РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.7

Довгополюк Л.О., канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ НА ДОРОЖНІХ РОЗВ'ЯЗКАХ В РІЗНИХ РІВНЯХ

Анотація: Основна мета даної роботи полягає у визначенні пропускної здатності пересічень доріг. Практична пропускна здатність пересічень залежатиме від інтервалів руху на основній дорозі та на з'їзді. Також наведено та обґрунтовано варіанти визначення пропускної здатності доріг при різній конфігурації пересічень та примикань.
Ключові слова: автомобільна дорога, пересічення, пропускна здатність, смуга руху, час маневру.

Аннотация: Основная цель данной работы заключается в определении пропускной способности пересечений дорог. Практическая пропускная способность пересечений будет зависеть от интервалов движения на основной дороге и на съезде. Также приведены и обоснованны возможные варианты определения пропускной способности при разной конфигурации пересечений и примыканий.
Ключевые слова: автомобильная дорога, пересечения, пропускная способность, полоса движения, время манёвра.

Annotation: The main objective of this work is to determine the capacity of the intersection of roads. Practical bandwidth intersections will depend on the intervals of movement on the main road and at the congress. Also presented and justified options for determining the capacity in the different configurations of intersections and junctions.
Keywords: road, intersection, bandwidth, lane, while maneuver.

Вступ

Збільшення інтенсивності руху на автомобільних дорогах викликає необхідність проектування дорожніх розв'язок в різних рівнях для збільшення пропускної здатності.

Пропускна здатність автомобільної дороги залежить від пропускної здатності перехрещень та примикань як в одному, так і в різних рівнях. Основою для розрахунку пропускної здатності перехрещень та примикань є практична пропускна здатність смуги руху дороги, склад транспортного потоку, розподіл інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях. Основною характеристикою смуги руху є мінімальний часовий інтервал на головній дорозі для даної швидкості руху, який повинен забезпечити безпечність руху та виконання маневрів автомобілів на перехрещеннях та примиканнях. Для розрахунку приймається максимальний інтервал при виконанні маневру.

1 Види маневрів та необхідний часовий інтервал для їх виконання

На перехрещеннях та примиканнях як в одному, так і в різних рівнях, можливі наступні види маневрів автомобілів:

1) без перехідно-швидкісної смуги:

– правий і лівий поворот з головної дороги;

– правий та лівий поворот з другорядної дороги;

– перетин транспортних потоків при виконанні маневрів;

2) при наявності перехідно-швидкісної дороги:

– в'їзд на головну або другорядну дорогу;

– виїзд з головної або другорядної дороги.

Часовий інтервал визначається з умови в'їзду на головну дорогу з остаточними інтервалами на головній дорозі ($t_{\min}$) як до попереднього автомобіля, так і наступного.

Інтервал на головній дорозі визначається як:

$$T = t_{\text{р}} + t_{\min}, \tag{1}$$

де $t_{\text{р}}$ – інтервал часу, необхідного для виконання маневру, с;

$t_{\min}$ – інтервал часу, який забезпечує безпечний рух автомобілів на головній дорозі, для даної швидкості руху, с.

Мінімальний часовий інтервал, виходячи з теорії транспортних потоків, визначається як:

$$t_{\min} = 3{,}6 \cdot \frac{\left(d_{\min} + l_{\text{авт}}\right) \cdot e^{\frac{v_{\text{гол}}}{v_0}}}{v_{\text{гол}}}, \tag{2}$$

де $d_{\min}$ – мінімальна безпечна дистанція між автомобілями, приймається рівною 1 м;

v – середня швидкість руху на дорозі, км/год;

v_0 – швидкість, що відповідає максимальній пропускній здатності, км/год, зазвичай, приймається рівною25 км/год;

$l_{\text{авт}}$ – середня довжина автомобіля у транспортному потоці, м:

$$l_{\text{авт}} = 4{,}5 \cdot a + 7{,}0 \cdot b + 10{,}5 \cdot c + 12{,}0 \cdot d, \tag{3}$$

4,5; 7,0; 10,5; 12,0 – середня довжина типу автомобілів, відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, м;

a, b, c, d – відсоток відповідно легкових , вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів.

1. Виконання правого повороту з головної дороги на другорядну:

$$T = t_{\min}. \tag{4}$$

2. Виконання правого повороту з другорядної дороги на основну:

2.1) без перехідно-швидкісної смуги:

$$T = t_{\text{роз}} + t_{\min}, \tag{5}$$

де $t_{\text{роз}}$ – час, необхідний для розгону від швидкості руху на з'їзді до швидкості руху на основній дорозі, с.

2.2) при наявності перехідно-швидкісної смуги:

$$T = 2 \cdot t_{\min}. \tag{6}$$

3. Виконання лівого повороту з другорядної дороги на головну дорогу:

3.1) без перехідно-швидкісної смуги:

$$T = t_{\text{роз}} + t_{\min}. \tag{7}$$

3.2) при наявності перехідно-швидкісної смуги:

$$T = 2 \cdot t_{\min}. \tag{8}$$

4. Перетин автомобільної дороги:

$$t = \frac{\sqrt{\left(\Pi + l_a\right) \cdot a}}{a}, \tag{9}$$

де Π – ширина проїзної частини, м;

a – прискорення руху автомобілів при розгоні, м/с^2.

2 Пропускна здатність перехрещення на основі «листа конюшини» та «розподільчого кільця з п’ятьма шляхопроводами»

Пропускна здатність перехрещень та примикань залежить від схеми та параметрів. Наприклад, «лист конюшини» з перехідно-швидкісними смугами враховує тільки виїзд і в’їзд автомобілів. Розглядається кожний напрямок руху на дорозі окремо.

Схема розрахунку.

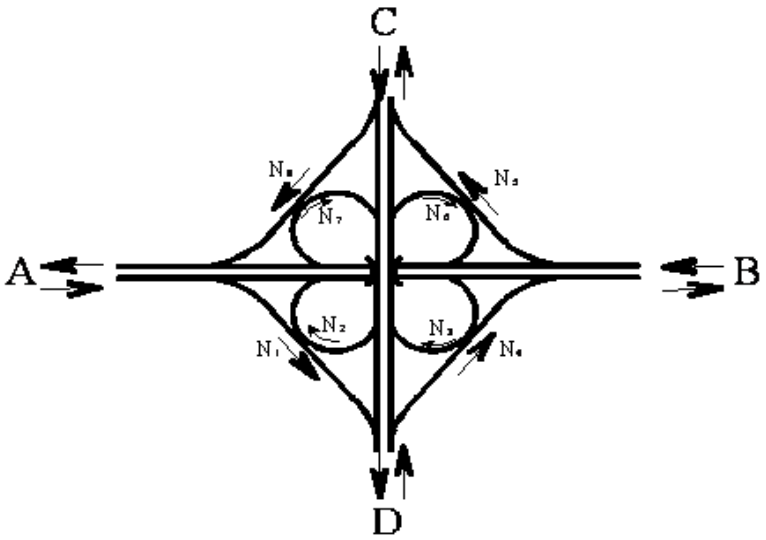


Рисунок 1 – Схема дорожньої розв’язки типу «лист конюшини»

Розрахунок пропускної здатності для напрямку АВ при наявності двох смуг руху на автомобільній дорозі (схему розрахунку див. на рис.2):

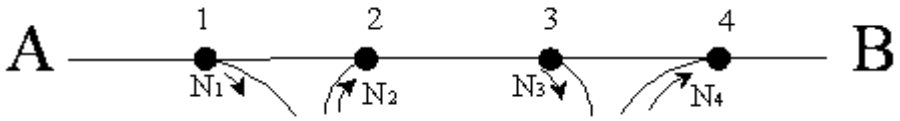


Рисунок 2 – Схема для розрахунку пропускної здатності напрямку АВ

На ділянці АВ повинні бути вільні інтервали для в'їзду автомобілів. Кількість автомобілів, які здійснюють маневр N_1 та N_3 звільнюють інтервали для можливості виконання маневру, а N_2 та N_4 – займатимуть ті інтервали, які звільнилися завдяки N_1 та N_3. Розрахунковий інтервал для виконання маневру становитиме $T = 2 \cdot t_{\min}$.

Розрахункова інтенсивність з розрахунку в'їзду становитиме:

$$N_{\text{Р}} = \frac{3600}{T} = \frac{3600}{2 \cdot t_{\min}}. \tag{10}$$

При такій інтенсивності, повна пропускна здатність становитиме:

$$P = 2 \cdot N_{\text{Р}}. \tag{11}$$

Тобто, на підході до точки 1:

$$N = N_{\text{Р}} + N_{\text{Р}} = 2 \cdot N_{\text{Р}}. \tag{12}$$

На підході до точки 2: $N = 2 \cdot N_{\text{Р}} - N_1$.

На підході до точки 3: $N = 2 \cdot N_{\text{Р}} - N_1 + N_2$.

На підході до точки 4: $N = 2 \cdot N_{\text{Р}} - N_1 + N_2 - N_3$.

На підході до пункту В:

$$P = N = 2 \cdot N_{\text{Р}} - N_1 + N_2 - N_3 + N_4. \tag{13}$$

Аналогічно розраховують пропускну здатність для всіх основних напрямків руху.

У випадку кільцевого перехрещення на прикладі розподільчого кільця з п'ятьма шляхопроводами (рис. 3).

На ділянці АВ повинні бути вільні інтервали для в'їзду автомобілів. Розрахунковий інтервал для виконання маневру становитиме $T = 2 \cdot t_{\min}$.

Розрахункова інтенсивність з розрахунку в'їзду становитиме:

$$N_{\text{P}} = \frac{3600}{T} = \frac{3600}{2 \cdot t_{\min}}. \tag{14}$$

При такій інтенсивності, повна пропускна здатність становитиме:

$$P = 2 \cdot N_{\text{P}}. \tag{15}$$

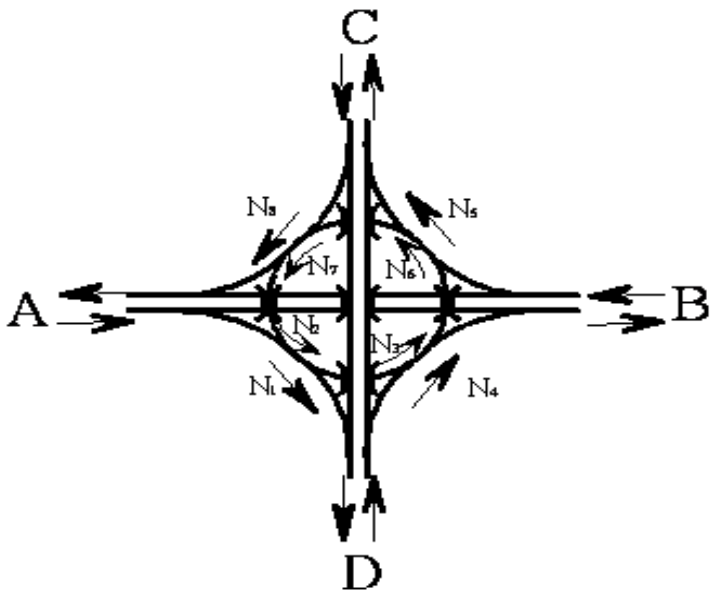


Рисунок 3 – Схема дорожньої розв’язки кільцевого типу з п’ятьма шляхопроводами

Розрахунок пропускної здатності для напрямку АВ при наявності двох смуг руху на автомобільній дорозі (див. рис. 4):

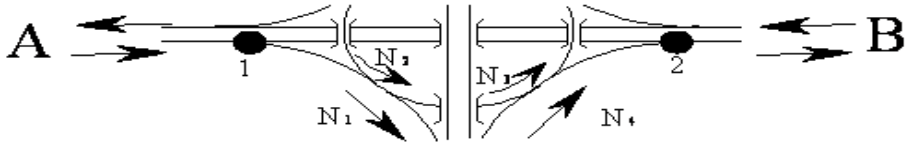


Рисунок 4 – Схема для розрахунку пропускної здатності напрямку АВ

Тобто, на підході до точки 1:

$N = N_{\text{P}} + N_{\text{P}} = 2 \cdot N_{\text{P}}$.

На підході до точки 2: $N = 2 \cdot N_{\text{P}} - N_1$.

На підході до пункту В: $P = N = 2 \cdot N_{\text{P}} - N_1 + N_4$.

Висновок

Пропускна здатність перехрещення складатиметься з суми пропускних здатностей основних напрямків, тобто для того, щоб визначити пропускну здатність перехрещення, спочатку необхідно порахувати пропускну здатність напрямків руху, враховуючи інтенсивність транспортних потоків на з'їздах.

Література

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. - 271 с.
2. Величко Г.В. Функциональное проектирование транспортных развязок. / Г.В. Величко // Наука и техника в дорожной отрасли. – М.: МАДИ, 2009. - №3(50).-С. 19-22.
3. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения Текст. : учебик для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – М.: Трансстрой, 2001. – 5-е изд., перераб.и доп. – С. 247.
4. Пальчик А.М. Транспортні потоки / Пальчик А.М. – К.: НТУ, 2010. – С.26 – 42, 44 – 47, 52 – 54, 87 – 102.
5. Поліщук В.П., Красильнікова О.В. Дослідження умов безпеки руху щільних транспортних потоків // Автошляховик України, № 1, 1995. 33 – 35 с.

Рецензенти

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, ПДАБА (Дніпропетровськ)

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП "Укрдіпроддор" (Київ)

Reviewers

Kirichek Yu.O., Dr.Tech.Sci., PSACEA (Dnipropetrovsk)

Honcharenko F.P., Ph.D., "Ukrdiprodor" (Kyiv)

UDC 625.70

IMPLEMENTATION OF STONE MASTIC ASPHALT WITH THE NATURAL BITUMEN ADDITIVE

Hameliak I.P., D.Eng.Sc., professor of “Airports” faculty, NTU,
Reneiska S.V., director of LLC “Dortek”

Анотація. У статті наводиться досвід влаштування шару щебенево-мастикового асфальтобетону на ділянці автомобільної дороги Київ-Ковель-Ягодин км 30+490 – км 33+500.
Об’єкт дослідження – температурні режими приготування суміші щебенево-мастикового асфальтобетону та влаштування шару покриття.
Мета роботи – визначення і обґрунтування доцільності та придатності інноваційної технології, а також усунення технологічних недоліків, що супроводжують будівництво.
Метод дослідження – статистичний та аналітичний аналіз результатів тепловізійної зйомки.
Результати статті можуть бути упроваджені при приготуванні асфальтобетонних сумішей та влаштуванні покриттів.
Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – поліпшення технологічного процесу будівництва асфальтобетонних покриттів.
Ключові слова: температура, тепловізор, щебенево-мастиковий асфальтобетон, природний бітум, контроль якості, будівництво.

Аннотация. В статье приводится опыт устройства слоя щебеночно-мастикового асфальтобетона на участке автомобильной дороги Киев-Ковель-Ягодин км 30+490 – км 33+500.

Объект исследования – температурные режимы приготовления смеси щебеночно-мастикового асфальтобетона и устройства слоя покрытия.
Цель работы – определение и обоснование целесообразности и пригодности инновационной технологии, а так же устранения технологических недостатков, что сопровождают строительство.
Метод исследования – статистический и аналитический анализ результатов тепловизионной съемки.
Результаты статьи могут быть внедрены при изготовлении асфальтобетонных смесей и устройстве покрытий.
Прогнозируемые предположения относительно развития объекта исследования – улучшение технологического процесса строительства асфальтобетонных покрытий.
Ключевые слова: температура, щебеночно-мастичный асфальтобетон, природный битум, контроль качества, строительство.

Annotation. The article presents the experience and results of stone mastic asphalt preparation and building on-site km 30+490 - km 33+500 of Kyiv-Kovel-Yagodyn highway.
Object of the study – temperature conditions of stone mastic asphalt preparation pavement construction.
Purpose of the study – definition and foundation of innovative technology suitability, technology flaws elimination that accompany construction.
Method of the study – statistical and analytical analysis of thermal recording results.
The results of the article can be incorporated under the preparation of asphalt mixes and pavement construction.
Forecast assumptions about the object of study – improvement of asphalt concrete pavement construction process.
Key words: temperature, thermal imager, stone mastic asphalt, natural bitumen, quality control, construction.

Introduction

Road construction is complicated engineering process. The complexity is due to a number of factors that influence and accompanying construction. Such as: construction technology, property of materials, weather conditions, working process organization, etc. [1, 2]. Solving this positions or not influences the final road quality

level. The quality of pavement determined in accordance with normalized parameters, such as equality, compaction ratio, roughness of pavement, required modulus of elasticity, etc. These parameters are determined after pavement construction, and their maintenance requires consideration of the above factors and control during the construction. Technological development provides modern technologies for road engineers that open up new possibilities in the field of construction quality control. These technologies also include the thermal method. Thermal imager is a device of non-destructive and operational control, which enables to determine problem areas and make quick decisions to eliminate them, in addition, the device allows you to identify and resolve a number of issues related to technological flaws that are so far beyond the human eye [3].

In the countries of Western Europe and North America the natural bitumen varieties are used as additives to artificial road bitumen sorts, improving their properties.

Adding natural bitumen into a binder enhances pavement resistance to deformation, shoving in high summer temperature conditions, occurrence of low-temperature and fatigue cracks, which significantly extends the road operating lifespan. Natural bitumen has an advantage on other bitumen additives through its stability, usability and cost efficiency.

The field of application of natural bitumen is construction of upper layers of asphalt concrete, producing poured asphalt, wearing and high-strength base courses.

Purpose of the study – definition and foundation of innovative technology suitability, technology flaws elimination that accompany construction.

Research placing of pavement SMA-20 on bitumen BND 60/90 with new modifier Selenizza SLN -120. Works carried out during the period from 26.09.2013 till 10.10.2013.

Location construction: Kyiv region, Kyiv-Kovel-Yagodyn road km 30+49 - 33+500, with exclusive of km 31+520 - 32+355 (LHS, 835 m using Kroton), km 52+223 - 52+770 (RHS of the roundabout, 547 m.), km 52+416 - 52+30 (on the roundabout 564 m.)

Location of preparation: Borodyanka, Kyiv region.

Plant: - asphalt plant “LINTEC”, Germany.

- pneumatic - transporter with a batcher “Kredmash”, Ukraine

Manufacturer of the asphalt concrete mix: JSC “Evrascon”.

1. Road pavement design on site

In accordance with the recommendations developed on the basis of inspection of the existing road pavement condition, composition and intensity of traffic, on 07.06.2012 the Technical Board of the State highway agency of Ukraine accepted the design on asphalt pavement layers, as described below.

1 – Stone mastic asphalt concrete, fine-grained SMA – 20 (fr. 20), dense, grade I. According to DSTU B V 2.7-127-2006 h – 5 cm,

2 - coarse-grained dense asphalt concrete (fr. 25) with bitumen BND 60/90 with PAR additive, according to DSTU B.V.2.7-119-2003 Ь – 8 cm.

3 – coarse-grained porous asphalt concrete (fr. 40) with bitumen BND 60/90 with PAR additive, according to DSTU B.V.2.7-119-2003 Ь – 8 cm.

Base cold asphalt concrete mix of milled asphalt concrete 50% and 50% of sand aggregate mix C7, strengthened with emulsion and cement M400, to achieve grade M40, that is:

- regeneration of the existing pavement, thickness 0.15 m, applying cold recycling technology, with addition of bitumen emulsion, cement and sand-aggregate mix C7.
- 0.15 m; content by mass:
- Bitumen emulsion - 1.5%;
- Cement - 3.5%;
- Aggregate and sand mix C7 - 50%;
- Bitumen emulsion sprayed - 0.6 l/m;
- Optimal aggregate and sand mix C5,

according to DSTU B B.2.7-30-95 - 20 cm;

- Medium grain sand, according to DSTU B B.2.7-32

(granite rock fines 100%) - 25 cm;

Strengthening provided of the following layers: Existing road pavement

- sand – 0.20 m;
- granite aggregates – 0.10 …0.31 m;
- asphalt concrete – 0.17 …0.30 m;
- milling the existing pavement – 0.05 …0.10 m;
- regeneration of the existing pavement, thickness 0.15 m, applying cold recycling technology, with addition of bitumen emulsion, cement and sand-aggregate mix C7 – 0.15m;

Content by mass:

- Bitumen emulsion - 1.5%;
- Cement - 3.5%;
- Aggregate and sand mix C7 - 50%;
- Bitumen emulsion sprayed - 0.6 l/m;

Upper asphalt concrete layers are described above.

According to calculations made, total thickness of the upper asphalt concrete layers of road pavement is 50+80+80=210 mm.

2. Asphalt mix design

Stone-mastic mix SMA-20 with **Selenizza SLN** - 120 additive, prepared on the basis of OJSC "Evrascon" mix design. Consumption of materials for 2500 kg of SMA-20 is shown in the table 1.

Table 1 – Consumption and characteristics of materials, applied for SMA-20 2500 kg batch preparation.

Screen size, mm	283
0 - 5	188
5 - 12.5	1602
Filler	282
Bitumen 60/90 (with PAR)	137.5
Stabilizing additive (Topcel)	7,5
Natural bitumen Selenizza SLN – 120	8,3
PAR Wetfix	0,2

3. Technical specifications for ACM (SMA) preparation and placing of asphalt concrete pavement, using natural bitumen Selenizza SLN – 120

Preparation of ACM (SMA) with natural bitumen Selenizza SLN – 120 is carried out with no alterations to the standard (ordinary) technology, applied by a manufacturer, with the exception of application of the artificial polymeric modifier "Kraton".

Mix design of ACM SMA stays the same, including quantity of bitumen and its grade BND 60/90 (70/100).

Natural bitumen Selenizza SLN – 120 is applied in the quantity of 6% of the base bitumen weight, and replaces the equivalent quantity of the latter.

When the weight of ACM SMA in the asphalt plant mixer - 2 500 kg:

- weight of bitumen –5,5 ± 0,2 % of the weight of the mix 137,5 kg:

- including the weight of natural bitumen Selenizza filled is – 6% of the weight of bitumen - 8,25 ± 0,3 kg (see enclosure).

Laboratory study of ACM SMA (SC 2-3) were carried out by JSC «Evrascon», indicate conformity of its characteristics to the requirements of DSTU B.V.2.7.-89-99 and DSTU 2.7-127:2006.

Natural bitumen Selenizza SLN – 120 is fed to the weighting hopper by the pneumatic transporter, and from there it goes to the preliminary storage hopper – cumulating rock materials. Feeding takes place during the last stage of loading of rock materials, which are of the temperature, as specified in SC 9. The weighting hopper is automatically controlled, and it is synchronized with the controllers loading rock materials.

After the end of the stage of loading the preliminary storage hopper – the accumulator, the rock materials and the natural bitumen Selenizza SLN – 120 are transferred to the mixer.

At the same time filler, fiber and received bitumen are fed to the mixer. In this case the bitumen does not need any provisional preparation. The quantity of bitumen should be adjusted in accordance with the above requirements.

After all the components are loaded, the mixing process takes place, and it lasts 37 seconds.

The temperature of the prepared mix should be 170±5 °C.

After completion of the mixing process the mix gets discharged.

Placing and compaction of the mix are carried out when its temperature is not lower than 150±5 °C, measured directly behind an asphalt paver and compactors on any type, with the weight 8 – 13 t.

Checking of conformity of the process of production of the mix and placing of the pavement, to the parameters, as outlined in the norm, is carried out in the course of a trial section construction [5, 8].

Weather conditions

Air temperature + 5ºC…+16 ºC.

Temperature of the existing asphalt layer +10 ºC…19 ºC.

Adding to SMA Selenizza SLN -120 natural bitumen – powder, black color, maximal diameter 5 mm, in 500 kg packages.

The additive was integrated to the mixer on the asphalt plant with the help of pneumatic dispenser, in automatic regime, in the amount 6% of the bitumen mass. Batch – 2500 kg.

Temperature of asphalt mix coming out of the mixer 170…175 ºC.

Temperature of asphalt mix at the beginning of compaction 150…130 ºC.

Placing of asphalt mix was carried out by two asphalt pavers Vogelr 1900, compaction – by four rollers: two rollers Bomag 141 – 8t, two rollers Bomag 161 – 11 t.

The physical and mechanical the properties of the asphalt concrete mix SMA 20 were received in the laboratory of Evrascon are shown in the table 2.

Table 2 - Physical and mechanical the properties of asphalt concrete mix SMA-20

No.	Readings identity	Units	Test results	Requirements of DSTU BV2.7-127: 2006
1	Water saturation, by volume	%	2,0 – 2,3	1,0 – 3,0
2	Residual porosity	%	2,9 – 3,2	1,5 – 3,5
3	Porosity of filler	%	15,5 – 18,5	15 – 19
	Limit of compressive strength at temperature:			
4	+20 ºC, not less	MPa	3,3 – 3,7	2,0
5	+50 ºC, not less	MPa	1,2 – 1,6	0,6
6	Waterproofing coefficient at continuous water saturation, not less		-	0,75
7	Average density of samples	g/cm^3	2.480 – 2,482	-
8	Compaction coefficient		0,98 – 1,03	0,98

Quality control of the technological process on the Asphalt Plant and on Site was carried out in the process of construction. Examples with results of heat monitoring of temperature behavior in the course of preparation of asphalt concrete mixes and placing of asphalt concrete pavement are shown below.

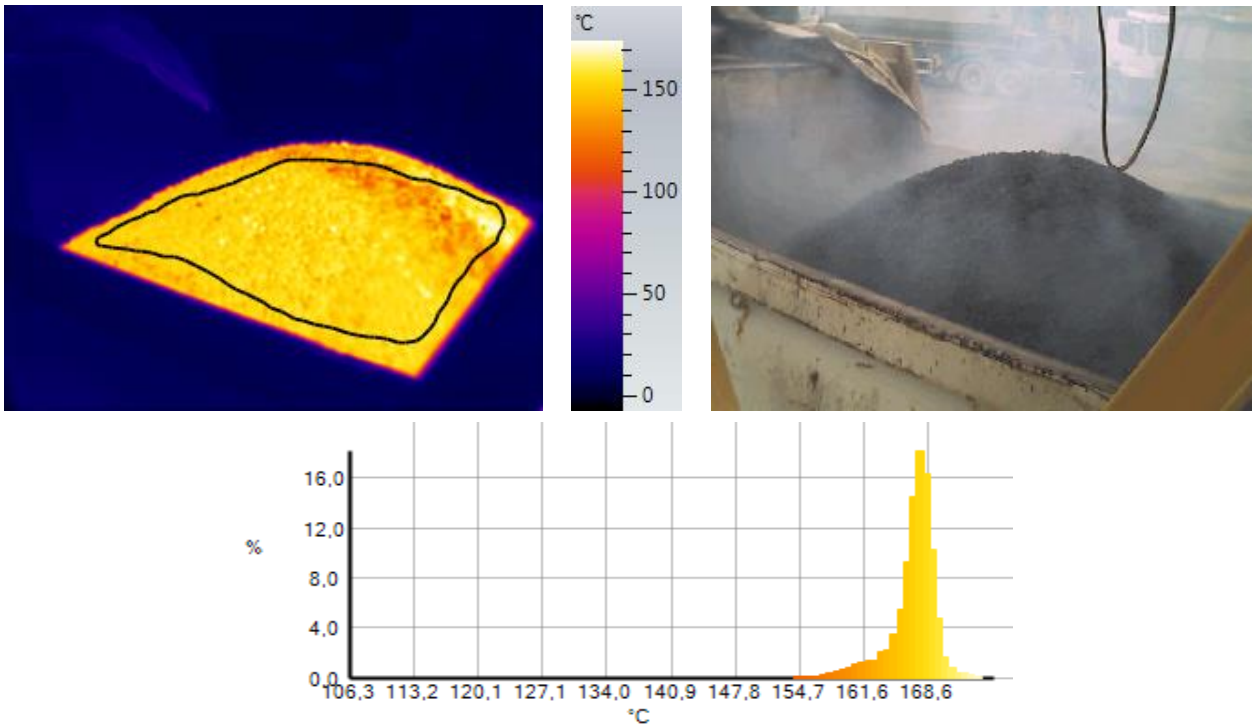
1. Asphalt plant

In order to achieve high quality it is important to follow the specified temperature pattern when producing asphalt mix and placing of asphalt concrete pavement.

According to the results of heat monitoring, on the first day of paving, when failures in proportioning and mixing of natural bitumen took place, the asphalt mix was partially overheated, which lead to evaporation of volatile fractions of the binding agent. This was caused by the breaks in the process of the mix preparation, that occurred due to repairs to the broken pneumodosimeter and a bearing replacement.

This resulted in overheating of the rock materials. Usage of a pyrometer “Nimbus”, which shows punctual surface temperature, also does not allow correct measurement of temperature of a mass.

After correction of disorders, henceforth the temperature pattern on the Asphalt Plant strictly followed the technical specifications 170 ±5 ºC.

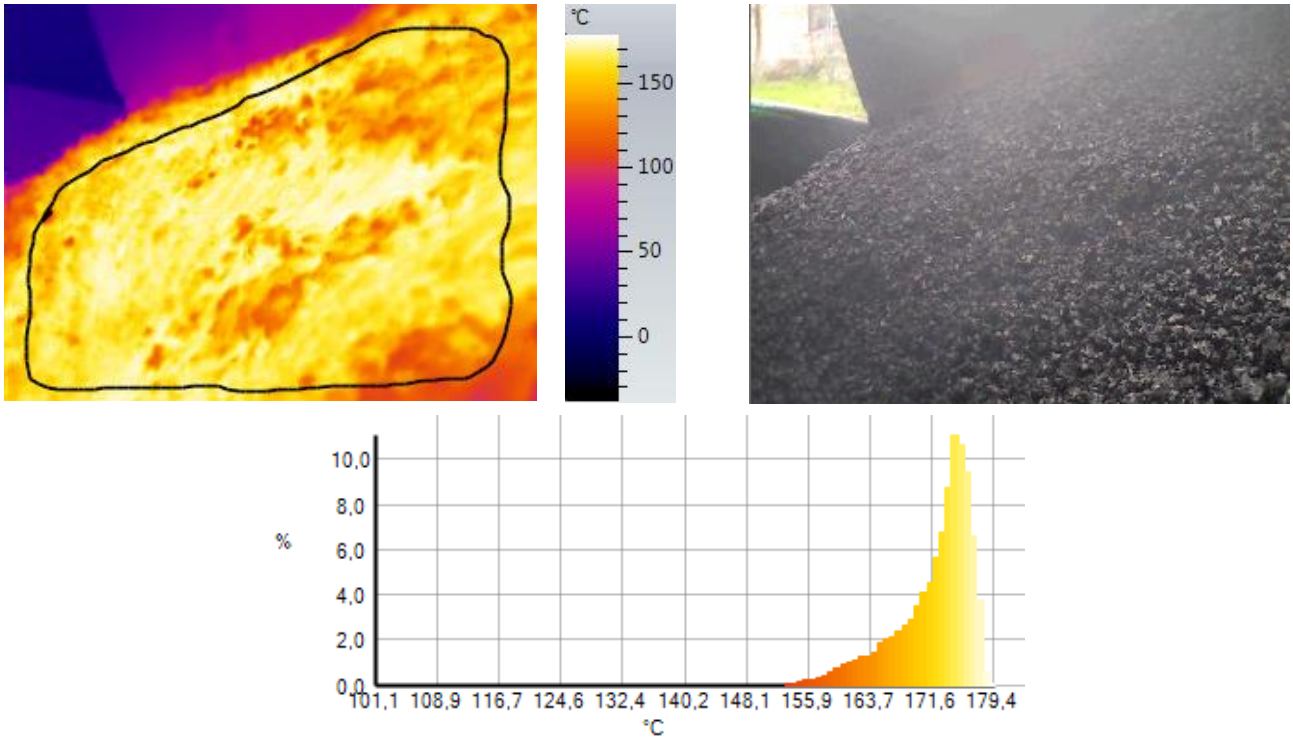


03.10.2013р. 10:46 – T_{min}=153 ºC, T_{av}=167 ºC, T_{max}=170 ºC

Figure 1 – Variation of asphalt mix temperature in a truck body on the territory of the Asphalt Plant

2. Temperature of the mix in a dump truck body after transportation

During construction of the layer the mix delivered had the temperature conforming to the requirements, however plant failures took place.



01.10.2013р. 13:34 – T_{min}=153 ºC, T_{av}=173 ºC, T_{max}=179 ºC

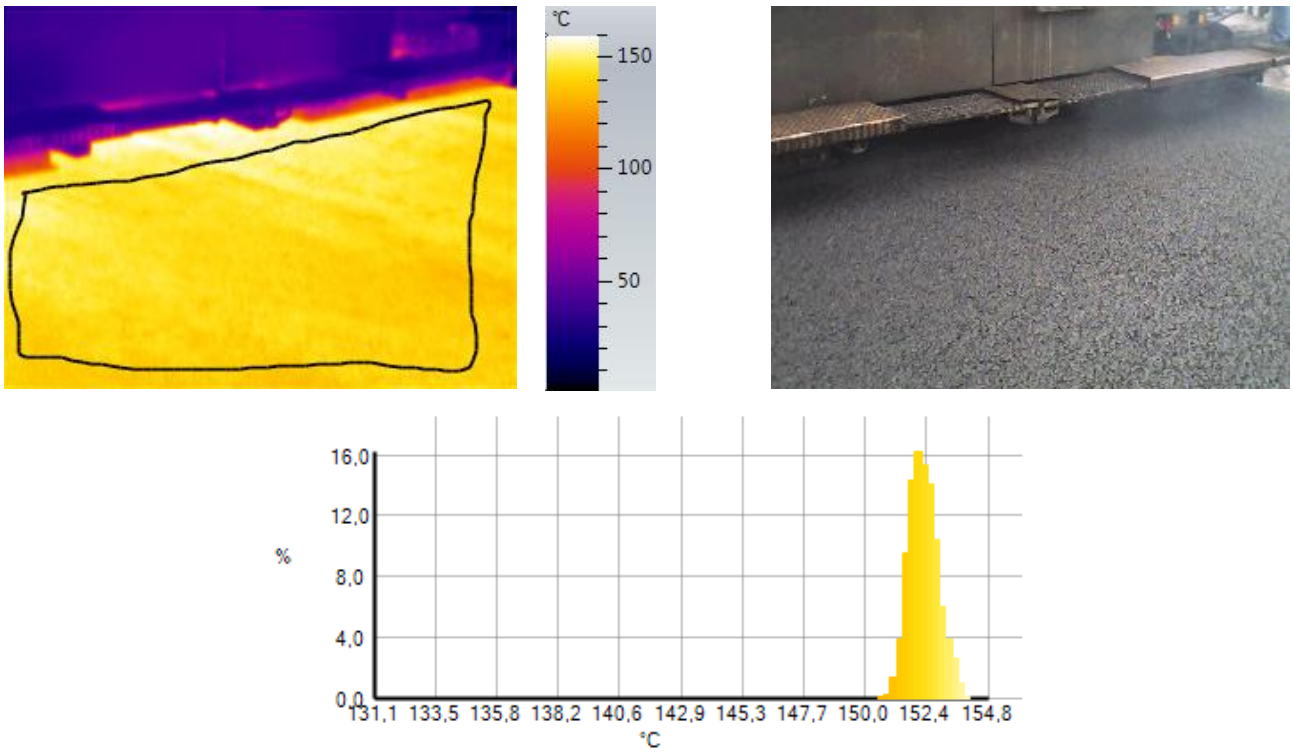
Figure 2 – Variation of the asphalt mix temperature in a dump truck body, in the course of loading the mix into the asphalt paver

3. Temperature of the mix, as it leaves an asphalt paver

In general temperature of the mix leaving the asphalt paver repeats the tendency established at the asphalt plant, however there appear other issues related to unforeseen circumstances on site. At present the temperature of pavement is higher than the temperature specified for the mix leaving the asphalt plant.

Most of paving was carried out by two pavers, which resulted in a number of issues: efficiency of two asphalt pavers is higher than the efficiency of the rollers and the Asphalt Plant, the efficiency of the rollers is compensated by the efficiency of the Asphalt Plant, since there was almost no stored mix on site, and the asphalt paver had to make technological stops.

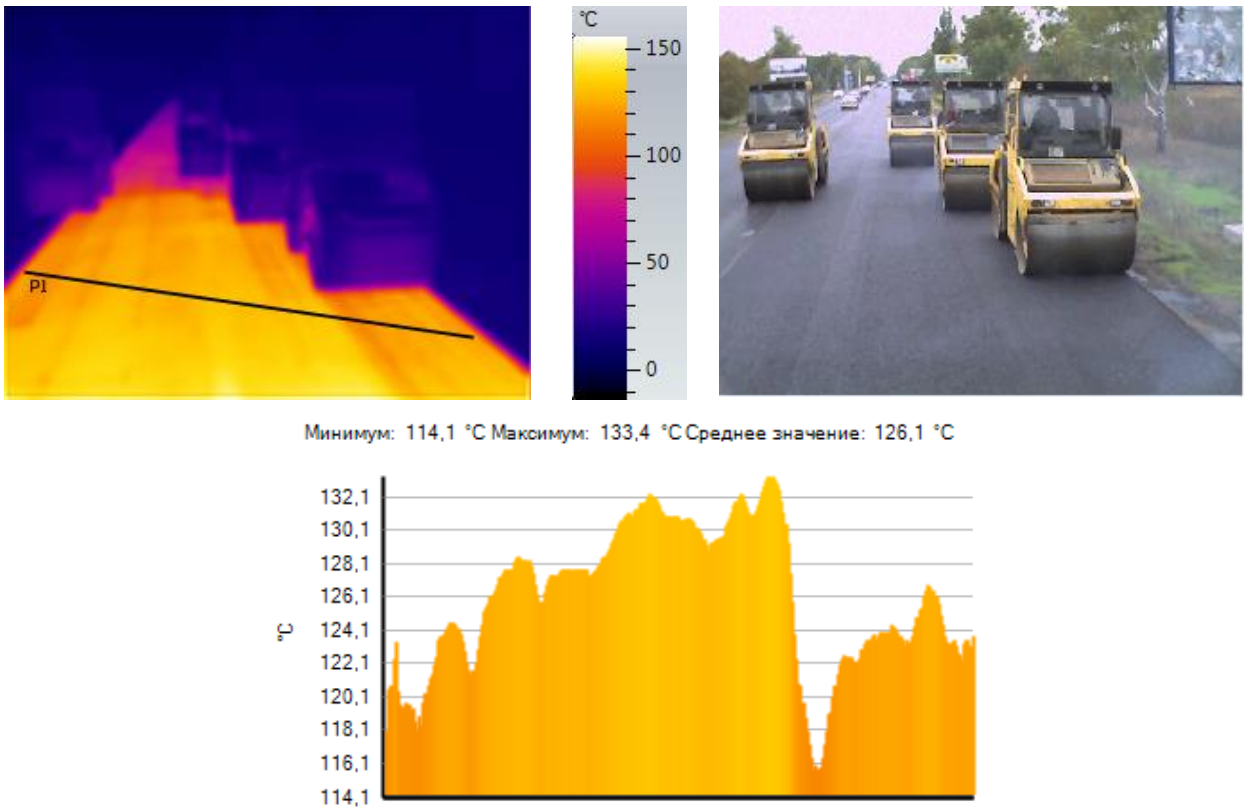
As the result of approximation of the pavement cooling down temperature change readings, we received the following logarithmic relationship (fig. 5).



03.10.2013р. 13:44 – T_{min} =150 ºC, T_{av} =152 ºC, T_{max}=154 ºC

Figure 3 – Variation of asphalt concrete layer temperature behind the asphalt paver

4. Temperature behavior in the course of asphalt mix compaction



06.10.2013р. 14:49 – Temperature range during compaction 120 ºC - 130 ºC, after several roller passages the temperature falls by ≈10 ºC

Figure 4 – Variation of asphalt concrete layer temperature behind the asphalt paver

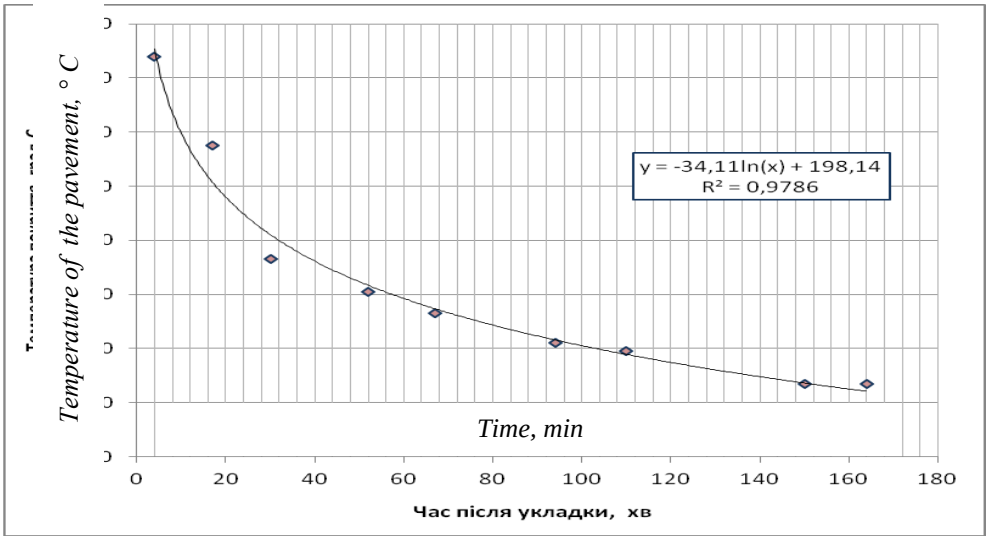


Figure 5 – Results of the approximation of the pavement cooling down temperature change readings

As an example, table 3 shows some results of the static analysis of the SMA 20 pavement placing technological process parameters, 05.10.2013.

Table 3 - Results of the static analysis of the SMA 20 pavement placing technological process

Readings	Mix weight, t	Transportation time, hours	Paving time, hours	Temperature of the mix in the truck body, °C	Thickness of SMA, cm
Min	25	0:17:00	0:06:00	166,0	7,40
Max	45	0:53:00	1:02:00	175,0	5,10
Av	32,7	0:33:36	0:19:15	169,8	6,55
Standard	8,96	0:07:36	0:11:19	2,3	0,503
Variation coefficient	27,41%	15,08%	20,04%	1,3 %	7,68

In the conditions of production of asphalt concrete mix and placing of asphalt concrete pavement, for the purpose of ensuring quality of pavement, it is important to follow the temperature pattern specifications.

According to the results of the heat monitoring on the first day of paving, when failures in weighing and mixing of the natural bitumen additive took place, the asphalt mix was partially overheated, which lead to evaporation of volatile fractions of the binding agent. There were instances, when the temperature of the mix in the

pavement reached up to 200 oC. This was caused by the breaks in mix preparation, due to repairs to the repairs to the broken pneumodosimeter and a bearing replacement.

This resulted in overheating of the rock materials. Usage of a pyrometer “Nimbus”, which shows punctual surface temperature, also does not allow correct measurement of temperature of a mass.

After correction of disorders, henceforth the temperature pattern on the Asphalt Plant strictly followed the technical specifications 170 ±5 ºC.

Temperature of the asphalt mix virtually did not reduce during transportation, due to presence of a large quantity of mix in the tip-trucks (25 – 40t) and insulation of the truck bodies with tent cloth. Attention should be paid to transportation of the asphalt mix in a 25 t tip-truck, since due to a smaller body, at the first loading of the mix, temperature shock occurs and a considerable heat loss for heating the truck body, as well as ten cloth insulation failures. In the course of discharging of the asphalt mix, containing natural bitumen Selenizza SLN 120, no material sticks to the sides of the truck body, which is representative of mixes modified with polymeric additives. In this case there is no need to additionally lubricate the truck body sides, with light organic agents (diesel, kerosene) or with soap solution.

Reduction of volatile evaporation is observed in the process of paving, which is a positive feature for the road workers and for the environment. Also reduced are the symptoms of respiratory passages irritation, as well as strong smell. Reduced is the number of complaints, regarding headache.

The asphalt mix temperature in the asphalt paver and at the beginning of compaction was in accordance with the specification. 4 operating rollers ensured the compaction temperature pattern in accordance with the technical specification.

When the air temperature is close to the allowed minimum (+5 - +10ºC), compaction should be more intense. The asphalt mix compaction should start immediately after the asphalt paver and keep operating within 35 m from it. The number of passages along one track should be not less than 6.

The asphalt paver needs to be modified. On the sides of the hopper the asphalt mix cools down more quickly, so it does not get mixed by the augers and consequently it is paved as a spot in the middle of a lane. Temperature of the mix in the spot is 30-40 ºC lower than the remaining mix temperature, which causes undercompaction. In the areas, where the last portions of asphalt mix, from a truck

body, were placed, the pavement looks more porous, which leads to water saturation, and further defects, such as weathering and occurrence of pot holes.

On a lane 6,25 m wide, with SMA 5,0 cm thick, such defects occur every 50 – 55 m, for a 40 t. truck, and 25-30 m for a 25 t/ truck.

Therefore, heat monitoring method has proven itself to be efficient in terms of quality control for production and placing of stone mastic asphalt pavement, with natural bitumen additive.

For compliance with the temperature regime, efficient energy usage and prevention of defects and deterioration, it is necessary to develop a methodology for heat monitoring, and provide the necessary equipment to the quality control authorities and scientific organizations.

Natural bitumen additive improves the technological process of preparation and placing pavements of modified asphalt mixes, and is more environmentally friendly compared to other chemical additives.

5. Result of visual inspection of the road section in the process of operation

In the process of operation, every 3 - 4 months, during years 2014 – 2015, visual inspections were carried out on the trial sections, on which SMA 20 with natural bitumen additive was placed.

Intense traffic of heavy vehicles (mostly 5 axle) is observed on this road (fig. 6 - 7).

The road section is in good operational condition. No defects or deteriorations have been were discovered (fig. 8 - 9).

Figure 6 – General view of the ramp on PK 33+850

Figure 7 – Heavy vehicles traffic on a road section

Figure 8 – Joint with SMA including Kraton (profile)

Figure 9 – Lack of rutting on a straight section

General conclusions

According to the results of the trail we can outline a number of advantages of the natural bitumen Selenizza, compared to other binding agents, used in production of asphalt mixes:

1. Practical manifestation of the physical and mechanical properties of the natural bitumen Selenizza is a considerable (1,5-2,5 times) increase of resistance to rutting formation, failure resistance, deterioration resistance of the road pavement. These are the factors that characterize mainly the workmanship of road construction companies.

2. This becomes possible thanks to the natural composition of bitumen Selenizza, for it contains more than 50% of natural asphaltene. The common ground of Selenizza and the base bitumen ensures their rapid and homogenous mixing and melting, which does not require introduction of any changes to the traditional technologies for production and placing of Asphalt Mix. In fact, compaction of Asphalt Mix on site is carried out faster and with higher quality.

3. Selenizza allows easy correction of the base bitumen drawbacks, developing its parameters to the required ones, in each specific case, or to the parameters stipulated by normative. Check parameters in this case are penetration and softening point temperature. Therefore, for preparation of Asphalt Mix you get bitumen, which

is always of stable quality, despite the quality of base bitumen received from an oil refinery. This circumstance indisputably influences the quality of product.

4. Selenizza also allows to change bitumen grade, for example from BND 90/130 to BND 60/90. Obviously this extends the scope of technical capacity, which helps to optimize business planning for company, particularly in the unstable conditions of Ukrainian market.

5. In accordance with the Technical Certificate No. 234 dd. 14.02.2013 Selenizza is classified as a bitumen modifier for preparation of Asphalt Mix, and is used in the estimated quantity, within 4 - 12 % of bitumen weight.

6. The cost of Selenizza is higher than the cost of the base bitumen, therefore, at first sight, it causes a certain increase in the cost of an Asphalt Mix. However, there is a cumulative saving effect, which lies in increasing the speed of many production processes, and corresponding saving of power, materials, plant and equipment resources. Also, you get an opportunity to increase the quality of your product, in terms of physical and mechanical parameters, and in terms of reliability and durability.

7. Compared to other modifiers, that have chemical origin, of SBS type, Selenizza does not require a long process of mixing with the base bitumen, and is supplied directly into an Asphalt Plant mixer, or it can be mixed with the base bitumen in tanks, with no limitations as to its further storage. This considerably affects the dependence of your technological process on various factors beyond your control, such as weather conditions, equipment failures, etc..

8. Selenizza is considered to be a “green bitumen”, ecologically friendly, so it does not produce polluting exhalations, and even reduces the effect of polycyclic hydrocarbons, which are contained in air-blown bitumen. This is very important for health and safety of workers.

References

1. Hameliak I.P. Basics of pavement construction reliability ensuring. Doctor of technical sciences dissertation: 05.22.11. National Transport University. Kyiv. 2005.

2. Dmitrichenko M.F., Dmitriev M.M., Gamelyak I.P., Raykovskij V.F., Yakimenko J.M. Reliability of pavement construction. National Transport University. Kyiv. 2012. 206 p. (UKR)
3. Dmitriev M.M., Gamelyak I.P., Voloshchuk D.V. Thermal method of asphalt pavement quality management. Management of projects, system analysis and logistic. Kyiv. National Transport University. 2014. Vol. 11.
4. Testo 875-i thermal imager with a refresh rate of 33 Hz [Electron resource]. - Mode of access: http://www.testo.kiev.ua/
5. DSTU B V.2.7-127:2006 Asphalt mixes and stone mastic asphalt. (UKR)
6. Kostin V.I. Stone mastic asphalt for road pavement. Nizhniy Novgorod. 2009. 67 p. (RUS)
7. Bocharov V.S. Bituminous formations in highway construction: technology and mechanization. – M.: Transport, 1987. – 190 p.
8. SOU 42.1-37641918-114:2014 Construction materials. Asphalt concrete mixes and asphalt concrete modified with natural bitumen. Technical specifications.

