysis on the goods movement organization and management logistics system structure of cargo delivery in the intercity by road transport has been developed. It provides interconnected activities within the cargo delivery system in the intercity by road transport and



describes the communication between companies that are elements of the delivery system. [2]. According to the study, the logistic system is represented by the totality of the following subjects:

$$JC = \langle BB, \{II\}, E, \{T\} \rangle, \quad (1)$$

where  $BB$  – cargo owner (consignors or consignees);  $\{II\}$  – a complex of carriers;  $E$  – freight forwarder;  $\{T\}$  – a complex of cargo terminals.

External factors are factors that affect the research object and have a stochastic nature of occurrence: economic factors, time indicators of participants in the delivery scheme (for example, the time of loading 1t of cargo by loaders of cargo owner, etc.), the speed of vehicles.

The efficiency criterion of the research – the overall costs for all the participants of delivery process.

The formation of total set of alternative transport-technological schemes for cargo delivery depends on parameters of requests flow, the possibility and (or) the necessity to involve different participants in the delivery process.

Subsystems of developed logistics system include four basic logistic chains variants with the following participants' complex [2]. The first variant ( $JJI1$ ) is a direct delivery without freight forwarder. The second variant ( $JJI2$ ) is the delivery with freight forwarder. The third variant ( $JJI3$ ) indicates terminal delivery with two-carrier types– carrier from the consigner to terminal and from the terminal to the consignee. The fourth delivery variant ( $JJI4$ ) involves two terminals, one of which founds in the consigner operation area and the second is in the consignee operation area, and three carriers' types performing transportation from the consigner to the first terminal, from the second terminal to the consignee, the highway carrier.

$$JJI1 = \{BB, II\}, \quad (2)$$

$$JJI2 = \{BB, II, E\}, \quad (3)$$

$$JJI3 = \langle BB, \{II\}, E, T \rangle, \quad (4)$$

$$JJI4 = \langle BB, \{II\}, E, \{T\} \rangle. \quad (5)$$

The following groups of assumptions and constraints are applied to the model:

- technical (due to transport characteristics of the cargo, technical capabilities of the participants of delivery process, etc.);
- technological (due to the production capabilities of the participants of delivery, such as the productivity of employees and mechanisms, compliance with additional conditions of requests, a combination of delivery participants, etc.);
- infrastructure (due to the possibility of attracting to the delivery of the terminal (s), the characteristic of the production areas of delivery participants, etc.);
- labor (due to the characteristics of labor resources of delivery participants)
- financial (due to the cost of the work of the workers and equipment, the level of profitability of participants work, etc.).

There are the following tasks, which must be performed for the formation and functioning of the cargo transport market for the introduction of virtual management of transport services:

- to develop a general concept for the functioning of cargo transportation market;

- to identify the subjects of transport market that take part in cargo delivery process;
- to determine a set of alternative behavior strategies of transport market subjects to be involved in cargo delivery process with taking into account their business interests:
- to simulate and to develop profiles of rational behavior strategies of transport market subjects;
- to determine the consistent patterns of behavior of the logistics system of cargo delivery in interaction of transport market subject depending on demand parameters of logistics services;
- to identify areas of effective use of rational strategies for the behavior of transport market participants involved in cargo delivery process, while servicing the cargo owners, which will allow for taking into account the value of the external additional profit from the interaction effect and the synergy of individual elements of the logistics system.

The proposed concept of functioning of the freight transportation market is in demand both for operational management of the delivery process and for strategic planning of the activity of transport enterprises with a focus on the commercial efficiency of the customer of logistics services in current market conditions.

#### **References:**

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua/>.
2. Шуліка О.О. Формування процесу доставки тарно-штучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні: дис. ... кандидата техн. наук: спец. 05.22.01 / Ольга Олександрівна Шуліка. – Харків, ХНАДУ, 2017. – 232 с.