Рецензенти

Жданюк В.К., д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП “Укрдіпроддор” (Київ)

Reviewers

Zhdaniuk V.K., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

Honcharenko F.P., Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)

УДК 625.7/.8

Балашова Ю.Б., канд. техн. наук,
Трегуб О.В., канд. техн. наук,
Каськів С.В.

ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ШЛЯХОМ АРМУВАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ВЕРХНЬОГО ШАРУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація. У статті розглянуто метод підвищення властивостей різних видів асфальтобетону шляхом армування геосинтетичним матеріалом, а також підібрана найбільш оптимальна товщина верхнього шару дорожнього одягу. Отримано рівняння регресії, що відображає залежність модуля пружності дорожнього покриття від модуля пружності асфальтобетону і товщини шару.

В якості шару посилення було обрано чотири види асфальтобетону: щільний асфальтобетон I марки на бітумі БНД 40/60, щільний асфальтобетон I марки на бітумі БНД - 60/90, щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 90/130 і щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 130/200. Для армування верхнього шару дорожнього одягу було використано геотекстильний матеріал фірми Polyfelt марки PGM-14. У дослідженнях шар посилення асфальтобетону змінювався від 4 до 9 см. Усі розрахунки проводились за допомогою програмного комплексу «Mathcad Profeshional».

В результаті розрахунків отримано потрібний модуль пружності для неармованого дорожнього одягу, а також коефіцієнти міцності і модуль пружності армованого дорожнього одягу для різних товщин асфальтобетону. На основі результатів проведених розрахунків, побудовані графіки залежності загального модуля пружності від товщини шару армування і отримані рівняння апроксимації, за допомогою яких описуються побудовані криві.

Рівняння регресії (9) дозволяє отримати досить точні результати і може використовуватися для розрахунків при оптимізації. Розрахунки виконані для різних товщин асфальтобетону і при різних модулях пружності асфальтобетонного шару у межах від 2600 до 4500 МПа.

На основі виконаних досліджень отримано оптимальні товщини армованого геотекстилем Polyfelt марки PGM-14 верхнього шару дорожнього одягу для

різних видів асфальтобетону. Досліджено, що мінімальна товщина асфальтобетону I марки на бітумі БНД 40/60 і БНД - 60/90 складає 6 см, а асфальтобетону II марки на бітумі БНД - 90/130 і БНД - 130/200 складає 7 см.
Підтверджена ефективність застосування геосинтетиків для армування асфальтобетону. Характеристики міцності і деформаційності армованого асфальтобетону кращі ніж неармованого і строк служби такої автодороги значно підвищується. Але, довговічність армованого асфальтобетону II марки у порівнянні з армованим асфальтобетоном I марки, потребує подальших досліджень.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетон, армування, геосинтетичні матеріали, дорожній одяг.

Аннотация. В статье рассмотрен метод повышения свойств различных видов асфальтобетона путем армирования геосинтетическим материалом, а также подобрана наиболее оптимальная толщина верхнего слоя дорожной одежды. Получено уравнение регрессии, отражающее зависимость модуля упругости дорожного покрытия от модуля упругости асфальтобетона и толщины слоя.
В качестве слоя усиления было выбрано четыре вида асфальтобетона: плотный асфальтобетон I марки на битуме БНД 40/60, плотный асфальтобетон I марки на битуме БНД - 60/90, плотный асфальтобетон II марки на битуме БНД - 90/130 и плотный асфальтобетон II марки на битуме БНД - 130/200. Для армирования верхнего слоя дорожной одежды был использован геотекстильный материал фирмы Polyfelt марки PGM-14. В исследованиях слой усиления асфальтобетона менялся от 4 до 9 см. Все расчеты проводились с помощью программного комплекса «Mathcad Profeshional».
В результате расчетов получен требуемый модуль упругости неармированной дорожной одежды, а также коэффициенты прочности и модуль упругости армированной дорожной одежды для различных толщин асфальтобетона. На основании результатов проведенных расчетов, построены графики зависимости общего модуля упругости от толщины слоя армирования и получены уравнения аппроксимации, с помощью которых описываются построенные кривые.
Уравнение регрессии (9) позволяет получить достаточно точные результаты и может использоваться для расчетов при оптимизации. Расчеты выполнены для различных толщин асфальтобетона и при разных модулях упругости асфальтобетонного слоя в пределах от 2600 до 4500 МПа.

На основании выполненных исследований получены оптимальные толщины армированного геотекстилем Polyfelt марки PGM-14 верхнего слоя дорожной одежды для различных видов асфальтобетона. Исследовано, что минимальная толщина асфальтобетона I марки на битуме БНД 40/60 и БНД - 60/90 составляет 6 см, а асфальтобетона II марки на битуме БНД - 90/130 и БНД - 130/200 составляет 7 см.
Подтверждена эффективность применения геосинтетиков для армирования асфальтобетона. Характеристики прочности и деформационности армированного асфальтобетона лучше, чем неармированного и срок службы такой автодороги значительно повышается. Однако, долговечность армированного асфальтобетона II марки по сравнению с армированным асфальтобетоном I марки, требует дальнейших исследований.
Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетон, армирование, геосинтетические материалы, дорожная одежда.

Annotation. The article describes the method of improving the properties of various types of the asphalt-concrete by means of reinforcement with geosynthetic materials and selecting the optimal thickness of the top layer of the pavement. There has been obtained the regression equation reflecting the dependence of the module of elasticity of the pavement surfacing on the module of elasticity of the asphalt-concrete and the thickness of the layer.
As a layer of reinforcement there have been chosen four types of the asphalt-concrete: dense asphalt of the I grade on the bitumen BND 40/60, dense asphalt of the I grade on the bitumen BND - 60/90, dense asphalt of the II grade on the bitumen BND - 90/130 and dense asphalt of the II grade on the bitumen BND - 130/200. For reinforcement of the top layer of the pavement there has been used the geotextile material of Polyfelt Company of PGM-14 brand. In the course of studies the reinforcement layer of the asphalt-concrete varied from 4 to 9 cm. All the calculations have been performed by way of using the software complex "Mathcad Profeshional".
As the result of calculations, there has been received the required module of elasticity of the unreinforced pavement as well as the strength ratios and the module of elasticity of the reinforced pavement for different thicknesses of the asphalt-concrete. Based on the results of the calculations performed, there have been built the plots of the overall module of elasticity versus the thickness of the reinforcement layer as well

as the equation of approximation describing the built curves has been found.
The received regression equation (9) allows to obtain the sufficiently accurate results and can be used for calculations during the optimization. The calculations have been performed for different thicknesses of the asphalt and various modules of elasticity of the asphalt layer of the reinforcement in the range from 2600 to 4500 MPa.
On the basis of the research performed there have been obtained the optimum thicknesses of the top layer of the pavement, reinforced with the Polyfelt geotextile of the PGM -14 brand for various types of the asphalt-concrete. It has been studied that the minimum thickness of the asphalt of the I grade on the bitumen BND 40/60 and BND - 60/90 amounts to 6 cm, and of the asphalt of the II grade on the bitumen BND - 90/130 and BND - 130/200 amounts to 7 cm.
There has been confirmed the efficiency of application of geosynthetics for the reinforcement of the asphalt-concrete. The characteristics of the strength and the deformability of the reinforced asphalt-concrete are better than those of the unreinforced one and the durability of such highways increases. But, the matter of what will be the behavior of the reinforced asphalt of the II grade over time, compared with the reinforced asphalt of the I grade, requires a further research.
Keywords: road, asphalt-concrete, reinforcement, geosynthetic materials, pavement.

Постановка проблеми

Автомобільні дороги є важливою галуззю народного господарства, яка забезпечує ефективну роботу усієї економіки країни, зв'язок між регіонами, містами та підприємствами держави, а також транспортне сполучення з іншими країнами [1]. За обсягами перевезень вантажів та пасажирів автомобільний транспорт посідає одне з провідних місць серед усіх видів транспорту. Кожен рік з’являються нові автомобілі з удосконаленими технічними характеристиками, збільшується вантажопідйомність і швидкість. Ці фактори найбільше впливають на транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг [2]. Треба відмітити, що більшість доріг України не розраховані на сучасні навантаження. Це все призводить до необхідності в розробці та впровадженні нових методів побудови і реконструкції дорожніх покриттів автомобільних доріг, які б відповідали світовим стандартам.

Актуальність. Дорожній одяг працює у найбільш несприятливих умовах через одночасний вплив на нього кліматичних та автомобільних навантажень. Його стан характеризується коефіцієнтом фактичної міцності, показником

рівності та коефіцієнтом зчіпних якостей, значення яких повинні відповідати нормативним вимогам.

На даний час на автомобільних дорогах України, як і в цілому світі, переважають нежорсткі дорожні одяги з асфальтобетонними шарами [3]. Такі дорожні одяги нерідко під дією транспортного навантаження досить швидко руйнуються та потребують передчасних ремонтів. Руйнування проявляються різною мірою в залежності від режиму і характеру навантаження. Досить поширеними руйнуваннями асфальтобетонних шарів є тріщини.

Найбільш швидко розвиваються тріщини навесні і восени, а найбільш широко розкриваються взимку і навесні. У літній період багато дрібних тріщин закриваються за рахунок розм'якшення бітуму і розширення матеріалу в покритті або закочуються колесами автомобілів.

На початковій стадії утворення тріщини практично не впливають на умови руху автомобілів доки вони не переходять у вибоїни.

Основні причини утворення тріщин:

- недостатня міцність дорожнього одягу та земляного полотна, яка не відповідає фактичним навантаженням від автомобілів;
- великі перепади температур від позитивних до негативних, при яких виникають знакозмінні напруги;
- недостатня тріщиностійкість асфальтобетонних покриттів, обумовлена невідповідністю деформативних властивостей бітуму реальним температурним умовам роботи покриттів;
- розходження теплофізичних властивостей матеріалів суміжних шарів одягу, внаслідок чого виникають додаткові напруги по поверхнях з’єднання шарів при температурних перепадах;
- нерівномірне ущільнення земляного полотна і шарів дорожнього одягу;
- утворення пучин, що супроводжується виникненням сітки тріщин в дорожньому одязі.

Наявність тріщин на покритті і в дорожньому одязі дуже впливає на міцність і термін служби дорожнього одягу з наступних причин:

1.Тріщини порушують цілісність і монолітність дорожнього одягу, розділяючи його на окремі, не пов'язані між собою блоки. У результаті навантаження від колеса автомобіля передається на значно ослаблену конструкцію, розподіляється на меншу площу, створюючи в них підвищені напруги та деформації.

2.Через тріщини вода проникає в основу та земляне полотно і значно послаблює їх міцність і несучу здатність.

При наїзді коліс на кромки тріщини, окремі частини покриттів обламуються, стінки тріщини руйнуються і поступово тріщина перетворюється у вибоїну. Вода, яка потрапляє в розкриту тріщину при замерзанні збільшує темп росту тріщин по ширині і довжині.

Зі зменшенням міцності дорожнього одягу площа ямковості в процесі експлуатації різко збільшується. У більшості випадків початкова стадія виникнення вибоїн і ямковості збігається з періодом несприятливих погодних умов, особливо з весняним періодом частого переходу від позитивної до негативної температури повітря, надмірного зволоження ґрунту земляного полотна і шарів дорожнього одягу.

В якості узагальненого критерію міцності нежорстких конструкції використовують величину прогину під навантаженням або розрахований за його величиною еквівалентний модуль пружності.

Оцінка транспортно-експлуатаційних якостей дорожнього одягу та покриття повинна базуватися на визначенні відповідності проїзної частини умовам руху та здатності зберігати цю відповідність на період експлуатації.

В останні роки, для підвищення довговічності шарів дорожнього одягу, на практиці досить широко застосовують армуючі прошарки у вигляді геосинтетичних матеріалів [4].

Метою застосування геосинтетичних матеріалів в якості армування асфальтобетонних шарів є перерозподіл і зниження горизонтальних напружень в асфальтобетонному шарі, та в результаті не допущення утворення тріщин [5-8].

Використання геосинтетичного матеріалу Polyfelt марки PGM-14 при реконструкції асфальтобетонних покриттів дозволяє суттєво знизити напругу між старим та новим шарами асфальту. Гідроізоляційні властивості матеріалу запобігають проникненню опадів і талої води та кисню в тіло дорожньої конструкції. Вище перераховане призводить до суттєвого збільшення міжремонтних термінів (в 3-5 разів).

Мета статті. В даній роботі розглянуто метод підвищення властивостей різних видів асфальтобетону шляхом армування геосинтетичним матеріалом, а також підібрано найбільш оптимальну товщину верхнього шару дорожнього одягу. Для кращого відображення залежності модуля пружності дорожнього

покриття від модуля пружності асфальтобетону і товщини шару було побудовано рівняння регресії.

Виклад основного матеріалу

В якості шару посилення було обрано чотири види асфальтобетону: щільний асфальтобетон I марки на бітумі БНД 40/60, щільний асфальтобетон I марки на бітумі БНД - 60/90, щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 90/130 і щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 130/200. Для армування верхнього шару дорожнього одягу було використано геотекстильний матеріал фірми Polyfelt марки PGM-14. У дослідженнях шар посилення асфальтобетону змінювався від 4 до 9 см. Усі розрахунки проводились за допомогою програмного комплексу «Mathcad Profeshional».

Характеристики геоматеріалу для армування наведені у табл. 1.

Таблиця 1 - Вихідні розрахункові дані для армуючого матеріалу

№	Вид матеріалу	R_a, кН/м	e_p
1	Геотекстильний матеріал Polyfelt PGM - 14	80	0,04
Примітка. R_a – міцність при розриві армуючого матеріалу, кН/м; e_p – відносне подовження при розриві армуючого матеріалу, %.			

Для оптимізації проектного рішення необхідне виконання значного об'єму розрахунків з метою вибору найбільш ефективного. Також доцільно вивчити якісну картину взаємодії різних чинників на загальний модуль пружності дорожнього покриття. Для цього ефективно використовувати статистичний метод обробки даних для побудови рівнянь регресії.

Предметом регресійного аналізу є дослідження залежності результативної ознаки від сукупності факторних ознак. У дослідженнях, результативною ознакою прийнято загальний модуль пружності конструкції армованого дорожнього одягу, а факторними ознаками прийняті: модуль пружності асфальтобетону, товщина шару, коефіцієнт Пуассона, модуль пружності існуючої конструкції дорожнього одягу до підсилення. Проте кореляційним аналізом встановлено, що значний вплив на загальний модуль пружності дорожнього покриття надають модуль пружності асфальтобетону і його товщина.

Регресійний аналіз дозволяє на основі розрахункових даних створити математичну модель залежності середнього значення результативної ознаки від факторних ознак:

$$E_B = f(E_{аб}, h), \tag{1}$$

де $E_в$ - модуль пружності конструкції армованого дорожнього одягу, МПа;

$E_{аб}$ - модуль пружності асфальтобетону, МПа;

h - товщина шару посилення.

У загальному вигляді залежність результативної ознаки від спільного і одночасного впливу факторних ознак:

$$y=\varphi(x_1,x_2,\ldots x_k)+e\ , \tag{2}$$

де y – функція регресії, яка виражає об'єктну закономірну залежність результативної ознаки від спільного впливу факторних ознак;

e – випадкова величина, виражаюча вплив неконтрольованих і неврахованих факторних ознак, а також помилок виміру.

З виразу (2) маємо наступне:

$$e=y-\varphi(x_1,x_2,\ldots x_k), \tag{3}$$

де e – відхилення значень результативної ознаки від значень, обчислених по функції регресії.

Оцінкою функції регресії є рівняння регресії:

$$Y_x=f(x_1,x_2,\ldots x_k). \tag{4}$$

Математична модель багатовимірної нелінійної функції регресії має вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + e\ . \tag{5}$$

Рівняння багатовимірної нелінійної регресії для двох чинників:

$$Y_x = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2\ . \tag{6}$$

Математичний запис методу найменших квадратів в цьому випадку має вигляд:

$$S(a_0, a_1, a_2, a_{11}, a_{12}, a_{22}) = \sum_{i=1}^{n}(\overline{Y_{x_i}} - y_i)^2 \to \min\ . \tag{7}$$

Вихідні дані до розробки рівняння $E_B = f(E_{аб},h)$ отримані розрахунком по методу норм ВБН «Дорожній одяг нежорсткого типу» [3]. Розрахунки виконані для різних товщин асфальтобетону в межах від 4 см до 9 см і при різних модулях пружності асфальтобетонного шару підсилення у межах від 2600 до 4500 МПа. Армування виконано геосинтетиком Polyfelt PGM – 14. Модуль пружності існуючої конструкції дорожнього одягу прийнятий 500 МПа.

Рівняння регресії для загального модуля пружності записується в наступному вигляді:

$$E_B = a_0 + a_1 E_{аб} + a_2 h + a_{11} E_{аб}^2 + a_{12} E_{аб} h + a_{22} h^2 \ , \qquad (8)$$

де коефіцієнти рівняння нелінійної регресії: a_0 = – 0,594; a_1 = 0,181; a_2 = 0,134; a_{11} = 0,001;
a_{12} = 0,0317; a_{22} = –1,203.

Отримано наступне рівняння, що відображає залежність модуля пружності дорожнього покриття від модуля пружності асфальтобетону і товщини шару:

$$E_B = -0{,}594 + 0{,}181 E_{аб} + 0{,}134 h + 0{,}001 E_{аб}^2 + 0{,}0317 E_{аб} h - 1{,}203 h^2 \ . \qquad (9)$$

Критичне значення F вибирається по заданому рівню значущості F = 0,05 і числу мір свободи : $m_1 = k$, $m_2 = n–k–1$. Результати розрахунку при визначенні коефіцієнтів рівняння регресії: $n = 90$, $m = 6$, $m_1 = 5$, $m_2 = 84$.

Аналіз якості отриманої моделі виконаний по критерію Фішера і коефіцієнту парної кореляції. Розрахункове значення критерію Фішера F визначається по формулі:

$$F_{розр} = \frac{R^2(n' - k - 1)}{(1 - R^2)k} \ , \qquad (10)$$

де R^2 – коефіцієнт детерміації;

n' – об'єм вибірки;

k – кількість параметрів нелінійної моделі регресії, пов'язаних з факторними ознаками.

Значення критерію Фішера F = 2,45. Побудована модель на основі перевірки по F критерію статистично значима, оскільки $F_{розр} > F$, тобто 18,16 > 2,45.

Коефіцієнт парної кореляції між теоретичними і експериментальними даними складає 0,998. Коефіцієнт детерміації R^2 = 0,94.

Таким чином, отримане рівняння (9) даватиме досить точні результати і може використовуватися для розрахунків при оптимізації.

Для виконання попередніх розрахунків був обраний в якості шару посилення щільний асфальтобетон І марки на бітумі БНД – 40/60 та найбільш поширений геосинтетичний матеріал фірми Polyfelt марки PGM-14 (табл. 1). При розрахунках змінювалась товщина шару у межах від 9 до 4 см для аналізу та вибору в подальшому найбільш оптимальної товщини.

В результаті досліджень, побудовано графік залежності загального модуля пружності від товщини шару армування та отримано рівняння апроксимації: y = 131,77x – 192,85. Розрахунки показали, що мінімальна товщина шару посилення асфальтобетону складає 6 см для автомобільної дороги І технічної категорії.

Для виконання розрахунку № 1 був обраний в якості шару посилення щільний асфальтобетон І марки на бітумі БНД – 60/90 (табл. 2). При розрахунках аналогічно змінювалась товщина шару у межах від 9 до 4 см.

Таблиця 2 - Вихідні дані для посилення асфальтобетону І марки на бітумі БНД – 60/90

№	Вид шару	h, см	$E_{аб}$, МПа	$\mu_{аб}$	$\mu_а$	Z	$R_{лаб}$	D, см	d, см	H, см
1	Щільний асфальтобетон І марки на бітумі БНД - 60/90	9…4	4500	0,17	0,4	2	9,8	34,5	2	3

У таблиці 2 використані такі позначення:

h – товщина шару посилення, см;

$E_{аб}$ – модуль пружності шару асфальтобетону, МПа;

$\mu_{аб}$ – коефіцієнт Пуассона асфальтобетонного шару;

$\mu_а$ - коефіцієнт Пуассона армуючого матеріалу;

Z – активна зона армування, см;

$R_{лаб}$ – лабораторне значення межі міцності на розтяг при вигині одноразово прикладеного навантаження (приймається за ВБН В.2.3-218-186-2004, табл. Е. 1), МПа;

D – діаметр завантаженої площі, см;

d – розмір максимальної кам'яної фракції в асфальтобетоні, см;

H – товщина активної зони армування, см.

У результаті розрахунків отримано потрібний модуль пружності для неармованого дорожнього одягу, а також коефіцієнти міцності і модуль пружності армованого дорожнього одягу для різних товщин асфальтобетону (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати розрахунку посилення асфальтобетону І марки на бітумі БНД – 60/90

№	h, см	$E_{потр}$, МПа	$K_{мц}$	$E_{в}$, МПа
1	9	358,398	2,5	900
2	8		2,13	765
3	7		1,94	660
4	6		1,6	570
5	5		1,20	450
6	4		0,979	350

У таблиці 3 використані такі позначення:

$E_{потр}$ – потрібний модуль пружності для неармованого дорожнього одягу;

$K_{мц}$ – коефіцієнт міцності, для автодороги І технічної категорії $K_{мц}$ = 1,5 (табл. 3.1 [3]).

Аналіз результатів розрахунку (табл. 3) показує, що при товщині шару посилення менше 6 см, коефіцієнт міцності не задовольняє вимогам [3] для автомобільної дороги І технічної категорії.

На основі результатів проведеного розрахунку, побудовано графік залежності загального модуля пружності від товщини шару армування (рис. 1).

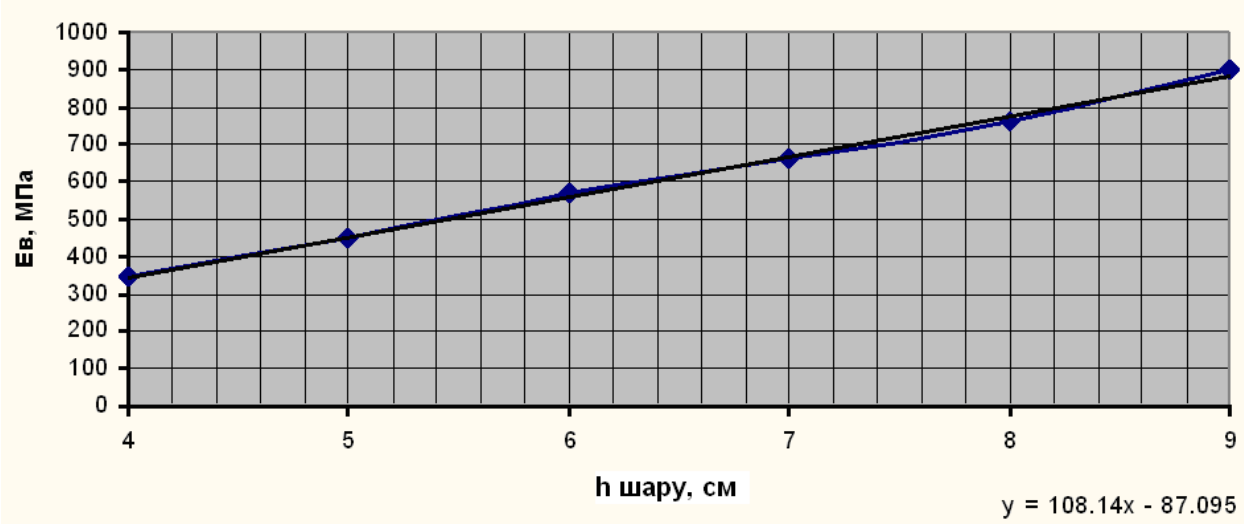


Рисунок 1 – Графік залежності загального модуля пружності від товщини шару армування

На графіку (рис. 1) добре спостерігається закономірность зміни модуля пружності в залежності від товщини шару армування. На графіку наведене рівняння апроксимації, за допомогою якого описується побудована крива.

Для виконання розрахунку № 2 був обраний в якості шару посилення щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 90/130 (табл. 4). При розрахунках аналогічно змінювалась товщина шару посилення у межах від 9 до 4 см (табл. 5).

Таблиця 4 - Вихідні дані для посилення асфальтобетону II марки на бітумі БНД - 90/130

№	Вид шару	h, см	$E_{аб}$, МПа	$\mu_{аб}$	$\mu_а$	Z	$R_{лаб}$	D, см	d, см	H, см
2	Щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 90/130	9…4	3600	0,21	0,4	2	9,5	34,5	2	3

Аналіз результатів розрахунку (табл. 5) показує, що при товщині шару посилення менше 7 см, коефіцієнт міцності не задовольняє вимогам [3] для автомобільної дороги I технічної категорії.

Таблиця 5 – Результати розрахунку посилення асфальтобетону II марки на бітумі БНД - 90/130

№	h, см	$E_{потр}$, МПа	$K_{мц}$	$E_в$, МПа
1	9	358,398	2,21	792
2	8		2,009	720
3	7		1,808	648
4	6		1,430	540
5	5		1,10	440
6	4		0,90	343

На основі результатів проведеного розрахунку, побудовано графік і отримано рівняння апроксимації (рис. 2).

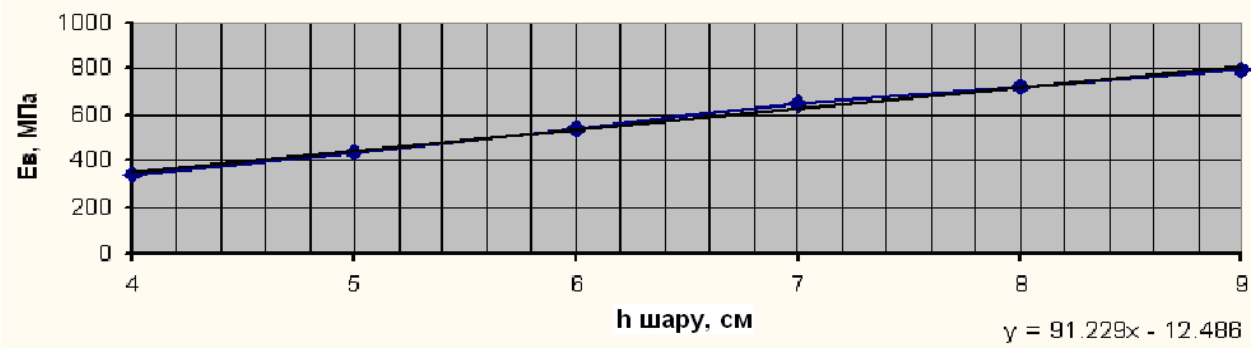


Рисунок 2 - Графік залежності загального модуля пружності від товщини шару армування

Для виконання розрахунку № 3 був обраний в якості шару посилення щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД - 130/200 (табл. 6) з аналогічною зміною товщини шару посилення у межах від 9 до 4 см (табл. 7).

Таблиця 6 - Вихідні дані для посилення асфальтобетону II марки на бітумі БНД - 130/200

№	Вид шару	h, см	$E_{аб}$, МПа	$\mu_{аб}$	$\mu_а$	Z	$R_{лаб}$	D, см	d, см	H, см
3	Щільний асфальтобетон II марки на бітумі БНД -130/200	9…4	2600	0,25	0,4	2	9,3	34,5	2	3

Таблиця 7 – Результати розрахунку посилення асфальтобетону II марки на бітумі БНД - 130/200

№	h, см	$E_{потр}$, МПа	$K_{міц}$	$E_в$, МПа
1	9	358,398	2,19	788
2	8		1,95	699
3	7		1,69	607
4	6		1,33	501
5	5		1,00	402
6	4		0,78	298

Аналіз результатів розрахунку (табл. 7) показує, що при товщині шару посилення менше 7 см, коефіцієнт міцності не задовольняє вимогам [3] для автомобільної дороги I технічної категорії.

На основі результатів проведеного розрахунку, побудовано графік і отримано рівняння апроксимації (рис. 3).

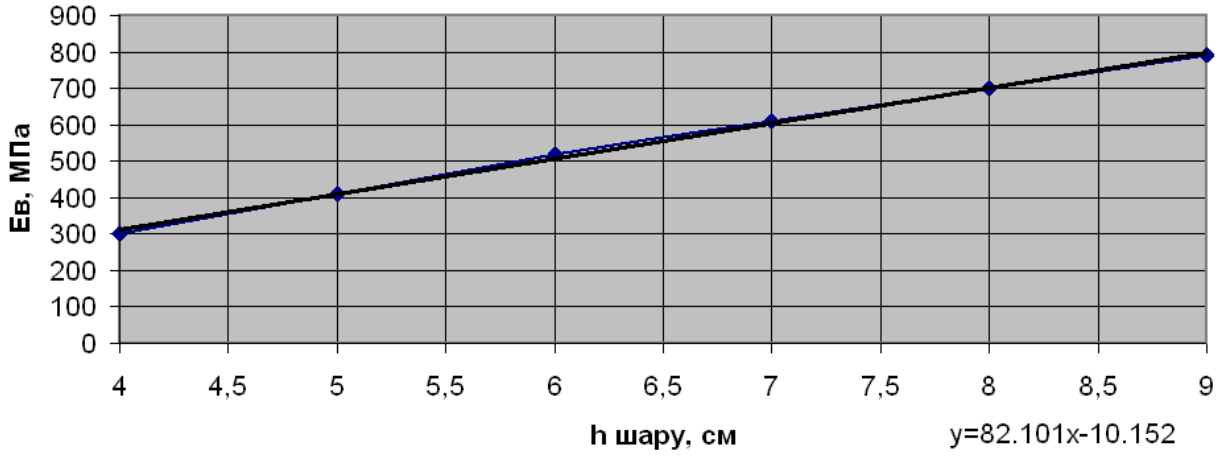


Рисунок 3 - Графік залежності загального модуля пружності від товщини шару армування

Висновки

1. Для кращого відображення залежності модуля пружності дорожнього покриття від модуля пружності асфальтобетону і товщини шару було побудовано рівняння регресії. Розрахунки виконані для різних товщин асфальтобетону в межах від 4 см до 9 см і різних модулів пружності асфальтобетонного шару у межах від 2600 до 4500 МПа. Рівняння регресії (9) дозволяє отримати досить точні результати і може використовуватися для розрахунків при оптимізації.

2. На основі виконаних досліджень отримано оптимальні товщини армованого геотекстилем Polyfelt марки PGM-14 верхнього шару дорожнього одягу для різних видів асфальтобетону. Досліджено, що мінімальна товщина асфальтобетону I марки на бітумі БНД 40/60 і БНД - 60/90 складає 6 см, а асфальтобетону II марки на бітумі БНД - 90/130 і БНД - 130/200 складає 7 см.

Перспективи. Ефективність армування не визиває сумніву. Характеристики міцності і деформаційності армованого асфальтобетону кращі, ніж неармованого і строк служби такої автодороги значно підвищується. Але, довговічність армованого асфальтобетону II марки у порівнянні з армованим асфальтобетоном I марки, потребує подальших досліджень.

Література

1. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007. - [чинний від 31.10.2007]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. ГСТУ 218.02070915-102-2003. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. – К. :2003. – 42 с.
3. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. - [чинний від 2005-01-01]. – Київ: Укравтодор, 2004. – 176 с.
4. МР-218-02070915-232-2003. Методика розрахунку нежорстких дорожніх одягів з армуючими прошарками. –К.: 2003.
5. Савенко В.Я. Теоретичні основи розрахунку асфальтобетонних шарів, армованих синтетичними прошарками / В.Я. Савенко, О.В. Василевич // Автошляховик України. – К., 2002. – № 4. - С. 37-39.
6. Василевич О.В. До питання взаємодії геосинтетичного армуючого прошарку у вигляді сітки із асфальтобетонним шаром / О.В. Василевич // Вісник НТУ, ТАУ. - Київ: НТУ, 2002. - Вип. 7. - С. 125-126.
7. Петрович В.В. Варіаційний метод визначення поля температур армованої дорожньої конструкції / В.В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: НТУ, 2003. - Вип. 66. - С. 166-174.
8. Балашова Ю.Б. Армування дорожніх одягів при реконструкції автомобільних доріг у м. Дніпропетровськ / Ю.Б. Балашова, С.В. Роман, І.В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: НТУ, 2013. - Вип. 90. - С. 66-73.

Рецензенти

Мозговий В.В., д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Усиченко О.Ю., канд. техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

Mozhovyi V.V., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Usychenko O.Yu., Ph.D., NTU (Kyiv)

УДК 625.71.8

Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, проф.
Дорошенко О.Ю., канд. техн. наук, доц.

КОМПЛЕКСНЕ ПОЛІМЕРБІТУМНЕ В'ЯЖУЧЕ ДЛЯ ЛИТОГО ПОЛІМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація. В Україні розроблені литі асфальтобетони із застосуванням полімерних модифікаторів (Кратон Д-1101, ДСТ-30Р-01 та інші) [2]. Спроби покращення якості бітумів полімерними модифікаторами ускладнюються тим, що полімербітумні в'яжучі мають достатньо високу в'язкість (значно більшу, ніж в'язкість вихідного бітуму). Це не дозволяє отримати литу асфальтобетонну суміш з необхідною рухливістю без суттєвого підвищення витрати полімербітумного в'яжучого.

Пропонується комплексне полімербітумне в'яжуче, яке містить бітум і полімери, та відрізняється тим, що в якості полімерів використовується Елвалой 41/70 і Лікомонт BS 100.

Ключові слова: асфальтобетон литий, бітум, полімер, полімербітумне в'яжуче.

Аннотация. В Украине разработаны литые асфальтобетонных с применением полимерных модификаторов (Кратон Д-1101, ГОСТ-30р-01 и другие) [2]. Попытки улучшения качества битумов полимерными модификаторами осложняются тем, что полимербитумных вяжущие имеют достаточно высокую вязкость (значительно больше, чем вязкость исходного битума). Это не позволяет получить литую асфальтобетонную смесь с необходимой подвижностью без существенного повышения расхода полимербитумных вяжущего.

Предлагается комплексное полимербитумных вяжущее, которое содержит битум и полимеры, и отличается тем, что в качестве полимеров используется Элвалой 41/70 и Ликомонт BS 100.

Ключевые слова: асфальтобетон литой, битум, полимер, полимербитумных вяжущее.

Annotation. In Ukraine developed using cast asphalt polymer modifier (Kraton D-1101, DST-30R-01, etc.) [2]. Attempts to improve the quality of bitumen polymer modifiers are compounded by the fact that polimerbitumni binders have sufficiently high viscosity (much more than the initial viscosity of bitumen). This allows you to not drink asphalt mixtures with the required mobility without significantly increasing costs polimerbitumnoho binder.
Polimerbitumne proposed a comprehensive binder containing bitumen and polymers, and wherein the polymer used as Elvaloy Likomont 41/70 and BS 100.
Keywords: cast asphalt, bitumen, polymer binder polimerbitumne.

Вступ

Відома значна кількість литих полімерасфальтобетонів (ПАБ) на основі бітуму, в які, для їх покращення, додають модифікатори (в т.ч. і полімери). До складу відомих литих ПАБ входять бітум, полімери, мінеральний порошок, пісок і крупний заповнювач (щебінь) [1].

Застосування окислених бітумів (основного виду бітумів, які застосовуються в Україні для будівництва дорожнього покриття) не дає можливості отримати асфальтобетон високої стійкості до дії високих температур, які потрібні при виготовленні і укладанні литого асфальтобетону. В Україні і за її межами для виробництва литих асфальтобетонів найчастіше використовують дорожні бітуми (БНД 40/60 та інші) разом з будівельними бітумами (БН IV) або разом з добавкою природних бітумів в кількості до 25-50%, що значно підвищує його вартість. При цьому температура крихкості не вище -8-10 C^0.

В Україні розроблені литі асфальтобетони із застосуванням полімерних модифікаторів (Кратон Д-1101, ДСТ-30Р-01 та інші) [2]. Спроби покращення якості бітумів полімерними модифікаторами ускладнюються тим, що полімербітумні в’яжучі мають достатньо високу в’язкість (значно більшу, ніж в’язкість вихідного бітуму). Це не дозволяє отримати литу асфальтобетонну суміш з необхідною рухливістю без суттєвого підвищення витрати полімербітумного в’яжучого.

Підвищення температури виготовлення литого ПАБ вище температури 200 ^{0}C призводить до активного окислення бітуму, швидкого його старіння, зменшення його довговічності.

Основна частина

В роботі винаходу поставлено завдання знайти можливість значно покращити адгезію литого полімерасфальтобетону, підвищити довговічність, зменшити водонасичення за об'ємом, мати достатню міцність на стиск, високу деформативність. Поставлене завдання досягається тим, що пропонується комплексне полімербітумне в'яжуче, яке містить бітум і полімери, та відрізняється тим, що в якості полімерів використовується Елвалой 41/70 і Лікомонт BS 100 при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

Бітум	96....98.
Елвалой 40/70	1,0....2,0.
Лікомонт BS 100	1,0....2,0.

В якості бітуму застосовуються бітуми марки БНД 90/130 або БНД 130/200, температура крихкості яких приблизно -18 С. Після модифікації бітумів запропонованим комплексом полімерів температура крихкості в'яжучого майже не змінюється, що дозволяє суттєво зменшити тріщиноутворення полімерасфальтобетону при низьких температурах.

Лікомонт BS 100 – це суміш похідних жирних кислот, має високу термостабільність (до 300^0С), що дозволяє готувати литий полімерасфальтобетон при температурі до 240^0С; покращити зчеплення бітуму з мінеральними матеріалами; зменшити його в'язкість у порівнянні з в'язкістю при температурі 150^0С, що поліпшує його укладання. До недоліків цього модифікатора відноситься відсутності впливу на таку властивість як еластичність.

Елвалой 41/70 – покращує еластичність полімербітумного в'яжучого (еластичність полімер бітуму з 1,5 % Елвалой 41/70 підвищується на 50-60 %), знижує тріщиноутворення при низьких температурах, не змінює низькотемпературні властивості (4^0 С і нижче) вихідного бітуму (t^0 крихкості, розтяжність і пенетрацею при 0^0С). В той же час цей модифікатор покращує високотемпературні властивості (пенетратрацію, температуру розм'якшення при 25^0С, інтервал плавкості та інші).

Компоненти литого полімер асфальтобетону повинні відповідати вимогам діючих стандартів і технічних вимог. Запропонований литий полімер асфальтобетон повинен:

1) бути достатньо пластичний (мати малу в'язкість) для того, щоб забезпечити якість укладання полімерасфальтобетону при будівництві покриття автодоріг, або якісне заповнення ремонтної карти при ремонтних роботах;

2) мати високе зчеплення до старого асфальтобетону при ремонтних роботах;

3) зберігати еластичні властивості при низьких температурах.

Температура виготовлення литого полімерасфальтобетону +240 ^{0}С; застосування не нижче +200 ^{0}С. Консистенція – в'язко-текуча рідина, яка забезпечує якісне укладання і самоущільнення при будівництві покриття доріг або їх ремонті.

Вимоги до зернового складу мінеральної частини литого полімерасфальтобетону наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – вимоги до зернового складу мінеральної частини литого ПАБ

Вміст по масі, в % мінеральних зерен дрібніше даного розміру								Орієнтовні витрати полімер бітумних в'яжучих % за масою (понад 100%)
10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
90-100	70-85	52-62	42-53	35-49	30-45	25-39	19-27	7-12

Співвідношення компонентів литого асфальтобетону складає в мас. %

Мінеральний порошок 18...32.

Пісок 48...52,0.

Щебінь 20...30.

(відповідно до вимог ТУ-400-24-103-78. `Асфальт литой. Технические условия`. М. 1978.)

Орієнтовні витрати полімербітумного в'яжучого, % за масою (понад 100%) складає 7-12%.

Для порівняння з широко відомими сумішами [2] готувалася полімербітумна асфальтобетонна суміш складу серед. мас. %:

Мінеральний порошок – 25.

Пісок – 50.

Щебінь – 25.

Витрата комплексного полімербітумного в’яжучого була прийнята в кількості 12% за масою (понад 100%).

Середнє співвідношення полімерних добавок до бітуму становило мас. %:

Бітум – 97.

Елвалой 41/70 - 1,5.

Лікомонт BS 100 - 1,5.

Тобто сумарний вміст полімеру у складі бітуму становив 3.0% (як у прототипу) [2].

Результати досліджень фізико-механічних властивостей литих асфальтобетонів на основі бітумів модифікованих полімерами наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості литих асфальтобетонів на основі бітумів БНД 90/130, модифікованих полімерами

Властивості		Бітум БНД 90/130	Вміст полімеру у складі бітуму БНД 90/130 , %						
			Kraton D–1101, 3%	ДСТ-30Р-01, 3%	Елвалой АМ, 3%	Мобіт, 3%	Елвалой 41/70 + Лікомонт B S100		
							1,5% +1,5 %	1.0%+ 2,0%	2,0%+ 1,0%
Середня щільність, г/см^3		2,28	2,28	2,29	2,30	2,29	2,29	2,29	2,30
Водонасичення, W,%		0,35	0,30	0,30	0,28	0,29	0,20	0,20	0,18
Набрякання, Н,%		0	0	0	0	0	0	0	0
Границя міцності при стисканні	R_0, МПа	6,2	7,2	6,5	7,2	5,6	8,6	8,8	8,7
	R_{20}, МПа	2,7	2,9	3,0	3,1	2,9	3,1	3,3	3,3
	R_{50}, МПа	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0	1,9	2,0	2,1
	$R_{вод}$, МПа	2,5	2,8	2,9	3,0	2,8	3,2	3,4	3,3
Коефіцієнт водостійкості, $К_{вод}$		0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	1,00	1,00	1,00
Адгезія до поверхні мінеральної частини полімер асфальтобетону		60% поверхні вкрито в’яжучим (3					100% поверхні вкрито	100% поверхні вкрито в’яжучим (5	100% поверхні вкрито в’яжучим (5

Випробування проводились згідно з ДСТУ Б В.2.7-89-99, ДСТУ Б В.2.7-119-2003.

Висновок

Встановлено, що використання запропонованого полімерв'яжучого дозволяє зменшити водонасичення зразків литого полімерасфальтобетону майже на 30 %; міцністні характеристики при t^0 = 0 ^{0}C підвищити на 10-20 %; при t^0 = 20 ^{0}C – на 5-10%; при t^0 = 50 ^{0}C – майже у 2 рази.

Також, застосування дослідженої полімербітумної суміші суттєво полегшує укладання литого полімерасфальтобетону за рахунок зниження в'язкості при підвищених температурах.

Література

1. ТУ-400-24-103-78 Асфальт литой. Технические условия. – М., 1978. – 21 с.
2. Жданюк В.К. Масюк Ю.А. Властивості литих асфальтобетонів, виготовлених на основі бітумополімерних в'яжучих // Автошляховик України. – 2004. – № 6. – С. 34-36.

Рецезенти

Zolotarev V.O., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП "Укрдіпроддор" (Київ)

Reviewers

Zolotarev V.O., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

Honcharenko F.P., Ph.D., "Ukrdiprodor" (Kyiv)

УДК 625.032.32

Онищенко А.М. канд. техн. наук, **Гаркуша М.В.,**
Різніченко О.С., Гаташ Я.С., Куртєв В.С.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ РЕЛАКСАЦІЇ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

Анотація. У статті проведений аналіз результатів визначення функції релаксації, асфальтобетонів різних типів, визначено модуль пружності асфальтобетонів за допомогою маятникового та ультразвукового приладу.
Розроблено аналітичні залежності для визначення функції релаксації і температурно-часового зміщення для асфальтобетонів типу Г, Б-10, Б-20, ЩМА-10 та ЩМА-20 на основі звичайного бітуму (БНД 60/90), бітуму модифікованому полімерним латексом (2 %, 4 % і 6 %), а також при введенні полімерного латексу безпосередньо в суміш при її приготуванні (3 % та 6 %).
Ключові слова: розрахункові характеристики, асфальтобетонне покриття, функція релаксації, модуль пружності

Аннотация. В статье приводится анализ результатов определения функции релаксации, асфальтобетонов различных типов, определены модуль упругости асфальтобетонов с помощью маятникового и ультразвукового прибора.
Разработаны аналитические зависимости для определения функции релаксации и температурно-временного смещения для асфальтобетонов типа Г, Б-10, Б-20, ЩМА-10 и ЩМА-20 на основе обычного битума (БНД 60/90), битума модифицированном полимерным латексом (2% , 4% и 6%), а также при введении полимерного латекса непосредственно в смесь при ее приготовлении (3% и 6%).
Ключевые слова: расчетные характеристики, асфальтобетонное покрытие, функция релаксации, модуль упругости

Annotation. In the article analyzed the results of the function relaxation, various types of asphalt, asphalt modulus determined using pendulum ultrasonic device.
The analytical dependence for the relaxation of the function and temperature-time offset for asphalt type G, B-10, B-20, SMA-10 and SMA-20 on the basis of

conventional bitumen (BND 60/90) latex polymer modified bitumen (2% , 4% and 6%), and with the introduction of the polymer latex directly to the mixture during its preparation (3% and 6%).
Keywords: calculation of characteristics, asphalt pavement, functions relaxation modulus of elasticity

Вступ

При проектуванні дорожнього одягу модуль пружності – є основним деформаційним показником матеріалів шарів одягу, який визначають при часу дії навантаження на зразок, що відповідає розрахунковій тривалості навантаження від транспортних засобів в умовах експлуатації дорожнього одягу.

Основна частина

Дорожні одяги на перегонах доріг розраховують на короткочасну багаторазову дію рухомих навантажень. Тривалість дії навантажень при сучасних швидкостях руху вантажних автомобілів приймають рівною 0,1 с, модуль пружності визначений при даному часу дії навантаження називають динамічним. В той же час, дорожній одяг на зупинках, перехрестях доріг, на підходах до пересічень із залізничними шляхами, тощо розраховують на багаторазову короткочасну дію навантаження, а також на тривале одноразове навантаження. При розрахунку одягу на тривалу дію навантаження використовуються значення модуля пружності матеріалів і ґрунтів, визначені при тривалості навантаження не менше 600 секунд, відповідно даний модуль пружності носить назву статичний.

В діючому стандарті [1] наведено розрахункові значення модуля пружності тільки для типу Б, а для типу А пропонується підвищити представлені значення на 20 %, для типу В – зменшити на ті ж самі значення на 20 %, відсутність даних про модуль пружності асфальтобетонів модифікованих полімерними в’яжучими, наприклад, на основі бітуму модифікованому полімерним латексом, а також із асфальтобетонних сумішей модифікованих цим полімером при його введенні безпосередньо в асфальтозмішувач під час приготування суміші стало метою даної роботи.

При проведенні експериментальних досліджень використовували асфальтобетони типу Г, Б-10, Б-20, ЩМА-10 та ЩМА-20 (далі – досліджувані асфальтобетони) на основі звичайного бітуму (БНД 60/90), бітумі

модифікованому полімерним латексом (2 %, 4 % і 6 %), а також при введенні полімерного латексу безпосередньо в суміш при її приготуванні (3 % та 6 %).

Визначення модуля пружності

Постійна, що зв'язує напруження та пружну відносну деформацію, називається модулем пружності (модулем Юнга) і є найважливішою деформаційною характеристикою пружних властивостей матеріалу. Із закону Р. Гука витікає, що модуль пружності – відношення поздовжнього нормального напруження σ_z до поздовжньої відносної пружної деформації $\varepsilon_z^{(e)}$, що викликана напруженням в умовах одноосьового напруженого стану:

$$E_e = \frac{\sigma_Z}{\varepsilon_Z^{(e)}}. \qquad . \qquad (1)$$

Модуль пружності E_e має розмірність напружень. Для ідеально пружного тіла E_e є одним із констант, що дає всю інформацію про деформаційні властивості тіла, необхідну для розрахунку напружень, переміщень та деформацій, що виникають в ньому при будь-якому навантаженні.

Вихідна залежність (1) використовується в теорії пружності та опорі матеріалів для вирішення різноманітних задач про напружено-деформований стан суцільного середовища.

Модуль пружності при температурі від 0 °С до 20 °С визначають за результатами випробувань короткочасно діючими навантаженнями зразків-балочок. Модуль пружності при підвищених температурах (30 °С – 40 °С) визначають за результатами випробувань циліндричних зразків.

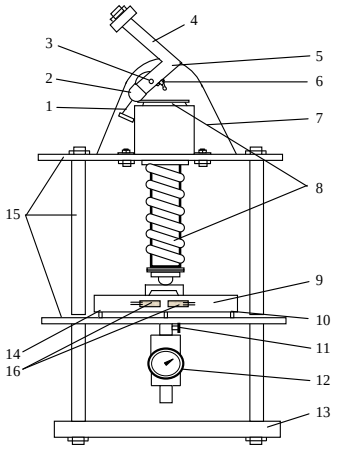
Визначення розрахункового модуля пружності на зразках-балочках за допомогою маятникового приладу

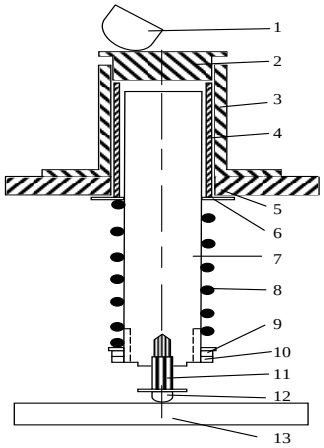
Для визначення модуля пружності використовували пристрій, що забезпечує можливість багаторазового прикладання навантаження тривалістю дії 0,001 с – 0,1 с, з паузами між навантаженнями, що не менше ніж у 10 разів перевищують тривалість дії навантаження.

Для проведення випробування використовували маятниковий прилад ДерждорНДІ [1]. Пристрій ДерждорНДІ представляє собою маятник у вигляді важеля, що жорстко закріплений на каркасі зі сталевих стрижнів та станини. До верхньої площадки каркаса прикріплено механізм навантаження, а на середній площадці каркаса розміщено рухому та нерухому опори під зразок-балочку, що випробовується.

Порядок проведення випробування зразків-балочок для визначення модуля пружності такий:

– зразки-балочки боковою гранню укладають на двох опорах, які знаходяться одна від одної на відстані 12 см (рис. 1). Одна з опор – рухома 10, у вигляді шарніра, зокрема, у вигляді шарніра – стійки. Частина опори, на яку опирається зразок-балочка, має циліндричну поверхню радіусом 5мм;





1 – сферична частина ексцентрика; 2 – головка; 3 – вісь; 4 – важіль; 5 – різьбовий валик; 6 – шайба; 7 – кронштейн; 8 – механізм навантаження; 9 – зразок-балочка; 10 – рухома опора; 11 – фіксатор;12 – індикатор годинникового типу; 13 – станина; 14 – нерухома опора; 15 – сталеві стержні; 16 – тензодатчики

Рисунок 1 – Маятниковий прилад при 4-х точковому випробуванні

Рисунок 2 – Механізм навантаження

– для зручності центрування, біля опор доцільно встановлювати фіксатори, що фіксують положення зразка, а подушку, що передає навантаження на зразок, зв’язували з опорною станиною за допомогою важеля та стійки. Навантаження повинне викликати напруження, рівне розрахунковому допустимому для найближчого аналога випробовуваного матеріалу. Воно може бути також прийняте рівним 0,2 – 0,3 від руйнівного навантаження, встановленого раніше випробуванням зразків на міцність;

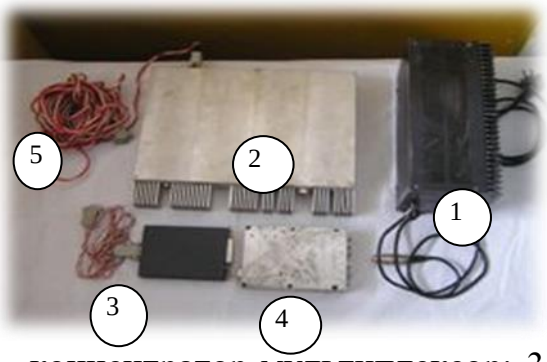
– підготовлений до випробування зразок-балочку навантажують. Рівень навантажень встановлюється таким, щоб на основі випробувань можна було побудувати залежність. Зразки балочки випробують на розтяг при 4-х точковому згині (рис. 1, 2);

– вертикальний прогин зразка вимірюють за допомогою індикатора

годинникового типу. Вимірювання деформацій з фіксацією сигналів індикатором годинникового типу допускається при часі дії навантаження 0,1 с;

– визначення прямої та зворотної деформації вимірюють за допомогою комплексу (рис. 3) з використанням тензодатчиків. Програмно-апаратний комплекс є комплектом апаратури, призначеної для одержання і попереднього опрацювання інформації, що надходить із датчиків при проведенні тензометричних вимірів;

– під час випробувань асфальтобетонних зразків для вимірювання параметрів (напруження в асфальтобетонних зразках і повзучості) використовувались спеціальні тензометричні датчики (рис 4). Особливістю роботи цих вимірювальних пристроїв є здатність перетворювати вимірюваний параметр в аналоговий сигнал, який потім опрацьовується і фіксується на комп'ютері. Елементи тарування тензодатчиків зображено на рис. 5. Похибка комплексу становить близько 5%.



1 – блок живлення; 2 – концентратор-мультиплексор; 3 – адаптер; 4 – модулі аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП); 5 – з'єднувальні кабелі

Рисунок 3 – Програмно-апаратний комплекс

Рисунок 4 – Асфальтобетонні зразки з тензодатчиками

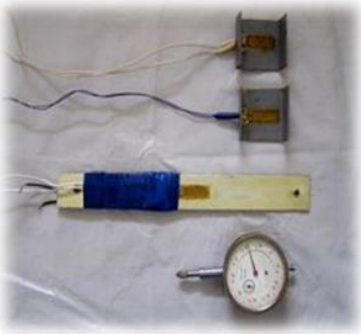


Рисунок 5 – Елементи тарування тензодатчиків

Обробка результатів випробування:

Користуючись ділянками лінійної залежності між зусиллями та деформаціями, обраховують значення динамічних модулів пружності E у МПа [2] для випробуваного матеріалу за залежністю:

$$E = k_w \frac{F \cdot l^3}{28{,}174 \cdot \overline{w} \cdot J}, \qquad (2)$$

де F – довільне значення навантаження;

l – проліт балки;

$\overline{w} = W_{пр.}$ – середнє значення динамічного та статичного прогину (повзучість), що відповідає значенню навантаження F на прямолінійній ділянці графічної залежності [3];

k_w – коефіцієнт форми зразка, який визначається за допомогою програми SCAD [3];

J – момент інерції поперечного перерізу зразка ($J = bh^3/12$, де h, b – відповідно висота і ширина зразка).

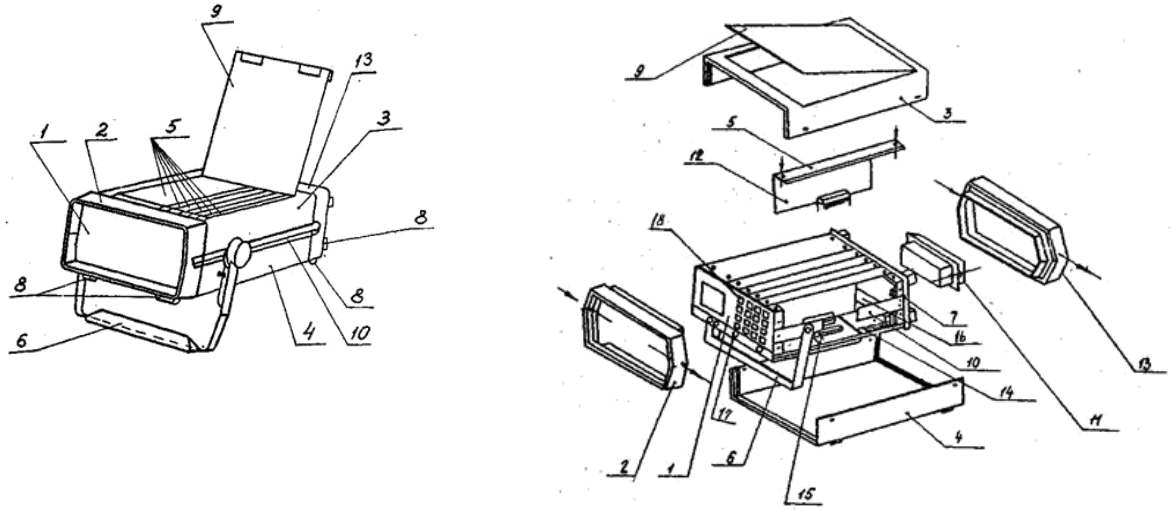
Оскільки матеріали, що містять органічне в'яжуче, мають в'язко-пружньопластичні властивості, то для проведення більш точних розрахунків недостатньо відомостей про модулі пружності цих матеріалів при розрахунковому часі дії навантаження.

Тому, при дослідженнях передбачено визначення функції релаксації на основі визначення модуля пружності як за різних температур так і при різному часі дії навантаження. Для визначення миттєвого значення модуля пружності використовували ультразвуковий імпульсивний прилад СП УК-10ПМС (рис. 6) [4].

Визначення розрахункового модуля пружності на зразках-балочках за допомогою ультразвукового приладу

Для визначення модуля пружності при будь-якій температурі перед випробуванням зразки витримують протягом 2 годин при заданій температурі, яку підтримують і в процесі випробування. Перед проведенням випробувань

прилад повинен не менше 5 хв. прогріватися. Потім, зразок-балочку боковою гранню укладають на опору приладу і визначають швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль V (м/с) в асфальтобетонному зразку, в залежності від частоти коливань ν ($с^{-1}$), яка визначає тривалість дії навантаження (с).



1 – передня і задня панелі; 2 та 13 – обрамлення; 3 – верхня кришка; 4 – опори; 5 – функціональний блок; 6 – ручка; 7 – задня панель; 8 – ніжки; 9 – кришка; 10 – бокові стяжки; 11 та 12 – плати; 14 – стяжки; 15 – перетворювач напруги; 16 – стабілізатор напруги; 17 – вхідне і вихідне рознімання; 18 – клавіатура

Рисунок 6 – Ультразвуковий імпульсивний прилад СП УК-10ПМС

Лабораторний модуль пружності при певній частоті коливання $E_л$, МПа, визначають за наступною залежністю:

$$E_л = \rho \cdot V^2 \cdot к_ф, \quad (3)$$

де ρ – середня щільність зразка, кг/м^3,

V – швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в асфальтобетоні, м/с;

$к_ф$ – коефіцієнт, що є функцією розмірів зразка (табл. 1).

Вид функції $к_ф$ визначається співвідношенням між довжиною хвилі λ і розмірами поперечного розрізу зразка в площині (b х h), перпендикулярній лінії прозвучування.

Величина λ в *см* встановлюється від співвідношення:

$$\lambda = T \cdot V \cdot 10^2, \quad (4)$$

де T – період хвилі, *с*;

μ – коефіцієнт Пуассона асфальтобетону, який залежить від температури і встановлюється згідно табл. 2.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнту $\kappa_ф$ від розмірів зразка

Співвідношення між λ і розмірами розрізу	$\kappa_ф$
$\lambda \le \frac{h}{2}$; $\lambda \le \frac{b}{2}$ – необмежене середовище	$\frac{(1+\mu)\cdot(1-2\mu)}{1-\mu}$
$\lambda \le \frac{h}{2}$; $\lambda \ge \frac{b}{2}$ – плита з товщиною b	$1-\mu^2$
$\lambda \ge \frac{h}{2}$; $\lambda \ge \frac{b}{2}$ – стержень	1

$$T = \frac{1}{\nu}, \tag{5}$$

де ν – частота періодичних коливань c^{-1}, яка задається перед випробування.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнту Пуассона в залежності від температури асфальтобетону

Коефіцієнт Пуассона	Температура, °С				
	0	+10	+20	+30	+40
μ	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35

Результати визначення модуля пружності

У роботі, під час проведення випробувань досліджуваних асфальтобетонів за допомогою маятникового приладу (рис. 1, 2) визначали пружні прогини при часу дії навантаження: t = (0,1 – 0,001) с – динамічний прогин (рис. 7), а при t = (1 – 1000) с – статичний прогин (рис. 8).

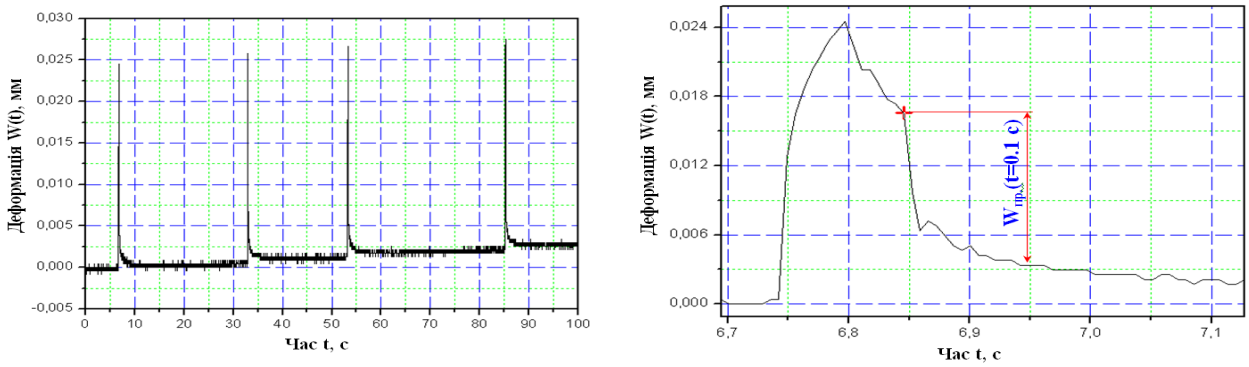


Рисунок 7 – Типові осцилограми записані при дослідженні на динамічну повзучість ЩМА-20 (2% полімеру в БМП) при температурі 0°С

На основі отриманих результатів визначали значення модуля пружності за залежністю 3. За допомогою ультразвукового приладу (рис. 6) значення

модулів пружності досліджуваних асфальтобетонів при часу дії навантаження (10^{-4} та 10^{-6} с), які визначали за залежністю 4.

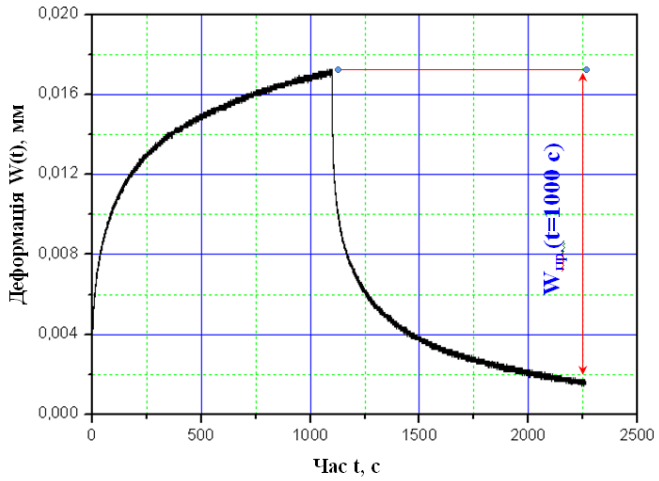


Рисунок 8 – Типова осцилограма записана при дослідженні на статичну повзучість ЩМА-20 (2% полімеру в БМП) при температурі 0°С

Випробування зразків-балочок на маятниковому та ультразвуковому приладах проводились при температурі +20 °С та при 0 °С. При проведенні досліджень випробовувалось не менше семи зразків-балочок. Значення отримували обчислюючи середньоарифметичне значення. Розбіжність між паралельними випробуваннями не перевищувала 9 %.

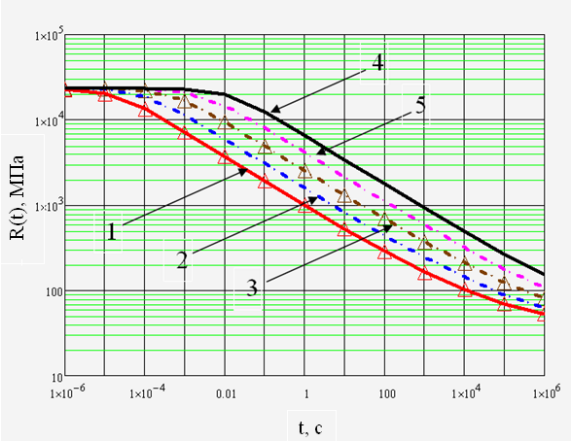
На основі отриманих експериментальних даних по функції повзучості та модулях пружності для досліджуваних асфальтобетонів побудовані розрахункові криві функції релаксації по виразу $R(t)=1/П(t)$. Для прикладу, наводимо криві функції релаксації для ЩМА-10 (рис. 9 – 11).

Зіставлення значень функції релаксації, знайденої перерахунком з випробувань на повзучість, із значеннями, що отримані при безпосередньому випробуванні на релаксацію, свідчить про задовільну збіжність результатів – максимальне відхилення між кривими (рис. 9) не перевищує 14 %, що знаходиться в межах експериментального розкиду.

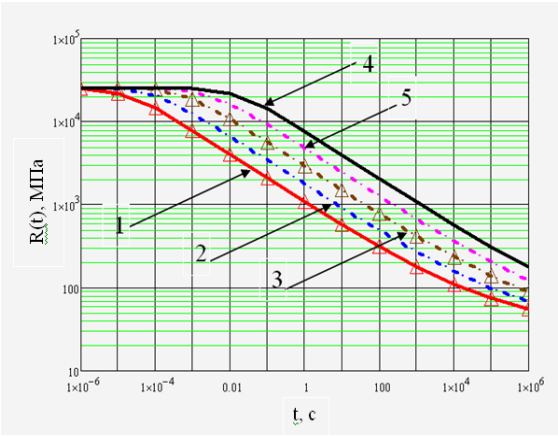
Окрім того, звертає на себе увагу і той факт, що експериментальна крива функції релаксації розташована в межах розрахункової кривої $R(t)$, що безпосередньо узгоджується з теоретичними припущеннями [1, 3-6].

На основі одержаних результатів лабораторних досліджень модуля пружності та пружних прогинів досліджуваних асфальтобетонів при різному часі дії навантаження, та побудованих розрахункових кривих функції релаксації

по виразу *R(t)=1/П(t)*, використовуючи принцип тепературно-часової аналогії [1, 3-6] (далі – ТЧА) побудовано криві функції релаксації при температурах +10 °С, -10 °С та -20 °С.



а)



б)

а) ЩМА-10 (чистий бітум), б) ЩМА-10 (2 % полімеру в БМП): Δ – експериментальні точки; - точки, отримані методом температурно-часового зміщення; криві функції релаксації при температурі: 1 – при +20 °С; 2 – при +10 °С; 3 – при 0 °С; 4 – при -20 °С; 5 – при -10 °С

Рисунок 9 – Криві функції релаксації

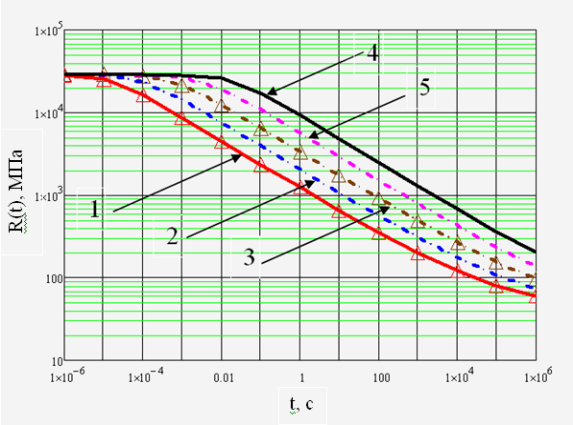


Рисунок 10 – Криві функції релаксації, ЩМА-10 (4 % полімеру в БМП)

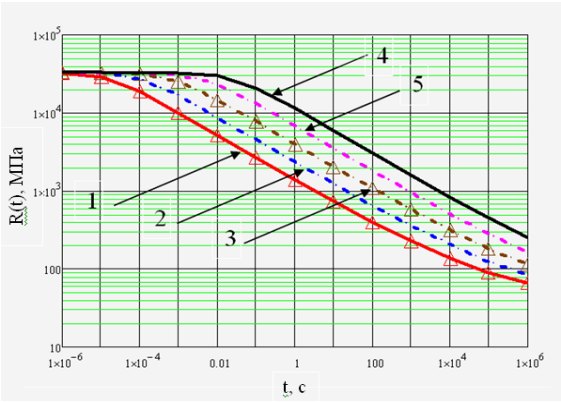


Рисунок 11 – Криві функції релаксації, ЩМА-10 (6 % полімеру в БМП)

Результатом побудови кривих R(t) при температурах +20 °С, +10 °С, 0 °С, -10 °С та -20 °С є одержання параметрів функції релаксації досліджуваних асфальтобетонів (табл. 3).

Для визначення функції релаксації можна використовувати формулу у вигляді модифікованого степеневого закону, яка дає достатньо точні результати обчислень:

$$R(t) = E_{дг} + \left(E_{мт} - E_{дг}\right)\cdot\left(1 + t/\eta\right)^{-\lambda}, \qquad (6)$$

де λ і η– постійні, що визначаються в результаті експерименту; $E_{дг}$ і $E_{мт}$ – відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття.

Таблиця 3 – Параметри функції релаксації

Шифр асфальтобетону	Параметри функції α_T		Параметри функції релаксації			
	Q, °С	p, град$^{-1}$	$E_{мт}$, МПа	$E_{дг}$, МПа	η, с	λ
Г-7,5%	20	0,205	31 270	46	1,43x10^{-5}	0,304
Г-8,0% - 60/90+2%	20	0,218	31 450	52	1,43x10^{-5}	0,29
Г-8,0% - 60/90+4%	20	0,225	31 870	55	1,43x10^{-5}	0,284
Г-8,0% - 60/90+6%	20	0,250	32 870	58	1,43x10^{-5}	0,283
Г-7,7% - 60/90+3% сум.	20	0,220	31 580	54	1,43x10^{-5}	0,285
Г-7,7% - 60/90+6% сум.	20	0,240	32 120	57	1,43x10^{-5}	0,284
Б-10-6,0%	20	0,205	30 997	44	1,43x10^{-5}	0,307
Б-10-6,2% - 60/90 +2%	20	0,212	31 150	51	1,43x10^{-5}	0,295
Б-10-6,2% - 60/90 +4%	20	0,220	31 520	54	1,43x10^{-5}	0,286
Б-10-6,2% - 60/90 +6%	20	0,240	32 730	57	1,43x10^{-5}	0,284
Б-10-6,1% - 60/90 +3% сум.	20	0,218	31 240	53	1,43x10^{-5}	0,288
Б-10-6,1% - 60/90 +6% сум.	20	0,240	32 200	55	1,43x10^{-5}	0,290
Б-20-6,0%	20	0,200	30 000	42	1,38 x10^{-5}	0,310
Б-20-6,3% - 60/90 +2%	20	0,210	30 580	50	1,33 x10^{-5}	0,300
Б-20-6,3% - 60/90 +4%	20	0,216	31 150	52	1,23 x10^{-5}	0,290
Б-20-6,3% - 60/90 +6%	20	0,235	31 730	56	1,33 x10^{-5}	0,287
Б-20-6,2% - 60/90 +3% сум.	20	0,215	31 020	51	1,28 x10^{-5}	0,295
Б-20-6,2% - 60/90 +6% сум.	20	0,230	31 200	54	1,23 x10^{-5}	0,285
ЩМА-10-6,5%	20	0,166	23 400	35	1,68 x10^{-5}	0,290
ЩМА-10-6,8% - 60/90 +2%	20	0,171	25 697	36	1,68 x10^{-5}	0,290
ЩМА-10-6,8% - 60/90 +4%	20	0,177	28 964	37	1,68 x10^{-5}	0,290
ЩМА-10-6,8% - 60/90 +6%	20	0,184	32 965	42	1,68 x10^{-5}	0,290
ЩМА-10-6,7% - 60/90 +3% сум.	20	0,174	26 790	36	1,68 x10^{-5}	0,290
ЩМА-10-6,7% - 60/90 +6% сум.	20	0,181	30 185	40	1,68 x10^{-5}	0,290
ЩМА-20-6,0%	20	0,160	22 800	32	1,54 x10^{-5}	0,310
ЩМА-20-6,2% - 60/90 +2%	20	0,165	24 790	33	1,54 x10^{-5}	0,310
ЩМА-20-6,2% - 60/90 +4%	20	0,169	27 970	34	1,54 x10^{-5}	0,310

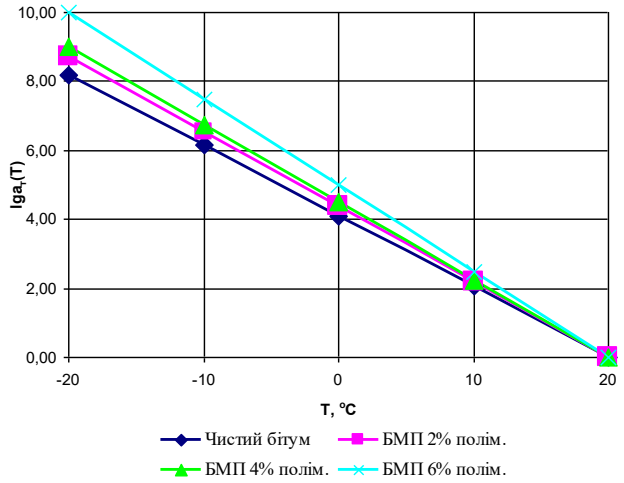
Кінець табл.3

1	2	3	4	5	6	7
ЩМА-20-6,2% - 60/90 +6%	20	0,175	31 965	39	1,54 x10^{-5}	0,310
ЩМА-20-6,1% - 60/90 +3% сум.	20	0,167	25 940	33	1,54 x10^{-5}	0,310
ЩМА-20-6,1% - 60/90 +6% сум.	20	0,172	29 530	37	1,54 x10^{-5}	0,310

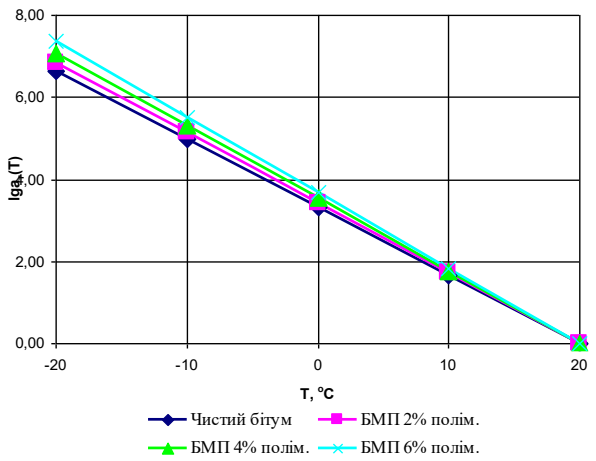
З таблиці 3 видно, що для всіх досліджуваних асфальтобетонів при введенні та збільшенні кількості полімеру спостерігається зміна параметру р (град-1) функції αТ.

Враховуючи цей факт, для прикладу, будуємо графіки залежності функції температурно-часового зміщення *aT(T)* для асфальтобетону типу Г (рис. 12-а), ЩМА-10 (рис. 12-б) та ЩМА-20 (рис. 13) в залежності від кількості полімеру в БМП та температури. Температура приведення становить Q = 20 °С.

З отриманих значень *R(t)* при різних температурах видно, що чим менший параметр *p*, тим в меншій степені змінюються в'язко-пружні властивості матеріалу зі зміною температури. В такому випадку його температурна чутливість є меншою, повільніше збільшується жорсткість із зменшенням температури, і як наслідок, інтенсивність збільшення температурних напружень буде меншою. Все це є збіжним із отриманими результатами в роботах [1, 3-5].



а)



б)

Рисунок 12 – Залежність функції температурно-часового зміщення $a_T(T)$ асфальтобетону типу Г (а) та ЩМА-10 (б) в залежності від кількості полімеру в БМП та температури

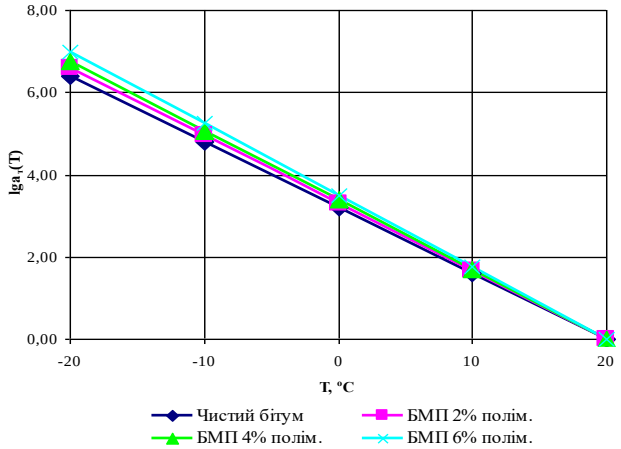


Рисунок 13 – Залежність функції температурно-часового зміщення $a_T(T)$ ЩМА-20 в залежності від кількості полімеру в БМП та температури

Отримані результати досліджень також дозволяють оцінити зміну кривої функції релаксації *R(t)* досліджуваних асфальтобетонів в залежності від кількості полімеру. Для прикладу, на рис. 14 та рис. 15 показана зміна функції релаксації *R(t)* для асфальтобетону типу Б-20 при температурі +20 °С в залежності від кількості полімеру в БМП (рис. 14) та від кількості полімеру введеної в суміш під час її приготування (рис. 15).

Таким чином, аналізуючи наведене вище, співставимо отримані в роботі результати залежності функції температурно-часового зміщення $a_T(T)$ асфальтобетону від температури. Так як відповідно до таблиці 3 параметри функції релаксації асфальтобетону типу Г є вищими, в порівнянні з іншими досліджуваними асфальтобетонами, співставимо залежність його функції температурно-часового зміщення $a_T(T)$ від температури з результатами досліджень, які було отримано іншими дослідниками (рис. 16).

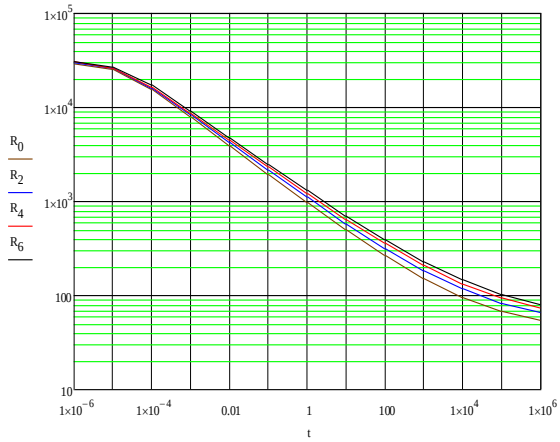


Рисунок 14 – Зміна кривої функції релаксації *R(t)* асфальтобетону типу Б-20 при температурі +20 °С в залежності від кількості полімеру в БМП

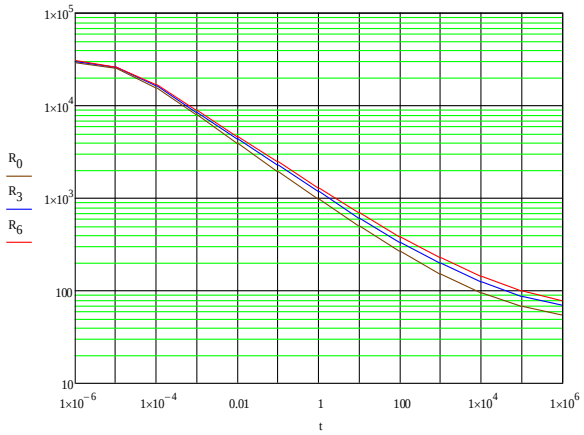


Рисунок 15 – Зміна кривої функції релаксації *R(t)* асфальтобетону типу Б-20 при температурі +20 °С в залежності від кількості полімеру введеної в асфальтобетонну суміш при її виготовленні

Із наведеної залежності та співставлення видно, що отримані в роботі результати є збіжними із результатами таких дослідників як Г. Добсон, В.А. Золотарьов, М. Маям, В.В. Мозговий та Т. Сугаварі, а також із роботою [4].

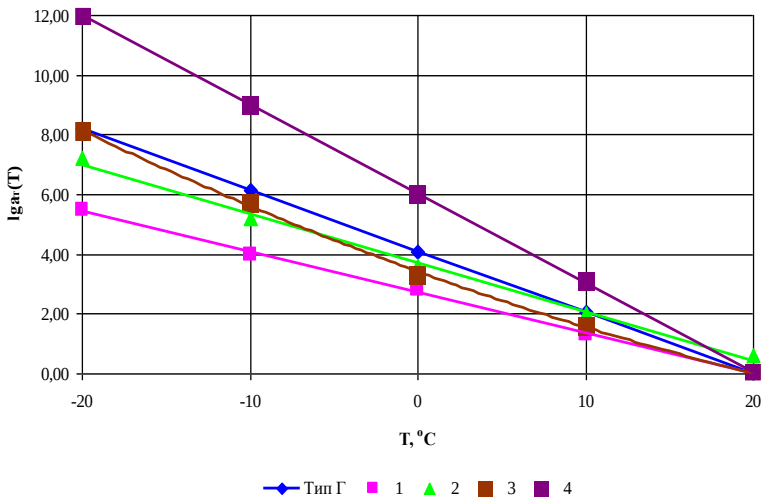


Рисунок 16 – Залежність функції температурно-часового зміщення $a_T(T)$ асфальтобетону типу Г при температурі +20 °С за різними даними: 1 – за даними В.А. Золотарьова [6]; 2 – за даними Г. Добсона [7]; 3 – за даними М. Маяма та Т. Сугаварі [8]; 4 – за даними В.В. Мозгового [5]

Висновок

Отримані залежності дозволяють проектувати асфальтобетонне покриття з підвищеною довговічністю при врахуванні різного часу дії навантаження. Отримані значення функції релаксації асфальтобетону від різного часу дії навантаження показали, що чим менший параметр вертикального тиску на покриття, тим в меншій степені змінюються в'язко-пружні властивості матеріалу зі зміною температури. В такому випадку його температурна чутливість є меншою, повільніше збільшується жорсткість із зменшенням температури, і як наслідок, інтенсивність збільшення температурних напружень буде меншою. Було встановлено, що значення короткочасного модуля пружності ЩМА-10 при використанні чистого бітуму і модифікованого 4 % полімеру складає відповідно 23 000 і 28 964 (при температурі + 20 °С), отже використання бітумів модифікованих полімером призводить до збільшення короткочасного модуля пружності (в даному випадку на 20 %), внаслідок чого збільшуються розрахункові значення функції релаксації. В роботі уточнено розрахункові значення модуля пружності, встановлено параметри функції релаксації та температурно-часового зміщення асфальтобетону.

Література

1. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3–218–186–2004 / Укравтодор. – [Чинний від 2005–01–01]. – К.: Укравтодор, 2005. – 176 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
2. Мозговий В.В. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В.В., Піскунов В.Г., Онищенко А.М., Прудкий О.В. та ін. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка – 2009. – Вип.33. – С.137-142.
3. Методи визначення розрахункових модулів пружності : СОУ 45.2–00018112–059:2010 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 20 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
4. Онищенко А.М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Онищенко Артур Миколайович. – К., 2008. – 157 с.
5. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий : дис... докт. техн. наук : 05.22.11 / Мозговой Владимир Васильевич. – К., 1996 – 406 с.
6. Золотарев В.А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств : дис... докт. техн. наук. : 05.23.05 / Золотарев Виктор Александрович. – Х., 1982. – 575 с.
7. Dobson G. R. The viskoelastic properties of asphaltic mixes / Dobson G. R. // Inst. Petroll. (Techn. Pap.). – 1976. – N 4. – 25 p.
8. Mayama M. Mechanical Properties of Verious Paving Mixtures. Part 1. Stress Relaxation of Mixtures / Mayama M., Sugawara T. // J.Japan Petrol. Inst. – 1978. – 21, № 5. – P. 330–351.

Рецензенти

Золотарьов В.О., д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers

Zolotarev V.O., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

Nahaichuk V.M., Ph.D., DerzhdorNDI (Kyiv)

Закревський А.І., д-р техн. наук, **Попелиш І.І.,** канд. техн. наук,
Корітчук С.О.

МЕТОДИ Й ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Правильне прогнозування злітно-посадкової дистанції, здійснюване екіпажем повітряного судна на основі інформації про зчіпні якості поверхні покриття злітно-посадкової смуги (ЗПС), яке в цей час оцінюється по величині коефіцієнта зчеплення, є однією з головних умов забезпечення безпеки при зльоті або посадці повітряного судна. Розглянуті різні методи й засоби вимірювання коефіцієнта зчеплення, конструктивні особливості вимірювальних засобів, відзначені їхні достоїнства і недоліки.
Ключові слова. безпека польотів, зчіпні якості, коефіцієнт зчеплення, методи вимірювання, засоби вимірювання, деселерометр, гальмівний візок.

Аннотация. Правильное прогнозирование взлетно-посадочной дистанции, осуществляемое экипажем воздушного судна на основе информации о сцепных качествах поверхности покрытия взлетно-посадочной полосы (ВПП), которое в настоящее время оценивается по величине коэффициента сцепления, является одним из главных условий обеспечения безопасности при взлете или посадке воздушного судна. Рассмотрены различные методы и средства измерения коэффициента сцепления, конструктивные особенности измерительных средств, отмечены их достоинства и недостатки.
Ключевые слова. безопасность полетов, сцепные качества, коэффициент сцепления, методы измерения, средства измерения, деселерометр, тормозная тележка.

Annotation. The Correct forecasting to run distance, realized by crew air ship on base of information on coupling quality of the surfaces of the covering the runway (VPP), which is at present valued in size factor of the traction, is one of the main of the conditions of the provision to safety under takeoff or boarding air ship. They Are

Considered different methods and facility of the measurement of the factor of the traction, constructive particularities of the measuring facilities, noted their value and defect.
Keywords. safety flight, coupling quality, factor of the traction, methods of the measurement, facility of the measurement, deselerometr, brake pushcart.

Вступ

Правильне прогнозування злітно-посадкової дистанції, яке здійснюється екіпажем повітряного судна (ПС) на основі інформації про стан поверхні аеродромного покриття, що оцінюється по величині коефіцієнта зчеплення пневматичного колеса з поверхнею злітно-посадкової смуги (ЗПС), є однією з головних умов убезпечення зльотів і посадок ПС. Як відомо, під коефіцієнтом зчеплення розуміють відношення поздовжньої сили опору руху ПС до нормальної сили реакції покриття, які діють на загальмоване колесо в зоні його контакту з поверхнею покриття.

Основна частина

У наш час зчіпні властивості аеродромних покриттів оцінюються наступними методами:

- визначення від’ємного прискорення автомобіля при гальмуванні;
- визначення абсолютного значення коефіцієнта зчеплення пневматичних коліс із поверхнею покриття.

Метод оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів, який базується на вимірюванні від’ємного прискорення автомобіля при гальмуванні, що рухається із заданою швидкістю, знаходить застосування у ряді країн - членів ICAO. Вимірювання від’ємного прискорення при гальмуванні автомобіля проводиться за допомогою малогабаритних переносних приладів маятникового типу – деселерометрів, які відносяться до засобів дискретного вимірювання коефіцієнта зчеплення.

Для одержання в ході вимірювань достовірних даних автомобілі (легкові, вантажні, вантажопасажирські), на яких встановлюються деселерометри, повинні відповідати певним вимогам. Вони повинні мати звичайні серійні шини з невеликим (не більше 75%) рівномірним зносом протектора та тиском повітря в них згідно з технічним паспортом. Гальмівна система автомобіля повинна забезпечувати одночасне рівномірне гальмування всіх коліс.

Деселерометр повинен установлюватись на автомобілях згідно з інструкцією виробника. Корпус деселерометра не повинен зміщуватись в будь-яку сторону в процесі руху автомобіля. Технічне і метрологічне обслуговування (калібровка) деселерометрів повинні проводитись згідно з інструкцією по експлуатації.

На сьогоднішній день аеродромними службами аеропортів різних країн застосовуються такі типи деселерометрів: гальмівний деселерометр Джеймса, брейкметр-динометр, тапліметр, деселерометр 1155М, деселерограф С-1-7.

Гальмівний деселерометр Джеймса складається з амортизуємого повітрям маятника, який з'єднано зі стрілкою, що показує від'ємне прискорення автомобіля при гальмуванні. Шкала деселерометра має градуювання з поділками (гальмівними індексами Джеймса) від 0 до 10 м/с, верхня межа якого рівна теоретичній максимальній здатності гальмування автомобіля на сухій, чистій поверхні покриття. Для оцінки зчіпних властивостей покриттів гальмівний деселерометр Джеймса встановлюється на підлозі кабіни автомобіля й нівелюється (за рівнем). Вимірювання проводяться, як і іншими марками деселерометрів, на відстані 3-10 м від осі ЗПС, за методикою, рекомендованою ICAO. Автомобіль розганяється до необхідної швидкості, а потім гальмується протягом 1с до повного блокування всіх чотирьох коліс. При гальмуванні деселерометр, що має низький центр ваги, залишається нерухомим, а його маятник відхиляється разом з фіксуючою стрілкою в напрямку руху. Показання на шкалі зчитуються, після чого фіксуюча стрілка повертається на нульову поділку.

Брейкметр-динометр являє собою точно збалансований маятник, який за допомогою зубчатої секторної передачі обертає стрілку кругової шкали. Кругова шкала градується у відсотках. Для зменшення впливу вібрацій, прилад заповнений нечутливою до змін температури рідиною. Він встановлюється на спеціальну підставку, закріплену на полу автомобіля. Вимірювання проводяться згідно з інструкцією по експлуатації.

Тапліметр (ТАР) складається з демпфуємого маслом маятника, поміщеного в герметичний кожух. Маятник з індикатором за допомогою магнітних сил пов'язаний з легким передавальним механізмом, до якого прикріплена кругла шкала, яка відградуйована у відсотках від'ємного прискорення автомобіля при гальмуванні. Спеціальний механізм фіксує індикатор у положенні максимального відхилення маятника. Показання шкали

зчитуються через отвори у верхній площині. Увесь тапліметр змонтований на литій платформі за допомогою вилочної конструкції. Прилад встановлюється в автомобілі на стійкій горизонтальній поверхні (на дні кабіни біля основи сидіння), що виключає його зсув під час вимірів.

Деселерометр 1155М являє собою переносний малогабаритний прилад, що закріплюється за допомогою присосів на лобовому склі автомобіля так, щоб вісь маятника розташовувалася горизонтально, а площина коливання маятника була в площині руху автомобіля. За допомогою гвинтів фіксації деселерометр установлюється в положення, при якому вертикальна осьова площина маятника проходить через контрольну риску, нанесену на прозору частину стінки корпуса. Детальна методика вимірювання коефіцієнта зчеплення приведена в технічному паспорті приладу.

Деселерограф С-1-7 відноситься до найбільш досконалих типів деселерометрів. Його конструктивна особливість полягає в тому, що він має механізм годинникового типу, що обертає диск із папером, на який проводиться запис вимірюваних значень від'ємного прискорення автомобіля при гальмуванні. Документальна реєстрація результатів виміру (на стрічці) - основна перевага деселерографа С-1-7.

На сьогоднішній день в аеропортах деяких країн використовуються більш сучасні електронні деселерометри, принцип дії яких аналогічний механічним деселерометрам. Вони дозволяють одержувати документальну реєстрацію результатів вимірювання.

Метод оцінки умов гальмування на ЗПС шляхом визначення деселерометром від'ємних прискорень при гальмуванні автомобіля має такі недоліки, як невисока точність і достовірність одержуваних результатів. Це пояснюється недостатньою точністю самих приладів, а також залежністю результатів вимірювань від технічного стану автомобіля (регулювання гальмівної системи, ступінь зношування протекторів, тиск повітря в шинах), інтенсивності натискання водієм на гальмівну педаль. За допомогою деселерометрів одержують дискретні (точкові) значення коефіцієнта зчеплення, а не безперервні, як рекомендує ICAO. Деселерометри рекомендовано використовувати, здебільшого, на покриттях, які знаходяться під ущільненим снігом або льодом, та не рекомендовано на мокрих і покритих пухким чи сухим снігом, сльотою покриттях. У зв'язку з цим деселерометри застосовуються

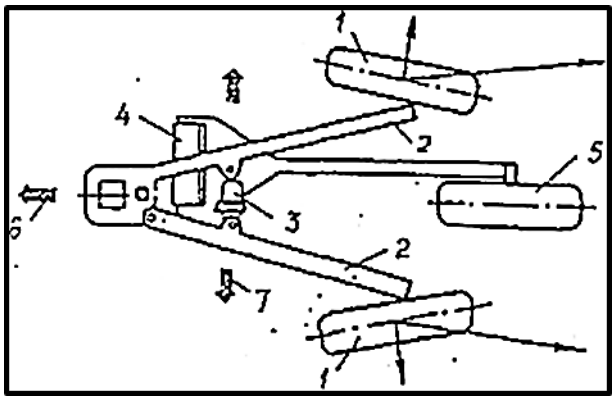
тільки при відсутності більш досконалих технічних засобів оцінки умов гальмування на ЗПС.

Метод оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів за допомогою визначення абсолютного значення коефіцієнта зчеплення коліс літака з поверхнею покриття, є найпоширенішим у світовій практиці експлуатації аеродромів. Метод заснований на вимірюванні поздовжнього тягового зусилля в зоні контакту колеса, що гальмується, з покриттям, при відомому значенні вертикального навантаження на колесо й заданому відсотку його проковзування. Цих даних досить для встановлення фактичного значення коефіцієнта зчеплення.

Існуючі різні пристрої для виміру коефіцієнта зчеплення діляться по режиму гальмування вимірювального колеса на два типи. До першого з них відносяться пристрої для вимірювання поздовжнього тягового зусилля при 100% - ному проковзуванні колеса (тобто при юзі), до другого – пристрої для виміру поздовжнього тягового зусилля при проковзуванні колеса в межах від 10 до 20%. Пристрої першого типу широко застосовуються для оцінки умов гальмування на автомобільних дорогах. Вони виконані у вигляді автомобільних причепів і призначені для вимірювання тільки коефіцієнта зчеплення-ковзання. Оскільки одержувані з їхньою допомогою коефіцієнти зчеплення нижче граничних (максимально можливих) значень, то пристрої першого типу не застосовуються для оцінки умов гальмування на ЗПС. Пристрої другого типу є найбільш досконалими з існуючих засобів оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів, тому що дозволяють проводити вимірювання в умовах, близьких по характеру взаємодії коліс із покриттям до умов руху літака по ЗПС при гальмуванні. Залежно від принципу дії пристрої другого типу призначені для вимірювання коефіцієнта бічного зчеплення або ж коефіцієнта поздовжнього зчеплення. Для вимірювання коефіцієнта бічного зчеплення коліс літака з поверхнею ЗПС використовується мю-метр (Англія).

Мю- метр (рис.1) являє собою триколісний причіп (масою 245 кг) до легкового автомобіля. У транспортному положенні бічні (вимірювальні) колеса, що мають гладкі пневматики, розташовані паралельно, а заднє колесо підняте. Перед початком вимірювань бічні колеса встановлюються в розбіжне положення (під кутом 15^0 до напрямку руху), заднє колесо опускається. Під час вимірювання коефіцієнта зчеплення бічні колеса прагнуть роз'їхатися й

стримуються силовим вимірювальним датчиком, показання якого передаються на реєструючий пристрій, який встановлений на рамі мю-метра.



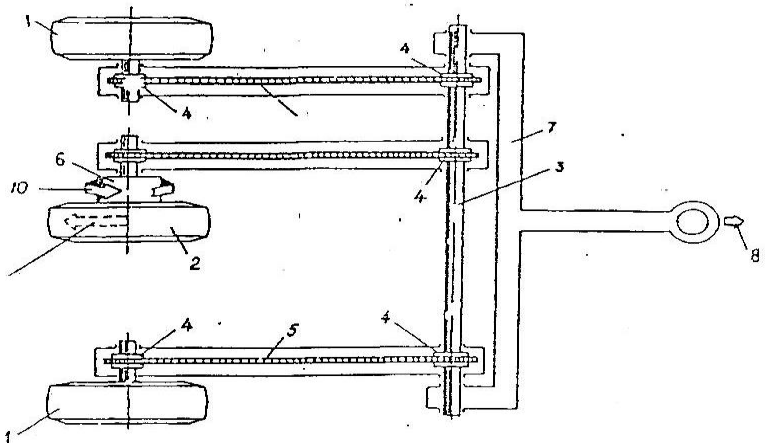
1 - вимірювальні колеса; 2 - кронштейни вимірювальних коліс; 3 - силовий гідравлічний датчик; 4 - реєструючий пристрій; 5 - колесо для приведення в рух стрічкопротягувального механізму реєструючого пристрою; 6 - сила тяги автомобіля; 7 - результуюча сила на вимірювальному датчику

Рисунок 1 - Мю-метр і його принципова конструктивна схема

Номінальна робоча швидкість мю-метра при вимірюванні коефіцієнта бічного зчеплення приймається рівною 65 км/год. У практиці експлуатації аеродромів вимірювані мю-метром значення коефіцієнта бічного зчеплення найчастіше приймають за коефіцієнт поздовжнього зчеплення, що не зовсім вірно, тому що коефіцієнти бічного й поздовжнього зчеплення коліс із покриттями суттєво різняться по величині. У зв'язку із цим мю-метр можна використовувати тільки для оцінки якісного стану поверхні покриття, а не для вимірювання кількісних значень коефіцієнта зчеплення.

В аеропортах всього світу аеродромні служби використовують вимірювачі коефіцієнта зчеплення, які найбільш повно відповідають вимогам ICAO до засобів оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів (безперервне вимірювання поздовжнього коефіцієнта зчеплення з відносним проковзуванням коліс 15±2% на швидкості 50-65 км/год.). До них відносяться такі технічні засоби: скидометр BV-11, різні модифікації вимірювальних засобів скандинавської (Швеція) компанії ASFT (раніше SFT), ATT-2, ATT-2M, AT-ЭM, ИКС-1.

Скидометр BV – 11 (рис. 2) являє собою автомобільний причіп масою 360 кг. Він має три колеса однакового діаметра, встановлених на одній осі й з'єднаних з рамою причепа незалежною системою підвіски й амортизації. Бічні колеса причепа є ведучими, середнє - вимірювальним. За допомогою ланцюгових передач усі колеса пов'язані з розміщеним у передній частині рами жорстким валом. Зірочки ведучих коліс жорстко з'єднані з їхніми ступицями, а зірочка вимірювального колеса - через спеціальний вимірювальний пристрій з аксіальним датчиком. При пересуванні скидометра, внаслідок різної кількості зубів на зірочках вимірювального й ведучих коліс, на ступиці вимірювального колеса виникає гальмівний момент і його рух відбувається із проковзуванням, що складає приблизно 15-17%. Дані про гальмівне зусилля, що діє на аксіальний датчик вимірювального пристрою, передаються на пульт реєстрації, встановлений у кабіні легкового автомобіля-буксирувальника. Пристрій пульта реєстрації дозволяє вести безперервний запис на паперовій стрічці реєструю чого пристрою поточних дискретних і середніх по ділянках ЗПС значень коефіцієнта зчеплення. Буксирування скидометра BV-11 при вимірюванні коефіцієнта зчеплення здійснюється зі швидкістю 65 км/год. При необхідності вимірювання можуть проводитися на швидкості до 150 км/год.