## SECTION 5. ARCHITECTURE

### ПОЛІТИЧНА РЕКЛАМА В АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ МІСТА

**Авербах М. Я.**  
доцент кафедри дизайну  
архітектурного середовища

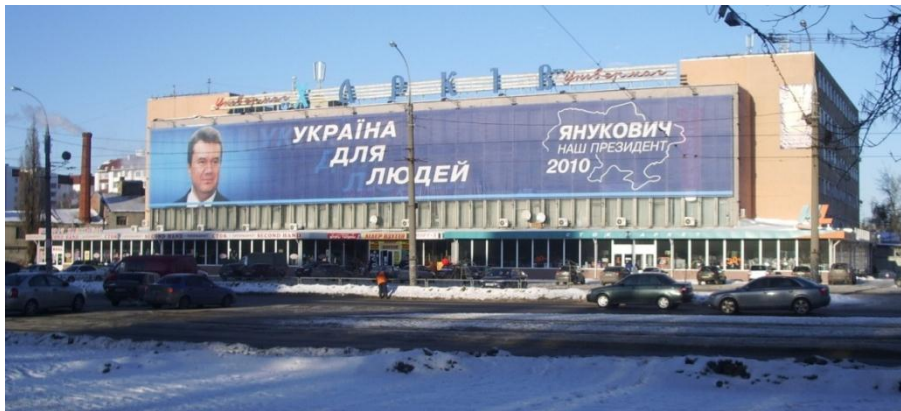
**Корнілова Л. В.**  
доцент кафедри дизайну  
архітектурного середовища  
*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
м. Харків, Україна*

Напередодні чергових президентських виборів (2019) і наступних парламентських в Україні доречним буде підняти питання про забруднення візуальної середовища сучасного міста рекламними формами і конструкціями. Зовнішня реклама заповнює весь видимий простір, затуляє собою фасади будівель, спотворює уявлення про архітектурний образ, перевантажує візуально-інформаційне поле людини, впливає на її психічний стан, вносить в навколишнє середовище дисгармонію і хаос. А політична реклама являє собою найбільш агресивну, цинічну форму інтервенції в міський простір. Пересічному громадянину видається очевидним, що за це неподобство ще доводиться платити, і платити дуже багато (ЦВК затвердила орієнтовний обсяг витрат на проведення виборів президента України в 2019 році на суму 2 млрд. 354 млн. 880 тис. грн. [1]). Лунають пропозиції ввести обмеження на політичну рекламу, заборонити монтаж і участь акторів замість політиків, висловлюються навіть думки про заборону політичної реклами як такої. Наскільки реальні такі перспективи, сказати важко, але поки ще ми змушені спостерігати засилля політичної реклами в міському середовищі. Простежимо деякі її особливості.

За уявною схожістю політичної реклами і комерційної (зустрічаються твердження, що політична реклама нічим не відрізняється від комерційної, тільки товаром в ній виступає кандидат – цим автори суджень намагаються підкреслити спадкоємність основних механізмів і підходів у маркетингу товарів і послуг), між ними існують певні відмінності. Комерційна реклама формує образ товару, близького до ідеального, неперевершеного. У політичній рекламі образ ідеального кандидата-політика буде прогашним. Кандидат повинен сприйматися реальним персонажем, як всі люди – зі своїми достоїнствами і недоліками.

Однак, є ряд характерних відмінностей, що виступають причиною тих явищ, які ми спостерігаємо в міському середовищі. По-перше, політична реклама

обмежена встановленими законом термінами, тобто можна зафіксувати її тимчасовий характер. Це дозволяє ініціаторам передвиборної кампанії встановлювати рекламні конструкції в тих місцях, які зазвичай викликають протести городян (рис. 1).



**Рис. 1. Політична реклама займає весь фасад споруди. Харків, 2010 р.**

По-друге, розміщення у міському середовищі матеріалів передвиборної агітації регулюється законом «Про вибори народних депутатів України», на відміну від реклами будь-якого іншого виду. І тільки коли політична реклама поширюється поза межами встановленого законом часу, вона підпадає під дію закону України «Про рекламу» [2, с. 11]. Тому, в комерційній рекламі заборонено паплюження конкурента, а в політичній рекламі «чорний піар» є однією з найбільш якщо не ефективною, то, у всякому разі, поширеною політтехнологією. Крім цього, закон про вибори зобов'язує виборчі штаби демонтувати рекламу свого кандидата за добу до голосування, але робиться це навмисно неохайно. В результаті протягом тривалого часу (маючи на увазі обидва тури), спостерігається неприваблива картина у вигляді обривків рекламних плакатів (рис. 2).



**Рис. 2. Стан рекламних щитів в період між турами**

По-третє, бюджет передвиборчих політичних кампаній настільки великий у порівнянні з будь-якою кампанією просування товару, що стає можливим

застосування величезної кількості носіїв, колосальних розмірів, розміщених в «заборонених» місцях (Експерти оцінили витрати всіх учасників передвиборної президентської кампанії 2009–2010 років в 2-3 млрд. гривень [3]). Нарешті, по-четверте – в політичній рекламі як ніде відверто і цинічно проявляється так званий адміністративний ресурс.

Вибори в Україні завжди супроводжувалися участю вітчизняних і закордонних політтехнологів, впровадженням передових стратегій просування кандидата. Але точкою відліку слід вважати президентські перегони 2004 року. «Помаранчева революція» зробила переворот у всій сфері політичної реклами, ознаменувавши перехід до принципово нових комунікативних стратегій в роботі передвиборчих штабів зі створення образу кандидата і партій. Павло Родькин називає це перемогою фірмового стилю (від опозиції) над геральдичною системою (від влади) [4, с. 106]. В країні сформувалася тенденція до створення візуальних констант партійної атрибутики за законами фірмового стилю, і основні гравці виборчих кампаній обзавелися корпоративними знаками, колірними кодами і слоганами. Президентські вибори 2009-2010 року стали (і, можливо, залишаться в історії) найбільш яскравими і візуалізованими. Лідерами в розміщенні політичної реклами в міському просторі стали Віктор Янукович і Юлія Тимошенко. За ними з істотним відривом слідували Арсеній Яценюк і Сергій Тігіпко [5]. Основною стратегічною лінією штабу В. Януковича було створення і розвішування на фасадах величезних постерів і портретів кандидата, що було б неможливо без адмінресурс. Передвиборна агітація Юлії Тимошенко розміщувалася переважно на щитах міського формату (рис. 3).



**Рис. 3. Рекламні матеріали конкурентів на основі фірмового стилю**

2014 року відбулися дострокові президентські, потім парламентські вибори. Незважаючи на те, що на Донбасі відбувається неоголошена війна, політики не стали економити на рекламних бюджетах. Перш за все, це стосується засилля

зовнішньої реклами і роздаткових матеріалів [6]. Можна припустити, що наступні заходи покажуть не менш витончені способи заволодіти умами і серцями виборців, продемонструють різноманіття візуальних рекламних форм і прийомів їх розміщення в міському середовищі. Будемо спостерігати.

### Література:

1. Клищенко А. Предстоящие выборы президента и нардепов обойдутся Украине в круглую сумму. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inform-ua.info/politics/predstoyashchye-vbor-prezydenta-y-nardepov-oboydutsya-ukrayne-v-kruhluyu-summu>.

2. Діяльність засобів масової інформації в період виборчої кампанії – 2015: Посібник для представників засобів масової інформації: Укладачі: І. П. Федоренко, Л. Л. Панкратова – Київ, 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://irrp.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/Posibnyk-vybory-2015.pdf>.

3. Кандидати витратили на рекламу 2-3 мільярди. Інтернет видання «Правда України» від 10 лютого 2010 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pravda.com.ua/news/2010/02/10/4751711/>.

4. Родькин П. Е. Визуальная политика. Фирменный стиль России / Павел Родькин. – М.: Совпадение, 2007. – 159 с.

5. Политическая реклама в октябре заняла 20% плоскостей страны. Онлайн-газета «МедиаБизнес», ноябрь 12, 2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mediabusiness.com.ua/content/view/16801/71/lang,ru/>.