1 - опорні колеса; 2 - вимірювальне колесо; 3 - жорсткий вал; 4 - зірочки; 5 - ланцюгові передачі; 6 - аксіальний датчик гальмівного крутного моменту; 7 - рама причепа; 8 - сила тяги автомобіля; 9 - поздовжня сила зчеплення; 10 - гальмівний крутний момент

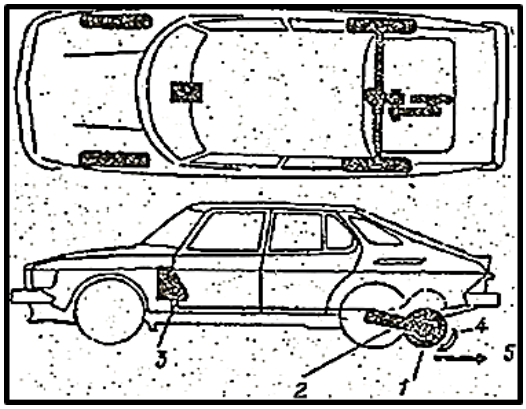
Рисунок 2 - Принципова конструктивна схема скидометра BV-11

Рисунок 3 - Причіп скидометра BV-11 і обчислювач MI -90 для причіпного скидометра BV-11

Принцип вимірювання коефіцієнта зчеплення, який використовується у скидометрі BV-11 закладений і у вимірювальних засобах компанії ASFT. Вони виготовляються двох типів-у вигляді навісного обладнання до автомобіля і у вигляді автономного причепа.

Робочим органом вимірювального пристрою легкового автомобіля ASFT (Airport Surface Friktion Tester), обладнаного комп’ютерною системою, є п'яте колесо, яке розташоване під багажником автомобіля, підняте в транспортному положенні й опущене на поверхню покриття при вимірюванні коефіцієнта зчеплення. Шасі автомобіля має ведучий передній міст, а задні колеса обертаються вільно. Вимірювальне колесо з'єднане ланцюговою передачею із задніми колесами автомобіля. При вимірюванні коефіцієнта зчеплення вимірювальне колесо рухається із проковзуванням, рівним 13%, яке обумовлено різними діаметрами вимірювального й задніх коліс автомобіля. Вимірювальний пристрій ASFT обладнано датчиками, що забезпечують вимір крутного моменту, вертикального навантаження на колесо й поздовжньої сили гальмування. Інформація про сили, що діють на вимірювальне колесо, і пройдену відстань надходить у цифровий обчислювальний пристрій, який розташований на передній панелі автомобіля. Ця інформація обробляється, записується графічно на стрічці реєструючого пристрою, друкується у вигляді поточних, середніх по ділянках ЗПС і по всій ЗПС значень коефіцієнта зчеплення. Для визначення швидкості початку глісирування коліс, що реєструється на пульті цифрового обчислювального пристрою, ASFT додатково обладнано системою подачі води (шаром 0,5-1,0 мм) під

вимірювальне колесо. Швидкісні якості автомобіля ASFT дозволяють проводити оцінку зчіпних властивостей аеродромних покриттів на швидкостях до 160 км/год, що близько до умов руху коліс літака по ЗПС при гальмуванні.



1 - вимірювальне колесо; 2 - ланцюгова передача; 3 - цифровий обчислювальний пристрій; 4 - гальмовий крутний момент; 5 - поздовжня сила зчеплення

Рисунок 4 - Автомобіль ASFT з навісним обладнанням і його принципова конструктивна схема

ASFT T-5 – причіпний візок для безперервного вимірювання коефіцієнта зчеплення, що використовується на всіх типах покриттів ЗПС. Має оцинковану металеву раму і пластиковий корпус для запобігання корозії у зв’язку з використанням хімреагентів на ЗПС.

Всі дані про проведені вимірювання виводяться на дисплей комп’ютерного моноблока, який знаходиться в автомобілі в зручному для експлуатанта місці. Вимірювач не потребує будь якого дротового з’єднання, так як передача даних здійснюється за допомогою Bluetooth.

Унікальність системи полягає в тому, що вимірювальне колесо не прикріплене до кузова чи шасі. Воно з’єднане тільки з віссю причепа за допомогою пружин, що дозволяє уникнути впливу на колесо коливань причепа, до якого воно прикріплене.

ASFT T-10 являє собою модифіковану версію обладнання компанії ASFT. Причіпний візок має відносно невелику масу, тому для забезпечення потрібного навантаження на вимірювальне колесо в причіп додаються спеціально підібрані додаткові вантажі, які забезпечують його гарну стійкість і маневреність, а також надійність результатів виміру. Комп'ютерна система T-

10 складається з вимірювального процесора й головного комп'ютера із принтером і панеллю оператора. Комп'ютер запрограмований для проведення вимірів і надання даних відповідно до міжнародних норм і стандартів. Вимірювальний процесор одержує аналогові сигнали датчиків і генератора імпульсів (для виміру швидкості), перетворює їх у цифрові сигнали й передає на головний комп'ютер. Коли вимірювальне колесо ковзає по поверхні ЗПС, сила тертя створює крутний момент, який передається на ланцюгову систему трансмісії і потім вимірюється датчиком навантаження. Датчик навантаження відслідковує наявність тиску, створюваного гідравлічною системою (вектор спрямований вертикально вниз), і призначений стежити за тим, щоб під час вимірів зберігався тиск, необхідний для забезпечення абсолютного контакту вимірювального колеса з поверхнею покриття. Система Т-10 забезпечує постійний тиск у механізмі опускання й прибирання вимірювального колеса, а також створює вертикальне навантаження на вимірювальне колесо. На вимірювальному колесі встановлені спеціальні шини високого тиску для вимірювання поверхневого тертя, які мають практично такі ж характеристики при гальмуванні, що й пневматики коліс літакових шасі. При калібруванні системи можуть бути використані шини низького тиску. Коефіцієнт ковзання вимірювального колеса приблизно 12%, він залежить від ступеня зношування шини вимірювального колеса і її типу.

Аеродромний гальмівний візок АТТ-2 - найбільш розповсюджений в наш час в аеропортах цивільної авіації держав СНД. Він являє собою одноосьовий, двоколісний причіпний агрегат, що складається з рами, двох коліс різного діаметра, карданного вала , що з'єднує колеса за допомогою зубчастої муфти, центрального й бічного дишла і вимірювального датчика. Принцип роботи заснований на вимірюванні поздовжньої сили зчеплення, що виникає під вимірювальним колесом в процесі руху його по поверхні ЗПС з проковзуванням (за рахунок різного діаметра коліс) 15±2%. Зусилля, що виникають під вимірювальним колесом, через вимірювальний датчик і гнучкий електричний кабель передаються на переносний блок апаратури візуальної реєстрації (АВР), який знаходиться в кабіні автомобіля-буксирувальника. АТТ-2 можуть бути оснащені також блоками документальної реєстрації.

Методика вимірювання коефіцієнта зчеплення приведена в технічному паспорті АТТ-2.Аеродромний гальмівний візок АТТ-2М (рис.5) прототипом якого є АТТ-2, являє собою одноосьовий двоколісний причіп, що складається з

рами, установленої на амортизаторах і пружинах для гасіння динамічних коливань при русі, центральної і бічної тяг дишла, карданного вала, блокувальної муфти з вимірювальним паралелограмом, захисного кожуха, зчіпного пристрою, важеля включення блокувальної муфти, кришки вимірювального відсіку, кришки оглядового люка, страхувального троса.

Вимірювальний паралелограм обладнаний силовимірювальним датчиком. Навантаження, що діє на датчик, змінює живлячу напругу і передається через гнучкий електричний кабель у блок реєстрації, який перед початком вимірів розміщується в кабіні автомобіля-буксирувальника. Наявність амортизаторів дозволяє проводити вимірювання на швидкості 65 ± 5 км/год, скорочує час вимірювань й підвищує оперативність прийняття рішень про стан ЗПС. Маса візка АТТ-2М - 350 ± 5 кг.

Аеродромний гальмівний візок АТТ-2М забезпечує документальну реєстрацію коефіцієнта зчеплення на паперовому й електронному носіях, обчислення його середніх значень по третинах ЗПС і по всій ЗПС, визначення швидкості, при якій проводилися вимірювання і пройденій при цьому відстані.

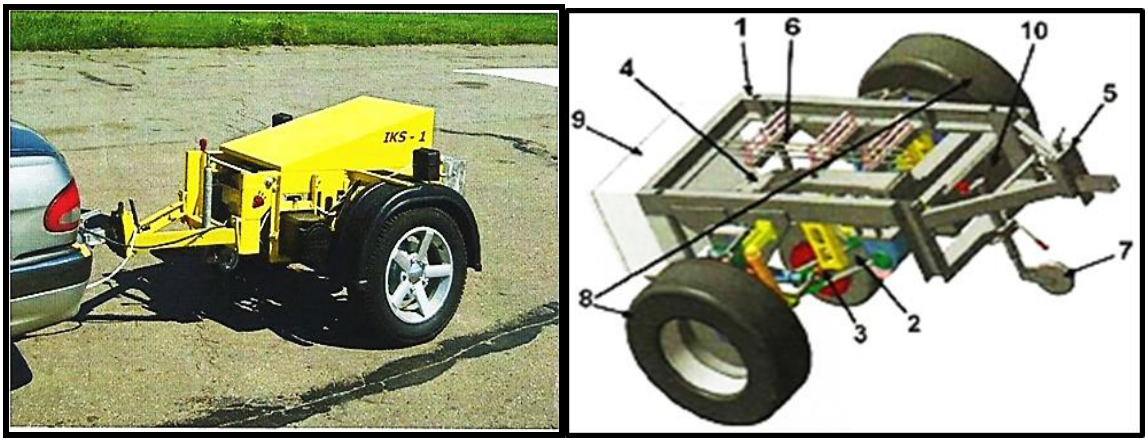
Рисунок 5 - Аеродромний гальмівний візок АТТ-2М

Особливістю аеродромного візка електромеханічного АТ-ЭМ (рис. 6) є наявність двох вимірювальних коліс (у відмінність, наприклад, від візків АТТ-2 і АТТ-2М або причіпного пристрою ASFT моделей Т-5,Т-10). Принцип дії АТ-ЭМ полягає у вимірюванні сили тертя кожного із двох вимірювальних коліс по поверхні ЗПС, обчисленні коефіцієнта зчеплення при незалежній підтримці заданого значення ковзання вимірювальних коліс. Принцип роботи АТ-ЭМ дозволяє імітувати режим гальмування авіашасі будь-якого типу ПС.

Рисунок 6 - Аеродромний гальмівний візок АТ-ЭМ

Конструктивно АТ-ЭМ складається із причіпного пристрою (вимірювача зчіпних властивостей) у вигляді двоколісного шасі, що буксирується автомобілем по ЗПС, блоку вимірювання і обробки значень коефіцієнта зчеплення, розташованого в кабіні автомобіля- буксирувальника, а також робочого місця оператора на командно-диспетчерському пункті аеродрому, куди оперативно (по радіоканалу) передаються результати вимірювання коефіцієнта зчеплення.

Вимірювач коефіцієнта зчеплення ИКС-1 (рис.7).



1 - несна рама; 2 - важіль вимірювального колеса; 3 - зчитувальний вузол вимірювального колеса; 4 - балка з вантажем; 5 - причіпний пристрій; 6 - навантажувальний реостат; 7 - допоміжне (паркувальне) колесо; 8 - несні колеса; 9 -електрошафа управління; 10 -гальмівний генератор

Рисунок 7 - Вимірювач коефіцієнта зчеплення ИКС-1

До комплекту входять причіпний електромеханічний візок, пульт управління і індикації. Візок має два несних колеса, спеціальне вимірювальне колесо і опорне колесо. На вимірювальному і несних колесах установлено по одному індуктивному датчику кутової швидкості. До складу візка входять також електрошафа управління й гальмівний електрогенератор. Пристрій дозволяє проводити вимірювання із установленим значенням проковзування (10 ± 1)%. Швидкість руху в режимі вимірювання становить 65 ± 5 км/год. Загальна споряджена маса візка не перевищує 500 кг.

Висновки

1. Важливою умовою убезпечення злітно-посадкових операцій ПС є надання екіпажам об'єктивної інформації про стан аеродромних покриттів і, перш за все, інформації про зчіпні якості ЗПС.

2. Зчіпні якості поверхні ЗПС оцінюються коефіцієнтом зчеплення.

3. Для достовірності інформації про коефіцієнт зчеплення важливо, щоб вимірювання проводились відповідним обладнанням - технічно справним і метрологічно атестованим.

4. Найбільш достовірним з відомих методів вимірювання є метод визначення абсолютного значення коефіцієнта зчеплення з поверхнею покриття ЗПС.

5. Вимірювання рекомендується проводити технічними засобами, які відповідають вимогам ICAO і мають необхідні сертифікаційні документи.

Література

1. Руководство по аэропортовым службам (Дос.9137-АМ/898). Часть 2. Состояние поверхности покрытия. Четвертое издание. - Монреаль: ИКАО, 2002.
2. Циркуляр ICAO 329-AN/191 Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. – ИКАО, 2012.
3. Шишков А.Ф.,Запорожець В.В.,О.Н.Билякович. Аеропорт: Теорія й практика зимового утримування аєродромів. - К.: Дніпро, 2006. – 196 с.
4. Белинский А.А., Закревский А.І., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов. - Киев: КМУГА, 1996. – 240 с.

Рецензенти

Мішутін А.В., д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)
Кіяшко І.В., канд. техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

Mishutin A.V., Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)
Kiiashko I.V., Ph.D., KhNAHU (Kharkiv)

УДК 625.768.5

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, **Новаковський Д.М.**, канд. техн. наук,
Смолянюк Р.В., канд. техн. наук

ОЦІНКА ПОПЕРЕЧНОЇ РІВНОСТІ ПОВЕРХНІ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті виконано аналіз впливу поперечної рівності на безпеку та комфорт дорожнього руху. Проаналізовано вплив поперечної рівності на динамічну стійкість транспортних засобів при виконанні маневрів.
Об'єкт дослідження – вплив поперечної рівності на безпеку дорожнього руху.
Мета роботи – обґрунтування граничних значень глибини колії.
Метод дослідження – аналіз та систематизація експериментальних досліджень.
Збільшення інтенсивності руху та осьових навантажень приводять до інтенсифікації процесу накопичення пластичних деформацій дорожніх конструкцій. Питання впливу поперечної рівності покриття на безпеку та комфорт дорожнього руху не достатньо вивчені в нашій країні. Це є причиною відсутності обґрунтованих нормативних значень допустимої глибини колії. Для обґрунтування допустимої глибини колії необхідно враховувати: недопущення або максимальне зниження ймовірності виникнення ефекту аквапланування, недопущення ймовірності втрати стійкості транспортним засобом при виконанні маневрів, обмеження рівня динамічного впливу на транспортний засіб та водія при виконанні маневру в залежності від вимог щодо комфорту таруху.
Комплексне врахування наведених критеріїв вимагає додаткового аналізу такого процесу як реакція в динамічній підсистемі автомобіль-дорога. Додаткового вивчення вимагають також закономірності поперечних деформацій, можливі траєкторії та швидкості руху транспортних засобів при маневрах, інш.
Результати дослідження можуть бути використанні при нормуванні допустимих значень глибини колії на автомобільних дорогах.
Ключові слова: глибина колії, динамічна стійкість, безпека руху, поперечна рівність.

Аннотация. В статье выполнен анализ влияния поперечной ровности на безопасность и комфорт дорожного движения. Проанализировано влияние поперечной ровности на динамическую устойчивость транспортных средств при выполнении маневров.

Объект исследования – влияние поперечной неровности на безопасность дорожного движения.

Цель работы – обоснование граничных значений глубины колеи.

Метод исследования – анализ и систематизация экспериментальных исследований.

Увеличение интенсивности движения и осевых нагрузок приводят к интенсификации процесса накопления пластических деформаций дорожных конструкций. Вопрос влияния поперечной ровности покрытия на безопасность и комфорт дорожного движения недостаточно изучены в нашей стране. Это является причиной отсутствия обоснованных нормативных значений допустимой глубины колеи. Для обоснования допустимой глубины колеи необходимо учитывать: недопущение или максимальное снижение вероятности возникновения эффекта аквапланирования, недопущения потери устойчивости транспортным средством при выполнении маневров, ограничения уровня динамического воздействия на транспортное средство и водителя при выполнении маневра в зависимости от требуемого комфорта движения.

Комплексный учет указанных критериев требует отдельного анализа такого процесса как реакция в динамической подсистеме автомобиль-дорога. Дополнительного изучения требуют также закономерности поперечных деформаций, возможные траектории и скорости движения транспортных средств при маневрах, др.

Результаты исследования могут быть использованы при нормировании допустимых значений глубины колеи на автомобильных дорогах.

Ключевые слова: глубина колеи, динамическая устойчивость, безопасность движения, поперечная ровность.

Annotation. The paper analyses influence of transverse roughness on safety and comfort of road traffic. Analyzed of the influence of transverse roughness on dynamic stability of vehicle during maneuver.

Object of the study – the influence of transverse roughness on road traffic safety.

Purpose of the study – substantiation of allowable rut depth.

Method of the study – analysis and systematization of experimental research.
Increased traffic and axial loads lead to intensification of the process of road constructions plastic deformations. The influence of pavement transverse roughness on the safety and comfort of road traffic is not sufficiently studied in our country. This is the reason for the lack of standard norms in the allowable rut depth. For substantiation of allowable rut depth must be considered: prevent or reduce of aquaplaning risk, prevent the risk of loss of vehicle stability while performing maneuvers, limit the dynamic impact on the vehicle and driver according to requirements for traffic comfort.
Complex consideration the above criteria requires individual analysis of dynamic response of subsystem road-vehicle. Additional study also require the analysis of possible transverse deformation, possible trajectory and speed of the vehicle during maneuvers, etc.
The result of investigation can be used for standardization of acceptable rut depth in automobile roads.
Keywords: rut depth, dynamic stability, traffic safety, transverse roughness.

Постановка проблеми

Рівність покриття автомобільних доріг слід розглядати як один з основних транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг з точки зору економічної ефективності функціонування автомобільного транспорту. При цьому аналіз рівності тільки в поздовжньому напрямку (переважно по смугам накату з застосуванням поштовхомірів) не дозволяє оцінити умови руху транспортного засобу при виконанні маневрів пов’язаних зі зміною смуги руху. Така оцінка обмежена також з точки зору перевірки умови забезпечення поверхневого водовідведення, порушення якого є однією з вагомих причин підвищення аварійності [1]. Таким чином, доцільним напрямком підвищення ефективності оцінки транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільних доріг є оцінка не тільки повздовжньої, а і поперечної рівності покриття починаючі з її нормування за критеріями які стосуються обмеження динамічного впливу на транспортні засоби при виконанні маневрів та забезпечення поверхневого водовідведення.

Проведений авторами аналіз впливу параметрів поперечної деформації поверхні покриття на ймовірність виникнення ефекту аквапланування внаслідок погіршення поверхневого водовідведення дозволив встановити

граничні значення таких деформацій в залежності від швидкості руху транспортних засобів [2]. Окремого вивчення вимагає процес динамічного впливу поперечних нерівностей на транспортні засоби при виконанні маневрів та обґрунтування допустимого рівня таких нерівностей в залежності від вимог до безпеки та комфорту дорожнього руху.

Задачі дослідження

Розв'язання поставленої проблеми вимагає вирішення ряду задач, таких як:

- встановлення загальних закономірностей геометрії поперечних деформацій з подальшим моделюванням типових поперечних профілів поверхні дорожнього одягу;
- моделювання типових маневрів транспортних засобів з різною швидкістю руху;
- оцінка впливу параметрів поперечної рівності на комфорт та безпеку дорожнього руху;
- обґрунтування переліку параметрів поперечної рівності з нормуванням їх граничних значень.

Моделювання типових профілів поперечної деформації дорожніх покриттів

Ґрунтовна оцінка впливу поперечної деформації на умови дорожнього руху вимагає моделювання широкого діапазону зміни геометричних параметрів нерівностей. Серед найбільш типових поперечних деформацій слід розглядати колійність автомобільних доріг. Причини утворення деформацій у вигляді колії на даний час достатньо відомі [3]. Серед комплексу причин які впливають на формування геометрії поперечного профілю найбільшою мірою слід виділити тип транспортного засобу та схему прикладання навантаження. В роботі в якості розрахункової схеми транспортного навантаження прийнятий найбільш розповсюджений вантажний автомобіль, що спостерігається на дорогах загального користування України (рис. 1). Згідно з прийнятою розрахунковою схемою виконано моделювання поверхні покриття, ураженого колією зі зміною параметрів колії в наступних межах:

- глибина колії від 0 до 100 мм;
- ширина колії від 300 до 1500 мм;
- база колії від 1700 до 2100 мм;

Поперечний ухил проїзної частини прийнято 25 ‰, поперечний профіль – двоскатний. Моделювання поверхні покриття проводилось за допомогою програмного забезпечення RutGenerator розробленого в ХНАДУ. Графічне відображення моделі поверхні покриття ураженої колією наведено на рис. 2. Аналіз геометрії поперечного профілю моделі поверхні покриття відповідає результатам польових досліджень щодо реєстрації колійності на дорогах загального користування України [1].

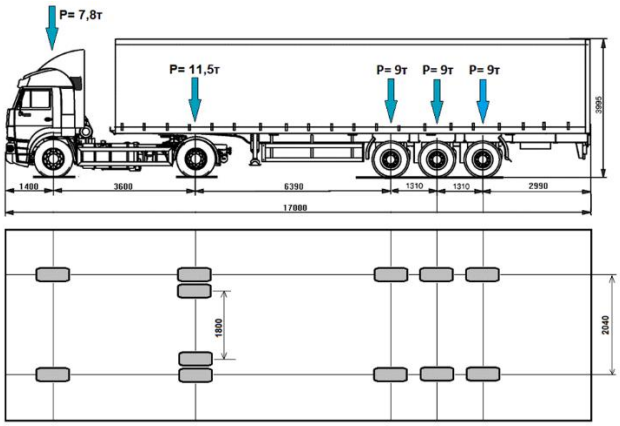


Рисунок 1 – Розрахункова схема прикладання транспортного навантаження

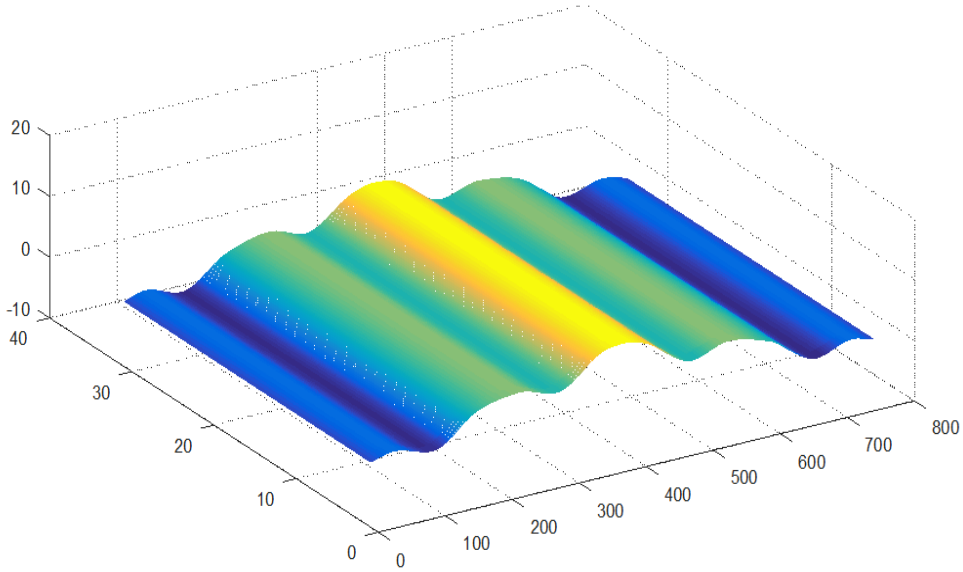


Рисунок 2 – Модель поверхні покриття автомобільної дороги ураженої колією

Моделювання типових маневрів транспортних засобів

Вплив поперечних деформацій у вигляді колії на умови дорожнього руху проявляється в більшій мірі при виконанні маневрів транспортними засобами, пов’язаних зі зміною смуги руху. Для моделювання типових маневрів було виконано розрахунок ймовірних траєкторій руху автомобіля. Для розрахунку

параметрів маневру транспортного засобу при зміні смуги руху обрано модель Крісті [4]. Відмінність прийнятої методики від методики Ілларіонова [5] полягає у обмежені максимального поперечного зміщення за умовою бічного зносу транспортного засобу а не за умовою його перекидання, що більш точно відповідає сучасним транспортним засобам [6].

З використанням програми RutGenerator виконано моделювання траєкторій руху транспортного засобу при виконанні маневру «зміна смуги руху» для діапазону швидкостей від 50 км/год до 130 км/год. Отримана для конкретного маневру траєкторія руху автомобіля накладається на модель поверхні покриття. Перетин, проведений через траєкторію руху автомобіля, перетинає модель поверхні в певній лінії, що представляє собою розрахунковий профіль, тобто профіль руху автомобіля під час виконання маневру (рис. 3).

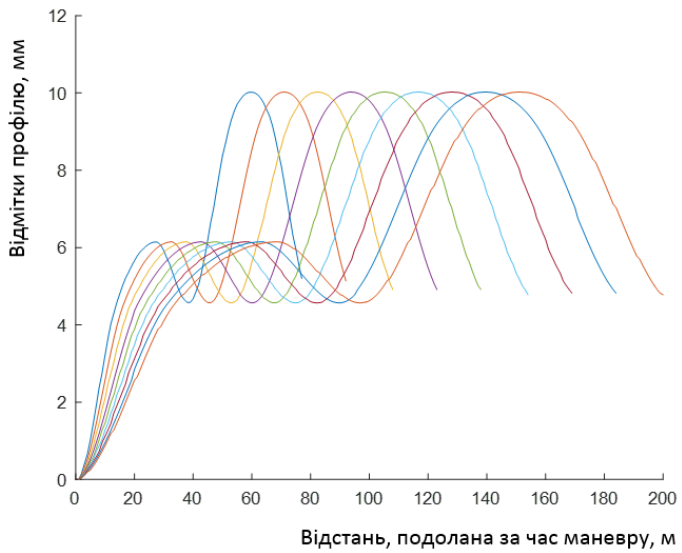


Рисунок 3 – Поздовжні профілі руху транспортного засобу при виконанні маневрів з різними швидкостями (праве колесо)

Оцінка впливу параметрів поперечної деформації на динамічну стійкість транспортних засобів

Оцінка сукупності поздовжніх профілів, отриманих в результаті моделювання маневрів по ураженій колією поверхні, виконувалась з використанням програмного комплексу ProVAL3.5 (The Transtec Group U.S. Department of Transportation) [7] (рис. 4). Результатом розрахунку є оцінка сукупності профілів за показником IRI (рис. 5). Послідовність та інтерпретація результатів такої оцінки регламентуються діючим нормативним документом [8].

При цьому слід враховувати, що наведений аналіз пов’язаний з обмеженням щодо рівня динамічного впливу на транспортний засіб, який виникає при подоланні ним деформованого поперечного профілю. Тому в терміні «глибина колії» в цьому випадку закладено, в першу чергу максимальне перевищення поперечного профілю, яке долає автомобіль при маневрі, а саме різницю між відмітками низу колії та верху її лівого гребню.

Нормування граничних значень параметрів поперечної деформації

З урахуванням попередніх досліджень серед геометричних параметрів поперечної рівності, що безпосередньо впливають на безпеку та комфорт дорожнього руху слід виділити:

- перевищення правого гребеню колії над її нижньою відміткою (надалі – правий випор) з позиції погіршення поперечного водовідведення та формування застою води в колії, що може стати причиною виникнення ефекту аквапланування [2];
- перевищення лівого гребеню колії над її нижньою відміткою (надалі – лівий випор) з позиції динамічного впливу на транспортний засіб при виконанні маневрів пов’язаних зі зміною смуги руху, що може стати причиною втрати стійкості транспортного засобу.

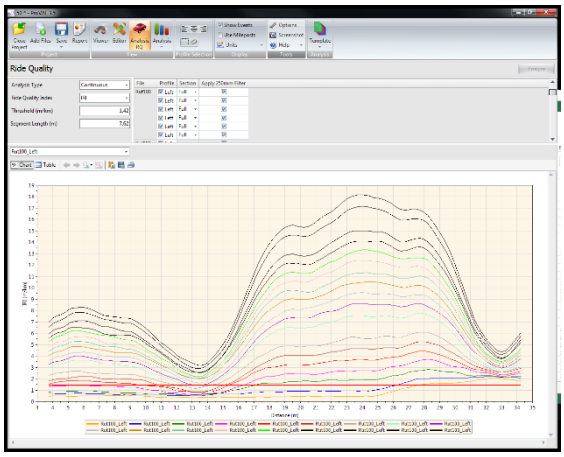


Рисунок 4 – Робоче вікно програми ProVAL3.5 з результатами розрахунку

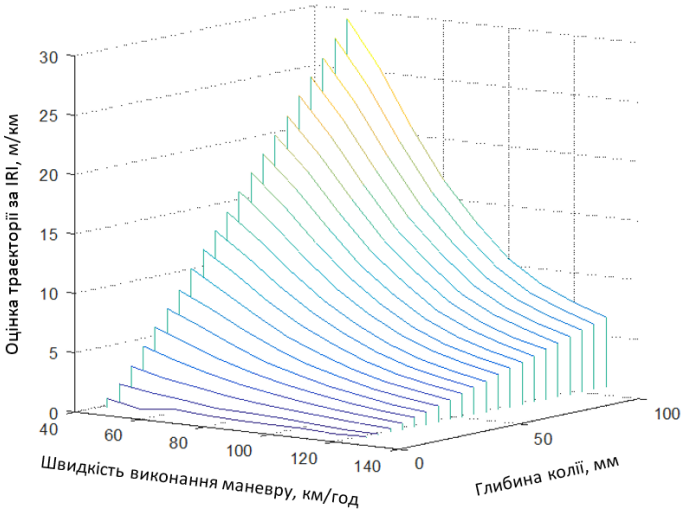


Рисунок 5 – Залежність оцінки траєкторії руху за показником IRI від глибини колії та швидкості виконання маневру

Нормування зазначених параметрів поперечної рівності має здійснюватися як по середньозваженим значенням з метою отримання статистичної оцінки ділянки обраної протяжності так і по значенням стандартного відхилення від середньозваженого значення з метою обмеження локальних концентрацій дефектів, що досліджуються. Оцінка відповідності параметрів поперечної рівності умовам руху повинна відбуватись для найгіршого значення, що вибирається з оцінок для правої та лівої колії руху.

При проведенні процедури нормування зазначених параметрів слід врахувати, що основним керуючим фактором є швидкість руху транспортного засобу. Тому в якості базової залежності слід приймати саме залежність допустимих параметрів поперечної нерівності від фактичної швидкості руху транспортних засобів.

В якості основної закономірності, що накладає обмеження на допустиме значення величини правого випору, прийнята залежність ймовірності виникнення ефекту аквапланування від товщини водної плівки та швидкості руху транспортного засобу [2], що дозволяє визначити безпечну товщину шару води на поверхні проїзної частини з урахуванням швидкості руху транспортного засобу. На формування водної плівки в зоні смуги накату окрім правого випору колії буде впливати також шорсткість покриття, що покращує поперечне водовідведення.

Обґрунтування гранично-допустимих значень висоти лівого випору колії повинне відбуватись з урахуванням умови динамічної стійкості транспортного засобу при виконанні маневрів, пов’язаних зі зміною смуги руху. Оцінка динамічного впливу на транспортні засоби передбачає окрім оцінки профілю застосування граничних значень показника IRI, що безпосередньо залежать від швидкості руху. В якості граничних значень IRI прийнято результати досліджень розробників методу IRI [9]. Вказану залежність наведено на рис. 6. З урахуванням прийнятих граничних умов виконано розрахунок залежності коефіцієнту поперечної рівності при виконанні маневру від його швидкості та величини лівого випору колії (рис. 7) за формулою 1.

$$К_р(h_к, V_а) = \frac{IRI_р(h_к, V_а)}{IRI_н(V_а)}, \quad (1)$$

де $h_к$ – величина лівого випору колії, мм;

$V_а$ – швидкість виконання маневру, км/год;

$IRI_ф$ – фактична оцінка профілю за показником IRI;

$IRI_н$ – гранична оцінка профілю за показником IRI.

Залежність граничної величину лівого випору колії від швидкості виконання маневру для різних значень коефіцієнту поперечної рівності наведено на рис. 8. В якості нормативного значення коефіцієнту поперечної рівності прийнято значення 1. При цьому профіль руху транспортного засобу при виконанні маневру відповідає вимогам безпеки при значеннях $К_р \geq 1$.

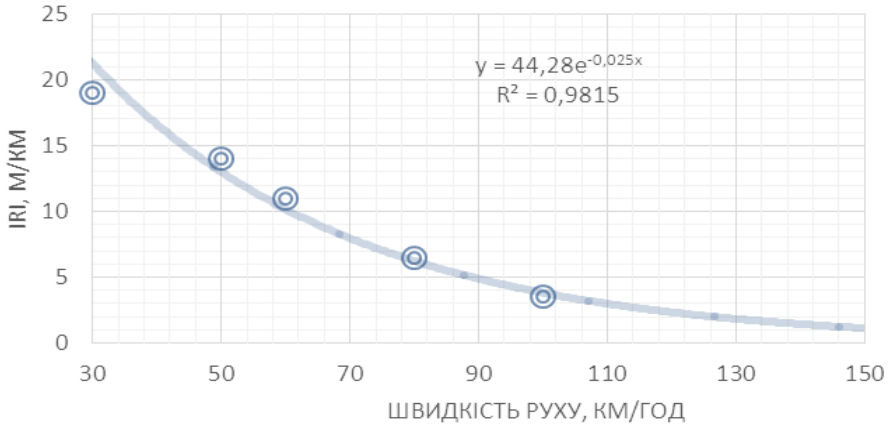


Рисунок 6 – Залежність граничних значень оцінки профілю за IRI від швидкості руху [9]

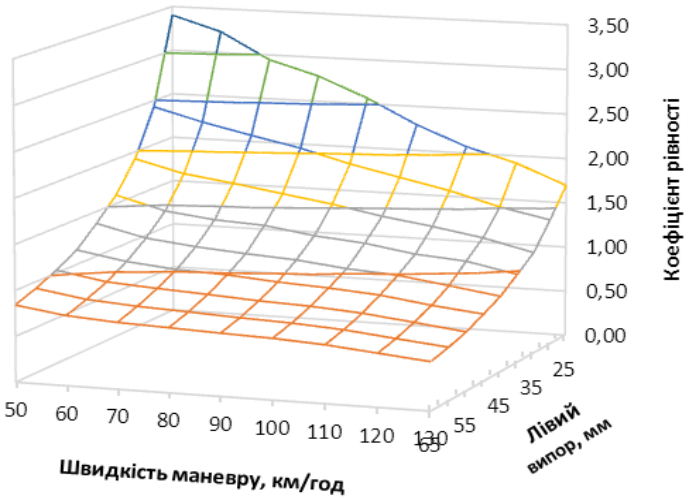


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнту поперечної рівності від величини лівого випору колії та швидкості виконання маневру

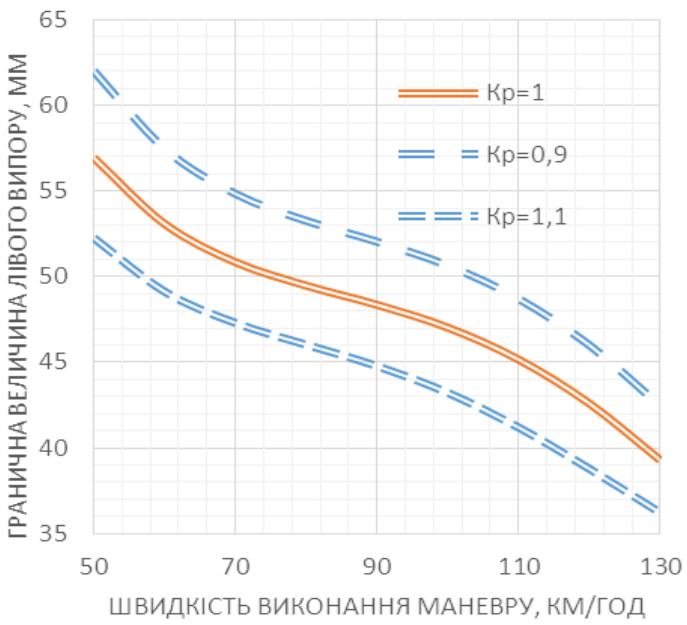


Рисунок 8 – Залежність граничної величину лівого випору колії від швидкості для різних значень коефіцієнту поперечної рівності

Гранично-допустимі значення лівого та правого випору колії в залежності від швидкості руху транспортного засобу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Граничнодопустимі значення геометричних характеристик колії

Швидкість руху, км/год	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Гранично-допустима величина правого випору колії, мм [2]	20	15	12	10	9	8	8	7	7
Гранично-допустима величина лівого випору колії, мм	57	52	51	50	48	46	45	42	39

Напрямки подальших досліджень

Детальний аналіз, виконаний в процесі даного дослідження показує, що спрощена методика визначення та оцінки глибини колії або товщини плівки води в колії не дозволяє повною мірою оцінити динамічний вплив на транспортний засіб при виконанні маневрів. Також застосування даної методики не достатньо для оцінки забезпечення поверхневого водовідведення внаслідок ігнорування поздовжніх ухилів. Тому для ефективної оцінки впливу поперечної рівності на експлуатаційний стан автомобільної дороги та її нормування необхідно виконати додаткові дослідження в наступних напрямках:

- оцінка та узагальнення сучасних підходів, що використовуються в світовій практиці при нормуванні поперечної рівності;

- удосконалення теоретичних та експериментальних досліджень впливу параметрів поперечної рівності
- на динамічну стійкість транспортних засобів та забезпечення поверхневого водовідведення;
- розробка рекомендацій щодо порядку вимірювання та оцінки параметрів поперечної рівності автомобільних доріг з використанням доступної в Україні приладової бази;
- розробка на нормування послідовності обробки результатів вимірювань з метою оцінки їх впливу на комфорт та безпеку дорожнього руху;
- розробка та метрологічна атестація програмного забезпечення для оцінки параметрів поперечної рівності. Розміщення програмного модулю у вільному доступі та розповсюдження серед зацікавлених організацій з метою підвищення ефективності впровадження методу у виробництво.

Висновки

1. На основі аналізу закономірностей впливу колії на безпеку дорожнього руху виділено основні критерії за якими має відбуватись нормування щодо її обмеження, а саме: зниження ймовірності виникнення ефекту аквапланування та обмеження рівня динамічного впливу на транспортний засіб при виконанні маневрів.

2. Обґрунтовано перелік параметрів поперечного профілю проїзної частини, що підлягають нормуванню. Такими параметрами є: гранична величина перевищення правого та лівого випорів колії відносно її нижньої відмітки.

3. За результатами проведеного дослідження отримано залежності граничних значень характеристик поперечної деформації поверхні дорожнього одягу від допустимої швидкості руху транспортних засобів.

Література

1. Смолянюк Р.В. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий на основе совершенствования методов измерения ровности и сцепных качеств: дис. кандидата техн. наук: 26.10.05 / Смолянюк Роман Володимирович. Х., 2005. – 157 с.
2. Новаковський Д.М. Обґрунтування нормативних значень показників поперечної рівності дорожніх покриттів / Д.М. Новаковський //

Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – випуск 93. – Київ: НТУ, 2015. – С. 273-281.
3. Васильев А.П. Причины образования колей и пути их устранения // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – №2. – С. 6–9.
4. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы / Н.М. Кристи. – М.: ЦНИИЛСЭ, 1971. – 124 с.
5. Расчет параметров маневра транспортных средств (Методическое письмо для экспертов). – М.: ВНИИСЭ, 1989. – 31 с.
6. Стариков Е.Л. Определение параметров маневра автомобиля при исследовании ДТП / Е.Л. Стариков // Вестник ХНАДУ (сборник научных трудов). – 2013. – выпуск 61-62. – С. 179 – 184.
7. Офіційний сайт компанії Transtec [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.thetranstecgroup.com/, доступ до інформаційного ресурсу авторизації не потребує. – Назва з екрану.
8. Автомобільні дороги. Оцінка рівності дорожніх покриттів за Міжнародним Індексом Рівності (IRI): СОУ 45.2-00018112-078:2012. – [Чинний від 2012-05-01). – К.: Укравтодор, 2012. – 27с.
9. Sayers M.W, Karamihas S.M. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. – The Regent of University of Michigan, September 1998. – 306 p.

Рецензенти

Павлюк Д.О., -р техн. наук, НТУ (Київ)

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП “Укрдіпроддор” (Київ)

Reviewers

Pavliuk. D.O., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Honcharenko F.P., Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)

УДК 625.72

Кузло М. Т., докт. техн. наук, **Шведюк В. А.**

ДО ПИТАННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІСОВИХ ДОРІГ

Анотація. Розглянута класифікація лісових доріг. Запропоновані деякі технічні характеристики лісових доріг та виконано їх порівняння з Фінськими і Російськими нормативними документами.
Ключові слова: лісові дороги, магістралі, вітки , вуси, розрахункова швидкість, відстань видимості, радіус горизонтальних кривих, розширення кривих.

Аннотация. Рассмотрена классификация лесных дорог. Предложены некоторые технические характеристики лесных дорог и выполнено их сравнения с Финскими и Русскими нормативными документами.
Ключевые слова: лесные дороги, магистрали, ветки, усы, расчетная скорость, расстояния видимости, радиус горизонтальных кривых, расширения кривых.

Annotation. The classification of forest roads has been considered. Some technical characteristics of forest roads have been offered and their comparison with Finish and Russian normative documents has been made.
Keywords: forest roads, highways, branch lines, connectivity forking, design speed, vision distance, radius of horizontal curves, expansion of curves.

Ліси України за своїм призначенням і розміщенням виконують переважно водоохоронні, захисні, санітарно-гігієнічні, оздоровчі функції, а також забезпечують потреби суспільства в лісових ресурсах [1].

Лісистість України становить 15.9%. Незважаючи на досить невелику лісистість Україна займає 8 місце в Європі за площею лісів та 6 місце за запасами деревини (рис. 1).

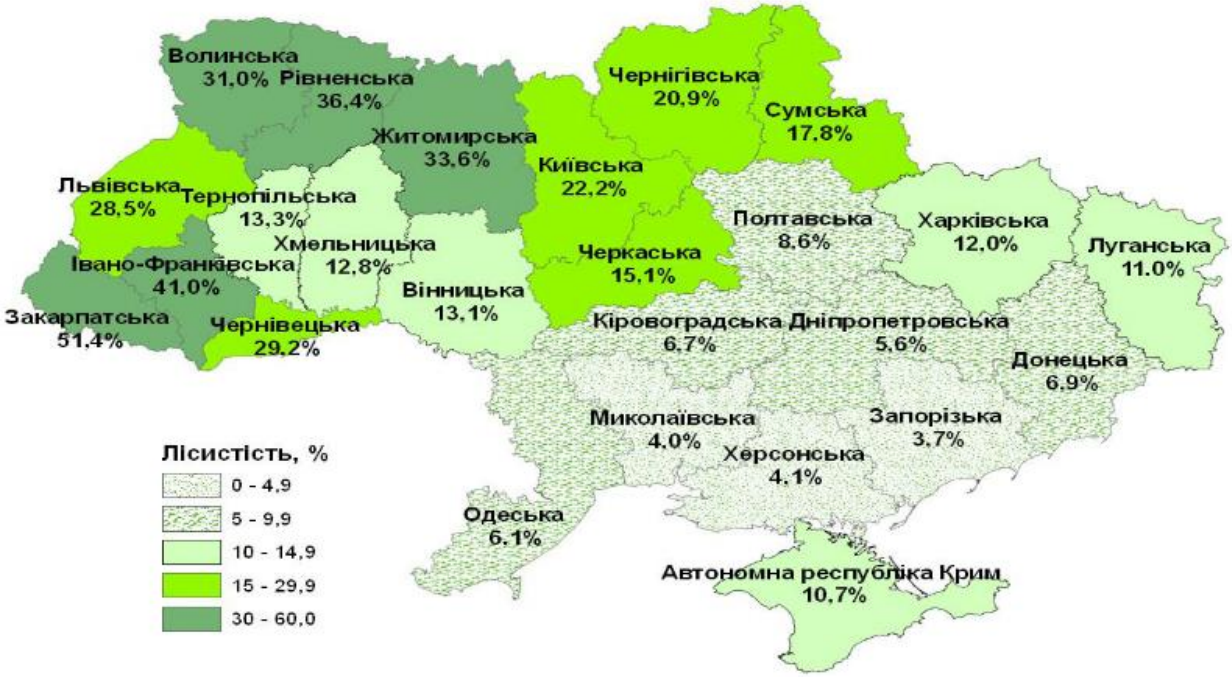


Рисунок 1 – Лісистість території України у розрізі адміністративно-територіальних одиниць

Обсяги будівництва лісових доріг збільшуються з кожним роком. Якщо в 2007-2010 роках збудовано та введено в експлуатацію в цілому близько 709 км нових лісових автомобільних доріг, то в 2013 році побудовано 1132 км лісогосподарських та протипожежних доріг.

Обсяги будівництва лісових автомобільних доріг нарощуються з кожним роком (рис. 2).

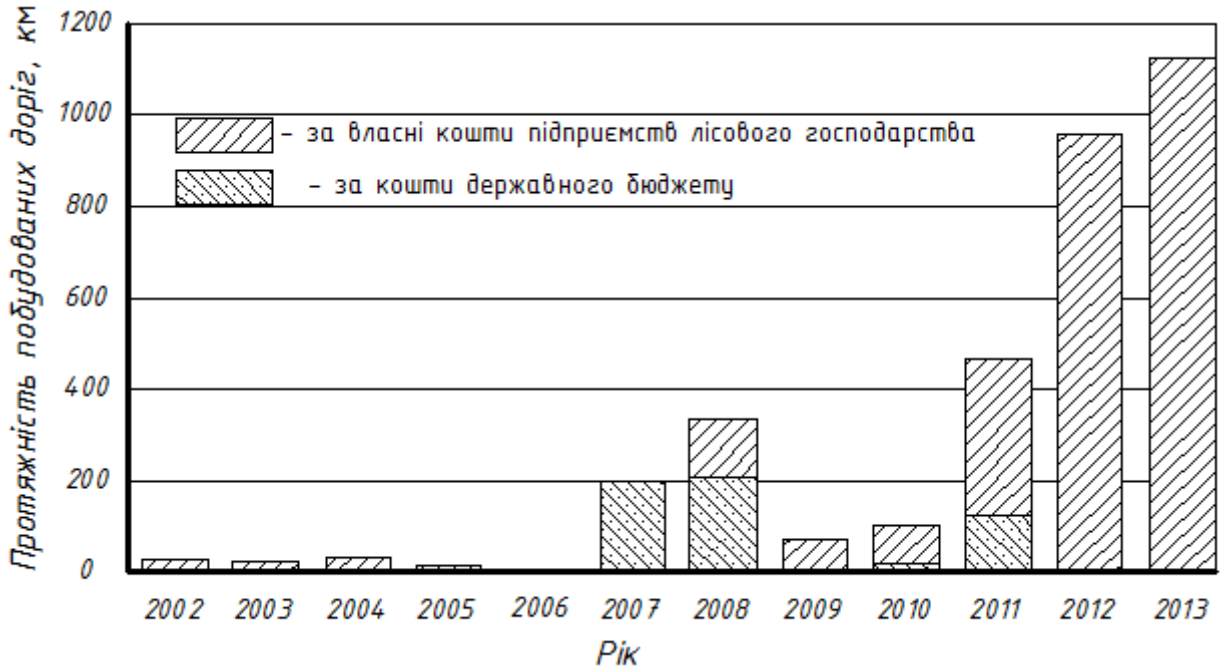


Рисунок 2 – Будівництво лісових доріг

Основною ланкою лісозаготівельного виробництва є вивезення лісу. Для її здійснення лісозаготівельні підприємства змушені виконувати великі обсяги робіт з будівництва, утримання та ремонту доріг, з організації руху лісовозного транспорту. Під лісовими дорогами розуміють дороги, розташовані на лісовій території і знаходяться у віданні лісових організацій.

Лісові дороги прокладають вздовж лісових масивів, від лісових масивів до доріг загального користування, виробничих цехів підприємств, територіальних лісництв.

Лісові дороги поділяються на: лісовозні, лісогосподарські, гірські. Лісовозні дороги в свою чергу діляться на: магістралі (I, II, III, і IV категорії), вітки, вуси. [2].

Магістралі – основні ділянки лісових доріг, що експлуатуються протягом усього року чи значної частини строку діяльності підприємства; зв'язують освоюваний лісовий масив з нижнім складом, дорогою загального користування чи пунктом споживання.

Вітки – шляхи, що примикають до магістралей і використовуються для транспортування деревини з окремих ділянок лісового масиву, з строком експлуатації більше одного року (зазвичай 5...10 років).

Вуси – тимчасові лісові шляхи, що примикають, як правило, до віток і використовуються для вивезення деревини з лісосік з строком експлуатації до одного року (зазвичай 2...3 місяці).

Лісовозні дороги проектуються як технологічні згідно [3].

Лісогосподарські діляться на I, II, і III тип.

I тип – магістральні дороги, об'єднуючі дороги нижчих типів в єдину транспортну сітку і з'єднуючі лісні масиви і лісогосподарські підприємства з дорогами загального користування.