6. Максим Бутченко. Аттракцион невиданной щедрости. Политическая реклама 2014 станет самой дорогой и неоднозначной. Сайт «Новое Время», 24 октября, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nv.ua/publications/attrakcion-nevidannoy-shchedrosti-perdvbornaya-politicheskaya-reklama-2014-goda-stanet-samoy-dorogoy-i-neodnoznachnoy-16874.html/>.

# ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ДИТЯЧИХ ЛІКУВАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ З УРАХУВАННЯМ ІСТОРИЧНОГО КОНТЕКСТУ ОТОЧУЮЧОГО АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТ (ДОСВІД ВЕЛИКОБРИТАНІЇ)

**Булах І. В.**  
кандидат архітектури,  
доцент кафедри дизайну  
архітектурного середовища

*Київський національний університет будівництва та архітектури  
м. Київ, Україна*

Загострення проблеми підвищення якості художнього рівня архітектурно-містобудівних рішень сьогодні набуває актуального значення у зв'язку з процесами глобальної урбанізації та хаотичного зростання сучасних міст. Ці явища, майже необоротно, призводять до порушення неповторності образу міського середовища, заглиблює кризу розуміння духу місця. Особливо питання збереження художнього рівня архітектурно-міського середовища та його гармонійного розвитку торкається оновлення історичних та центральних ділянок міст.

Щорічно зростаючий процес урбанізації утворює багато питань щодо подальшої можливості відповідного та комфортного функціонування як окремих міських ділянок, так і всього міста. Безумовно, завантаженість та щільність міських історичних центрів, а також застарілість і, як наслідок, невідповідність лікарняних будівель, зокрема для дитячої верстви населення, підіймає питання проведення їх комплексних реконструкцій.

Проект реконструкції з розширенням Дитячої лікарні Королеви Єлизавети (The Queen Elizabeth Children's Hospital), запроєктований англійською архітектурною групою HTA Design LLP і реалізований у 2017 році, слугує вдалим прикладом архітектурно-містобудівного рішення, яке утілює гармонійне поєднання історичного оточення з сучасними лікувальними потребами та інженерно-будівельними можливостями [1].

The Queen Elizabeth Children's Hospital розташований поблизу заповідника і навпроти парку Хагерстон в історичній частині Лондона. Саме наявність безпосереднього природного оточення біля існуючого (старого) корпусу дитячої лікарні стимулювало керівництво лікарні та проектувальників максимізувати потенціал розвитку вдалого місця розташування медичного закладу (рис. 1).

Конструктивне рішення нових корпусів дитячої лікарні The Queen Elizabeth Children's Hospital виникло з розуміння цінності існуючого навколишнього контексту, із відповідним збереженням масштабності, вибором будівельних та оздоблювальних матеріалів – всі ці заходи були спрямовані на збереження та охайну інтеграцію існуючих елементів історичної спадщини з новою сучасною архітектурою [1].

Архітектори проекту тісно співпрацювала з консультантами із збереження історичної спадщини, щоб в кінцевому рахунку отримати гармонійне синтетичне об'ємно-просторове рішення лікарні, яке б зберігало і підкреслювало цінність історичного головного фасаду The Queen Elizabeth Children's Hospital.

Нові, більш висотні корпуси дитячої лікарні запроектовані таким чином, щоб утворювати поступовий сценарій сприйняття всього комплексу The Queen Elizabeth Children's Hospital з точки зору масштабу і архітектурної артикуляції. В результаті зазначеного проектного підходу загальна композиція об'ємно-просторового сприйняття дитячої лікарні являє собою безшовну інтеграцію історичного і сучасного будівництва.

Для будівництва та оздоблення нових корпусів The Queen Elizabeth Children's Hospital була використана домінуюча в історичній будівлі лікарні цегла, яка також присутня в іншій квартальній забудові архітектурного оточення лікарні. Над новим шестиповерховим корпусом, який примикає до історичного фасаду, здійснюються 4 павільйони, одягнені у легку анодовану алюмінієву оболонку [2].

Урахування архітекторами міського контексту та архітектурного оточення лікарні призвело до створення нових корпусів у вигляді інтегрованих блоків, які гармонійно вишикуються у існуючу тканину міста, реагуючи на масу і масштаб сусідніх житлових будинків.

В проектному рішенні реконструкції The Queen Elizabeth Children's Hospital було передбачено створення двох нових пішохідних переходів для забезпечення кращого доступу до Haggerston Park як пацієнтів лікарні, так і для мешканців району.

Досвід реконструкції та розширення The Queen Elizabeth Children's Hospital слугує вдалим зразком поєднання історичного міського оточення з новими можливостями і потребами сучасного проектування і будівництва медичних будівель (рис. 2).

Проект лікарні демонструє зразок процесу спільного проектування та партнерства фахівців з різних організацій, зокрема діяльність яких пов'язана зі збереженням і охороною історичної спадщини. Подібна взаємодія і узгодженість роботи архітекторів з іншими суміжними та вагомими підрозділами дозволяє створити умови для гармонійного розвитку і еволюції сучасних міст, призведе до розблокування потенціалу щільно забудованих історичних центральних міських ділянок на шляху вирішення актуальних проблем подолання активної дії урбанізації.





**з'єднання історичного і нового корпусів лікарні**



**історичний корпус лікарні**



**природне оточення дитячої лікарні**



**Рис. 1. Загальний вигляд The Queen Elizabeth Children's Hospital з боку Haggerston Park, генеральний план дитячої лікарні [1; 2]**



**Рис. 2. Загальний вигляд The Queen Elizabeth Children's Hospital з боку Haggerston Park, генеральний план дитячої лікарні [1]**

**Література:**

1. <http://www.hta.co.uk>.
2. <http://www.hdawards.org>.

# ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

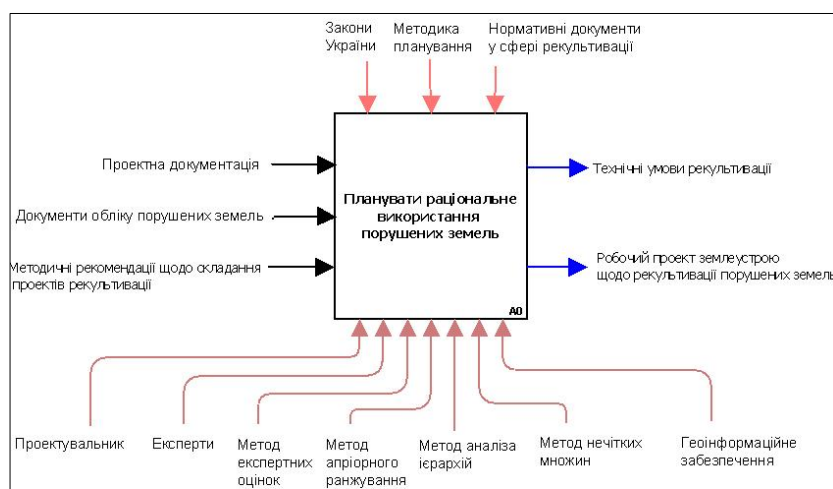
**Міхно П. Б.**  
кандидат технічних наук, старший викладач  
кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру  
*Кременчуцький національний університет  
імені Михайла Остроградського  
м. Кременчук, Полтавська область, Україна*

Неефективне освоєння порушених земель в Україні потребує упровадження системних підходів до розв'язання проблеми планування раціонального післяпромислового використання порушених земель.

Складність проблеми планування раціонального використання порушених земель [1] обумовлює необхідність застосування для її вирішення спеціальних засобів описання і аналізу. Застосування методології IDEF0 дозволяє створювати функціональну модель структури, функцій, потоків інформації і об'єктів досліджуваної системи [2; 3].

Контекстна діаграма А-0 (рис. 1) включає один блок, що описує функцію верхнього рівня, входи, виходи, управління і механізми. Управління визначає умови реалізації функції [4]. Механізмами є засоби, що необхідні для виконання функції.

Вхідна описова інформація (рис. 1) зберігається у проектній документації щодо перспективного використання земель: генеральних планах населених пунктів, схемах планування територій районів, проектах будівництва та реконструкції промислових підприємств та іншій землевпорядній і містобудівній документації. Вихідна інформація з кожного етапу модельованого процесу, яка формується в результаті залучення та застосування засобів функціонування (фахівців, методів, геоінформаційного забезпечення), є вхідною для наступного етапу.