II тип – дороги, що забезпечують доступ транспортна в окремі частини території лісного фонду і мають вихід на магістральні лісогосподарські дороги.

III тип – дороги спеціального призначення (протипожежні, осушувальні, квартальні просіки тощо).

Лісогосподарські дороги проектуються згідно [4].

Гірські діляться на I, II і III категорію. Гірські дороги проектуються згідно з «Інструкції по проектуваню і будівництві лісових доріг в умовах Карпат»

Для проектування лісових доріг ми користуємось нормативними документами які були написані ще у 80-х роках двадцятого століття. Тому в

даній роботі запропоновані технічні нормативи лісових доріг які порівняні з лісовими дорогами таких країн як Фінляндія і Росія.

Одним з основних параметрів лісових доріг є розрахункова швидкість. На основі розрахункової швидкості встановлюють мінімальні значення геометричних параметрів дороги. Якщо мінімальних значень досягнути неможливо, встановлюються дорожні знаки відповідного змісту.

Розрахункові швидкості лісових доріг у Фінляндії визначають на основі інтенсивності руху в літній час у світлу частину доби і умов рельєфу. Розрахункові швидкості для лісових доріг в Росії визначаються в залежності від виду і категорії дороги які залежать від річного вантажообігу і умов рельєфу [5].

Розрахункові швидкості для України пропонується визначати на основі категорії дороги яка залежать від річного вантажообігу чи інтенсивності руху в літній час у світлу частину доби і умов рельєфу.

Запропонована нами розрахункова швидкість у порівняні з фінськими і російськими нормами для різних категоріям доріг наведена у таблиці 1.

Наступним параметром, що розглядався нами була розрахункова відстань видимості. Було розглянуто дві основні схеми визначення відстані видимості на лісових дорогах: зупинка автомобіля перед перешкодою; гальмування двох автомобілів, які рухаються назустріч один одному.

Розрахункова відстань видимості до повної зупинки згідно [6] визначалась за формулою:

$$S_{пов} = \frac{V t_p}{3.6} + \frac{K_e V^2}{254\phi} + l_0, \qquad (1)$$

де: V – розрахункова швидкість руху, км/год;

t_p – час реакції водія;

K_e – коефіцієнт експлуатаційної ефективності гальмівної системи автомобіля;

φ - коефіцієнт зчеплення при гальмуванні, залежить від реальних умов;

l_0 – безпечна відстань до перешкоди.

Таблиця 1 – Розрахункова швидкість лісових доріг

Критерії поділу			Розрахункова швидкість, км/год						
Фінські норми	Російські норми	Запропо-вані норми	Фінські норми		Російські норми		Запропоновані норми		
Інтенсив-ність, авт/добу	Вид і категорія дороги	Вид і категорія дороги	Рівний рельєф	Нерівний рельєф	Основні	Допустимі в складних умовах	Осн о-вні	Допустимі в складних умовах	
								Перес і-чна місце-вість	Гірська місце-вість
Більше 40 (більше 20 у двох напрямках)	Магістралі I-л, II-л, III-л	I категорія	50 (60)	40 (50)	70, 60, 50	60, 50, 40	70	50	40
Максимум 40 (максимум 20 у двох напрямках	Магістралі і вітки IV-л, вуси	II категорія	40 (50)	30 (40)	40, 30, 20	40, 30, 20	60	40	20
		III категорія					50	30	15

Результати розрахунку з визначення відстані до повної зупинки наведені на рисунку 3.

Розрахункова відстань видимості зустрічного автомобіля визначалась за формулою:

$$S_{пов} = 2\left(\frac{V \cdot t_p}{3.6} + \frac{k_b \cdot V^2}{254 \cdot \varphi}\right) + l_0 \ . \qquad (2)$$

Результати розрахунку з визначення відстані видимості зустрічного автомобіля наведені на рисунку 4.

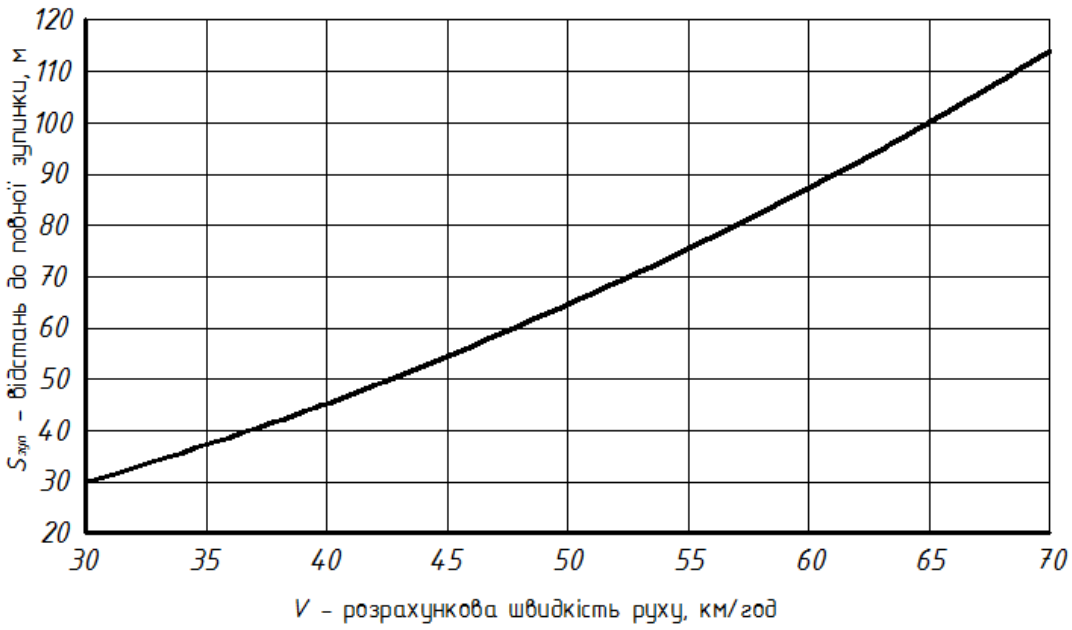


Рисунок 3 – Відстань до повної зупинки, м

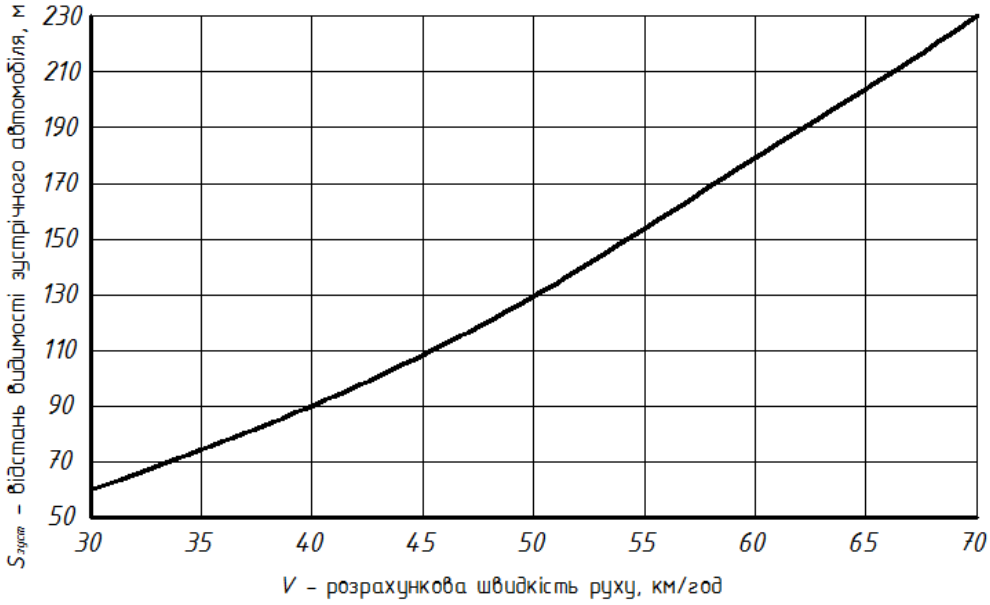


Рисунок 4 – Відстань видимості зустрічного автомобіля, м

Запропоновані нами відстані видимості для різних розрахункових швидкостей у порівняні з фінськими і російськими нормами наведені у таблиці 2.

Також розглядались нами радіуси горизонтальних кривих. Розрахункове значення яких згідно [6] визначалось за формулою:

$$R = \frac{V^2}{g \cdot 3,6^2 (\mu + i_в)}, \qquad (3)$$

де V - розрахункова швидкість на з'їзді, км/год;

g =9,81 м/с^2 прискорення вільного падіння;

3,62 - коефіцієнт переходу від км/год до м/с;

μ - коефіцієнт поперечної сили з умови забезпечення зручності проїзду кривою;

$i_в$ - поперечний ухил проїзної частини на віражі.

Таблиця 2 – Розрахункова відстань видимості

Розрахунк-ова швидкість ,км/год	Відстань видимості зустрічного автомобіля, м			Відстань до повної зупинки, м		
	Фінські норми	Російські норми	Запропоно-вані норми	Фінські норми	Російські норми	Запропоновані норми
30	60	100	60	30	30	30
40	80	150	90	40	75	45
50	110	200	130	55	100	65
60	140	250	180	70	125	90
70	170	300	230	85	150	115

Результати розрахунку радіусів горизонтальних кривих з влаштуванням віражів і без них наведені на рисунку 5.

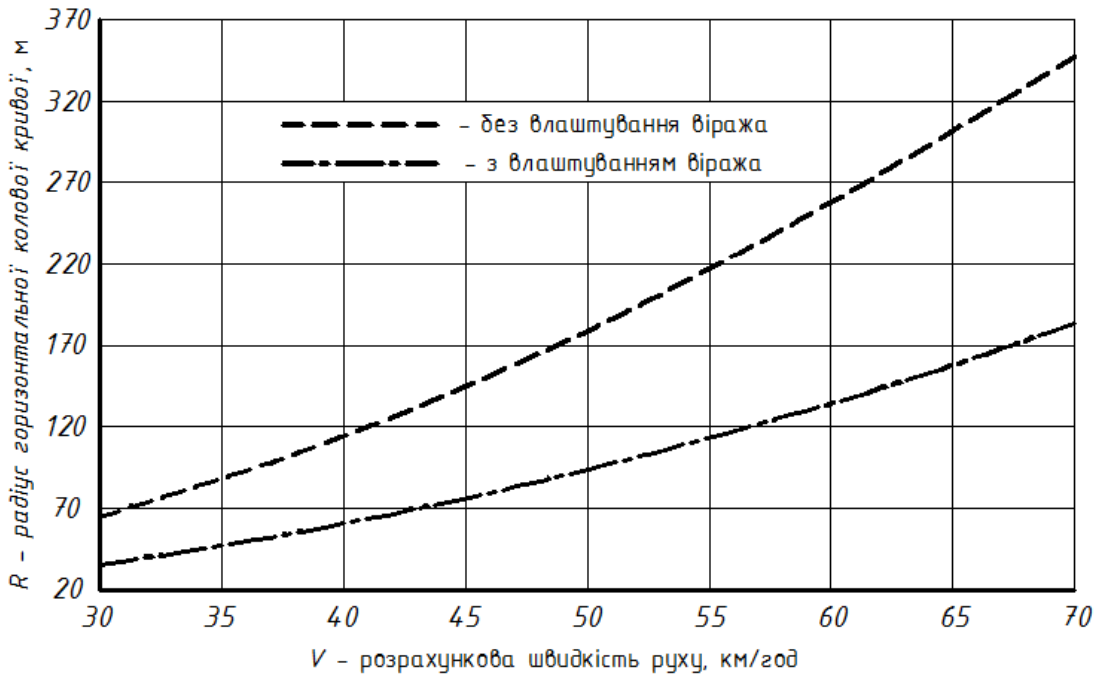


Рисунок 5 – Радіуси горизонтальних кривих

Запропоновані нами радіуси горизонтальних кривих у порівняні з фінськими і російськими нормами наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахункові радіуси горизонтальних кривих

Розрахункова швидкість, км/год	Радіус кривої			
	Фінські норми	Російські норми	Запропоновані норми	
			Без влаштування віражу	З влаштуванням віражу
30	100	30	65	35
40	200	60	115	60
50	300	100	180	95
60	400	125	260	135
70			350	185

Не менш важливий параметр при проектуванні лісових доріг є розширення проїзної частини на криволінійних ділянках, що не відповідають нормальним умовам руху транспортних засобів.

Незалежно від відстані видимості по розрахунковій швидкості проїзну частину розширюють з внутрішньої сторони кривої згідно [6] за формулою:

$$\Delta = \frac{l^2}{2 \cdot R}, \tag{3}$$

де l - довжина хлистовоза, м

R - радіус колової кривої, м

Розширення проїзної частини починають за 10 м до початкової точки кривої при відсутності перехідної кривої. При наявності перехідної кривої розширення проводиться вздовж всієї довжини перехідної кривої.

Запропоновані нами розширення проїзної частини у порівняні з фінськими і російськими нормами наведені у таблиці 4.

Висновки

Запропоновані в роботі розрахункові швидкості, відстані видимості до повної зупинки і зустрічного автомобіля, радіуси горизонтальних колових кривих, розширення проїзної частини дають можливість визначити основні параметри лісових доріг при їх проектуванні. Подальшими дослідженнями є створення єдиного нормативного документа з проектування, будівництва та експлуатації лісових доріг.

Таблиця 4 – Розширення проїзної частини

Радіус (м)	Розширення, м			
	Фінські норми	Російські норми		Запропоновані норми
		односмужна дорога	двосмужна дорога	12-метрові хлистовози
15	3,0	4,3	2,15	4,8
20	3,0	3,2	1,6	3,6
30	2,0	2,2	1,1	2,4
40	1,5	1,9	0,95	1,8
50	1,5	1,6	0,8	1,4
60	1,0	1,5	0,75	1,2
80	1,0	1,2	0,6	0,9
100	0,5	1,0	0,5	0,7
150	не влаштовується	0,9	0,45	0,5
200		0,8	0,4	0,4
250		0,7	0,35	0,35
300		0,6	0,3	0,3
400		0,5	0,25	0,25
500		0,5	0,25	0,2
600		0,4	0,2	0,15
700		0,3	0,15	0,1

Література

1. Основні досягнення лісового господарства України. – Державне агенство лісових ресурсів України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=121197&cat_id=81209.
2. Кувалдин Б. И. Лесохозяйственные дороги /устройство и содержание/: монография / Б. И. Кувалдин. - М. : Лесная промышленность, 1976. - 96 с.
3. СНиП 2.05.07-91 "Промисловий транспорт". Будівельні норми і правила. – М .: Минрегион Росии, 2011. – 195 с.
4. ВСН 7-82 Инструкция по проектированию лесохозяйственных автомобильных дорог. –М .: Гослесхоз СССР, 1982. – 43 с.
5. Герасимов Ю. Лесные дороги/ Герасимов Ю., Катаров В. – Gummerus Kirjapaino Oy, Ювяскюля, 2009. - 71 с.
6. В. С. Бойчук. Довідник дорожника. – К.:Урожай, 2002. – 558 с.

Рецензенти

Мозговий В.В., д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Каськів В.І., канд. техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

Mozhovyi V.V., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Kaskiv V.I., Ph.D., NTU (Kyiv)

УДК 625.7/.8

Усиченко О.Ю., канд. техн. наук, **Харін П.Л**

ВИКОРИСТАННЯ АРМОГРУНТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕНСАР НА СЛАБКИХ ПЕРЕЗВОЛОЖЕНИХ ГРУНТАХ

Анотація. У статті наведено досвід використання системи Тенсар TWI для армування ґрунту підпірних стінок - **р**озглянуто технологію спорудження армогрунтових підпірних стін, етапи проектування та розрахунків армогрунтової конструкції. Описані конструктивні елементи системи Тенсар TWI.

Ключові слова. Армований грунт, підпірна стінка, геосинтетичні матеріали, слабка основа, облицювальний блок, полімерні з’єднувачі.

Аннотация. В статье приведен опыт использования системы Тенсар TWI для армирования грунта подпорных стенок - рассмотрена технология сооружения армогрунтовых подпорных стен, этапы проектирования и расчетов армогрунтовой конструкции. Описаны конструктивные элементы системы Тенсар TWI.

Ключевые слова. Армированный грунт, подпорная стенка, геосинтетические материалы, слабое основание, облицовочный блок, полимерные соединители.

Abstract The article presents the experience with the use of Tensar TWI for reinforced soil retaining walls - the technology of construction of ground reinforced retaining walls, the design and calculation of ground reinforced structures. Described structural elements of the system Tensar TWI.

Keywords. Reinforced soil, retaining wall, geosynthetics, weak base, facing block, connectors, polymer.

Вступ

На сьогоднішній день в транспортній галузі пріоритетним завданням є ефективне використання матеріальних ресурсів. Швидке якісне будівництво та реконструкція автомобільних доріг з найменшими витратами.

На допомогу будівельникам – дорожникам у вирішенні поставлених завдань прийшли геосинтетичні матеріали, що знайшли широке застосування в багатьох інженерних рішеннях.

Зміцнення слабких основ, будівництво насипів з укосами підвищеної крутизни, стабілізація стійкості укосів, запобігання утворення тріщин у дорожньому покритті, збільшення терміну служби автомобільної дороги - завдання, вирішення яких знайдено з допомогою геосинтетиків.

Геосинтетичні матеріали покращують технічні характеристики дорожніх конструкцій завдяки своїм властивостям: високої міцності на розтягнення і розрив при малих деформаціях, високої адгезії з ґрунтом і асфальтобетоном, довговічності, а також стійкості до впливу хімічно агресивних середовищ. В залежності від виду конструкцій автомобільних доріг, характеристик ґрунтів і різних навантажень застосовують ті чи інші геосинтетичні матеріали.

Для оптимального підбору геосинтетичних матеріалів з найбільш вигідними характеристиками, а також вирішення складних інженерних завдань важливу роль відіграє розвиток і удосконалення наукових методик.

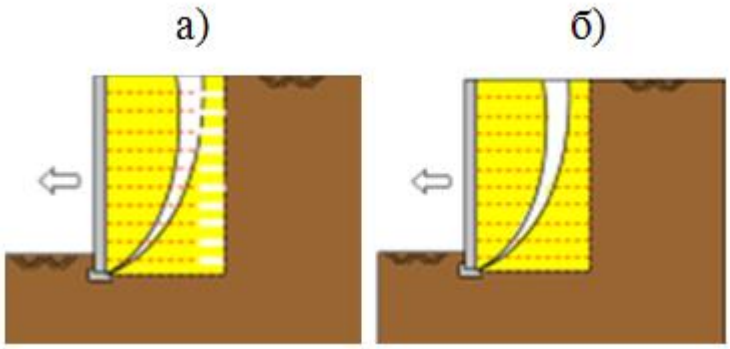
Застосування системи тенсар twi для армування грунту підпірних стінок

У період червня – серпня 2015 року на ділянці реконструкції автомобільної дороги М – 03 Київ – Харків – Довжанський км 286 + 600, Полтавська обл. було збудовано армогрунтову підпірну стіну. Згідно технічного завдання були запроектовані підходи до шляхопроводу та підпірні стіні на слабкій перезволоженій основі.

Максимальна висота армогрунтової підпірної стіни досягає 7 метрів. Складність проектування і розрахунків полягала в тому, що на армогрунтову конструкцію діяли горизонтальні, вертикальні навантаження від тіла насипу і динамічних навантажень від автомобільного транспорту, а також високий рівень грунтових вод та низька несуча здатність основи.

Споруда з армованого грунту з вертикальною стінкою проектувалась у відповідності з принципами механіки грунтів. Аналіз виконувався в двох аспектах.

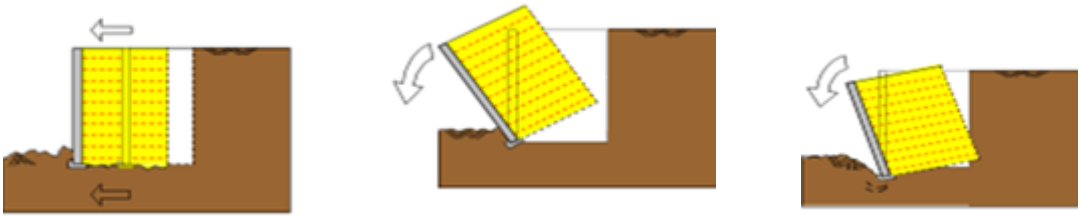
Внутрішній аналіз охоплює всі питання, пов'язані з механізмом внутрішнього стану: визначення напружень в споруді, розташування арматури, надійність арматури і властивості зворотної засипки (рис. 1).



а) Міцність анкерування, б) Міцність армоелемента

Рисунок 1 – Розрахунок внутрішньої стійкості

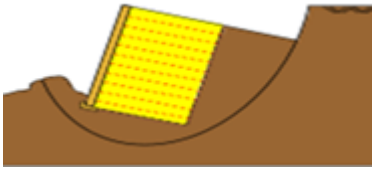
Розрахунок зовнішньої стійкості пов'язаний із загальною стійкістю споруди з армованого ґрунту як цілого, включаючи руйнування від зрушення самої споруди. Механізми руйнування такого характеру показано на рис. 2.



Зсув Перекидання Несуча здатність

Рисунок 2 – Механізми руйнування армогрунтової споруди

Крім того, були враховані напруження, що виникають у споруді з армованого ґрунту при дії особливих зовнішніх умов, таких, як зсув у ґрунті основи (рис. 3).



Загальна стійкість

Рисунок 3. Механізм зсуву у ґрунті споруди

Зважаючи на низьку несучу здатність ґрунтів основи армогрунтової конструкції, були виконані розрахунки по її підсиленню та стабілізації за допомогою механічно стабілізованого шару (МСШ) із жорстких тривісних георешіток Тенсар.

Розрахунок передбачав визначення стійкості армогрунтової підпірної стіни.

Мета розрахунків:

– визначення зусилля, що виникає в армуючому прошарку геосинтетического матеріалу, підбір типу геосинтетика з умови довготривалої міцності;
– визначення необхідної довжини армування геосинтетического матеріалу;
– вибір оптимального кроку армування.

В результаті розрахунків в данному проекті був підібраний оптимальний армуючий матеріал – одноосна георешітка Тенсар RE з однорідним розподілом армуючих елементів. При збільшенні висоти споруди довжина арматури зменшувалась, що в повному обсязі забезпечувало умову стійкості.

Система Тенсар TWI для армування ґрунту підпірних стінок та стоянів мостів включає:

- георешітки одноосна Тенсар RE
- модульний облицювальний бетонний блок TWI
- полімерні з'єднувачі
- заповнювач

Георешітки одноосні Тенсар RE

Технологія виробництва георешіток Тенсар RE передбачає перфорування суцільного листа поліпропілену або поліетилену з подальшим розтягуванням у поздовжньому і поперечному напрямках під впливом високої (понад 120 °С) температури. При цьому хаотично орієнтовані молекули витягуються в упорядкований стан і створюють міцні зв'язки. Цей технологічний процес істотно підвищує жорсткість георешітки. Поліпропілен високої міцності або поліетилен, використовуваний для виробництва георешітки Тенсар RE, забезпечує:

- несхильність впливу водних розчинів кислот, лугів і солей, також дизельного палива і бензину;
- несприйнятливість до гідролізу і розтріскування під впливом навколишнього середовища, до біологічного руйнування;
- полімери є матеріалом, стійким до ультрафіолетового випромінювання.

Одноосні георешітки Тенсар можна легко поєднувати з іншими конструктивними елементами полімерними елементами бодкинами Тенсар (рис. 4).

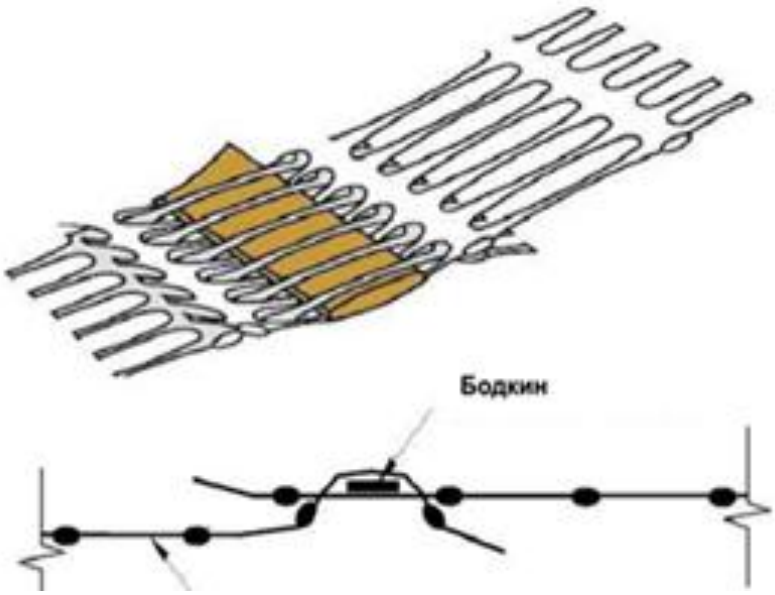


Рисунок 4 – Одноосна георешітка та полімерний елемент бодкин Тенсар

Шарнірне з'єднання забезпечує такий зв'язок, що при проектуванні не потрібно використовувати спеціальний понижуючий коефіцієнт при розрахунку міцності з'єднувального вузла.

Цей універсальний з'єднувальний елемент може використовуватися:
- для з'єднання армоелементів укороченими вставками;
- для мінімізації відходів шляхом з'єднання частин армоелемента;

Для натягу полотна одноосної георешітки Тенсар RE використовують відповідний важіль для натягу (граблі) та усунення хвиль або провисань в місцях з'єднання безпосередньо перед розподілом грунту засипки.

Стійкість конструкції досягається завдяки взаємодії і замиканню частинок грунту з геосинтетиком і завдяки з'єднанню георешітки Тенсар RE з облицювальними елементами.

Модульний облицювальний бетонний блок TW1

Для попередження механічного пошкодження геосинтетичних матеріалів та осипання ґрунту використовується системи з модульними бетонними облицювальними блоками Tensar TW 1 (рис.5). Облицювальні блоки не виконують функцію несучих елементів, а виконують лише захисну та декоративну функцію.

Облицювальні блоки формують передню грань з кутом нахилу 86°, укладання здійснюється на суху, без застосування в'яжучого та підйомних механізмів. Вага блоку дозволяє здійснювати його установку вручну.

Рисунок 5 – Бетонний облицювальний блок Tensar TW 1

З'єднання облицювальних блоків з армованим шаром здійснюється з допомогою закладної деталі — Тенсар коннектора (рис. 6), що надійно фіксує георешітку в пазі нижнього ряду блоків.

Рисунок 6 – Тенсар коннектор

Полімерні з'єднувачі

З'єднання облицювання з армованим шаром здійснюється за допомогою закладної деталі — Тенсар коннектора (рис. 6), що надійно фіксує георешітку в пазі нижнього ряду блоків. Даний варіант з’єднання не послаблює монтажний вузол.

Для захисту облицювальних блоків від агресивної дії грунтових вод запроектован пристінний щебеневий дренаж.

В період будівництва проводився моніторинг конструкції, який підтвердив точність розрахунків на стійкість за всіма показниками. Таким чином, на даному об'єкті отриманий позитивний досвід будівництва армогрунтових стін із застосуванням георешіток Тенсар і облицювальних блоків. Крім цього, багатий досвід застосування георешіток Тенсар при будівництві армогрунтових стін в Україні та в багатьох країнах світу дозволяє говорити про доцільність їх використання при будівництві інших об'єктів.

Висновки

Основними перевагами грунтових споруд є їх принципова простота, легкість зведення, зниження вартості будівництва. Визнанню і поширенню конструкцій з армованого ґрунту сприяли технічний і комерційний успіх їх практичного використання. Застосування різних матеріалів пов'язане з вдосконаленням грунтових споруд.

Армогрунт — це композитний матеріал, в якому арматура перерозподіляє зусилля розтягування-стиснення на ґрунтовий блок і знижує його деформативність

Останнім часом одержали широке поширення споруди з армованого ґрунту, такі як стояни мостів і підпірні стіни.

Підпірні стіни з армованого грунту характеризуються економічністю і простотою зведення, причому ефективність їх зростає зі збільшенням висоти. Армгорунтові стіни являють собою відносно жорстку структуру, що робить їх менш чутливими до осідання основи.

Такі підпірні стіни краще пристосовані до нерівномірних осідань, краще компенсують температурні і усадкові напруги, відмінно справляються з різними видами динамічних навантажень.

Є різні технології і матеріали для зведення підпірних стін та устоїв мостів. Найбільш ефективною з них є армогрунтовая система Тенсар TW1.

Технологія Tensar полягає в армуванні грунту і створення механічно стабілізованого шару (МСШ) з використанням жорстких георешіток. Армогрунтова система Тенсар TW1 — це конструктивне рішення для зведення підпірних стін. Дана система з успіхом застосовується в усьому світі і дозволяє економити до 50 % вартості споруди порівняно з традиційними методами будівництва залізобетонних конструкцій.

Література

1. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.
2. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. - Київ, 2014.
3. ГБН В.2.3-218-548:2010 Споруди транспорту. Армоґрунтові підпірні стінки для автомобільних доріг. - Київ 2010.
4. Применение геотекстиля и геопластиков в дорожном строительстве : тр. СоюздорНИИ / Гос. всесоюз. дор. НИИ ; Редкол.: А. Г. Полуновский (отв. ред.) и др. – М. : Союздорнии, 1990. – 126 с.
5. Синтетические текстильные материалы в транспортном строительстве/ В.Д.Казарновский, А.Г.Полуновский, В.И.Рувинский и др. / Под ред. В.Д.Казарновского. – М.: Транспорт, 1984. – 159 с.
6. ВБН В.2.3-218-171-2002 Споруди транспорту. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг.
7. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: Design and Construction Guidelines (1996), Federal Highway Administration (FHWA) (Механічно стабілізовані ґрунтові стіни та армовані ґрунтові укоси: рекомендації з проектування та будівництва).

Рецензенти

Братчун В.І., д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматроськ)

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, ПДАБА (Дніпропетровськ)

Reviewers

Bratchun V.I., Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)

Kirichek Yu.O., Dr.Tech.Sci., PSACEA (Dnipropetrovsk)

UDC 625.7/.8:332.6

Slavinska O., Doctor of Technical Science
Kharchenko A., Candidate of Technical Science

METHODOLOGICAL APPROACHES TO PROPERTY VALUATION IN PPP PROJECTS IN THE ROAD SECTOR

Анотація. У статті розглянуто основні методичні підходи до вартісної оцінки споруд дорожньої галузі під час укладання контрактів державно-приватного партнерства, визначено основні проблеми та перспективи зазначених підходів.
Об'єкт дослідження – об'єкти транспортного будівництва, які підлягають оцінці в рамках реалізації проектів ДПП.
Метою статті є дослідження підходів до оцінки споруд транспортного будівництва у сучасних умовах.
У статті наведені підходи до оцінки транспортного будівництва, які застосовуються в сучасних умовах. Визначено два основних напрямки оцінки будівельних проектів, продемонстровано їх переваги і недоліки, намічено перспективи досліджень в цій області. Крім того, вказано на деякі недоліки з точки зору застосування витратного підходу до оцінки нерухомості в дорожньому секторі.
Ключові слова: вартісна оцінка, справедлива вартість, державно-приватне партнерство, об'єкти транспортного будівництва

Аннотация. В статье рассмотрено основные методические подходы к стоимостной оценке сооружений дорожной отрасли при заключении контрактов государственно-частного партнерства, определены основные проблемы и перспективы указанных подходов.
Объект исследования – объекты транспортного строительства, подлежащих оценке в рамках реализации проектов ГЧП.

Целью статьи является исследование подходов к оценке сооружений транспортного строительства в современных условиях.
В статье приведены подходы к оценке транспортного строительства, которые применяются в современных условиях. Определены два основных направления оценки строительных проектов, продемонстрировано их преимущества и недостатки, намечены перспективы исследований в этой области. Кроме того, указано на некоторые недостатки с точки зрения применения затратного подхода к оценке недвижимости в дорожном секторе.
Ключевые слова: стоимостная оценка, справедливая стоимость, государственно-частное партнерство, объекты транспортного строительства

Annotation. In the article the basic methodological approaches to valuation of construction transport construction projects in the public-private partnership and the main problems and prospects of these approaches.
Object of study - construction of transport to be assessed in the framework of PPP projects.
The article is to study approaches to the assessment of transport construction facilities in the present time. Defined two main areas of assessment of construction projects, showing their advantages and disadvantages and outlines the prospects of research in this area. Also there are some disadvantages of the cost approach to the assessment of real estate in the road sector.
Keywords: valuation, the fair value, public-private partnership, the objects of transport construction.

Formulation of the problem

Many of countries have a long practice of the participation of the private sector in the design, construction, operation or maintenance of roads. In Ukraine, as a country with low income, apply policy trend of private sector participation in practical work and funding development projects in the road sector in this time. [1]

Public-private partnership (PPP) offers an alternative model of partnership between the public and private sectors. Private company provides global service with sufficient autonomy and incentives for productivity growth for the benefit of all parties, particularly road users. Choosing the right private partner requires probing the market and conduct procurement through competitive bidding.

Competitive bidding - is the only way to protect the public interest, which can reduce the risk of corruption and abuse of dominant position by a private company. The contract between the parties to ensure fairness and equity partnerships. This becomes necessary examination and peer review sections of roads, bridges, tunnels and other objects of transport construction; research as building materials, structures; study permits for allotment of land and determine the order of use of land; performance evaluation of land.

Analysis of recent research and publications

Problems of implementation of PPP contracts devoted to the work of scientists such as Hunter E., Holmes S., Rowan K., Varnavskij V., Grishchenko S., Cherevykov E., Bondar N., Berezovskij M., Andreev S. etc.

The analysis of the study showed that the issue of peer review property governmental organizations participating in the implementation of contracts under public-private partnership, insufficient attention is given to researchers.

The article is to study approaches to the assessment of transport construction facilities in the present time.

Presenting main material

In today's world there is a sufficient number of models and forms partnerships PPP. As defined by the World Bank classifies them according to the degree of private sector participation in the project on the four basic groups (Table 1) [2,3].

Table 1 - Classification of projects on PPP for the World Bank

№ п. п.	International name	Characteristics
1	Management and Lease Contracts	The private partner manages the project under contract and facility management is state owned. The right to make decisions about investments belongs to the state partner.
2	Concession	The private partner manages the project under contract. Created or transferred to the management of the property is subject to state property. The state has the right to profit from the management of the transferred object in the form of concession fees.
3	Greenfield projects	The private partner own or jointly with the state builds the facility and manages it for the period specified in the partnership agreement.
4	Divestitures	The private partner is part owner of state property through the purchase of shares or share public partner, either through privatization program.

This project is considered PPP if the private partner involved in its implementation is at least 25%, and the sale of project assets - if at least 5% of the shares belong to private owners.

According to World Bank infrastructure construction of roads under the terms of the PPP contract ranks first in the number of completed projects (as of 2014 - about 650 objects) [2].

According to the guidelines of the World Bank on the tendering and under the current legislation of Ukraine [4, 5] before the announcement of a tender to select a contractor, road agency should provide an inventory and data collection in order to: a careful determination of the state of road infrastructure, which is transferred to a private investor in PPP contract conditions and fulfillment of valuation; determining quality of work performed to indicate it in the contract; preliminary cost estimates; development of monitoring mechanisms and so on.

Valuation of objects of transport construction is mandatory during the execution of PPP contracts, according to [6], and carried out only with the assistance of professional valuers. The assessment is to provide information about the real value of transport construction in view of wear, both physical and functional. At the legislative level, there are two main approaches of the evaluation process of fixed assets, revaluation and indexation. From the point of view of the revaluation and indexation value of implementing cost approach.

In its economic essence revaluation - is bringing the book (accounting) value of transport construction in line with their real (fair) value. Fair pricing for infrastructure - a replacement value (current cost estimate for construction costs), net of depreciation on the valuation date.

According to [7] it is necessary to identify revaluation index, which is determined by the formula 1.

$$I_{П} = \frac{C_{спр}}{C_{залиш}} \quad , \qquad (1)$$

where $C_{спр}$ - the fair value of the object;

$C_{залиш}$ - the residual value of the object.

The initial value of the object revalued by formula 2:

$$C_O = C_{перв} \times I_П, \quad (2)$$

where C_O – the revalued value of the object;

$C_{перв}$ – the initial value of the object;

$I_П$ –revaluation index.

By the same principle overestimate and wear object. Following the revaluation of the residual value of transport construction facilities should be equal to its fair value.

In addition, the original (revalued) cost of the project can be increased by the amount of indexing. In this case the basis for determining the initial cost revalued consolidated figures come from the replacement cost of transport facilities [8]:

$$C_O = C_{УПВВ} \times \prod_{j=1}^{j=n} I_j, \quad (3)$$

where C_O – the revalued value of the object;

$C_{УПВВ}$ – the value of object property determined the appropriate collection of aggregated indicators replacement cost;

I – index of value changes;

j – index number applied by the method of the State Property Fund, which depends on the date of revaluation (determined from 1 to n).

Unfortunately, this approach does not always reflect the fair value of property, as provides for indexing using code changes in market value, based on inflation, as consolidated performance replacement cost facilities were designed in Soviet times, so do not take into account the current innovations and technologies in the field of transport construction. Therefore, the actual cost of facilities involved in PPP projects at this stage to define authentically through their revaluation.

The main disadvantages of the cost approach to the assessment of real estate in the road sector are shoved on the figure 1.

It may be a problem with the disparity of costs to build a new facility assessment (roads, structures, buildings, etc.) and the cost of playing the old object that is a situation that to build a new facility to recover less than the old one.

Conclusions

A prerequisite for the successful implementation of PPP projects in the road sector is not only a high quality legal framework, but also the presence of regulatory guidance based on expert evaluation of real estate state organizations participating in the implementation of PPP contracts. It is necessary also to provide expedited registration of use of land and buildings transferred to the private partner to the contract, regardless of their form of ownership (state or municipal). These problems require urgent attention in connection with the adoption of the State of the course focus on public-private partnership in the Concept of the state target economic development program of public roads [1], the authors will be included in future research in this area.

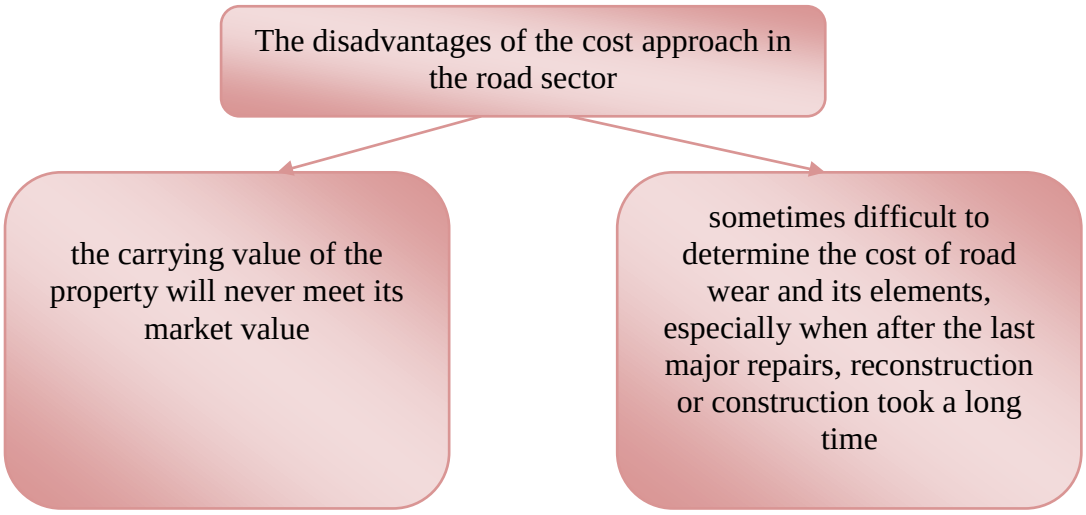


Figure 1 - The main disadvantages of the cost approach to the assessment of real estate in the road sector

REFERENCES

1. On approval of the Concept of the state target economic development program of public roads in the years 2013-2018: Regulation. №719 - official vision. - [In force since 06.12.13] - Kyiv: KMU. - 2013. (Ukr).
2. The World Bank (World Bank database) [Electronic resource]. – Access: http://www.worldbank.org/
3. Varnavskyy V. Partnership and state chastnoho sector: forms, projects, risk / V.H.Varnavskyy; In-t world economy and Internat. relations. - M .: Nauka, 2005. – 315p. (Rus).

4. The concession for the construction and operation of roads: Law of Ukraine № 1286-XIV - Official vision. - [In force since 14.12.1999] - Kyiv, Verkhovna Rada of Ukraine. - 1999. (Ukr).
5. On Public-Private Partnership: Law of Ukraine № 2404-VI - The official vision. - [In force since 01.07.2010] - Kyiv, Verkhovna Rada of Ukraine. - 2010. (Ukr).
6. On the assessment of property, property rights and professional valuation activities in Ukraine: the Law of Ukraine №2658-III. - Official vision. - [In force since 07.12.01] - Kyiv: VRU, 2001. (Ukr).
7. Policy (Standard) Accounting 7 "Fixed Assets": Decree №92 - official vision. - [In force since 27.04.2000] - Kyiv, Ukrainian Ministry of Finance, 2000. (Ukr).
8. As to the use of index changes in the market value of construction works, industrial production during the assessment of real estate: Letter of explanation FDMU number 10-36-9470 - The official vision. - [In force since 19 July 2010] - Kyiv: FDMU - 2010. (Ukr).

Рецензенти

Угненко Є.Б., д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers

Uhnenko Ye.B., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

Nahaichuk V.M., Ph.D., DerzhdorNDI (Kyiv)

УДК 625.7/.8 : 332.6

Славінська О.С., д-р техн. наук
Харченко А.М., канд. техн. наук

ЗАСТОСУВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ДО ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація. У статті наведено підходи щодо застосування кваліметричної моделі до оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги.
Об'єкт дослідження – транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги.
Метою статті є дослідження підходів щодо застосування кваліметричної моделі до оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг.
Стаття визначає основні положення здійснення оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги при застосуванні основних методичних підходів кваліметрії. В результаті наукового дослідження було виконано за запропонованою методикою комплексну інтегральну оцінку якості експлуатаційного стану та облаштування дороги для ділянки дороги Київ-Чернігів-Нові Яриловичі. Проведені розрахунки засвідчили, що запропоновані підходи можуть бути використані на практиці дорожніми організаціями при здійсненні оцінки транспортно-експлуатаційного стану об'єктів транспортного будівництва.
Ключові слова: транспортно-експлуатаційний стан, оцінка, кваліметрична модель, якість.

Аннотация. В статье приведены подходы по применению квалиметрической модели к оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги.
Объект исследования - транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги.
Целью статьи является исследование подходов по применению квалиметрической модели к оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.

Статья определяет основные положения осуществления оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги при применении основных методических подходов квалиметрии. В результате научного исследования было выполнено по предложенной методике комплексную интегральную оценку качества эксплуатационного состояния и обустройства дороги для участка дороги Киев-Чернигов-Новые Яриловичи. Проведенные расчеты показали, что предложенные подходы могут быть использованы на практике дорожными организациями при оценке транспортно-эксплуатационного состояния объектов транспортного строительства.
Ключевые слова: транспортно-эксплуатационное состояние, оценка, квалиметрическая модель, качество.

Annotation. In the article the approaches to the use qualimetric model to estimate the road`s performance conditions.
The object of study - road`s performance conditions.
The article is to study approaches to application qualimetric model to estimate the road`s performance conditions.
The article defines the position of evaluating to estimate the road`s performance conditions in the application of basic methodological approaches to quality control. As a result, research was done on the proposed method of comprehensive integrated quality assessment and operational status of roads for improvement of the road Kyiv-Chernihiv-Novi Yarylovychi. The calculations showed that the proposed approach can be used in practice for road organizations in estimation of the transport object`s performance conditions.
Keywords: performance conditions, assessment, qualimetric model, quality.

Постановка проблеми

Характерною особливістю дорожньо-будівельного виробництва є його кінцева продукція – автомобільна дорога як інженерна споруда [1]. В рамках загального поняття якості продукції, під якістю автомобільної дороги слід розуміти сукупність певних властивостей, які обумовлюють її придатність задовольняти потреби споживачів. Разом з тим, найбільш важливим аспектом якості дороги є облік її вартості і строку експлуатації. Якщо виходити з суспільних потреб, до доріг ставляться такі вимоги [2]: провізна і пропускна здатність, зручність використання дороги, екологічність, можливість

ефективного функціонування (функціональність), виконання ремонтів з мінімальними витратами, забезпечення естетичного сприйняття споживачем. Отже, виходячи з цих потреб, можна констатувати, що якість дороги - це сукупність властивостей, які визначають раціональне функціонування системи: водій - автомобіль - дорога - середовище (ВАДС). Визначення якості дороги будується на системному принципі, коли система ВАДС включає визначену кількість зв'язків (підсистем), що дозволяє всебічно її характеризувати.

Якість автомобільних доріг - це комплексна, наукова, технічна, економічна і соціальна проблема. Адже, якість доріг значною мірою залежить від якості багатьох складових на усіх стадіях здійснення інфраструктурного проекту - рівня якості робіт, виконуваних з проектування, будівництва, ремонтів, експлуатаційного утримання; якості будівельних матеріалів, конструкцій; рівня технології та технологічного забезпечення виробництва; організаційних чинників; а також від режиму руху, від навантажень, кліматичних умов і багато чого іншого. Саме тому важливо правильно оцінювати якість доріг – відповідність їх транспортно-експлуатаційного стану нормативним та споживчим вимогам. Досить тривалий час науковці намагаються узагальнити параметри, що визначають якість доріг, і привести їх до одного комплексного показника якості. Проте, розв’язок цієї наукової задачі ускладнений багатомірністю параметрів якості доріг та відсутністю достатньої кількості статистичних даних. Цікавим підходом до вирішення цього питання є використання так званої «кваліметрії» до оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги [1,2,3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням кваліметрії присвячені роботи Г.Г. Азгальдова, А.В. Глічева, Є.П. Райхмана, В.М. Сіденка, С.Ю. Рокаса, С.Д. Ільенковой, О.П. Васильєва, Н.Т. Кавешнікова, А.Н. Чекмарева та інших дослідників. Питаннями розробки комплексу показників оцінки якості автомобільних доріг займалися А.К. Бируля, В.Ф. Бабков, Н.Н. Іванова, Я.А. Калужський, М.Б. Корсунський, В.М. Сіденко, О.П. Васильєв, В.В. Сільянов, В.В. Філіппов, О.П. Канін та інші.

Проте, слід зазначити, що останнім часом цьому питанню приділяється недостатня, на наш погляд, увага як вітчизняних дослідників, так і науковців близького зарубіжжя. А застосування кваліметричної моделі до оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг взагалі не набуло подальшого розвитку в незалежній Україні.

Метою статті є дослідження підходів щодо застосування кваліметричної моделі до оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу

Термін «Кваліметрія» (від латинського «квалі» - який, якої якості, і давньогрецького «метрео» - міряти, вимірювати) вперше був використаний в 1967-1968 роках для позначення наукової дисципліни, що вивчає методологію і проблематику кількісного оцінювання якості об'єктів будь-якої природи. Виникнення кваліметрії було пов'язано з осмисленням проблеми вимірювання та оцінки якості в поєднанні з проблемою управління якістю продукції та робіт у суспільному виробництві [4, 5].

Кінцевою метою кваліметрією є розробка і вдосконалення методів, за допомогою яких якість конкретного оцінюваного об'єкта може бути виражене одним числом, що характеризує ступінь задоволення даним об'єктом громадської чи особистої потреби.

Для проведення оцінки автомобільної дороги за кваліматричною моделлю виникає необхідність розробки системи показників, які визначають її якість. Оцінки якості значною мірою залежать від показників, які характеризують властивості продукції, послуг, сукупність яких і утворює модель якості об’єкта, що оцінюється. Ця залежність може призвести до можливого коливання якості об’єктів за різних наборів показників. У зв’язку з цим система показників, за якою оцінюється якість, мусить бути однозначно представлена, а також упорядкована (декомпозована) в ієрархічну структуру (так зване «дерево властивостей»), яка може бути представлена у вигляді графа (рис. 1).

При цьому необхідно враховувати у «дереві властивостей» не тільки основні, але й другорядні показники, оскільки сумарна важливість усіх властивостей може істотно збільшувати похибку підсумкової оцінки якості.

Властивості якості на нульовому рівні можна охарактеризувати головними складовими частинами (також узагальненими) 1-го рівня, що характеризуються сукупністю властивостей другого рівня і т.д. Звідси випливає. Що властивості *i-го* рівня якості продукції визначаються властивостями більш високого *i+1-го* рівня. Так, наприклад, якщо розглянути варіант будівництва дорожнього покриття з бітуму, то властивість (якість) мазуту впливають на якість бітуму, якість бітуму впливає на якість асфальтобетонного покриття, яке в свою чергу впливає на якість дороги. Отже, оцінка властивостей на *i*-му рівні обумовлюється вимогами властивостей *i-1-го* рівня [3].

Рисунок 1 – Порядок нумерації властивостей моделі якості продукції

Будь-яка властивість продукції на кожному рівні кількісно оцінюється одиничним (диференціальним) показником якості, наприклад [3]:

$$K_i = \frac{P_{ia}}{P_{iб}}, \qquad (1)$$

де P_{ia} - абсолютне значення показника;

$P_{iб}$ - базове, еталонне або прийняте за певну категорію значення показника даний час.

Значення K_i обчислюються таким чином, щоб збільшення цього коефіцієнта відповідало поліпшенню якості продукції.