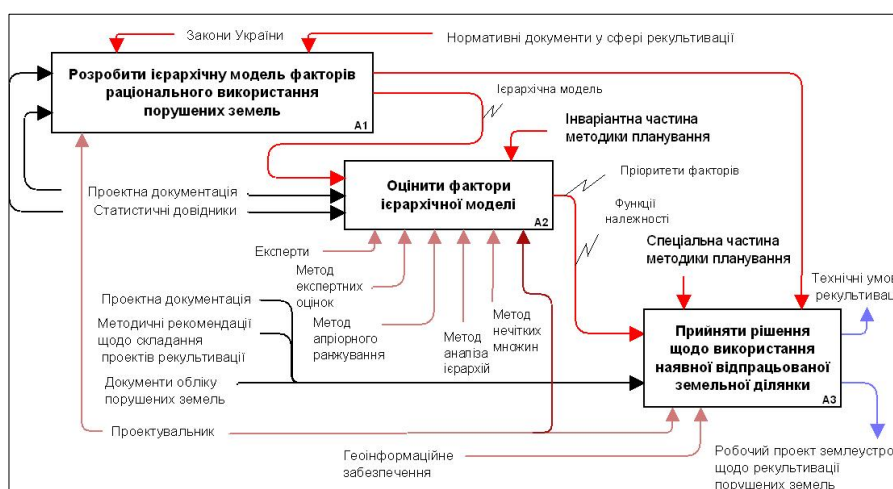


**Рис. 1. Контекстна А-0 діаграма функціональної IDEF0-моделі планування раціонального використання порушених земель**

Фактичне використання відпрацьованої земельної ділянки задається технічними умовами рекультивациі і формується внаслідок реалізації заходів, визначених у робочому проекті землеустрою щодо рекультивациі.

Обмежуюча інформація знаходиться у законах України, державних стандартах, інших нормативних документах у сфері рекультивациі. Спеціальна керуюча інформація передбачається пропонованою [5] методикою планування раціонального використання порушених земель.

На концептуальній A0 діаграмі функціональної моделі (рис. 2) діяльність щодо планування раціонального використання порушених земель розподілена на окремі підпорядковані один одному процеси. Ця діаграма відображає науково-методичне забезпечення, необхідне для розроблення і впровадження інваріантної і спеціальної частин методики планування [5].



**Рис. 2. Концептуальна A0 діаграма функціональної IDEF0-моделі планування раціонального використання порушених земель**

Проектувальник (рис. 2) визначає фактори проблеми, розробляє ієрархічну модель, готує анкети для оцінювання факторів на ієрархічних рівнях та підбирає групу експертів.

В інваріантній частині методики експерти виконують оцінювання факторів моделі. Експертні оцінки ранжуються проектувальником для встановлення ступеня узгодженості експертних суджень за методом апріорного ранжування. Математичним аналізом експертних оцінок за методом аналізу ієрархій визначаються локальні і глобальні пріоритети факторів моделі. Нечітке оцінювання параметрів порушених земель за методом нечітких множин дозволяє коригувати пріоритетність параметрів залежно від їх конкретних значень.

Значення пріоритетів факторів порушених земель та функцій належності за певним параметром відносно кожного можливого виду подальшого використання є базовими даними для прийняття рішень у спеціальній частині методики планування [5].

Вибрані (за інтегральними показниками) для наявного об'єкту рекультивациі напрям (цільове призначення) і вид його використання

(рекультивоване угіддя) обумовлюють розроблення організаційних, технічних та біологічних заходів рекультивації та розрахунок її очікуваної ефективності у робочих проектах землеустрою.

Застосування нотації IDEF0 дозволяє розробити для кожного блоку концептуальної діаграми окремі діаграми з метою більш детального опису функцій різних рівнів декомпозиції проблеми.

Функціональне моделювання раціонального використання порушених земель дозволяє оптимізувати процес прийняття відповідних рішень.

### **Література:**

1. Артамонов В. В., Василенко М. Г., Міхно П. Б. Системна соціально-екологічна оцінка антропогенно порушених земель. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. Вип. 83. С. 112–116.
2. Integration definition for function modeling (idef0). Draft Federal Information Processing Standards Publication, 1993. 128 p.
3. Po-Han C., Kiong T. S., Kong T. L., Laiyun W. Information Sharing and Exchange in the Architectural Design and Structural design Phase. Civil Engineering Research. no 6. 2003. Pp. 28-30.
4. Feldmann C. G. The Practical Guide to Business Process Reengineering Using IDEF0. New York: Dorset House Publishing, 1998. 218 p.
5. Михно П. Б., Артамонов В. В. Аспекты методики выбора рационального направления использования нарушенных земель Украины. Социально-экономическое развитие территории: матер. II междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2015. С. 178–183.

## **CONDUCTING MONITORING OF URBAN DEVELOPMENT THROUGH GEOINFORMATION TECHNOLOGY**

**Smilka V. A.**

**Candidate of Technical Sciences (PhD)**

*Kyiv National University of Construction and Architecture  
Kyiv, Ukraine*

One of the tasks of urban development activities in Ukraine is conducting urban development monitoring and control over the compliance of documentation in territorial development.

The current level of advancement of information technology allows to successfully utilize them in urban development to resolve a variety of issues as defined by normative acts. Hence, the result of urban monitoring is a set of digital geospatial data that allows the formulation of an electronic document or conducting analysis.

An Order from the Ministry of Regional Development, Building and Housing and Communal Services of Ukraine dated 01.09.2011 № 170 defines the tasks of urban monitoring and provides a list of materials that can be analyzed to evaluate the situation with urban development documentation on the state, regional and local levels.

Urban monitoring consists of the following components:

1. Monitoring of implementation of development documentation – this a system of inventory, analysis and evaluation of actual changes in characteristics of objects of urban development and the socio-economic status of the territory as compared to design parameters approved by urban planning documentation.

2. Monitoring of construction, which ensures the monitoring of construction projects and includes recording of changes in technical and economic parameters, analysis and evaluation of technical state of the construction project and periodic monitoring of performance.

3. Monitoring of infrastructure of the settlement (territory), which is conducted in order to identify, collect, analyze and systematize information on implementation of integrated development of infrastructure systems of the settlements and territories in accordance to urban planning documentation and project documentation as well as analysis and evaluation of the activities of the integrated development program.

4. Topographic monitoring, which provides support in the actual state of topographic foundation of the territory as part of the study [1].

Overall, the procedure for design and construction of objects in Ukraine is defined by the Law of Ukraine «On Regulating Urban Development Activities» and is executed by the owners or other users of the land in the following order: 1) receipt of basic data by the customer or project developer; 2) formulation of project documentation and conducting its evaluation (if necessary); 3) approval of project documentation; 4) implementation of preliminary activities; 5) construction; 6) beginning of exploitation of finished objects; 7) assigning a mailing address to the property; 8) registration of property rights to the object.

Each step is accompanied by issuance of appropriate documentation. The absence or expiration of the documents is basis for considering the object's construction illegal.

By aiming to implement an urban planning cadastre and urban monitoring, the city of Kyiv developed a system designed to identify, respond to and prevent illegal construction, land squatters and to prosecute perpetrators.

The local officials responsible for land management, urban development activities, and regulatory authorities are responsible for implementation of the model. These authorities cooperate as part of a multiagency monitoring center of Kyiv urban development that was created in 2015 [2].

Ukraine has made the first steps towards electronic document flow and municipal online services but some services can already be identified as useful to the public in order to determine the legality of a construction object in the capital through Internet. The online-monitoring website of city constructions <http://monitor.mkk.kga.gov.ua/> has been made a section of the bigger portal of urban development cadastre of Kyiv <http://mkk.kga.gov.ua/>. The users of the informational resource of the multiagency center of Kyiv have the ability to monitor the status and legality of selected objects.

The instrument for implementing the model and informing the public became a system of urban development cadastre of the city that was built using modern geoinformation technology [3].