При цьому необхідно врахувати вагомість властивості об’єкта оцінки. У зв'язку з цим, комплексна властивість продукції даного рівня являє собою суму добутків диференціального відносного показника властивості K_i на коефіцієнт вагомості m_i.

$$K_K = \sum_{i=1}^{n} K_i m_i . \qquad (2)$$

Значення коефіцієнтів вагомості визначаються за допомогою різновидів експертного і неекспертного (аналітичного) методів.

Сумарна кількість коефіцієнтів вагомості властивостей на будь-якому з рівнів приймається постійною, рівною 1,0 або 100%, якщо коефіцієнти дані не в частках, а у відсотках. Таким чином існує залежність:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i = 1{,}0(100\%) = const. \qquad (3)$$

Такий зв'язок дозволяє визначати вплив будь-якої диференціальної властивості на комплексний показник якості на нульовому рівні за залежністю:

$$K_{in} = K_{i1_i} K_{i2} K_{i3} .... K_{in}, \qquad (4)$$

де 1, 2, 3, ..., n - рівні моделі якості продукції.

У дорожньо-будівельному виробництві оцінку якості автомобільної дороги можна здійснити, застосувавши методику, запропоновану В.М. Сіденком [1] (рис.2).

Г.Г. Азгальдов в своїх наукових роботах розробив основи побудови дерева властивостей продукції, на основі яких, стосовно до дорожньо-будівельного виробництва, запропоновані наступні принципи побудови моделі (дерева) якості [4, 6]:

1. Всі властивості рекомендується класифікувати за рівнями від нижчого (нульового) до найвищого (*n-го*). Нульовий рівень являє собою комплексний показник якості продукції. Найвищий (*n-й*) рівень повинен представляти прості неподільні властивості. Наприклад, щільність грунту, водонасичення, рівність покриття, естетичність дороги і т.д.

2. Необхідно побудувати модель з мінімальною кількістю класифікаційних рівнів в поєднанні з прийнятною точністю оцінки якості продукції.

В роботах Н.Т. Кавешнікова [3, 5] запропоновано приклад побудови кваліметричної моделі інтегрального показника якості дороги на стадії її експлуатації (рис.3). При цьому коефіцієнт якості окремих елементів доріг можна визначити по формулі:

$$K_Э = \sum_{i=1}^{n} P_i \; m_i \,, \qquad (5)$$

де P_i - коефіцієнт якості розглянутого диференційного показника;
m_i - коефіцієнт вагомості розглянутого елемента дороги;
n - кількість показників розглянутого елемента дороги.

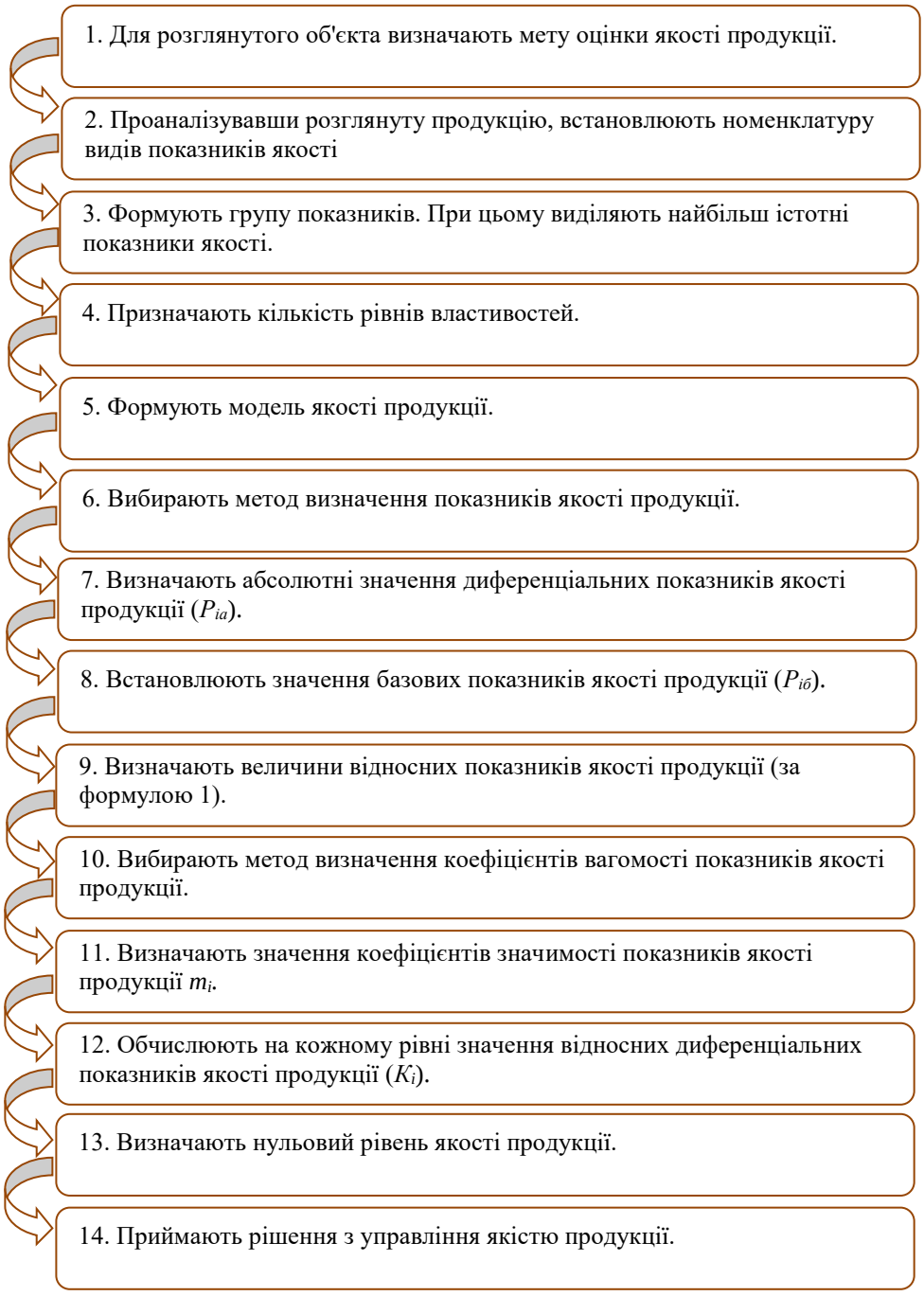


Рисунок 2 – Методика оцінки стану доріг за кваліметричною моделлю

Комплексну оцінку якості розглянутої дороги можна визначити за формулою:

$$K_Д = \sum_{i=1}^{n} K_{Эi}\ m_Э \quad , \qquad (6)$$

де $K_{Эi}$ - коефіцієнт якості розглянутого елемента дороги;

m_i - коефіцієнт вагомості розглянутого елемента дороги;

n - кількість елементів розглянутої дороги.

<table>
<tr><td rowspan="12"></td><td rowspan="12"></td><td rowspan="2"></td><td>1.Рівність покриття</td></tr>
<tr><td rowspan="2">13.Експлуатаційна</td><td>2. Шорсткість покриття</td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td>3. Міцність ДО</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(Кк)
17.Комплексна</td><td>4. Гігієнічні показники</td></tr>
<tr><td rowspan="2">14.Ергономічна</td><td>5. Відповідність вимогам споживачів</td></tr>
<tr><td rowspan="6">(КІ)
18.Коефіцієнт
інтегральної оцінки</td><td rowspan="5">якість</td><td>6. Естетичність дороги</td></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td>7.Безвідмовність</td></tr>
<tr><td>15.Надійність</td><td>8.Довговічність</td></tr>
<tr><td></td><td>9.Ремонтопридатність</td></tr>
<tr><td>16.Технологіч-</td><td>10.Механізація робіт</td></tr>
<tr><td></td><td>ність</td><td>11.Трудоємкість</td></tr>
<tr><td colspan="3">12.Експлуатаційні витрати на утримання дороги</td></tr>
</table>

Рисунок 3 – Приклад кваліметричної моделі інтегральної оцінки стану дороги на стадії її експлуатації

Приклад побудови кваліметричної інтегральної моделі якості експлуатаційного стану ділянки дороги Київ-Чернігів-Нові Яриловичі від 45 км. до 50 км., протяжністю 5 км. наведено на рис.4.

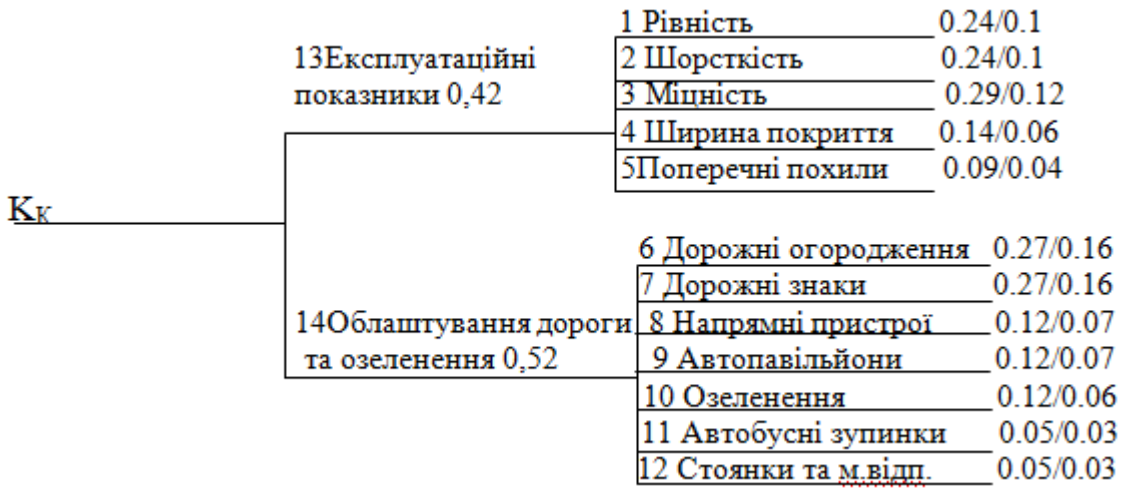


Рисунок 4 – Кваліметрична інтегральна модель якості експлуатаційного стану та облаштування дороги (на прикладі ділянки дороги Київ-Чернігів-Нові Яриловичі від 45 км. до 50 км. за даними 2014 року)

Де $K_к$ = 0,2041, що визначено за формулою 2 для заданої ділянки при визначених експертним методом коефіцієнтах вагомості параметрів «дерева властивостей».

Середньозважені значення об'єктів, доріг або їх ділянок, визначені за вищенаведеними залежностям, оцінюються наступним чином: від 3,0 до 3,75 - «задовільно»; від 3,76 до 4,50 - «добре» і від 4,51 до 5,00 - «відмінно» [3, 6].

Отже, комплексний інтегральний показник оцінки якості експлуатаційного стану та облаштування дороги для ділянки дороги Київ-Чернігів-Нові Яриловичі від 45 км. до 50 км. за даними 2014 року відповідає оцінці «незадовільно».

Висновки

Слід зазначити, що кваліметрія як наука переживає період становлення, чим пояснюється відсутність єдиної думки серед науковців з низки питань. Однією з головних проблем, яка може бути вирішена емпірично, є розробка алгоритму перетворення параметрів об'єкта в показники його якості і, зокрема, цілеспрямований пошук тієї мінімальної сукупності властивостей (показників), які утворюють «дерево властивостей» об'єкта. Проблема вибору полягає у виявленні певних груп показників, які задовольняли б вимогам їх необхідності, достатності та незалежності [7]. Ця проблема особливо актуальна для автомобільних доріг, які самі по собі є складними інженерними спорудами з великою кількістю елементів та їх складових.

Для вирішення цієї проблеми може бути використаний функціонально-типологічний аналіз, заснований на розгляді якості як системи. При цьому розрізняють зовнішні споживчі якості (властивості), за якими судять про здатність автомобільних доріг задовольняти певні потреби відповідно до призначення, і внутрішні споживчі якості - фізичні, що зумовлюють зовнішні якості і характеризують дорогу як цілісний об'єкт (створюваний і експлуатований).

Оцінка якості часто проводиться з метою вирішення задачі оптимізації якості об'єкта, тобто досягнення найкращого співвідношення між одержуваним від використання об'єкта корисним ефектом і визначення ступеня відповідності об'єкта оцінки заданому еталона.

Оптимізація оцінки якості є складним, багатокритеріальним завданням.

Література

1. Сиденко В. М., Рокас С. Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1981.
2. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. М.:Транспорт, 1990.
3. Управление качеством продукции (на примере выполнения дорожно-строительных работ): Учебное пособие /Н. Т. Кавешников; Московский государственный университет природообустройства М. 2000.
4. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). М.: Экономика, 1982.
5. Кавешников Н. Т. Основные понятия и терминология по управлению качеством продукции и экологическому управлению. М.: МГУП, 1998.
6. Райхман Э. П., Азгальдов Г. Г. Экспертные методы в оценке качества товаров. М.: Экономика, 1974.
7. Азгальдов Г.Г. Кое-что о препятствиях на пути квалиметрии. / Г.Г. Азгальдов // Качество и жизнь. 2014. № 3 (3). С. 90-92.

Рецензенти

Братчун В.І., д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматроськ)
Угненко Є.Б., д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

Bratchun V.I., Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)
Uhnenko Ye.B., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

UDC 656.338.12

Osiaiev Iu.M., PhD in Technical Sciences

UKRAINIAN ROAD SECTOR PROJECTS IMPLEMENTATION WITHIN THE PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP

Problem statement

The topical problem of the Ukrainian public road system development is the realization of projects on reconstruction and repair of roads and engineering structures located on them that in its turn requires both financial and material and technical resources at all stages of projects implementation - from their implementation to operation. These important issues shall be resolved with the participation of both the state and private capital that's why the public-private partnership issue arises.

Analysis of studies and publications

The issues of external financing of enterprises and project management were elaborated in publications of H.F. Boiko, Iu.S. Hrysiuk. L. Otul, V. Rebok, V.I. Iakunin, V.H. Varnavskyi, V.N. Mochalnykov, L.I. Iefimova, V.A. Mykhieiev, V.Ie. Manzhykova, E.Iu. Bondarenko, V.I. Iakunin, A.M. Vinnyk and others have been investigating the public-private partnership.

The objectives hereof are the theoretical coverage, structuring and classification of financing methods of the launch and operation of the public-private projects in the Ukrainian road sector.

The main material

In recent decades the main scientific and practical problems in the project management have been formed by the International Project Management Association (IMPA). The definition of the "project" can have different interpretations depending on the nature of the project. For example, when we are talking about the project implementation in the physical representation (buildings, industrial buildings, etc.) the "project" is a purposeful, pre-determined and planned construction or upgrading of physical objects, technical processes, technical and organizational documentation for them and created usage systems of usage of material, labor, financial and other

resources and management decisions and measures to implement them. In the modern sense the projects are a thing that changes our world: industrial object construction, research program, enterprise reconstruction, new organization creation, a new technology and technology development, a new movie creation, implementation of social and technical measures for regional development- all of these are projects.

In this sense in the transport construction one can distinguish a number of specific projects groups connected by their purpose, implementation method and peculiarities of resources (investment) support. A brief classification includes 5 projects groups, namely:

A Group. Projects on the regions' transport connection management structures development such as:

- projects on the creation and implementation of the regions' socio-economic development models which allow to get the information on the need for transport facilities and requirements for their operational characteristics based on the promising information on dynamic characteristics of the sectors and region's social structure;
- projects on the determination of the rational structures and transport facilities' operational maintenance forms;
- projects on the regions' transport connections;
- projects on the rational relationship system creation between the parties of the work programs implementation on the criteria of mutual benefit and profit.

B Group. Projects on the transport facilities development such as:

- projects on the creation and maintenance of investment processes for the construction or reconstruction of existing transport facilities such as roads, bridges, transport services objects or separate routes;
- projects on the long-term programs implementation of the transport facilities' operational maintenance;

C Group. Projects on the creation of modern methods of planning, organization and production management such as:

- projects on the development of substantiation systems of current and future work programs and resources which ensure the reliable operating condition of the road network;
- projects on the creation of rational methods systems of work production organization on the road network of the region as one of the functions of the production management;

- projects on the determination of rational management forms of the operation maintenance system of individual regions' roads.

D Group. Projects on the manufacturing and industrial base development such as:

- projects on the substantiation of current and future needs for material and technical resources that are required to perform certain work programs;

- projects on the creation of management system of the region's industrial base.

E Group. Projects on the new technologies creation such as:

- projects on the new design solutions implementation such as a road pavement construction, new bridge constructions and so on;

- projects on the creation and implementation of technologies for production of new materials and constructions manufacturing processes automation systems.

F Group. Projects on the social welfare services such as:

- projects on the creation of efficient use of the region's labor resources in the implementation of promising work programs on the road network.

All types of projects combine two features such as their performance requires some investment resources and they develop according to typical phases. This means that under the conditions of a shortage of the customer's investment resources, it should look for favorable conditions and attract other participants' investment resources to the project. The involvement in the cooperation of other concerned project participants can take place at different phases of the project management which under the peculiarities of the transport construction are identified as follows:

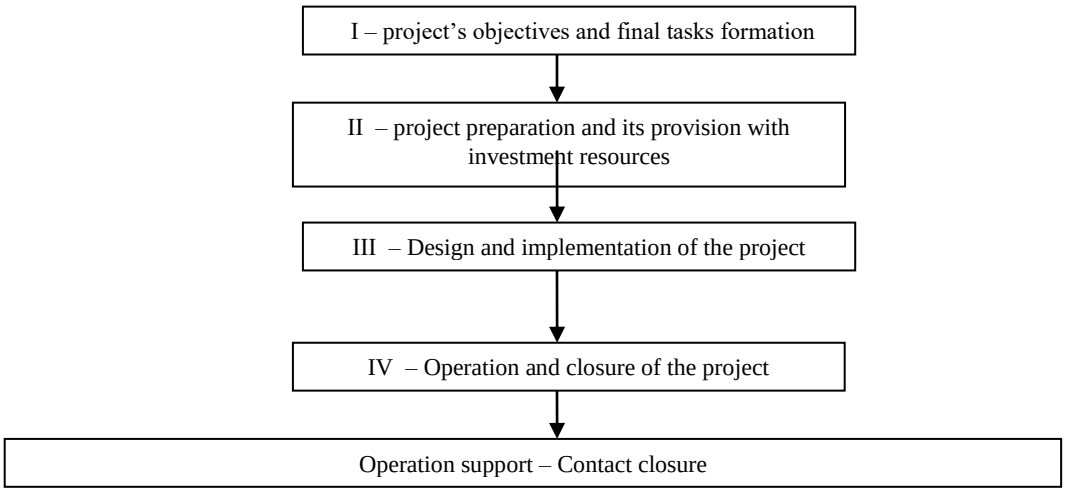


Figure 1 - Project management phases

The main feature of this projects management stages formation system is to maintain continuous assessment processes of the intentions and actions of all participants regarding the use of investment resources that are present in each phase. With this purpose in each phase of projects management one should use special techniques or carry out technical and economic calculations to determine directions or rational variants of investments use.

For the development of the road sector projects implementation processes under terms of the public-private partnership it's necessary to solve some preliminary tasks, which essentially form a sequence of actions on the development of this project implementation form.

First of all, it should be noted that the projects management is an activity performed by a highly professional community of experts. Therefore, sector bodies shall be created that control and direct the development of the processes on the development of different projects groups which will be performed using different investment forms. This should be a special management structure that acts on the public-sector level and its Articles of Association and activities functions are defined by the list of actions aimed at projects management provided the involvement of various resources forms.

An example of such structure can be projects management groups created in 2003 – 2008, for example M-06 GROUP, which cooperated with the State Agency of Automobile Roads of Ukraine (Ukravtodor) in the process of the projects implementation problems solution with the involvement of the international investment banks. During the last time these groups were combined in the organization structure which is called the State Enterprise Ukrainian Road Investments "Ukrdorinvest", the function of which is to facilitate the determination of the scope and structure of investments in the roads' construction and reconstruction and maintenance of these projects to their operation.

The second task is the development of the legislative framework on the public-private partnership development directly in the transport construction field. Despite the fact that recently in Ukraine the legislative acts were adopted in the area of the public-private partnership development there is still a real need for the development, operational management and adaptation to the current conditions of certain provisions of these laws. First of all it is about taking into account the characteristics of the long-term management of investment projects on the maintenance of the rational level of the road network condition.

The third task is the establishment of the all works complex on the project documentation formation. It should be distinguished two directions such as the creation of the complete structure of national requirements and the documents development under the international standards. These requirements are reflected, for example, in the development of the EUROCODES system which is used in the process of the projects drafting, it is the development of standards in the area of accounting and economic regulation, for example, accounting systems.

The fourth task is the work process implementation on the performance of the programs of individual projects using modern forms of the production activities management of the main performers. First of all, it is about the creation and use of operational management system of the resources use processes both investment and production resources of the work programs performers.

The fifth task is the development of modern forms of operational projects such as the project management based on long-term contracts, development of new forms of investment attraction, for example, the fare of certain groups of vehicles, use of advanced forms of concessions and joint use (operation) of transport facilities.

The sixth task is the comprehensive maintenance of management processes of all types of projects classified above as well as all projects under various forms of purpose such as construction, repair, operational maintenance.

To implement the various groups of transport construction it's possible to attract different types of investment resources, and the best option of their selection is defined both by terms of investment and forms of possible business partnership. The comparative characteristics of conditions and methods of the investment resources use in the transport production is shown in Table 1.

The final foundation of forms and conditions of the investment resources use is defined in the process of the technical-economic foundation of the project and economic calculation of feasibility of a particular investment process. With this purpose at the different stages of the first phase of the project performance certain documents are drown up (according to the project team and its type):

- Project Development Requests;
- Business Plans;
- Provisional Project Budget;

- Technical and Economic Feasibility Study for a project and its individual stages

For the paperwork both typical methodologies and approaches for all industries, and specific instructions, methodologies and guidelines which are in force in the field of the transport projects substantiation are used.

In the table below the basic advantages and disadvantages of the projects' investment schemes are identified.

Table 1 - Advantages and disadvantages of different investment schemes

Types of investments	Use conditions	Partnership conditions		Advantages	Disadvantages
		Name	Conditions		
1	2	3	4	5	6
I Public funding	High social significance The company's activities shall must state standards Resources provision and products shall be directed to the objects of national importance	All kinds of production activities	Projects of A, B, C Group	Reliability and regularity of financial support The lack of charges and taxes on received resources Efficiency and transparency of the operations with financial resources	Difficulties in resources obtaining The probability of the project's underfunding The limited amounts of funding The limited space of the allocated resources use
II Crediting	A clear plan for establishing the project and the amount of resources	All kinds of business activities (without limitation)	Projects of all groups such as A, B, C, D, E	Speed of the processes for the resources receipt Almost no restrictions on the amount of resources	Need of pledge (guarantee) Rather high rates of the resources obtaining

End of tabl. 1

1	2	3	4	5	6
	A positive history of the company's activities or the kind of activity High liquidity of the project			Lack of control over finances The flexibility and multivariance of the clearing payments processes	The high cost of the project The probability of bankruptcy The probability of losing the company (or the project)
III Strategic investment	Stable macro-economic projects The high level of management in the project's operation phase	Significant international projects	Projects of A and B Groups	The use of the experience and technological advantages of the investor The inclusion of the project in the general programs The use of significant resources The obligation of the ultimate goal reaching	High dependence on the investor The ability to change the results of the project by the investor and other participants The low profitability of the project at the operation stage

Conclusions

Thus, not all of the schemes of the projects launch and management are universal. Thus, should the type II schemes be the most affordable in terms of attracting private capital, they shall meet considerably higher requirements for the risk management, but these projects are best suited to the public-private partnership implementation concept due to high liquidity.

References

1. Закон України «Про концесії на будівництво та експлуатацію автомобільних доріг» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2009. – № 25. –Ст. 312.
2. Закон України «Про державно-приватне партнерство» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2010, N 40, ст.524
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку надання приватним партнером державному партнеру інформації про виконання договору, укладеного в рамках державно-приватного партнерства» від 9 лютого 2011 р. № 81
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку надання державної підтримки здійсненню державно-приватного партнерства» від 17 березня 2011 р. № 279
5. Наказ Міністерства економічного розвитку та торгівлі України «Про затвердження форми подання пропозиції щодо здійснення державно-приватного партнерства» від 16 серпня 2011 р. № 40
6. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Деякі питання проведення аналізу ефективності здійснення державно-приватного партнерства» від 27 лютого 2012 р. № 255
7. Державно-приватне партнерство: світовий досвід та перспективи реалізації в Україні Юридична газета. – 2013. – № 22. – С. 42 – 43.
8. Бондаренко Е. Ю. Оптимизация рисков частно-государственного партнерства с участием международных финансовых институтов / Е. Ю. Бондаренко // Экон.науки. – 2008. – No 5. – 140 с.
9. Вінник О.М. Корпоративна форма державно-приватного партнерства: проблеми правового забезпечення на тлі зарубіжного досвіду : Монографія. – Суми : МакДен, 2012. – 204 с.
10. Якунин В. И. Партнерство в механизме государственного управления / В. И. Якунин // Социол.исслед. – 2007. –No 2. – С. 13-14

Рецензенти

Братчун В.І., д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматроськ)

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers

Bratchun V.I., Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)

Nahaichuk V.M., Ph.D., DerzhdorNDI (Kyiv)

УДК 625.7 : 004

Канін О.П., канд. техн. наук

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ ГОСПОДАРСТВОМ НА ОСНОВІ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЇ

Анотація. У статті оприлюднені відомості про Інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством (ІАСУ ДГ).

Об'єкт дослідження – програмне забезпечення інформаційно-аналітичної системи управління станом дорожніх одягів і мостів на автомобільних дорогах.

Мета роботи - ознайомити науковців і практиків з призначення і особливостями використання ІАСУ ДГ, а також запропонувати перспективні напрями її розвитку.

Розглядається створена у 2012 р. в Національному транспортному університеті на замову Укравтодору Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством (ІАСУ ДГ) з метою виконання п. 7 Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування.

ІАСУ ДГ є програмно-аналітичним комплексом, призначеним для накопичення, аналізу та відображення даних обстежень експлуатаційного стану дорожніх одягів і мостів на автомобільних дорогах і планування їх ремонтів. ІАСУ ДГ складається з трьох окремих програм, які використовують бази даних Системи управління станом покриття (СУСП), Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) і власну аналітичну базу даних, що формується шляхом імпорту даних з СУСП і АЕСУМ. ІАСУ ДГ реалізована на основі веб-технології, що не потребує від користувачів встановлювати для використання ІАСУ ДГ будь-якого спеціального програмного забезпечення. Це значно скорочує витрати на обслуговування системи і розширює коло користувачів.

Для удосконалення ІАСУ ДГ розроблені оптимізаційні моделі обґрунтування стратегій експлуатації дорожніх одягів та мостів, які базуються на застосування імітаційних моделей, методів еволюційного моделювання для пошуку оптимальних рішень, врахування ризиків при обґрунтуванні рішень.

Ключові слова: укравтодор, дорожнє господарство, автомобільні дороги, інформаційно-аналітична система, управління, веб-технології.

Аннотация. В статье опубликованы сведения об Информационно-аналитической системе управления дорожным хозяйством (ИАСУ ДГ).

Объект исследования - программное обеспечение информационно-аналитической системы управления состоянием дорожных одежд и мостов на автомобильных дорогах.

Цель работы - ознакомить ученых и практиков о назначении и особенностях использования ИАСУ ДГ, а также предложить перспективные направления ее развития.

Рассматривается созданная в 2012 г. в Национальном транспортном университете по заказу Укравтодора Информационно-аналитическая система управления дорожным хозяйством (ИАСУ ДГ) с целью выполнения п. 7 Плана мероприятий по реализации Концепции реформирования системы государственного управления автомобильными дорогами общего пользования.

ИАСУ ДГ является программно-аналитическим комплексом, предназначенным для накопления, анализа и отображения данных обследований эксплуатационного состояния дорожных одежд и мостов на автомобильных дорогах и планирование их ремонтов. ИАСУ ДГ состоит из трех отдельных программ, которые используют базы данных Системы управления состоянием покрытия (СУСП), аналитической экспертной системы управления мостами (АЕСУМ) и собственную аналитическую базу данных, которая формируется путем импорта данных СУСП и АЕСУМ. ИАСУ ДГ реализована на основе веб-технологии, не требует от пользователей устанавливать для использования системы какого-либо специального программного обеспечения. Это значительно сокращает расходы на обслуживание системы и расширяет круг пользователей.

Для усовершенствования ИАСУ ДГ разработаны оптимизационные модели обоснования стратегий эксплуатации дорожных одежд и мостов, которые базируются на применении имитационных моделей, методов эволюционного моделирования для поиска оптимальных решений, учета рисков при обосновании решений.

Ключевые слова: укравтодор, дорожное хозяйство, автомобильные дороги, информационно-аналитическая система, управление, веб-технологии.

Annotation. In the article published information about Information-analytical system of road management.

The object of study is software of information and analytical system of the state of pavements and bridges on the roads.
Purpose is to inform scientists and experts with the purposes and use of the features of IASRM and offer promising areas of development.
Considered established in 2012 at National transport university in order Ukravtodor Information-analytical system of road management (IASRM) to perform n. 7 Action Plan to implement the Concept of reform of public administration public roads.
IASRM is program-analytical system designed to collect, analyze and display data surveys performance of pavements and bridges on the roads and planning their repairs. IASRM consists of three separate programs that use database Pavement management systems, Analytical expert system bridge management (AESBM) and his own analytic database, which is formed by importing data from PMS and AESBM. IASRM is implemented based on Web technology that does not require users to install any special software. This significantly reduces the cost of system maintenance and extends the range of users.
To improve IASRM optimization models developed strategies maintenance pavements and bridges that are based on the use of simulation models, evolutionary modeling methods to find optimal solutions, taking into account the risks for substantiation decisions.
Keywords: ukravtodor, roads, information-analytical system, management, web technologies.

Постановка проблеми

Формування інформаційно-аналітичної системи управління дорожнім господарством (ІАСУ ДГ) є одним з пунктів Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування (п. 7) [1].

Створення ІАСУ ДГ являє собою складне науково-технічне завдання, яке ґрунтується на розробці теоретико-методологічних засад, моделей, методів і систем прогнозування експлуатаційного стану доріг, планування, організації, мотивації і контролю в управлінні дорожнім господарством на основі застосування сучасних інформаційних технологій. В процесі створення ІАСУ ДГ необхідно врахувати перевірені практикою існуючі програмно-аналітичні комплекси.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Історія розвитку систем управління станом доріг у світі становить вже майже півсторіччя [2, 3]. В Національному транспортному університеті на початку 2000-х років під керівництвом к.т.н. Кизими С.С. була створена Система управління станом покриття (СУСП) [4], а під керівництвом д.т.н. Лантуха-Лященка А.І. - Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) [5]. Програмне забезпечення обох цих систем вперше було розроблене к.т.н. Каніним О.П.

З метою розв'язання нових задач, що висувались практикою, СУСП і АЕСУМ постійно розвивались та модифікувались завдяки зусиллям Боднар Л.П (АЕСУМ, ДП «ДерждорНДІ») та Рибіцького Л.Л. (СУСП, ДП «Укрдіпродор») при науковому і програмному супроводі Лантуха-Лященка А.І., Кизими С.С., Каніна О.П.

На сьогодні база даних СУСП, на жаль, майже не наповнюється новими даними спостережень у необхідному об'ємі з-за недостатнього фінансування інструментальних обстежень дорожнього одягу. В той же час, АЕСУМ активно розвивається і зараз охоплює всі обласні служби автомобільних доріг.

З метою реалізації Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування Національним транспортним університетом на замовлення Укравтодору в 2011-2012 роках була виконана науково-дослідна робота на тему «Розробити інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством», по завершенні якої була створена ІАСУ ДГ [6, 7]. У кінці 2012 р. система була встановлена на сервері ДП «Укрдорзв'язок».

Мета статті - ознайомити науковців і практиків з призначенням і особливостями використання ІАСУ ДГ, а також запропонувати перспективні напрями її розвитку.

Виклад основного матеріалу

Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством є надбудовою над уже багато років діючими програмами СУСП та АЕСУМ), яка поширює їх функції і не вимагає заміни. Вона дозволяє виконати дві важливі задачі управління дорожнім господарством:

- оцінити поточний експлуатаційний стан дорожніх одягів автомобільних доріг і мостів та визначити потребу в їх ремонтах на найближчі роки і на віддалену перспективу;

- забезпечити оперативний доступ користувачів різних рівнів до централізованих баз даних в он-лайн режимі (через мережу інтернет).

Головною особливістю створеної ІАСУ ДГ є реалізація її програмного забезпечення на базі сучасних веб-технологій, яка не потребує встановлення на комп'ютери користувачів додаткового спеціального програмного забезпечення та наступного його обслуговування. Системою можуть скористатися всі, хто має доступ до інтернет і кому це дозволено. Он-лайн доступ до баз даних ІАСУ ДГ зменшує витрати на обслуговування системи і надає можливість включити в процес інформаційного обміну в даній предметній області велику кількість зацікавлених сторін (рис. 1).

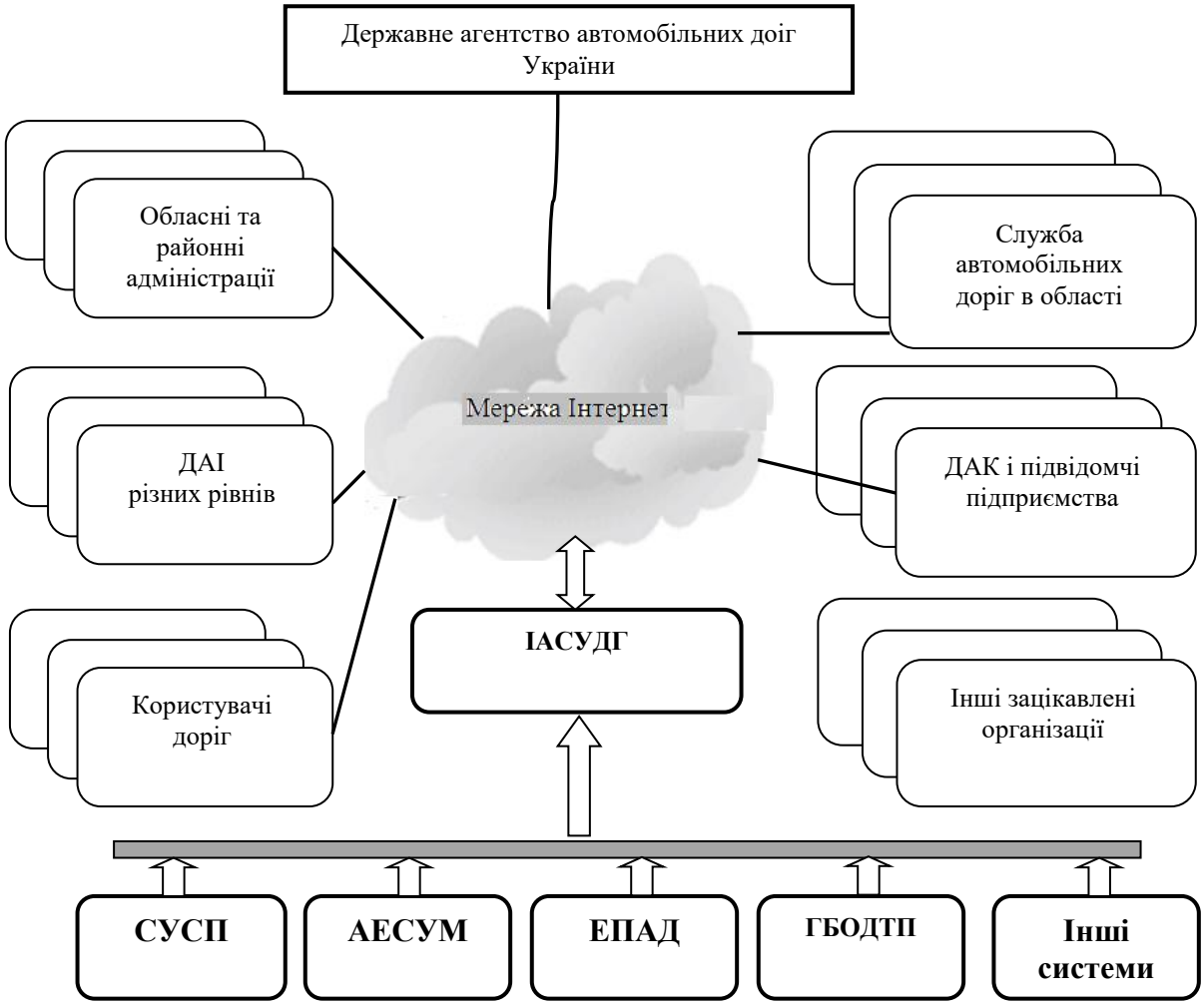


Рисунок 1 – Схема ІАСУ ДГ на рік створення

На рік розробки і впровадження ІАСУ ДГ були створені декілька джерел даних про стан доріг і мостів, до яких, в першу чергу, слід віднести:

СУСП - Система управління станом покриття державних доріг;

АЕСУМ - Аналітична експертна система управління мостами державних і місцевих доріг;

ЕПАД - Електронний паспорт автомобільної дороги;

ГБОДТП - Галузева база обліку ДТП;

БОС - База оперативного стану доріг державного значення.

БОС замислювалась, свого часу, як єдина центральна база даних, яка повинна була містити дані про паспорти доріг, стан доріг і мостів, про стан і забезпечення безпеки руху, слугувати основою для впровадження геоінформаційної системи автомобільних доріг. Об'єднаними зусиллями розробників ЕПАД , СУСП, АЕСУМ наприкінці 2000-х років БОС була створена. Проте, в процесі розробки ІАСУ ДГ з'ясувалось, що БОС не містила в собі майже ніяких фактичних даних. На жаль, з певних причин, не був дозволений доступ до ГБОДТП. Тому розробники ІАСУ ДГ були змушені обмежитись включенням до ІАСУ ДГ баз даних СУСП і АЕСУМ, які вже довгий час використовувались в практичній діяльності Укравтодору.

ІАСУ ДГ містить три бази даних: дві транзакційні (такі, що дозволяють введення даних обстежень та їх редагування користувачами) бази даних СУСП і АЕСУМ, та знов створену базу аналітичних даних, яка є надбудовою над транзакційними базами даних і слугує для відображення аналітичних даних у веб-браузері, формування та друку звітів (рис. 2).

Програмне забезпечення ІАСУ ДГ складається з трьох незалежних модулів:

1) ІАСУ ДГ-СУСП, призначеного для введення і редагування даних інструментальних спостережень міцності дорожнього одягу, рівності і зчеплення покриття, різноманітних руйнувань дорожнього одягу та інших необхідних даних в режимі он-лайн.

2) ІАСУ ДГ-АЕСУМ, призначеного для введення і редагування даних паспортизації та обстежень мостів на автомобільних дорогах, включаючи дані про всі дефекти елементів мостів і експертні оцінки експлуатаційного стану, в режимі он-лайн.

3) ІАСУ ДГ-Аналітика, призначеного для формування аналітичних звітів з оцінки експлуатаційного стану дорожнього одягу і мостів, різноманітних звітів з планування ремонтів доріг і мостів.

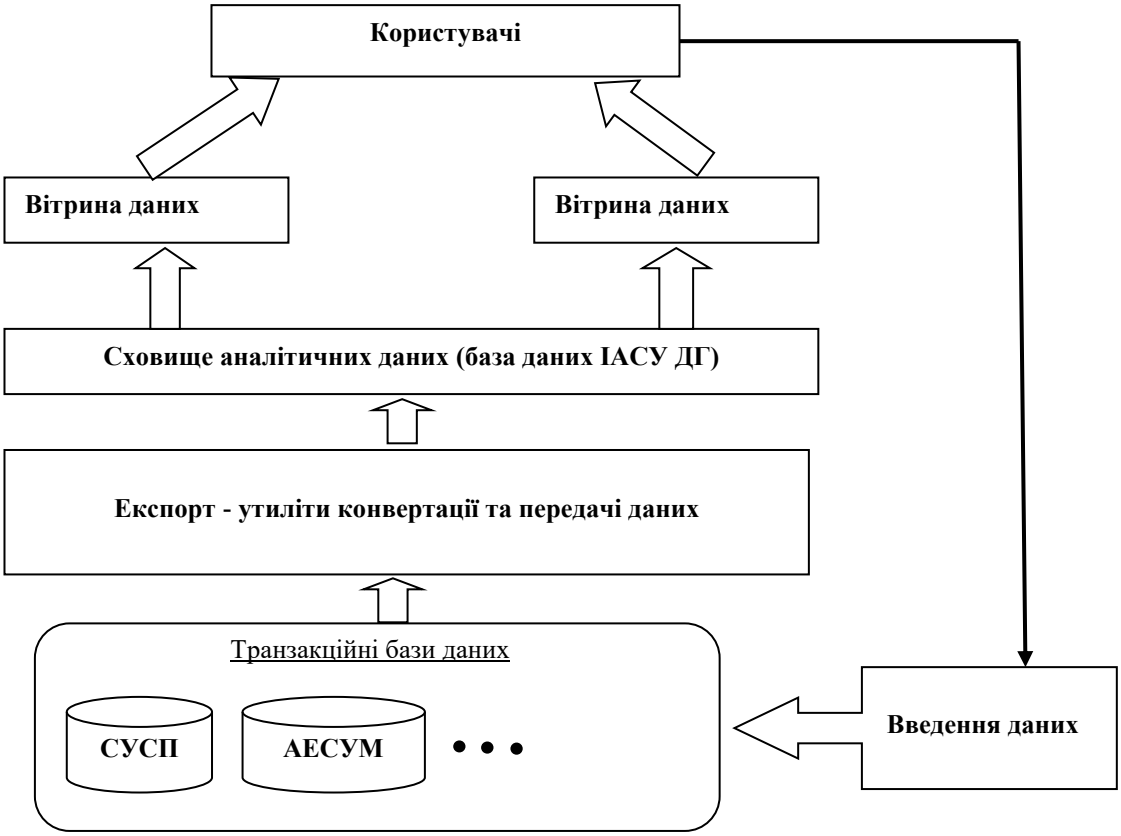


Рисунок 2 – Схема функціонування ІАСУ ДГ

Взаємодія користувачів з системою здійснюється в двох головних режимах. В першому режимі користувачі мають доступ до вибірок аналітичних даних, які спеціально підготовлені в рамках окремих програмних комплексів СУСП і АЕСУМ (та в інших, по мірі їх розробки та впровадження) і передані за допомогою спеціальних програмних засобів в аналітичну базу даних ІАСУ ДГ. Таблиці аналітичної бази даних ІАСУ ДГ мають мінімальні зв’язки між собою і містять в собі всі необхідні дані для практичного використання через мережу інтернет. Це дає змогу скоротити час і об’єми передачі даних. В другому режимі користувачі здійснюють введення даних безпосередньо в БД СУСП і АЕСУМ для їх поповнення та редагування з місць розташування користувачів через мережу інтернет.

СУСП і АЕСУМ мають різні структури зберігання даних по адміністративним одиницям і дорогам, тому було прийняте рішення не поєднувати їх в одній базі даних, а використовувати для аналізу стану доріг або

мостів окремо. З СУСП і АЕСУМ за допомогою SQL-запитів аналітичні дані імпортуються в аналітичну базу даних ІАСУ ДГ, де створюється або поновлюються таблиці даних експлуатаційного стану і потреби в ремонтах дорожніх одягів і мостів та необхідного для виконання ремонтів фінансування.

Програмний комплекс реалізовано з використанням ASP.NET 4.0 та мови програмування C#. В якості системи управління базами даних використовується Microsoft SQL Server різних версій (на теперішній час різних в СУСП і АЕСУМ).

Модуль ІАСУ ДГ-СУСП складається з 20 форм, модуль ІАСУ ДГ-АЕСУМ - з 17 форм, модуль ІАСУ ДГ-Аналітика включає 70 форм, в тому числі, 65 звітів. Звіти в ІАСУ ДГ-Аналітика аналогічні тим, що формуються в СУСП і АЕСУМ (рис. 3, 4). АЕСУМ містить дані про мости на дорогах державного і місцевого значення, а СУСП – тільки державного значення, до складу яких нещодавно були передані теріторіальні дороги, тому дані про міцність, рівність та зчеплення на теріторіальних дорогах в СУСП відсутні.

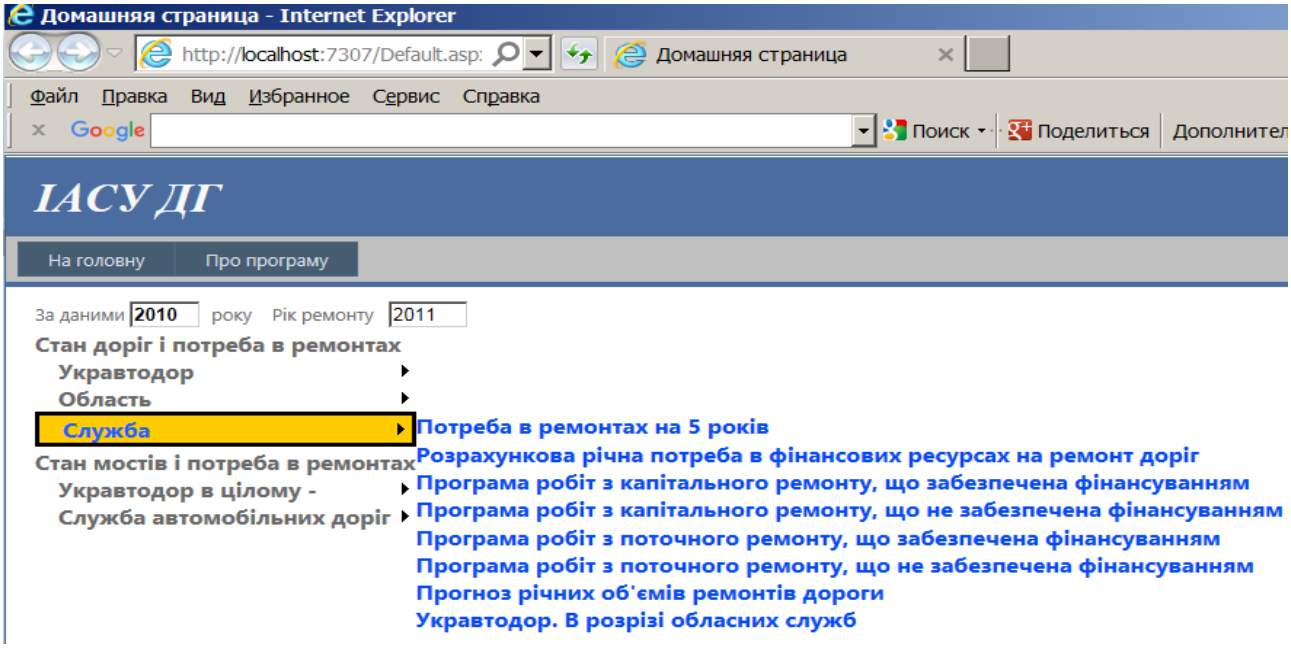


Рисунок 3 – Меню вибору звітів з планування ремонтів доріг

Звіти можуть бути надруковані у форматах Acrobat (*.pdf), Excel (*.xls), Word (*.doc). вони містять як табличні дані, так і діаграми та графіки різних видів. Приклади форм за даними 2010-2011 рр. наведені на рис. 5, 6, 7 і 8.