It is due to GIS web services that public access to results of urban monitoring are available that are displayed as electronic maps, satellite imagery and information from the database of urban cadastre [4].

The web portal of the multiagency monitoring center of Kyiv <http://monitor.mkk.kga.gov.ua/> is a public display of the work already completed to identify illegal constructions in the capital. The web portal is built on the principle of layered display of spatial information. The layers can be polygonal to display plots of land or they can be exact to display construction objects. These layers are connected to attribute tables, which display properties of objects. The following layers can be turned on separately or simultaneously:

- plots of land, where construction of objects is underway classifying them as lawful or illegal constructions. The objects, whose status is undecided and work is being done to determine the status of their construction, are also highlighted. An object that is identified as an unlawful construction is marked red and lawful ones are green;

- boundaries of land plots that are designated for urban development activities;
- boundaries of land plots for which design intent has been issued;
- boundaries of land plots for which project documentation has been developed;
- objects with proper permits to begin construction;
- objects, who received interference cards to make land improvements;
- objects that are already being exploited.

A detailed description is available for each object including details about permits and other documentation, photographs, and list of activities that are done in the framework of urban monitoring.

GIS allows searching for objects by their address, name of object, name of developer or other information. Positioning can be done on selected objects on the city plan and the sub-base can be changed, if necessary, to space imagery or digital topographic base. The web interface has additional functions, which allow making metric measurements and printing reports and charts.

Assigning construction objects to a particular status is a very important moment. The criteria by which the status is determined should be clearly defined and transparent. The decisions made should be justified and undisputable. The criteria, which determine the status of construction objects, should first look at the presence of appropriate documentation to prove ownership or the right to use the land plot. The second part of the criteria should review the design and permits for construction documentation that the developer must have. During the next steps, the check should review documentation showing the share payment towards development of city's infrastructure and documents proving the beginning of exploitation of the object.

The appropriate departments of local government enter attribute information into databases of urban monitoring about construction objects because these departments are the owners of such information. In this way, the responsibility for entering and updating the information falls onto the shoulders of these departments. The portal



allows authorized access for users that are part of the multiagency monitoring center of the city's urban development as well as access to editing specialized information based on the department's authority.

The determining of construction object's status is done automatically without human intervention by analysis of entered data on each object. This eliminates the ability to abuse power during construction monitoring because the responsibility of each participant is clearly defined.

The support to ensure efficiency of the web portal of multiagency monitoring center and compilation of all information is done by the staff of the Department of Urban Development and Architecture.

After finding unlawful constructions and determining that detected violations cannot be resolved in a short period of time or there are bigger violations of urban development laws, the staff of the Department of Urban Development and Architecture prepare documents to send to law enforcement agencies in order to respond to the situation and bring the guilty party to justice.

The presence of such informational resource as part of the urban development cadastre is the first step to developing similar informational resources such as a portal for potentials investors in development of Kyiv.

#### **References:**

1. Smilka V.A. The Structure of Urban Development Monitoring. Modern problems of architecture and urban development: scientific and technical collection. / V.A. Smilka // Volume 38. – K.: KNUCA, 2015 – Pp. 292-296.

2. Resolution of the Kyiv City Council (Kyiv City State Administration) 22.04.2015 № 390 «On creation of multiagency monitoring center of urban development in Kyiv».

3. Shubovych S.A. Implementation of architectural monitoring in urban environment: a monograph / S.A. Shubovych, O.S. Solovieva, L.P. Panova // Kharkiv National Academy of Municipal Economy – Kh: KHNAMA, 2009. – P. 67.

4. Shypulin V.D. Main principles of geo-information systems: a tutorial / V.D. Shypulin // Kharkiv National Academy of Municipal Economy – Kh, 2010. – P. 313.



## НОТАТКИ

## НОТАТКИ

## НОТАТКИ

Izdevniecība «Baltija Publishing»  
Lacplesa iela 41A, Rīga, LV-1011

---

Iespiests SIA «Izdevniecība «Baltija Publishing»  
Parakstīts iespiešanai: 2018. gada 17. maijs  
Tirāža 100 eks.