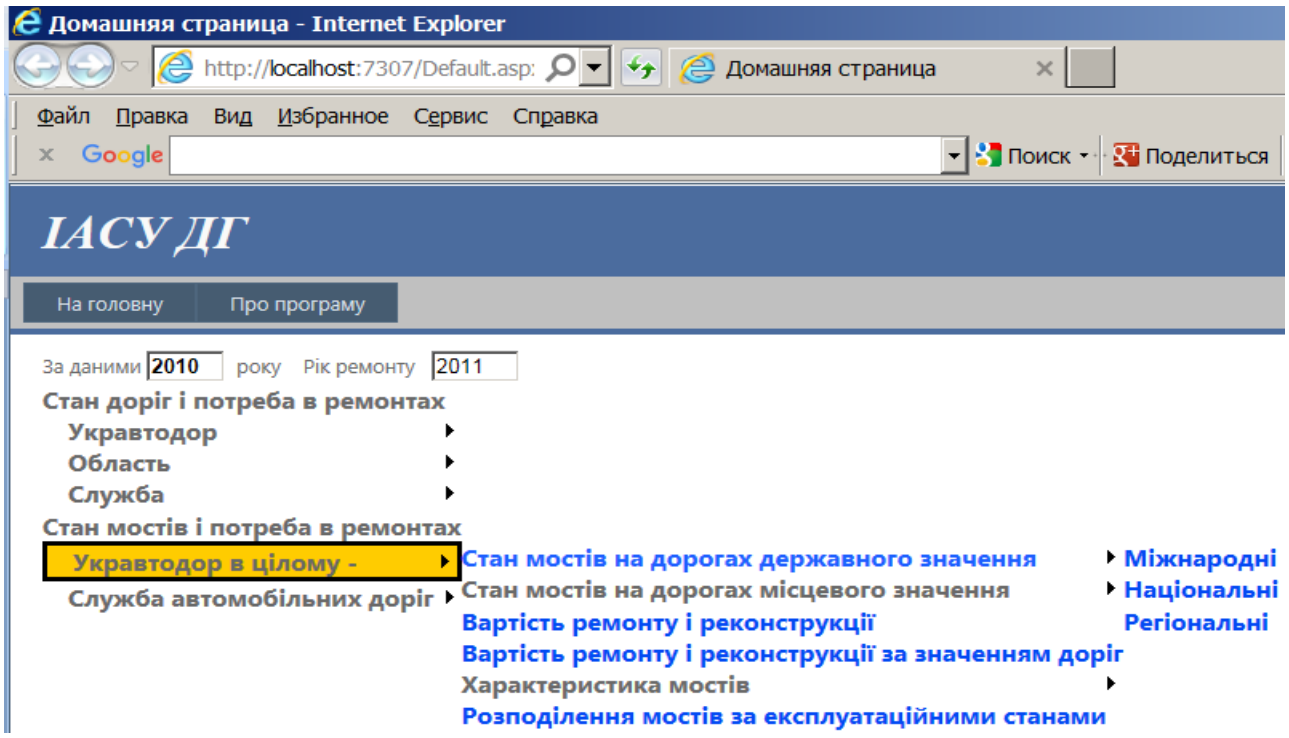
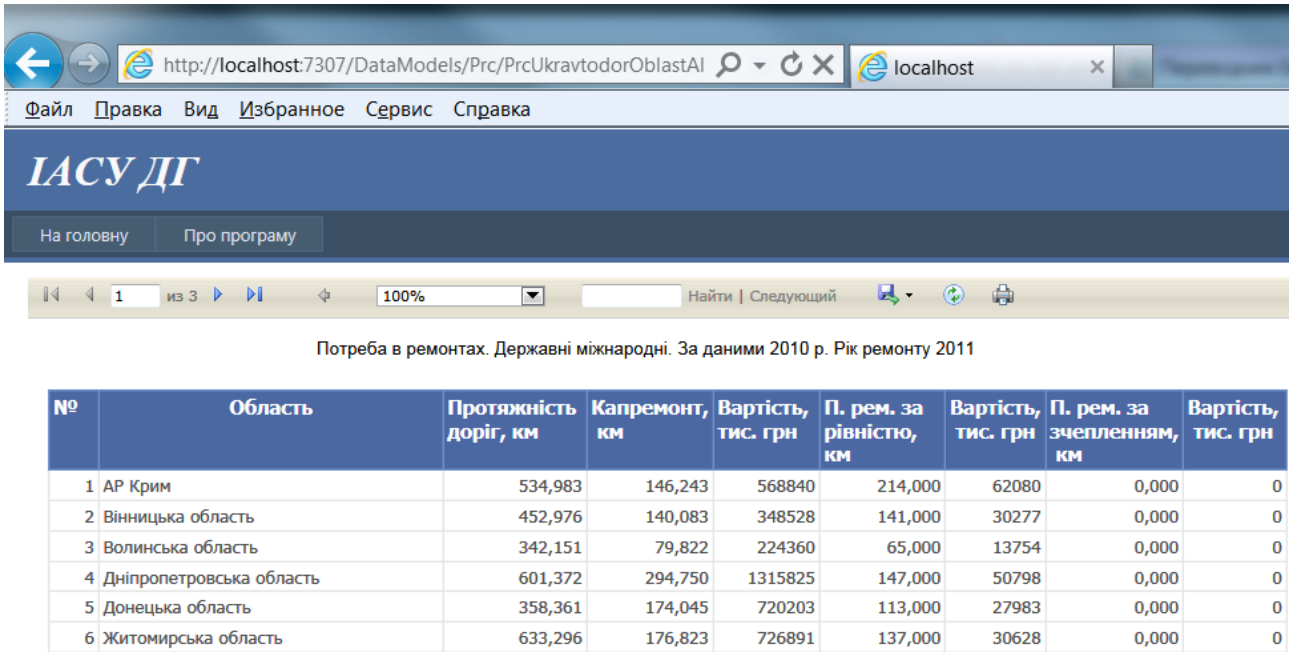


Рисунок 4 – Меню вибору звітів з оцінки експлуатаційного стану і планування ремонтів мостів



№	Область	Протяжність доріг, км	Капремонт, км	Вартість, тис. грн	П. рем. за рівністю, км	Вартість, тис. грн	П. рем. за зчепленням, км	Вартість, тис. грн
1	АР Крим	534,983	146,243	568840	214,000	62080	0,000	0
2	Вінницька область	452,976	140,083	348528	141,000	30277	0,000	0
3	Волинська область	342,151	79,822	224360	65,000	13754	0,000	0
4	Дніпропетровська область	601,372	294,750	1315825	147,000	50798	0,000	0
5	Донецька область	358,361	174,045	720203	113,000	27983	0,000	0
6	Житомирська область	633,296	176,823	726891	137,000	30628	0,000	0

Рисунок 5 – Звіт з потреби в ремонтах доріг по областям

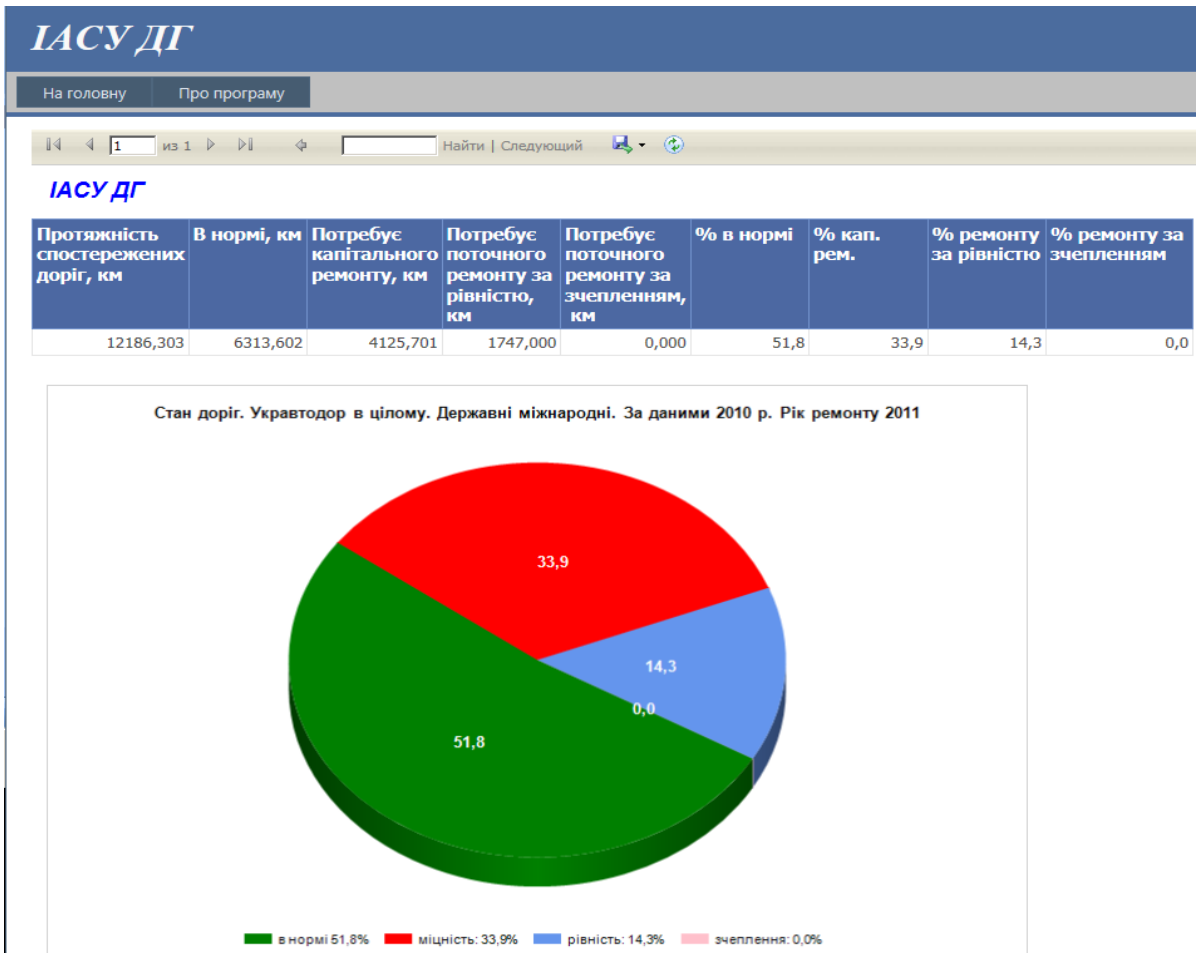


Рисунок 6 – Звіт про стан доріг на дорогах міжнародного значення

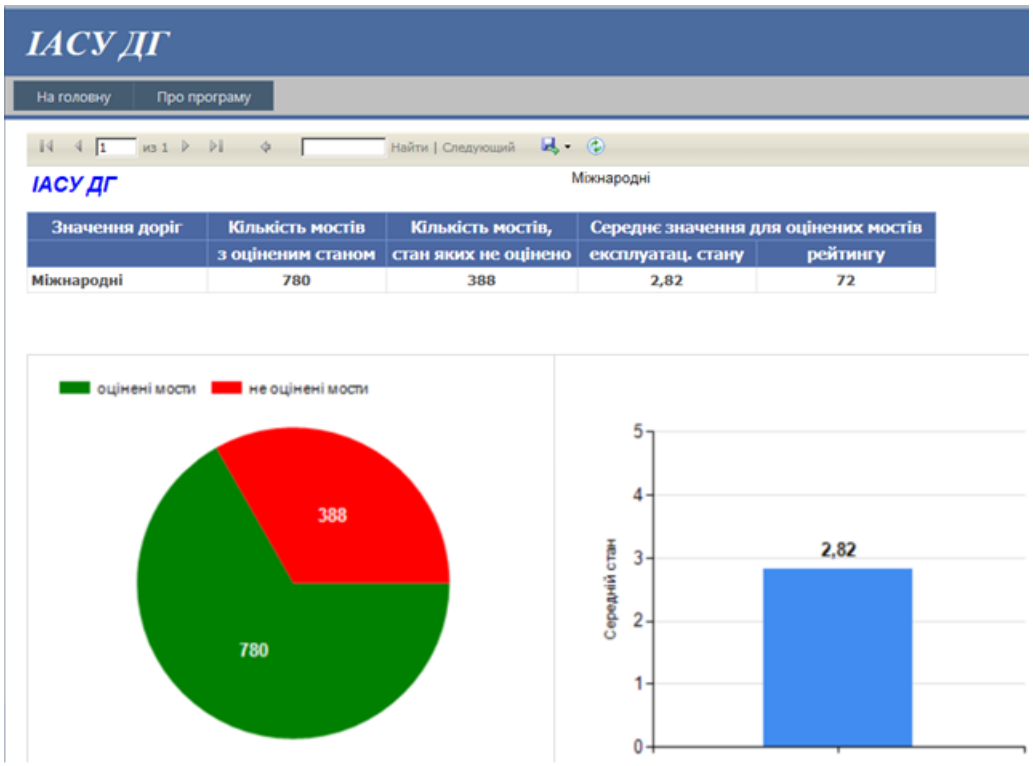
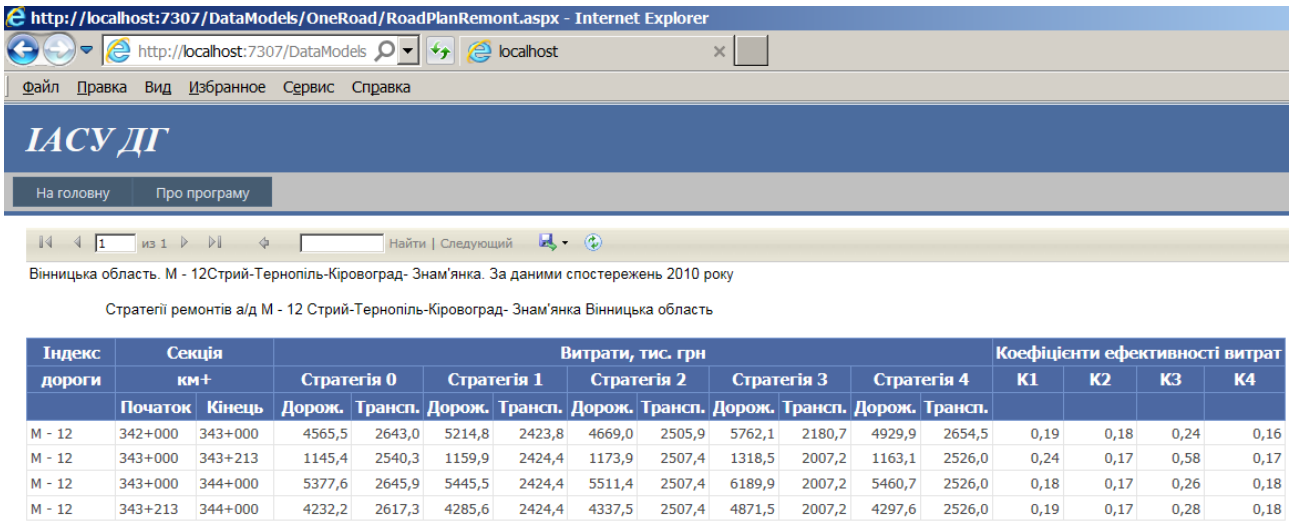


Рисунок 7 – Звіт про стан мостів на дорогах міжнародного значення



Індекс дороги	Секція км+		Витрати, тис. грн										Коефіцієнти ефективності витрат			
			Стратегія 0		Стратегія 1		Стратегія 2		Стратегія 3		Стратегія 4		К1	К2	К3	К4
	Початок	Кінець	Дорож.	Трансп.	Дорож.	Трансп.	Дорож.	Трансп.	Дорож.	Трансп.	Дорож.	Трансп.				
М - 12	342+000	343+000	4565,5	2643,0	5214,8	2423,8	4669,0	2505,9	5762,1	2180,7	4929,9	2654,5	0,19	0,18	0,24	0,16
М - 12	343+000	343+213	1145,4	2540,3	1159,9	2424,4	1173,9	2507,4	1318,5	2007,2	1163,1	2526,0	0,24	0,17	0,58	0,17
М - 12	343+000	344+000	5377,6	2645,9	5445,5	2424,4	5511,4	2507,4	6189,9	2007,2	5460,7	2526,0	0,18	0,17	0,26	0,18
М - 12	343+213	344+000	4232,2	2617,3	4285,6	2424,4	4337,5	2507,4	4871,5	2007,2	4297,6	2526,0	0,19	0,17	0,28	0,18

Рисунок 8 – Звіт про стратегії ремонтів вибраної ділянки доріг

Приймаючи до уваги розробку Географічно-інформаційна система (ГІС) як, на думку розробників, базової інформаційної системи дорожньої галузі, що містить єдину базу даних (ЄБД), комплекс робіт з інформаційного забезпечення дорожньої галузі, просторові координати, паспорти доріг, систему відображення стану мережі автомобільних доріг за допомогою ГІС, аналітична база ІАСУ ДГ може бути однією з її інформаційних складових. Слід зауважити, що ГІС не може бути єдиною базовою інформаційної системи дорожньої галузі, тому що існує багато задач управління дорожнім господарством, де не потрібні просторові координати.

На думку автора цієї статті, слід зберегти діючі програмно-аналітичні комплекси разом з досвідченими спеціалістами, які їх обслуговують. По-перше, застосування нової ЄБД, наприклад, для задач СУСП, АЕСУМ та інших програмно-аналітичних комплексів потребує значної модернізації програм. По-друге, досвідчені спеціалісти добре володіють даними відповідних програмних комплексів, що дає їм змогу швидкого контролю та експертизи даних. Найбільш перспективним шляхом є створення в діючих програмно-аналітичних комплексах засобів імпорту початкових даних з ЄБД до власних баз даних та експорту результатів розрахунків до ЄБД, як вимагається в проекті СОУ «Вимоги до геоінформаційної системи дорожньої галузі України» СОУ 42.1-37641918-063:201X.

В останні роки увага розробників ІАСУ ДГ по її удосконаленню була направлена на розробку оптимізаційних моделей обґрунтування стратегій

експлуатації дорожніх одягів та мостів на базі застосування імітаційних моделей, методів еволюційного моделювання пошуку оптимальних рішень, врахування ризиків при обґрунтуванні рішень, які запропоновані у виконаних під керівництвом автора цієї статті дисертаційних роботах [8, 9, 10]. Розроблені в цьому напрямі комп'ютерні програми отримують потрібну для моделювання інформацію з баз даних ІАСУ ДГ і розміщуються в таблицях Excel для незалежного від бази даних використання.

Новим програмним комплексом, створенним в Національному транспортному університеті на замовлення Укравтодору в 2014 р. для виконання Плану заходів щодо реалізації Концепції реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування (п. 8) [1] є Інформаційно-аналітична система управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування, реалізована на базі веб-технологій.

В 2015 р. в Національному транспортному університеті на замовлення Укравтодору була створена і наповнена база даних рівнів обслуговування для доріг державного значення, яка містить більше 1600 вимог до рівнів обслуговування елементів доріг [11, 12, 13].

Висновки

Розроблений на замову Укравтодору програмний комплекс ІАСУ ДГ, який базується на веб-технології, дозволяє значно скоротити витрати на розв'язання задач оцінювання експлуатаційного стану доріг і мостів, планування їх ремонтів.

Перспективні наукові дослідження бажано направити на створення нових теоретико-методологічних засад оцінки та прогнозування стану доріг і мостів на основі удосконалених моделей деградації елементів доріг, оптимізації стратегій експлуатації доріг і мостів та створення сучасного програмно-інформаційного забезпечення цих задач.

Необхідно забезпечити дієвий науковий супровід існуючих програмно-аналітичних комплексів та розробки нових комплексів силами науковців провідних університетів та ДП «ДерждорНДІ».

Література

1. Деякі питання реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування [Електронний документ] / Розпорядження Кабінету міністрів України від 31 березня 2015 р. № 432-р.. - Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-2015-%D1%80.
2. Development of an Integrated Highway Maintenance Management System: The Maryland Expeerience: [Електронний ресурс] / Jha M. K., Schultz L., Transportation Engineer - Maryland State Highway Administration. Presented at the 10th AASHTO/TRB Maintenance Management Conference, Duluth, Minnesota, July 15, 2003. - 18 p. – Режим доступу: http://www.docstoc.com/docs/21911447/Development-of-an-Integrated-Highway-Maintenance-Management-System.
3. HDM4 Overview: [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.rhd.gov.bd/Documents/HDM/Overview/HDM.pdf.
4. Кизима С.С. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів [Текст] / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник, вип. 62. – Київ: НТУ, 2001. – С. 130-133.
5. Лантух-Лященко А.І. До розробки галузевої аналітичної експертної системи управління мостами [Текст] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник, вип.69. – Київ: НТУ, 2004. – С.120-126.
6. Канін О.П. Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством [Текст] / О.П. Канін, Н.М. Соколова, А.М. Харченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник, вип.84. - К.:НТУ, 2012. - С.133-139.
7. Канін О.П. Сутність та призначення інформаційно-аналітичної системи управління дорожнім господарством України [Текст] / О.П. Канін, А.М. Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 9. - К.: НТУ, 2012. – С. 71-78.
8. Татусь В.В. Моделі зниження ризику в управлінні проектами автомобільних доріг [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.13.22 / Татусь Вадим Вікторович; Національний транспортний університет – К., 2015. – 183 с.

9. Шпиг А.Ю. Методи планування ремонтів автомобільних доріг за критерієм рівня обслуговування [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.22.11 / Шпиг Альона Юріївна; Національний транспортний університет – К., 2015. – 170 с.
10. Ігнатюк В.В. Управління програмами ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.13.22 / Ігнатюк Вікторія Василівна; Національний транспортний університет – К., 2015. – 162 с.
11. Соколова Н.М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників / Н.М. Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика : Науковий журнал. Вип. 11. – К.: НТУ, 2013. С. 130-139.
12. Харченко А.М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. / А.М.Харченко, О.П.Канін, Н.М.Соколова // Управління проектами, системний аналіз і логістика : Науковий журнал. Вип. 12. – К.: НТУ – 2013. – С. 193-205.
13. Соколова Н.М. Моніторинг виконання довгострокових контрактів з утримання доріг. / Н.М.Соколова, О.П.Канін, А.М.Харченко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. – С. 434-442.

Рецензенти

Братчун В.І., д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматроськ)

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers

Bratchun V.I., Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)

Nahaichuk V.M., Ph.D., DerzhdorNDI (Kyiv)

УДК 625.76

Шпиг А.Ю., канд. техн. наук

ВПЛИВ ГРАНИЧНОГО РІВНЯ ВТРУЧАННЯ У ВІДНОВЛЕННІ СТАНУ ЕЛЕМЕНТУ ДОРОГИ НА ВАРТІСТЬ РЕМОНТІВ

Анотація. У даній роботі розглянуто моделі деградації елементів автомобільних доріг за експлуатаційним станом та метод оптимізації вартості заходів з ремонту та утримання. Запропоновано та досліджено використання показника рівня втручання для визначення мінімальної вартості ремонтів за допомогою розробленої комп'ютерної програми.
Ключові слова: стан автомобільних доріг, елементи автомобільних доріг, деградація, рівень втручання, стратегія ремонтів.

Annotation. The model's of degradation roads elements using operational condition and method of cost optimization measures in repair and maintenance are reviewed in this paper. Proposed and investigated using the intervention level index to determine the minimum cost of repairs using the developed computer program.
Keywords: state roads, highways elements, degradation, intervention level, strategy repairs.

Аннотация. В данной работе рассмотрены модели деградации элементов автомобильных дорог по эксплуатационному состоянию и метод оптимизации стоимости мероприятий по ремонту и содержанию. Предложены и исследованы использование показателя уровня вмешательства для определения минимальной стоимости ремонтов с помощью разработанной компьютерной программы.
Ключевые слова: состояние автомобильных дорог, элементы автомобильных дорог, деградация, уровень вмешательства, стратегия ремонтов.

Постановка проблеми

Стан автомобільних доріг значною мірою впливає на соціально-економічний розвиток України. Недостатня експлуатаційна якість доріг, яка обумовлена неперервними процесами деградації їх елементів під впливом

транспортних навантажень, зовнішнього середовища та внутрішніх властивостей, призводить до зниження експлуатаційних швидкостей транспортних засобів та збільшення частки транспортної складової у собівартості продукції, негативно впливає на безпеку та комфортність руху. Відновлення експлуатаційних якостей елементів автомобільних доріг шляхом виконання робіт з ремонтів та утримання протидіє процесам деградації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Надійність елементів споруди з часом зменшується під впливом накопичення дефектів. Вирішення цієї проблеми полягає в побудові моделі прогнозування ступеню деградації стану елементу в залежності від часу. Вирішенню цієї задачі в Україні присвячені роботи А.І. Лантух-Лященка [1, 2, 3], за кордоном Liu Chunlu [4] та інших.

Постановка завдання.

Важливою проблемою в експлуатації автомобільних доріг є оцінка стану елементів автомобільних доріг та їх утримання. В умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі ця проблема є досить актуальною. Для вирішення цієї задачі необхідно дослідити вплив рівня втручання у відновленні стану елементу дороги на вартість ремонтів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Роботи з утримання доріг пов'язані з оглядом складових частин і ділянок дороги та усуненням несправностей, що виникли. Ремонт і утримання автомобільних доріг – це регулярне періодичне обслуговування. Залежно від виду робіт з утримання доріг часовий проміжок (час відгуку) між їх виконаннями може становити від декількох днів до декількох років. Найбільш частими плановими роботами по утриманню автомобільних доріг є обслуговування узбіч, дорожніх водовідводів і елементів облаштування автодороги, а саме: очищення узбіч і водовідводів від сміття і рослинності, стеження за технічним станом елементів облаштування дороги. Обслуговування елементів облаштування доріг є важливою складовою в утриманні автомобільних доріг, і повинно виконуватися регулярно для підтримки безпеки на дорогах.

Деградація елементів доріг спричиняється зовнішніми і внутрішніми факторами, наприклад, навантаженнями від транспортних засобів, погодними і ґрунтово-гідрологічними умовами, природними катастрофами (землетрус, повінь), техногенним і антропогенним впливами, старінням матеріалів тощо.

Процес деградації за своєю природою – стохастичний і в багатьох випадках – невизначений.

Проявом деградації елементів доріг є їх пошкодження (дефекти) – руйнування і деформації, а також втрата функціональних властивостей.

Пошкодження елементів доріг можна розділити на два типи [5]:

1) раптове пошкодження, яке виникає без накопичення під дією зовнішньої причини (пошкодження бар'єру безпеки в результаті наїзду транспортного засобу, розмив земляного полотна і дорожнього одягу в результаті повені тощо);

2) кумулятивне пошкодження – поступове незворотне накопичення пошкодження на протязі часу «життя» (існування) елементу, яке безумовно веде до відмови або списання елементу (процес втомлювання матеріалу шару дорожнього одягу під впливом циклічних транспортних навантажень).

Заміна елементу визначається допустимим рівнем пошкодження, тобто рівнем втручання, який встановлюється з міркувань безпеки і економіки.

Для обґрунтування рівня втручання потрібна розробка моделі деградації елементу дороги.

В даному випадку скористаємося поняттям експлуатаційного стану елементу дороги [6, 7], його класифікації і безрозмірній шкалі рейтингу стану згідно документу [8] (табл. 1). Прийнято, що елементи дороги протягом життєвого циклу перебувають послідовно в одному з п'яти експлуатаційних станів. Рейтинг стану елементу дороги формується як комплексна безрозмірна характеристика за 100-бальною шкалою, яка відображує спільний вплив на стан різних типів пошкоджень.

Таблиця 1 – Класифікація експлуатаційних станів елементів доріг

Експлуатаційний стан	Назва стану	Границі рейтингу стану елементу, балів
Стан 1	Відмінний	понад 80 до 100 включно
Стан 2	Добрий	понад 60 до 80 включно
Стан 3	Задовільний	понад 40 до 60 включно
Стан 4	Поганий	понад 20 до 40 включно
Стан 5	Аварійний	понад 0 до 20 включно

Кожен тип пошкодження характеризуються двома параметрами:

- рівнем серйозності;

- рівнем розповсюдження.

Стан елементу визначається через рейтинг в залежності від сумісного впливу кожного пошкодження елементу. Для визначення стану елементу в цілому по всім зафіксованим пошкодженням розраховується його рейтинг:

$$R_i^e = f_{n_i}\left(\sum_{j=1}^{j=n_i}[100 - r_{ij}]\right), j = 1 \ldots n_i, \quad (1)$$

де R_i^e – середньозважений рейтинг стану *i*-го елементу;

f_{n_i} – функція обчислення рейтингу, яка враховує сумісний вплив на стан елементу декількох пошкоджень. Для всіх видів елементів застосовуються однакові функції f_{n_i} [9].

Стан елементу визначається в залежності від обчисленого рейтингу:

$$C_i^e = j, b_j^{\min} < R_i^e \le b_j^{\max}, \quad (2)$$

де C_i^e – стан *i*-го елементу *j*-го пошкодження;

j – номер стану;

$b_j^{\min}$ – нижня границя рейтингу j-го стану;

R_i^e – рейтинг елементу;

$b_j^{\max}$ – верхня границя рейтингу j-го стану.

Важлива проблема полягає в побудові моделі прогнозування ступеню деградації стану елементу в залежності від часу. Для розв’язання цієї проблеми можна скористатися з пропозиціями, запропонованими в роботах [1, 2, 3]. В цих роботах моделлю деградації встановлюється зв'язок між надійністю і часом експлуатації елемента. Перехід з одного експлуатаційного стану в іншого описується як процес Пуассона з дискретними станами і безперервним часом. Це окремий випадок марковського процесу, що дає можливість описати модель деградації елемента нелінійним рівнянням – експоненціальної функцією часу *t*.

Інтегральна функція розподілу $P(t)$ для часу T_n, який пройде, поки відбудуться всі *n* подій процесу (переходів від першого стану до останнього), має вигляд:

$$P(t) = 1 - P(T_n > t) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, \quad (3)$$

де λ – параметр процесу – інтенсивність відмов.

Параметр інтенсивності відмов λ визначається спостереженим експлуатаційним станом і віком елементу. Такий підхід застосовується в АЕСУМ.

В термінах експлуатаційних станів (табл. 1), $P(t)$ – імовірність того, що елемент перейде в стан k за час $t < T_k$.

Згідно з (3) модель деградації елемента описується нелінійним рівнянням:

$$P_t = 1 - p_t(t, \lambda), \quad (4)$$

де $p_t(t,\lambda)$ – щільність розподілу процесу Пуассона – експоненціальна функція що залежить від параметра λt. При $k = 5$ рівняння (4) записується у виді:

$$P_t = 1 - 0{,}0083(\lambda t)^5 e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

У практичному методі прогнозу ресурсу, параметр інтенсивності відмов λ повинен бути отриманий окремо для кожного елемента, спираючись на реальний експлуатаційний стан, визначений на момент складання прогнозу, і вік елемента. В [10] цей метод використано для розробки алгоритму оптимізації експлуатації елементів доріг.

Виконання різних видів ремонтних робіт призводить до різних значень величини підвищення рейтингу і до переходу до кращого стану елементу дороги. Визначення величини підвищення рейтингу здійснюється через застосування моделі впливу ремонтів, яка звичайно задається таблицею з трьома входами: вид ремонту, інтервал рейтингу стану, вплив даного виду ремонту на підвищення рейтингу елементу дороги [4].

В якості моделі деградації елементів за експлуатаційним станом прийнято рівняння, в якому початковий ступінь деградації збільшується зі швидкістю, залежною від віку елементу, і зменшується від впливу ремонтних заходів [4]:

$$D(t) = D(0) + \sum_{j=1}^{t} \mu \cdot R(A_j, Tr_j) - \sum_{j=1}^{t} I_m(j), \qquad (6)$$

де $D(t)$ – ступінь деградації наприкінці року t;

$D(0)$ – ступінь деградації на початок планового періоду. Для рівнів деградації 1 – 5 значення $D(0)$ приймається по середині інтервалу рівня деградації;

μ – фактор, що відображує деградаційні якості матеріалу (1,0 для залізобетону, 1,1 для металу [4]);

$R(A_j,Tr_j)$ – річна швидкість деградації в рік j;

A_j – вік елементу в рік j – кількість років від спорудження або заміни до року j;

Tr_j – коефіцієнт руху в рік j – співвідношення прогнозованої на рік j максимальної інтенсивності руху і проектної інтенсивності руху;

$I_m(j)$ – вплив ремонтного заходу m на рівень деградації в рік j.

Таким чином, ступінь деградації елементу залежить від експлуатаційного заходу m.

Для оптимізації стратегії ремонтів на підґрунті моделі деградації за експлуатаційними станами розроблено математичну модель за методом штрафів.

Оптимізація вартості заходів з ремонту та утримання на стратегічний період часу T та кількості елементів даного типу N виконується за методом штрафів. Відповідно, цільова функція [4, 11]:

$$Z = C \cdot \left[1 + p_1 \cdot \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} \frac{D(i,t) - D_{\max}}{D_{\max}} + p_2 \cdot \frac{C - B}{B} \right], \qquad (7)$$

де C – повна вартість ремонту та утримання, що плануються на період часу T;

$D_{\max}$ – максимально допустимий рівень деградації;

B – бюджет ремонту та утримання елементів даного виду;

p_1, p_2 – коефіцієнт значимості ступеню деградації та виконання бюджету.

Якщо $D(i,t) \le D_{\max}$, то $\frac{D(i,t) - D_{\max}}{D_{\max}} = 0$, тобто премія за досягнення кращого стану не нараховується. Таке ж стосується і $\frac{C - B}{B}$.

Максимально допустимий рівень деградації $D_{\max}$ задається виходячи з економічного обґрунтування, проте він не може бути гіршим ніж гранично допустимий з вимог безпеки руху і збереження елементу.

Повинна виконуватись умова:

$$D_{\max} \le D_{ГД}, \tag{8}$$

де $D_{ГД}$ – гранично допустимий ступінь деградації.

Повна вартість ремонту та утримання, що плануються на період часу T:

$$C = \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} \left[(1+r)^{-t} c_m(i,t) \cdot V(i) \right], \tag{9}$$

де N – кількість подібних елементів в проекті або програмі експлуатації доріг;

T – період часу, на який планується дія проекту або програми;

r – дисконтний коефіцієнт, який приймається постійним на період планування, який враховує інфляційні процеси: $r = (1 + d)(1 + i_{in}) - 1$, d – ставка дисконту, i_{in} – темп інфляції;

$c_m(i,t)$ – одинична вартість заходу m на одиницю об'єму елементу, що застосовується до елементу i в рік t, $m = 1, 2, 3, 4$;

$V(i)$ – об'єм елементу.

Запропоновану модель можна застосовувати для всіх елементів доріг, які мають кумулятивне пошкодження [5].

Для дослідження впливу мінімального рівня втручання відновлення стану елементу дороги на вартість ремонтів було розроблено комп'ютерну програму. Інформаційною базою дослідження слугували дані спостережень АЕСУМ.

Задача дослідження полягала у з'ясуванні впливу рівня втручання на вартість ремонтів (рис. 1). Максимально допустимий рівень деградації $D_{\max}$ задавався в діапазоні 0,3 – 0,7. В якості алгоритму оптимізації застосовується генетичний алгоритм, який не потребує обчислення градієнтів цільової функції і є ефективним засобом дискретної оптимізації [10].

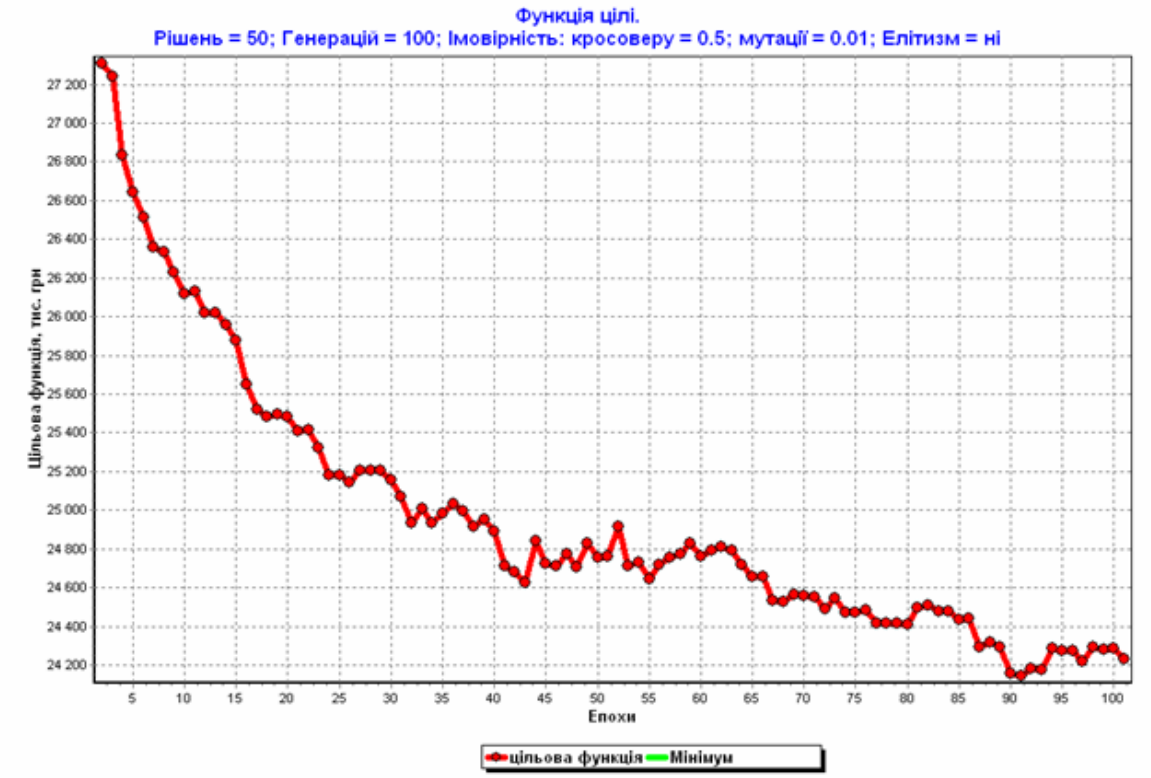


Рисунок 1 – Графік пошуку мінімального значення функції цілі

У результаті проведених досліджень встановлено, що із збільшенням значення рівня втручання вартість ремонту зменшується (рис. 2).

Рисунок 2 – Залежність вартості ремонтів від рівня деградації D_{max}

Висновки

Гранично допустимий рівень втручання впливає на перебування елемента автомобільної дороги в межах певного рівня обслуговування. Оптимізація та визначення рівня втручання являє собою складну техніко-економічну проблему, для розв'язання якої запропоновано модель та комп'ютерну програму на основі імітаційної моделі. За допомогою цієї програми можливо дослідити вплив мінімального рівня втручання відновлення стану елементу дороги на вартість ремонтів.

Література

1. Лантух-Лященко А.І. Визначення часу переходу елементів споруди із одного дискретного стану в інший [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – 2001. – Вип. 12. – С. 397-402.
2. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1999. – Вип. 57. – С. 183-188.
3. Лантух-Лященко А.И. Феноменологическая модель деградации элементов сооружений [Текст] / А.И. Лантух-Лященко // Труды международной научно-технической конференции «Вычислительная механика деформируемого твердого тела», М.: МИИТ – 2006. – С. 259-265.
4. Liu Chunlu., Hammad Amin, Iton Yoshito. Cost optimization of Bridge Decks Using Genetic Algorithm: [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://users.encs.concordia.ca/~hammad/papers/J11.pdf.
5. Богданофф Дж. Вероятностные модели накопления повреждений [Текст] / Дж. Богданофф, Ф. Козин; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1989. – 344 с.
6. П-Г.1-218-113:2009. Технічні правила ремонтів та утримання автомобільних доріг загального користування України. – К.: Укравтодор, 2009. – 88 с.
7. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану.– К.: Держстандарт України, 1997. – 24 с.
8. ІН В.3.1-218-336:2010. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів: – К.: Укравтодор, 2010. – 48 с.
9. Харченко А.М. Удосконалення методів проектування річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.13.22 / Харченко Анна Миколаївна; Національний транспортний університет – К., 2010. – 183 с.
10. Шпиг А.Ю. Методи планування ремонтів автомобільних доріг за критерієм рівня обслуговування [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.22.11 / Шпиг Альона Юріївна; Національний транспортний університет – К., 2015. – 170 с.
11. Канін О.П., Халай Т.О., Боднар Л.П. Генетичний алгоритм оптимізації довгострокових стратегій ремонтів мостів / О.П. Канін, Т.О. Халай, Л.П. Боднар // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. – К.: НТУ. – 2013. – Вип. 88. – С. 180-188.

Рецензенти

Братчун В.І., д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматроськ)
Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП "Укрдіпроддор" (Київ)

Reviewers

Bratchun V.I., Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)
Honcharenko F.P., Ph.D., "Ukrdiprodor" (Kyiv)

УДК 519.24:001

Артеменко В.А., Петрович В.В., канд. техн. наук

Анотація. Наведені основні положення методу *SVD*-ентропії, що базується на сингулярному розкладенні матриць.
Розглянуті питання кількісної оцінки *SVD*-ентропії та характер зміни її поведінки з часом відповідно до якості гідрологічних прогнозів.
Ключові слова: часові природні ряди, *SVD*-ентропія, ентропійний метод аналізу гідрологічних рядів, якість гідрологічного прогнозу.

Аннотация. Приведены основные положения метода *SVD*-энтропии, который базируется на сингулярном разложении матриц.
Рассмотрены вопросы количественной оценки *SVD*-энтропии и характер изменения ее поведения во времени применительно к качеству гидрологических прогнозов.
Ключевые слова: временные природные ряды, *SVD*-энтропия, энтропийный метод анализа гидрологических рядов, качество гидрологического прогноза.

Annotation. In given article is in detail considered method of SVD entropy.
It is considered practical application of the method of the SVD entropy to analysis hydrological time series.
It is considered the inter-relations between entropy of hydrological time series and quality of hydrological prediction.
Keywords: natural time series, *SVD*-entropy, quality of hydrological prediction.

Введение

В технике анализа временных рядов важное место занимают методы, основанные на расчетах энтропий. Энтропии являются достаточно информативными параметрами, количественно характеризующими состояние различных систем.

Энтропии характеризуют либо сложность поведения (отдельных процессов), либо сложность строения, либо другие сложности в изучаемой системе [1,2].

В упрощенной трактовке энтропия указывает на степень непредсказуемости (хаотичности) в поведении анализируемой системы: чем больше величина энтропии, тем более непредсказуемое поведение система демонстрирует, тем труднее ее прогнозировать.

Заметим, что данное положение относится именно к природным временным рядам.

В статье рассматриваются основные принципы *SVD*- энтропии временных рядов и анализируются тенденции в ее поведении применительно к гидрологическим рядам.

Метод анализа

В настоящее время предложено большое число различных энтропий. При этом в итоговых расчетах применяется в основном классическая формула для информационной энтропии К.Шеннона [3].

В конце 90-х годов прошлого века был введен в практику вид энтропии, основанный на использовании сингулярного разложения матриц (*SVD).*

Для расчета данной энтропии необходимо знать только сингулярные числа для *SVD*-разложения исходной матрицы.

Однако в нашем случае имеется обычный временной ряд, то есть вектор, поэтому исходный ряд должен быть вначале преобразован в матрицу.

Такая матрица в хаотической динамике носит название траекторной матрицы, или реконструированного аттрактора.

В настоящее время существует целый ряд методов, позволяющих по одномерному ряду восстановить (реконструировать) аттрактор.

Нами в этой связи был использован наиболее простой метод реконструкции аттрактора – метод Такенса временных задержек [4].

Как известно, этот метод требует знания двух параметров: величины временной задержки (*TAY*) и размерности пространства реконструированного аттрактора (*DIMENSION*, или сокращенно *DIM*).

Обычно при реконструкции аттрактора используются конкретные величины *TAY,* которые определяются при помощи специальных методов. В данном случае значение *TAY* принудительно устанавливалось равным единице (*TAY=1*).

Это означает, что каждая точка исходного одномерного ряда (вектора) будет обязательно присутствовать в реконструированном аттракторе (матрице реконструированного аттрактора).

Другими словами, любая информация при формировании такой матрицы (аттрактора) не будет утеряна.

Что касается параметра *DIM* (числа столбцов полученной траекторной матрицы), то для большинства исследуемых нами природных рядов эта величина может быть принята равной *DIM=14*.

В настоящий момент в хаотической динамике хорошо изученными остаются только маломерные системы.

Тем не менее, большинство природных рядов – это именно ряды с большой размерностью фазового пространства.

Понятно, что для таких рядов мы не можем гарантировать в полной мере низкую размерность соответствующих динамических систем.

В этой связи величина *DIM*, возможно, должна была бы иметь значительно большее значение, чем *DIM=14*. Однако даже при *DIM=182* мы получили не очень большое отличие в значениях *SVD*-энтропии для всех анализируемых нами рядов.

При этом качественная картина процесса оставалась практически такой же.

Выбрав соответствующее значение *DIM=14*, далее будем придерживаться этого значения во всех проводимых нами численных экспериментах.

Как известно, количество значимых (наиболее больших по величине) сингулярных чисел прямым образом зависит от количества динамических компонент системы.

То есть по энтропии, определяемой на основании значений сингулярных чисел, можно характеризовать (измерять) сложность исследуемого сигнала.

Однако в начале сингулярные значения должны быть нормированы путем деления каждого сингулярного значения на общую сумму всех сингулярных значений:

$$\bar{\sigma}\ (j) = \frac{\sigma(j)}{\sum_{i=1}^{i=N} \sigma(i)}, \qquad (1)$$

где $\bar{\sigma}\ (j)$ – нормализованное j- сингулярное значение;

$\sigma(j)$ – исходное j- сингулярное значение;

N – общее число сингулярных значений (сингулярных чисел).

Далее рассчитывается собственно энтропия:

$$H_{SVD} = -\sum_{j=1}^{j=N}\left(\bar{\sigma}(j) * LOG\left(\bar{\sigma}(j)\right)\right). \quad (2)$$

Как видно, при вычислении *SVD*-энтропии использовался натуральный логарифм (логарифм по основанию *EXP(1)* ≈*2,7183*).

Обычно в литературе выражение (2) считают полученным значением *SVD*-энтропии (т. е. вещественным числом).

В нашей работе мы использовали также нормировку энтропии, заданной выражением (2).

После такой нормировки значение энтропии будет находиться в диапазоне значений [0; 1], что существенно облегчает интерпретацию полученных результатов. Сама нормировка выполняется путем деления (2) на *LOG(N)*.

Пакет процедур для вычисления *SVD*-энтропии природных временных рядов был разработан и реализован на языке программирования *MATLAB*.

Код без существенных модификаций работает также в таких бесплатных аналогах *MATLAB* как *OCTAVE* и *FREEMAT* (как в *WINDOWS*, так и *LINUX*).

Программная реализация следует расчетным формулам (1) и (2), однако имеет и ряд алгоритмических тонкостей, которые хорошо прослеживаются в приведенном ниже программном коде.

```
function [ E ] = SVD_ENTROPY( INPUT_SERIES , DIMENSION , TAY );
E = [ ];
if IS_SERIES( INPUT_SERIES ) == false
return
end
if IS_POSITIVE_INTEGER_NUMBER( DIMENSION ) == false
return
end
if IS_POSITIVE_INTEGER_NUMBER( TAY ) == false
return
```

```
end
if DIMENSION < 2
return
end
INPUT_SERIES = INPUT_SERIES( : );
ATTRACTOR = ATTRACTOR_RECONSTRUCTION( INPUT_SERIES , DIMENSION , TAY );
if isempty( ATTRACTOR ) == true
return
end
SZ1 = size( ATTRACTOR , 1 );
SZ2 = size( ATTRACTOR , 2 );
if ( SZ1 < 2 ) | ( SZ2 < 2 )
return
end
ATTRACTOR = ATTRACTOR - mean( ATTRACTOR( : ) );
S = svd( ATTRACTOR );
L = length( S );
S( S <= eps ) = eps;
SS = S ./ sum( S );
E = - sum( SS .* log( SS ) ) ./ log( L );
if std( ATTRACTOR( : ) ) == 0
E = 0;
end
end
function [ ATTRACTOR ] = ATTRACTOR_RECONSTRUCTION( INPUT_SERIES , DIMENSION , TAY ;
ATTRACTOR = [ ];
if IS_SERIES( INPUT_SERIES ) == false
return
end
if IS_POSITIVE_INTEGER_NUMBER( DIMENSION ) == false
return
end
if IS_POSITIVE_INTEGER_NUMBER( TAY ) == false
```

```
return
end
INPUT_SERIES = INPUT_SERIES( : );
SZ = length( INPUT_SERIES );
1
SZ1 = SZ - ( DIMENSION - 1 ) .* TAY;
if SZ1 < 1
return
end
SZ2 = DIMENSION;
ATTRACTOR = zeros( SZ1 , SZ2 );
INDX1 = 0;
INDX2 = 0;
for J = 1 : SZ2
INDX1 = 1 + ( J - 1 ) .* TAY;
INDX2 = SZ - ( SZ2 - J ) .* TAY;
ATTRACTOR( : , J ) = INPUT_SERIES( INDX1 : INDX2 );
end
end
function [ ANS ] = IS_POSITIVE_INTEGER_NUMBER( N );
ANS = false;
if isempty( N ) == true
return
end
if isnumeric( N ) == false
return
end
if isscalar( N ) == false
return
end
if isnan( N ) == true
return
end
if isinf( N ) == true
return
```

```
end
if isreal( N ) == false
return
end
if N ~= fix( N )
return
end
if N < 1
return
end
ANS = true;
end
function [ ANS ] = IS_SERIES( S );
ANS = false;
if isempty( S ) == true
return
end
if isnumeric( S ) == false
return
end
2
if isreal( S ) == false
return
end
if isvector( S ) == false
return
end
if any( isnan( S ) ) == true
return
end
if any( isinf( S ) ) == true
return
end
ANS = true;
end
```

SVD-энтропия гидрологических временных рядов

Для оценки *SVD*-энтропии гидрологических рядов были использованы среднесуточные данные расходов, содержащие 365 значений в году.

Данные за 29 февраля високосных годов из рассмотрения исключалось, что было сделано для упрощения процедуры обработки данных.

На рисунке 1 приведен рассчитанный график *SVD*-энтропии для р. Десна.

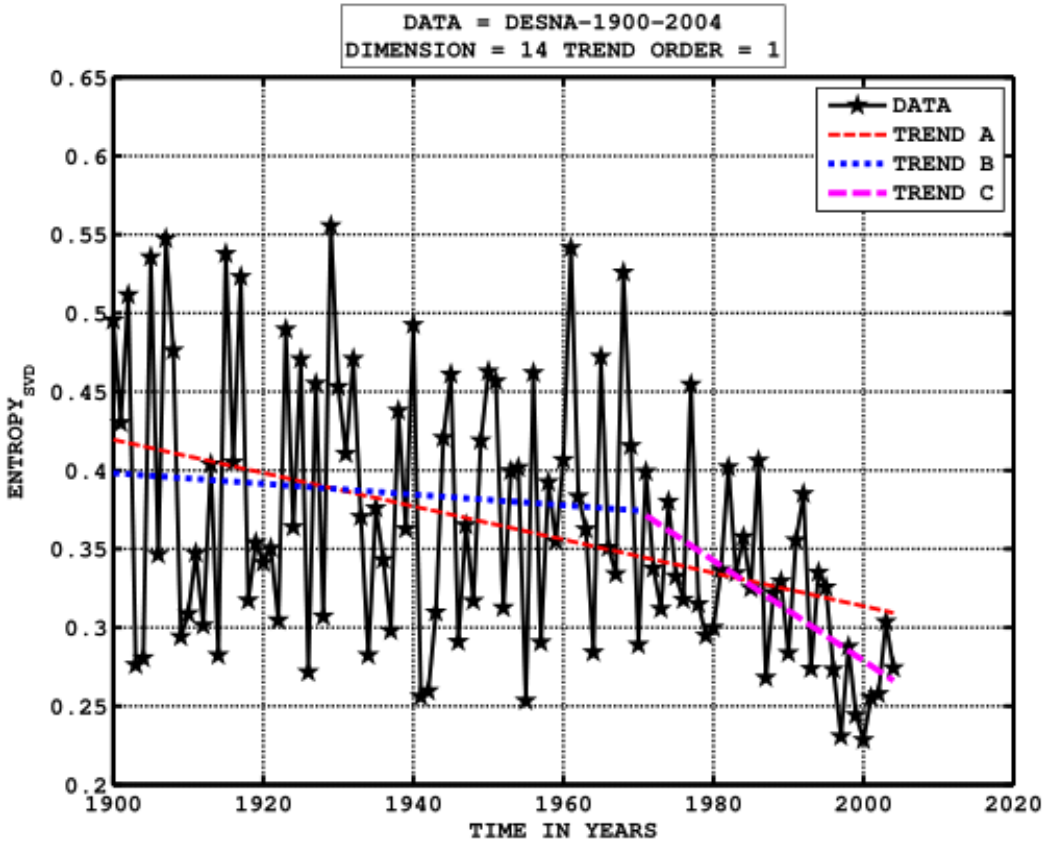


Рисунок 1 – График *SVD*-энтропии для р. Десна

Энтропия рассчитывалась для каждого года отдельно, начиная с 1900 года и заканчивая 2004 годом включительно (всего 105 точек ряда).

Для большей наглядности графика были проведены тренды в виде прямых линий.

Тренд ***A*** демонстрирует заметное уменьшение энтропии за весь анализируемый период. При этом максимальное ее значение не превосходило величины 0,55.

Тренд ***B*** был проведен через данные по энтропии, начиная с 1900 г. и заканчивая 1970 годом.

С позиций этого линейного тренда видно, что за этот период энтропия также уменьшалась, хотя и крайне незначительно.

Что касается тренда ***C***, то график энтропии за период 1970…2004 годы имеет существенный наклон, величина ее резко снижается.

Таким образом, можно говорить о том, что анализируемый ряд среднесуточных расходов в целом по своему поведению достаточно упорядочен и предсказуем.

Для сравнения, рассчитанная *SVD*-энтропия для ряда осадков демонстрирует близость ее численных значений к единице (см. рис. 2), что говорит о высокой степени непредсказуемости.

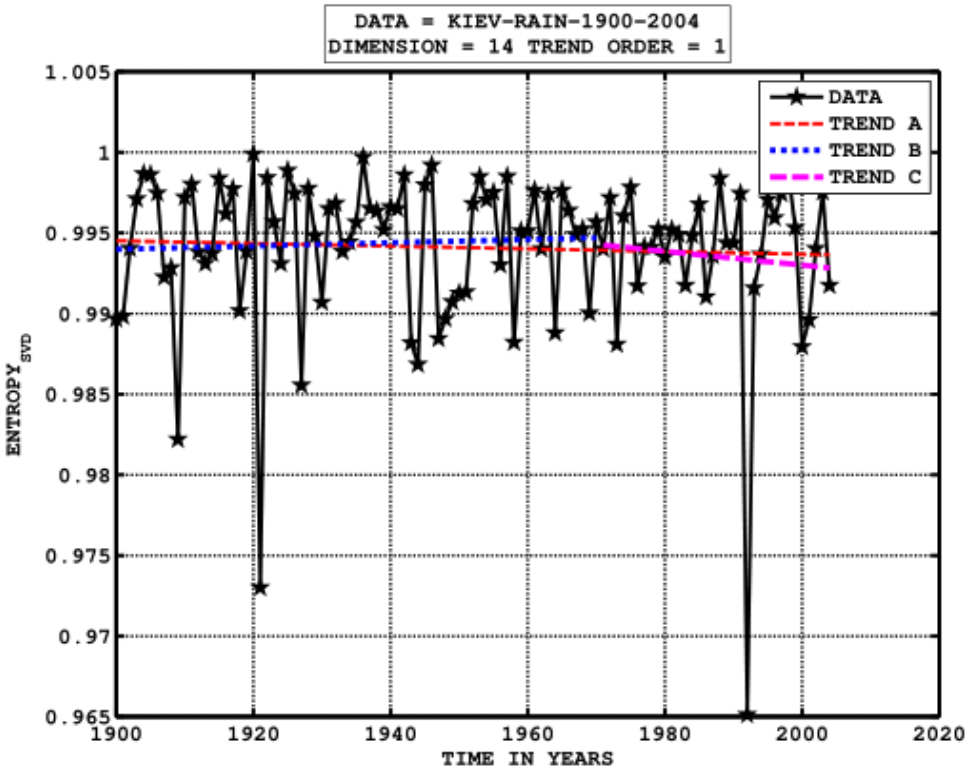
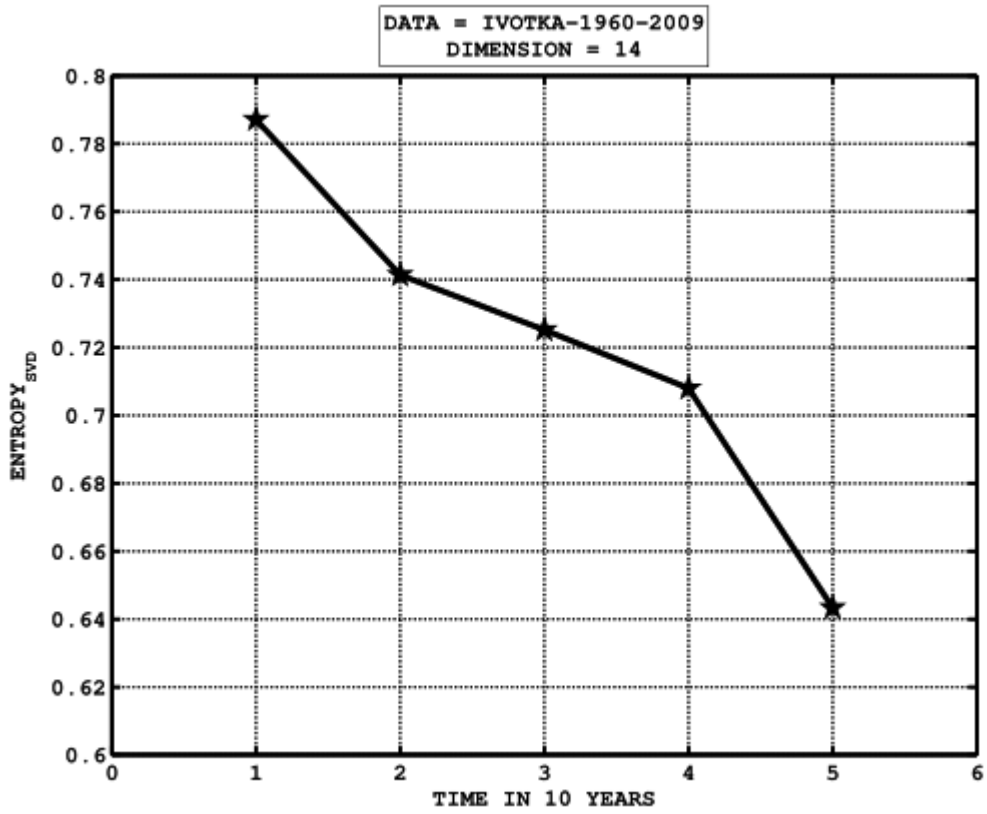
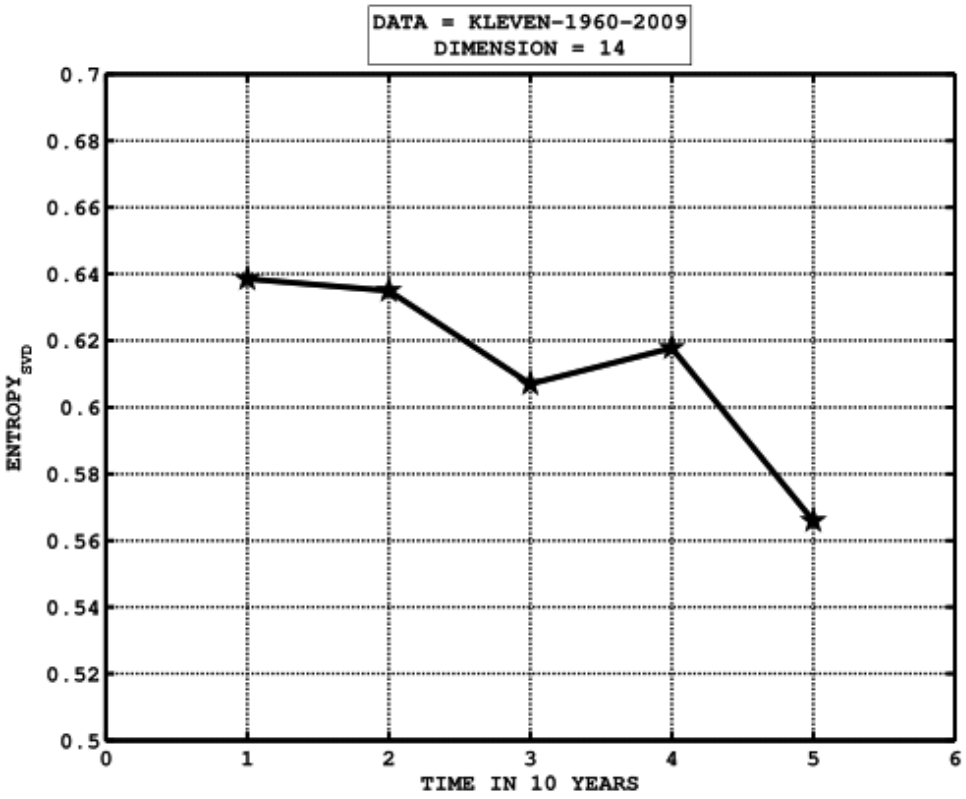


Рисунок 2 – *SVD*-энтропия временного ряда осадков

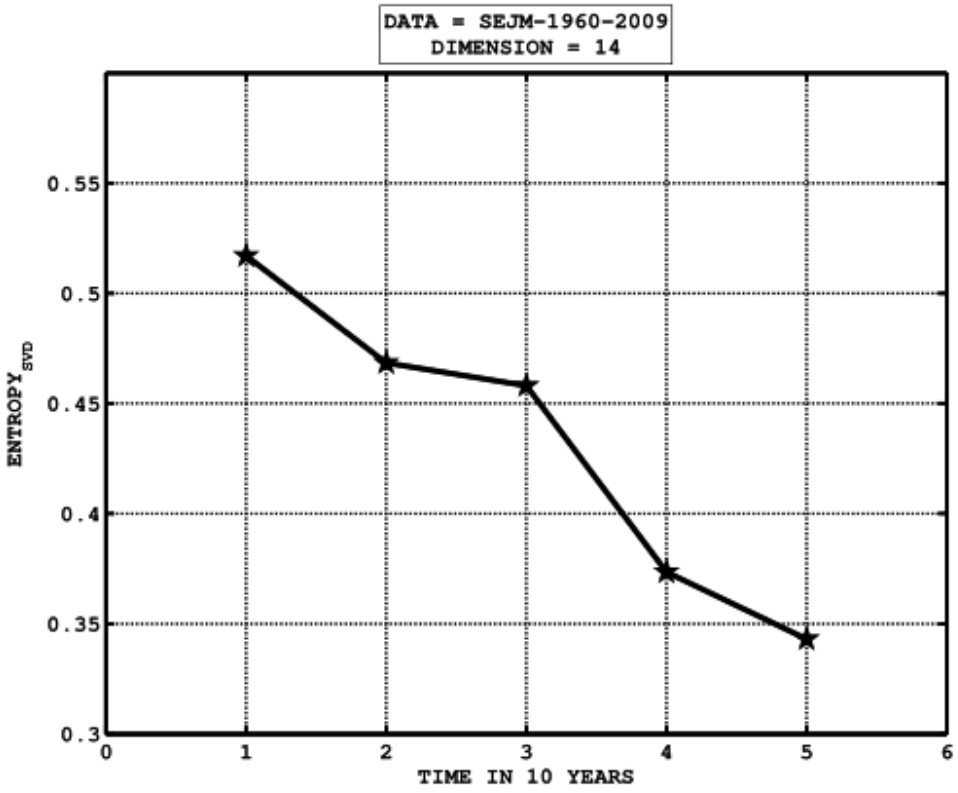
Проанализируем далее результаты расчетов *SVD*-энтропии для четырех равнинных рек, принадлежащих бассейну р. Десна и отличающихся по величине среднесуточных расходов (рис.3).


DATA = IVOTKA-1960-2009
DIMENSION = 14
ENTROPY SVD
TIME IN 10 YEARS
0.8
0.78
0.76
0.74
0.72
0.7
0.68
0.66
0.64
0.62
0.6
0
1
2
3
4
5
6

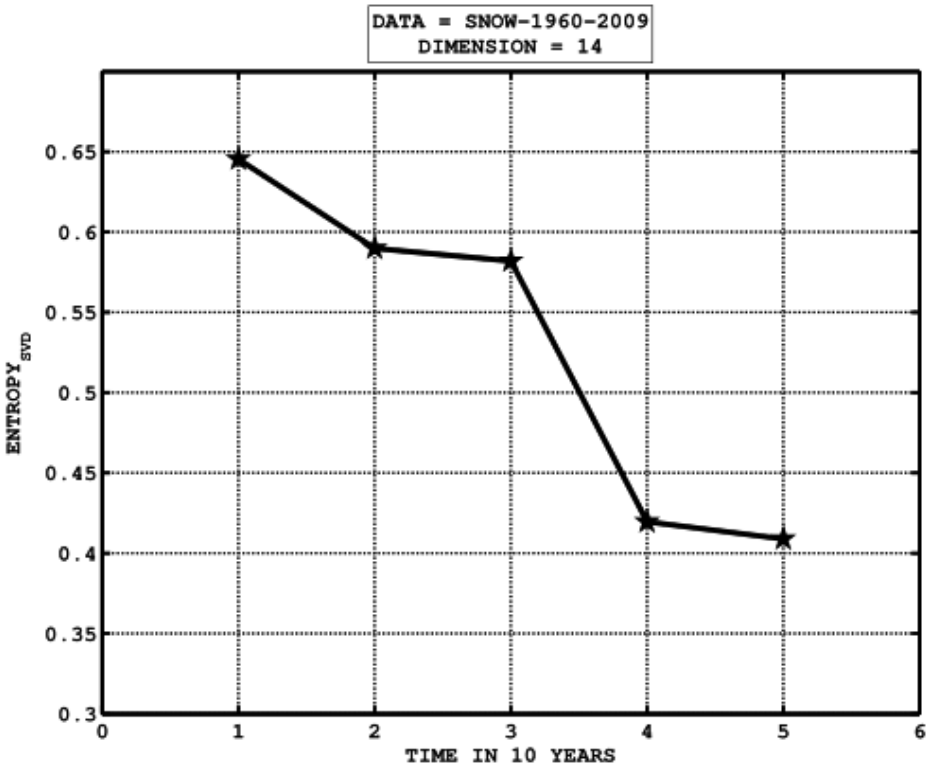
а)


DATA = KLEVEN-1960-2009
DIMENSION = 14
ENTROPY SVD
TIME IN 10 YEARS
0.7
0.68
0.66
0.64
0.62
0.6
0.58
0.56
0.54
0.52
0.5
0
1
2
3
4
5
6

б)



в)



г)

Рисунок 3 – Результаты расчетов *SVD*-энтропии для рек Ивотка (а), Клевен (б), Сейм (в) и Снов (г)

В данном случае также четко прослеживается существенное уменьшение энтропии за рассматриваемый период наблюдений для всех четырех рек.

Если такая тенденция в ближайшем будущем сохранится, следует ожидать дальнейшего улучшения качества гидрологических прогнозов.

Однако необходимо отметить, что речь идет о среднем качестве прогнозов. При этом нет полной уверенности в том, что аномальные значения расходов будут также предсказываться лучше.

Понятно, что значение энтропии природных рядов не может все время уменьшаться, поскольку ее долговременное изменение на самом деле носит сложный колебательный характер.

Выводы

Изложены свойства *SVD*-энтропии применительно к анализу гидрологических временных рядов.

Как показали проведенные исследования, для разных рек одного бассейна наблюдается согласованное поведение их *SVD*-энтропий.

При этом четко прослеживается уменьшение энтропий по ходу времени.

С точки зрения практики это означает, что качество гидрологических прогнозов, полученных для периодов последних десятилетий с помощью адекватных методов, будет заведомо лучше, чем для прогнозов первых десятилетий всего рассмотренного временного интервала.

Если такая тенденция в поведении *SVD*-энтропий сохранится, можно ожидать дальнейшего улучшения качества прогнозов.

Література

1. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с.
2. Чумак О.В. Энтропии и фракталы в анализе данных. – М.: –Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. – 164 с.
3. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 829 с.
4. Безручко Б.П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды/ Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.

Рецензенти

Кузло М.Т., д-р техн. наук, НУВГП (Рівне)

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП “Укрдіпроддор” (Київ)

Reviewers

Kuzlo M.T., Dr.Tech.Sci., NUWM (Rivne)

Honcharenko F.P., Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)

УДК 539.3

Марчук О.В., д-р техн. наук, **Гнєдаш С.В.,**
Левківський С.А.

ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ВОЛОКНИСТИХ ПОРОЖНИСТИХ ВАЛІВ

Анотація. У статті запропонований підхід до розрахунку волокнистих порожнистих валів.

Об'єкт дослідження - статичний напружено-деформований стан волокнистих порожнистих валів.

Мета роботи - дослідження моделі розрахунку волокнистих порожнистих валів.

Метод дослідження - розроблена авторами математична модель напружено-деформованого стану шаруватих циліндричних оболонок та її реалізація на основі поліноміальної апроксимації.

Побудована чисельно-аналітична математичну модель розрахунку волокнистих полих валів. Волокнистість моделюється анізотропією жорсткостних характеристик. Модель враховує просторовий характер деформування. Модель заснована на розділенні порожнистого циліндричного валу по товщині концентричними поверхнями на ряд складових циліндричних оболонок, достатньо тонких, щоб можна було нехтувати зміною їх кривизни по товщині. Тим самим дискретно враховується зміна кривизни за товщиною конструкції. В рамках припущення сталості кривизни для складової оболонки розподіл компонент тензора напружень та вектора переміщень по товщині оболонки розшукується аналітично точно. Проведено аналіз необхідності урахування обтиснення в задачах кручення анізотропних валів.

Результати статті можуть бути використані при розрахунку циліндричних оболонок з композитного матеріалу.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта дослідження - динамічний напружено-деформований стан волокнистих порожнистих валів.

Ключові слова: волокнисті порожнисті вали, локальні дотичні навантаження, різні контурні умови.

Аннотация. В статье предложен подход к расчету волокнистых полых валов.
Объект исследования - статическое напряженно-деформированное состояние волокнистых полых валов.
Цель работы - исследование модели расчета волокнистых полых валов.
Метод исследования - разработанная авторами математическая модель напряженно-деформированного состояния слоистых цилиндрических оболочек и ее реализация на основе полиномиальной аппроксимации.
Построена численно-аналитическая математическая модель расчета волокнистых полых валов. Волокнистость моделируется анизотропией жорсткостных характеристик. Модель учитывает пространственный характер деформирования. Модель основана на разделении полого цилиндрического вала по толщине концентрическими поверхностями на ряд составляющих цилиндрических оболочек, достаточно тонких, чтобы можно было пренебрегать изменением их кривизны по толщине. Тем самым дискретно учитывается изменение кривизны за толщиной конструкции. В рамках предположения постоянства кривизны для составной оболочки распределение компонента тензора напряжений и вектора перемещений по толщине оболочки разыскивается аналитически точно. Проведен анализ необходимости учета обжатия в задачах кручения анизотропных валов.
Результаты статьи могут быть использованы при расчетах цилиндрических оболочек из композитного материала.
Прогнозируемые предположения относительно развития объекта исследования - динамическое напряженно-деформированное состояние волокнистых полых валов.
Ключевые слова: волокнистые полые валы, локальные касательные нагрузки, разные контурные условия.

Annotation. The approach for analysis fibrous hollow shafts has been suggested in the article.
The object of studying is static stress strain behavior of fibrous hollow shafts.
The aim of work is research model for fibrous hollow shafts using analytical and numerical method.

Research method: stress behavior mathematical model of laminated cylindrical shells condition and its implementing on the basis of polynominal approximity has been developed by the authors.
Numerical and analytical mathematical model for fibrous hollow shafts is developed. Stringiness simulated by anisotropic stiffness characteristics. The model takes into account the spatial nature of the deformation. The model is based on cylindrical hollow shaft thickness division by concentric surfaces into the number of composite cylindrical sheaths which are thin enough to ignore their thickness curve change. Thus, the discrete taken account change in curvature the thickness of the structure. Under the assumption of constant curvature for the shell component distribution of the stress tensor components of the displacement vector and the thickness of the shell is sought analytically accurate. The need to incorporate in the compression torsion shaft anisotropic problems an analysis.
The article conclusions may be used while calculating cylindrical sheaths of composite material.
There are predictable suppositions concerning the development of the object under study such as fibrous hollow shafts dynamic stress strain behavior state.
Keywords: fibrous hollow shafts, local shearing stress load, different contour states.

Вступ

В різних галузях техніки та будівництва все більшого застосування отримують пластикові шаруваті волокнисті анізотропні вали, що мають високий рівень різномодульності складових матеріалів. Це конструкції літальних апаратів, наземного і підземного транспорту, машинобудівних систем та інших об’єктів. Застосування прямих точних методів просторової теорії пружності для дослідження напружено-деформованого стану таких конструкцій - ускладнене. Тому для їх розв’язання застосовують різні припущення. Їх перелік можна знайти в оглядах [1-8].

У даній статті представлена до розгляду модель розрахунку волокнистих порожнистих валів. Ця модель заснована на розділенні порожнистого циліндричного валу по товщині концентричними поверхнями на ряд складових циліндричних оболонок, достатньо тонких, щоб можна було нехтувати зміною їх кривизни по товщині. Задовольняючи умовам контакту на зовнішніх поверхнях між складовими оболонками, описують напружено-деформований стан циліндричного валу з дискретним обліком зміни кривизни по товщині.

Розподіл тензора напружень та вектора переміщень в рамках припущення про сталість кривизни в складових циліндричної оболонки розшукують аналітично.

1 Побудова рішення

Рівняння динамічної рівноваги *k*-того анізотропного шару циліндричної оболонки у змішаній формі в умовах осесиметричної деформації визначаються на основі наступних співвідношень (вісь *x* оболонки направлена уздовж твірної) [2]:

$$\frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial r}+\frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial x}-B_{55}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k)}-B_{54}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k)}=0;$$

$$B_{13}^{(k)}\frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x}+\frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial r}+B_{23}^{(k)}\frac{1}{r}U_r^{(k)}+B_{63}^{(k)}\frac{\partial U_\theta^{(k)}}{\partial x}-B_{33}^{(k)}\sigma_{rr}^{(k)}=0;$$

$$\frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial r}-\frac{1}{r}U_r^{(k)}-B_{45}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k)}-B_{44}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k)}=0;$$

$$B_{11}^{(k)}\frac{\partial^2 U_x^{(k)}}{\partial x^2}+B_{12}^{(k)}\frac{1}{r}\frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial x}+B_{16}^{(k)}\frac{\partial^2 U_\theta^{(k)}}{\partial x^2}+\frac{\partial \sigma_{xr}^{(k)}}{\partial r}+\frac{1}{r}\sigma_{xr}^{(k)}+B_{13}^{(k)}\frac{\partial \sigma_{rr}^{(k)}}{\partial x}=0;$$

$$B_{21}^{(k)}\frac{1}{r}\frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x}+B_{22}^{(k)}\frac{1}{r^2}U_r^{(k)}+B_{26}^{(k)}\frac{1}{r}\frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{xr}^{(k)}}{\partial x}-\frac{\partial \sigma_{rr}^{(k)}}{\partial r}+$$

$$+B_{23}^{(k)}\frac{1}{r}\sigma_{rr}^{(k)}-\frac{1}{r}\sigma_{rr}^{(k)}=0;$$

$$B_{16}^{(k)}\frac{\partial^2 U_x^{(k)}}{\partial x^2}+B_{26}^{(k)}\frac{1}{r}\frac{\partial U_r^{(k)}}{\partial x}+B_{66}^{(k)}\frac{\partial^2 U_\theta^{(k)}}{\partial x^2}+B_{36}^{(k)}\frac{\partial \sigma_{rr}^{(k)}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{r\theta}^{(k)}}{\partial r}+\frac{2}{r}\sigma_{r\theta}^{(k)}=0,$$

де вміст жорсткістних характеристик $B_{ij}^{(k)}$ розкривається в наступному взаємозв'язку напружень і деформацій:

$$\sigma_{xx}^{(k)}=B_{11}^{(k)}e_{xx}^{(k)}+B_{12}^{(k)}e_{\theta\theta}^{(k)}+B_{13}^{(k)}\sigma_{rr}^{(k)}+B_{16}^{(k)}2e_{x\theta}^{(k)};$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(k)}=B_{21}^{(k)}e_{xx}^{(k)}+B_{22}^{(k)}e_{\theta\theta}^{(k)}+B_{23}^{(k)}\sigma_{rr}^{(k)}+B_{26}^{(k)}2e_{x\theta}^{(k)};$$

$$\sigma_{x\theta}^{(k)}=B_{61}^{(k)}e_{xx}^{(k)}+B_{62}^{(k)}e_{\theta\theta}^{(k)}+B_{63}^{(k)}\sigma_{rr}^{(k)}+B_{66}^{(k)}2e_{x\theta}^{(k)};$$

$$B_{33}^{(k)}\sigma_{rr}^{(k)}=B_{13}^{(k)}e_{xx}^{(k)}+B_{23}^{(k)}e_{\theta\theta}^{(k)}+e_{rr}^{(k)}+B_{36}^{(k)}2e_{x\theta}^{(k)};$$

$$e_{r\theta}^{(k)}=B_{44}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k)}+B_{45}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k)};$$

$$e_{xr}^{(k)} = B_{54}^{(k)} \sigma_{r\theta}^{(k)} + B_{55}^{(k)} \sigma_{xr}^{(k)}. \qquad (2)$$

Поздовжні і колові напруження знаходяться із закону Гука:

$$\sigma_{xx}^{(k)} = B_{11}^{(k)} \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x} + B_{12}^{(k)} \frac{1}{r} U_r^{(k)} + B_{13}^{(k)} \sigma_{rr}^{(k)} + B_{16}^{(k)} \frac{\partial U_\theta^{(k)}}{\partial x};$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(k)} = B_{21}^{(k)} \frac{\partial U_x^{(k)}}{\partial x} + B_{22}^{(k)} \frac{1}{r} U_r^{(k)} + B_{23}^{(k)} \sigma_{rr}^{(k)} + B_{26}^{(k)} \frac{\partial U_\theta^{(k)}}{\partial x}. \qquad (3)$$

Шукані переміщення і напруження записуються в такому вигляді:

$$U_x^{(k)} = f_1^{(k)}(r) cos(\frac{\pi m x}{a}); \quad U_\theta^{(k)} = f_2^{(k)}(r) cos(\frac{\pi m x}{a});$$

$$U_r^{(k)} = f_3^{(k)}(r) sin(\frac{\pi m x}{a});$$

$$\sigma_{xr}^{(k)} = f_4^{(k)}(r) cos(\frac{\pi m x}{a}); \quad \sigma_{\theta r}^{(k)} = f_5^{(k)}(r) cos(\frac{\pi m x}{a});$$

$$\sigma_{rr}^{(k)} = f_6^{(k)}(r) sin(\frac{\pi m x}{a}).$$

Тоді рівняння рівноваги (1) перетворюються наступним чином:

$$f_{1,r}^{(k)} = -f_3^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right) + f_4^{(k)} B_{55}^{(k)} + f_6^{(k)} B_{54}^{(k)};$$

$$f_{3,r}^{(k)} = f_1^{(k)} B_{13}^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right) - f_3^{(k)} \frac{1}{r} B_{23}^{(k)} + f_2^{(k)} B_{36}^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right) + f_6^{(k)} B_{33}^{(k)};$$

$$f_{2,r}^{(k)} = -f_2^{(k)} \frac{1}{r} + f_4^{(k)} B_{45}^{(k)} + f_6^{(k)} B_{44}^{(k)};$$

$$f_{4,r}^{(k)} = f_1^{(k)} B_{11}^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right)^2 - f_3^{(k)} \frac{1}{r} B_{12}^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right) + f_2^{(k)} B_{16}^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right)^2 -$$

$$- f_4^{(k)} \frac{1}{r} - f_6^{(k)} B_{13}^{(k)} \left(\frac{\pi m}{a} \right);$$

$$f_{6,r}^{(k)} = -f_1^{(k)}\frac{1}{r}B_{12}^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right) + f_3^{(k)}\frac{1}{r^2}B_{22}^{(k)} - f_2^{(k)}\frac{1}{r}B_{26}^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right) +$$

$$+ f_4^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right) + f_6^{(k)}\left(\frac{1}{r}B_{23}^{(k)} - \frac{1}{r}\right);$$

$$f_{5,r}^{(k)} = f_1^{(k)}B_{16}^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right)^2 - f_3^{(k)}\frac{1}{r}B_{26}^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right) + f_2^{(k)}B_{66}^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right)^2 -$$

$$- f_6^{(k)}B_{36}^{(k)}\left(\frac{\pi m}{a}\right) - f_5^{(k)}\frac{2}{r}. \qquad (4)$$

2 Результати числових досліджень

У якості дослідницького прикладу розглядався напружено-деформований стан чотиришарового волокнистого порожнистого валу. Волокнисткість моделювалася ортотропним матеріалом з наступними фізико-механічними характеристиками: $E_{\delta}/E_{\theta} = 25/1$; $E_{\theta} = E_r$; $G_{x\theta}/E_r = 0{,}5/1$; $G_{\theta r}/E_r = 0{,}2/1$; $G_{xr} = G_{x\theta}$; $\nu_{x\theta} = \nu_{xr} = \nu_{\theta r} = 0{,}25$. Даний матеріал в шарах був повернутий наступним чином: $\pi/4$; $-\pi/4$; $\pi/4$; $-\pi/4$. Співвідношення довжини валу до товщини його стінок $L/h = 50$. Варіювалося співвідношення висоти до радіусу кривизни (вимірювалося на середені товщини порожнистого валу) $h/R = 1/3$; $h/R = 1/30$. Виконувався просторовий розрахунок (P), розрахунок без урахування обтиснення (S) (моделювалося відповідним заданням жорсткістних характеристик). Закріпленя шарнірнорухоме ліворуч ($x = 0$); жорстке затиснення, але рухоме в радіальному напряму, праворуч ($x = L/2$). Скручувальне навантаження прикладене на зовнішній поверхні та розподілене по закону косинуса.

Результати розрахунку при різному співвідношенні h/R ($\overline{U}_x = U_x E_r / q_\theta$; $\overline{U}_r = U_r E_r / q_\theta$; $\overline{U}_\theta = U_\theta E_r / q_\theta$; та $\overline{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx}/q_\theta$; $\overline{\sigma}_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}/q_\theta$; $\overline{\sigma}_{x\theta} = \sigma_{x\theta}/q_\theta$) наведені у таблицях 1-4.

Як видно з таблиць, для тонких порожнистих валів з великим радіусом кривизни ($h/R = 1/30$), і з малим радіусом кривизни ($h/R = 1/3$) нехтування обтисненням та зсувом не призводить до суттєвих похибок в результатах розрахунку. Урахування обтиснення при такому розподілі навантаження необов’язкове.

Таблиця 1 – Максимальні переміщення на межах шарів при $h/R = 1/30$

$\overline{U}_x$		$\overline{U}_r$		$\overline{U}_\theta$	
P	S	P	S	P	S
-1,2810	-1,2612	-3,0664		39,8043	39,8005
-1,1763	-1,1555	-3,0606		40,2078	40,2040
-0,8833	-0,8617	-3,0918	-3,1241	40,9203	40,9166
-0,9618	-0,9396	-3,0844		41,7646	41,7609
-0,4761	-0,4535	-3,1155		42,9263	42,9226

Таблиця 2 – Максимальні переміщення на межах шарів при $h/R = 1/3$

$\overline{U}_x$		$\overline{U}_r$		$\overline{U}_\theta$	
P	S	P	S	P	S
7,1586	7,6455	1,1931		44,0832	43,6325
7,2087	7,7020	1,0337		48,5577	48,0647
7,4537	7,9566	0,8469	0,8702	53,3748	52,8441
7,3385	7,8482	0,7101		58,3429	57,7644
7,8092	8,3158	0,5128		63,7005	63,0772

Таблиця 3 – Напруження на межах шарів при $h/R = 1/30$

$\overline{\sigma}_{xx}$		$\overline{\sigma}_{\theta\theta}$		$\overline{\sigma}_{x\theta}$	
P	S	P	S	P	S
-15,1071	-15,1265	-15,2915	-15,3116	-16,1248	-16,1425
-15,3361	-15,3210	-15,5129	-15,4986	-16,3238	-16,3391
15,0559	15,0681	14,8791	14,8905	-15,9677	-15,9493
15,2287	15,2110	15,0701	15,0527	-16,1458	-16,1296
-15,7018	-15,7168	-15,8604	-15,8750	-16,7179	-16,7311
-16,0159	-15,9956	-16,1783	-16,1579	-17,0246	-17,0355
15,5528	15,5703	15,3904	15,4080	-16,5171	-16,5033
15,8097	15,7964	15,6776	15,6655	-16,8029	-16,7912

Таблиця 4 – Напруження на межах шарів при $h/R = 1/3$

$\overline{\sigma}_{xx}$		$\overline{\sigma}_{\theta\theta}$		$\overline{\sigma}_{x\theta}$	
P	S	P	S	P	S
-16,9418	-17,7826	-16,0147	-16,9540	-17,5367	-18,3161
-19,7244	-19,6778	-18,8956	-18,8775	-20,0094	-20,3080
16,9789	16,6528	17,8078	17,4532	-18,9879	-18,2933
18,5879	18,1825	19,3386	18,9725	-20,3168	-19,9572
-21,7565	-21,7608	-21,0059	-20,9708	-22,5492	-22,4825
-24,4617	-23,7091	-23,7821	-22,9483	-24,9362	-24,5519
19,6380	19,9533	20,3176	20,7141	-21,9198	-21,8394
21,4703	21,6336	22,1075	22,4046	-23,5092	-23,6808

Література

1. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Задачи теории упругости неоднородных тел. – К.: Наукова думка,1991.– 216 с.
2. Григоренко Я.М., Влайков Г.Г., Григоренко А.Я. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей. –К.: Академпериодика, 2006. – 472 с.
3. Григоренко Я.М., Григоренко А.Я. Задачи статики и динамики анизотропных неоднородных оболочек с переменными параметрами и их численное решение (обзор). // Прикладная механика.– 2013.–49, N2. – С. 3–70.
4. Гузь А.Н., Чернышенко И.С., Шнеренко К.И. Концентрация напряжений около отверстий в оболочках из композитных материалов // Прикладная механика. – 2001.–37, N2. – С. 3–43.
5. Bakaiyan H., Hosseini H., and Ameri E. Analis of multi-layered filament-wound composite pipes under combined interal pressure and thermo-mechanical loading wich thermal variations // Compos. Struct. – 2009.– 88.– P. 532– 541.
6. Grigorenko, Ya.,M., Yaremchenko, S.,N.: Refined analysis of the stress state of orthotropic elliptic cylidrical shells with variable geometrical parameters // Int. Appl. Mech.-2008.- 40,N9.- P. 998-1005.
7. Grigorenko, Ya.,M., Grigorenko, A.,Ya., Zakhariychenko, L.,I. : Study of effect of the geometrical parameters on the stress state of cylindrical shells with corrugated llipticcross-section // Int. Appl. Mech.-2009. – 43, N12. – P. 1372-1379.
8. Hosine A., Chapelle D., Baubakar M.L.,et al. Experimental and analytical investigation of the cylindsrical part of a metallic vessel reinforced by filament winding while submitted to internal pressure // Int. J. Press. Vess. Piping.– 2009.– 86.– P.649– 655.
9. Marchuk A.V., and Piskunov V.G. Statics, vibrations and stability of composite panels with gently curved orthorropic layers. 1. Statics and vibrations // Mechanics of Composite Materials. – 1999. – 35, N4. – P. 285–292.
10. Marchuk A.V., Il’chenko Ya. L.,and Gnedash S.V. Analyzing of the stress-strain state of thick cylindrical shells.// Int. Appl. Mech. – 2011. – 47, N4. – P. 449–455.

Рецензенти

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, ПДАБА (Дніпропетровськ)

Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ “Львівська політехніка” (Львів)

Reviewers

Kirichek Yu.O., Dr.Tech.Sci., PSACEA (Dnipropetrovsk)

Solodkyi S.Yo., Dr.Tech.Sci., NU “Lviv Polytechnic” (Lviv)

УДК 532.54

Щодро О.Є., д-р техн. наук

ПРОЕКТУВАННЯ РУСЛО РЕГУЛЮЮЧИХ НАПІВЗАГАТ З МЕТОЮ ЗАХИСТУ БЕРЕГІВ ВІД РОЗМИВУ

Анотація. Розглядаються результати експериментальних досліджень структури потоку на ділянках поворотів русел з врахуванням впливу низьких затоплюваних напівзагат, які влаштовані з метою захисту берега від розмиву. Дається опис методики гідравлічного розрахунку напівзагат.
Ключові слова: напівзагати, поворот русла, розмиви, кріплення дна і берегів.

Аннотация. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований структуры потока на участках поворотов русла с учетом влияния низких затопляемых полузапруд, которые устроены с целью защиты берега от размыва. Дается описание методики гидравлического расчета полузапруд.
Ключевые слова: полузапруды, поворот русла, размеры, крепления дна и берегов.

Annotation. The results of experimental studies of flow patterns in areas of river bends are declared. The influence of low flooded spur-dykes which are arranged to protect the shore from erosion was taken into account. A description of spur-dykes hydraulic calculation is given
Key words: spur-dykes, river bend, scour, bottom and bank armouring.

Вступ

З кожним роком стає все більш актуальною проблема водної стихії і зростає необхідність проведення широкомасштабних робіт в галузі регулювання передгірських ділянок річок. Особливо ця тема стосується річок Карпатського регіону. Також актуальним є питання покращення екологічного стану малих і середніх річок різних регіонів. Відомо в той же час, що регулювання річок є найбільш дешевим і раціональним засобом впливу на природні гідроморфологічні процеси.

У роботах [1,2] описано течії, пов’язані з різким наближенням динамічної осі потоку до берега. Саме на передгірських ділянках річок внаслідок місцевого підпору перед випадковими перешкодами в місці звалу формується потік з високими уклонами. Захист від таких стихійних явищ може вестися за допомогою низьких затоплюваних напівзагат, косо розташованих відносно набігаючого потоку[3,4].

Основна частина

У гідротехнічній лабораторії НУВГП на протязі ряду років було проведено лабораторні гідравлічні дослідження, методика яких та параметри дослідів описані у роботах [3-4]. **Метою досліджень** було створення рекомендацій до проектування берегозахисних споруд, призначених для захисту звальних берегів, які зазнають значної деформації в природних умовах. Вивчення елементів кінематичної структури потоку біля берега без встановлення напівзагат і при їх наявності, а також значень глибин місцевих розмивів біля берега та голів штучних споруд входило в задачі даного дослідження.

Експерименти проводилися на жорсткій та розмивній моделях штучного прямолінійного та криволінійного русел, причому відносна кривина русла змінювалася в межах R/B=3…5. Проводилися також модельні гідравлічні дослідження конкретних об’єктів регулювання. При цьому на жорсткій моделі вивчалося поле актуальних та осереднених швидкостей біля дна, а на розмивній моделі – вивчалася розмивна спроможність потоку для варіантів русла без споруд і напівзагат різних конструкцій та параметрів. Підбір раціональних параметрів при цьому проводився в кількісно-відносному розумінні, тобто в кожній серії змінювався один з істотних параметрів споруди, а результати чітко виявляли їх оптимальне значення. Загальний характер і глибина розмиву дна біля напівзагат з кутами встановлення відносно берега α характеризується фотографіями розмивних ділянок з вкладеними горизонталями (рис. 1-5).

Характерний приклад - переформування дна в районі одиночної напівзагати представлений на Рис. 1, 2. У місці розмиву, біля верхового відкосу формується підковоподібний вихровий шнур, який сприяє виносу наносів з поглиблення вниз за течією. Простір між напівзагатами повністю заносився піском, винесеним потоком із зон вимиву, які лежать вище напівзагат.

Максимальні розмиви дна розміщуються безпосередньо біля голови напівзагат з невеликим зміщенням вниз по течії. Вимірювання глибин у

розмивних ділянках і середніх швидкостей потоку на вертикалі дали змогу визначити максимальну питому витрату води в місці максимального розмиву.

Рисунок 1 – Розмив біля берега річки з напівзагатою ($\alpha = 90^0$)

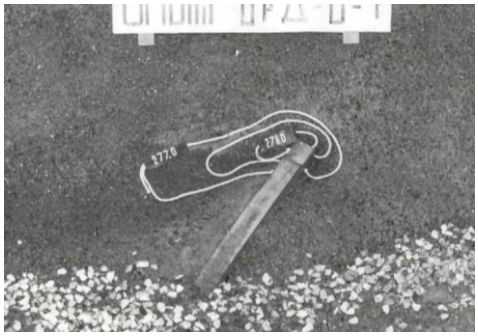
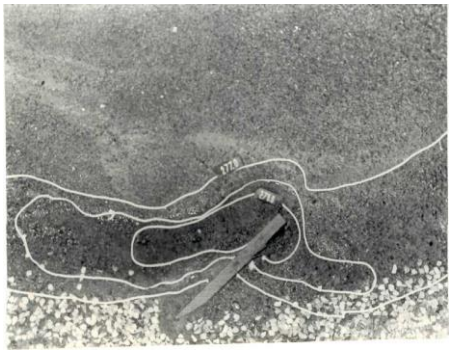


Рисунок 2 – Розмив біля берега річки з напівзагатою ($\alpha = 45^0$)



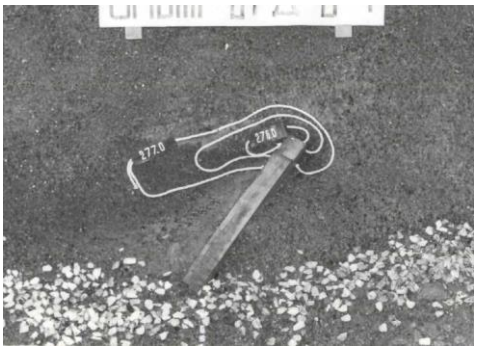


Рисунок 3 – Розмив дна біля одиночної напівзагати без вирізу біля голови і з вирізом при α=45°

Рисунок 4 – Розмиви дна біля системи напівзагат при α=45°

Особливістю роботи водозмішувальних напівзагат являється наявність гвинтоподібних течій за спорудою, що володіють обертальним та поступальним рухом потоку, а також високим рівнем турбулентності. В районі встановлення

споруди повинні бути відомими напрямки середніх по вертикалі швидкостей, котрі при відсутності даних можуть бути визначені шляхом побудови плану течій. З врахуванням цього плану визначається оптимальне положення споруди.

Визначення основних параметрів

Для зазначених схем параметри застосованих споруд можуть визначатися наступним чином.

Висота напівзагати, P. Згідно літературних даних та попередніх досліджень, які проводилися в нашій лабораторії [3, 4, 8] середню висоту буни для перед гірських ділянок річок слід приймати рівною $P = (0.2 \div 0.5)H$, де H - глибина потоку. На ділянках річок з важкими льодовими умовами висота напівзагати, повинна задовольняти вимогам, щоб в період льодоходу лід товщиною $t_л$ проходив над напівзагати,, тобто $P \le H_л - t_л$, де $H_л$ - глибина потоку під час льодоходу. З врахуванням цього висота суцільних затоплюваних водозмішувальних бун для умов рівнинних та перед гірських ділянок гірських річок повиннбвти близько 1,0 м.

Для напівзагат, які підсилюють масообмін у потоці, висота визначається при характерній середньо-мінімальній глибині меженного періоду ***h***. Відносно неї визначається розрахункова висота споруди відносно осередненої глибини за фарватером русла. Визначається також глибина потоку в зоні розташування головної частини кожної споруди і визначається висота самої споруди, виходячи з співвідношення ***p/h = 0,5***. Висота споруди ***d*** її кореневої частині не повинна бути менша ніж 1/3 глибини. [9].

Довжина споруди, $L_б$, що задається попередньо, визначається з співвідношення

$$L_б = l' \sin\alpha \qquad l' = (10 \div 20)P \qquad l' \le 0.3B,$$

де B - ширина річкового потоку на ділянці встановлення споруди. Відповідно до рекомендацій [4] мінімальна довжина її повинна відповідати умові $L_{\min} \ge m_1 h_p + a_0$, де $m_1 = 1.2 \div 2.0$ - коефіцієнт закладання укосу ями розмиву біля голови напівзагати; h_p - глибина ями розмиву біля голови напівзагати,; $a_0 = 2 \div 3$м – запас в довжині споруди. На основі методичних дослідів та з врахуванням особливостей роботи водозмішувальної напівзагати, діапазон зміни довжини пів загати прийнятий в межах $l = 20 \div 25$м.

Кут встановлення напівзагати,, α. Оптимальне значення кута встановлення споруди більшість дослідників, рекомендує приймати в межах $45^{\circ} \div 60^{\circ}$ за течією. При цьому вказуються, що інтенсивність сприятливої циркуляції в зоні водозмішувальної напівзагати,, встановленої за течією, характеризується величиною поступального руху гвинтоподібної течії за напівзагати,. Оптимальний кут розташування півзагати відповідає максимальному значенню цієї швидкості. При більших кутах різко зменшуються швидкості поступального руху у вихровому вальці за напівзагатою та зменшується вплив водозмішувальної напівзагати, на поперечну циркуляцію потоку. В наших дослідженнях приймаємо діапазон зміни значення фактора α в межах $50^{\circ} \div 70^{\circ}$ проти течії. Довжина споруди, визначається в межах 0,1 - 0,3 від ширини потоку, при цьому її довжина повинна складати 7 – 15 її висот. Для напівзагат, які підсилюють масообмін у потоці [9].кут приймається у межах 125…135 град. (тобто вони встановлюються за течією). Для цого випадку влаштовують стінки перешкоди та береговий отвір [9]. Гребінь споруди проектується горизонтальним, або з ухилом в сторону осі русла і складає, як правило $i_{гр} = 0.005 - 0.01$. При параболічній формі поперечного перерізу русла висота споруди буде більшою ближче до динамічної осі потоку. Відстань між сусідніми спорудами на прямолінійних ділянках, а також на слабо викривлених ділянках приймається 200 м – для середніх і великих річок, і 70-150 – для малих.

При розташуванні напівзагат на повороті русла слід використовувати залежності І.Л. Розовського для визначення придонних швидкостей та їх напрямку [5], або використовувати програми для розрахунків плану течій [7].

Визначення типу та параметрів кріплення дна і укосів біля споруди

Визначення планового положення напівзагат, їх розмірів, типів та розмірів кріплення дна та берегів здійснюється шляхом використання експериментальних даних про поля миттєвих донних швидкостей та питомих витрат, що безпосередньо визначають розмивну здатність річкового потоку біля напівзагат.

Розрахунок кріплення дна та укосу русла річки біля споруди може виконуватися в наступному порядку.

Спочатку визначається величина максимальної питомої витрати, біля голови напівзагати

$$\left(\frac{q_{\max}}{q_0}\right) = \left[1.44 - 0.353(\alpha - 90)\right]^2 \left(0.82 + 0.46\frac{P}{h} + 4.65\frac{\Delta}{h}\right) \qquad (1)$$

де q_0 та $q_{\max}$ - питома витрата побутового стоку в зоні зведення напівзагати та максимальна біля її голови; $\frac{\Delta}{h}$ - відносна висота виступів шорсткості.

При витраті розмиву неоднорідних незв'язних грунтів допускаються швидкості з врахуванням утворення самовідмостки. В цьому випадку допустимі нерозмивні швидкості приблизно приймаються рівними 75% допустимої нерозмивної швидкості для крупних часточок, котрих повинно бути не більше 10%. За відомии даними максимальної питомої витрати та допустимої нерозмивної швидкості встановлюється максимальна глибина потоку у воронці розмиву дна.

$$H_B = \frac{q_{\max}}{v_H} \quad , \qquad (2)$$

де v_H -нерозмивна швидкість.

Тоді глибина самої воронки розмиву буде дорівнювати

$$h_в = H_B - h \qquad (3)$$

Відстань від перетину осі напівзагати з торцевою гранню напівзагати до місця максимального розмиву дна $\boldsymbol{a}$ визначається за формулою

$$\frac{a}{P} = \left[4 + 5.56(\alpha - 90)^2\right]\left(2.7A\frac{B}{45^\circ} + 1\right)\left(1.61 - 1.53\frac{P}{H}\right) \qquad (4)$$

$$A = \frac{L_б}{B} - 0.4 \qquad \frac{l'}{B} \geq 0.4 \qquad B = \alpha - 90^\circ \qquad \alpha \geq 90^\circ$$

Максимальна ширина гнучкого тюка визначається з міркувань покриття ним укосу ями розмиву з деяким запасом за формулою

$$b_T = \sqrt{\left(a - \frac{\tilde{b}}{2}\right)^2 + P_B^2} + K \, , \qquad (5)$$

де $\tilde{b}$ - ширина голови напівзагати по дну;

K = 1÷2м – запас в ширині тюфячного кріплення дна встановлюється в залежності від величини максимальних донних миттєвих швидкостей однопроцентної забезпеченості біля голови напівзагати, котрі визначаються за формулою.

$$\frac{v_{1\%}}{v} = \left[0.85 - 0.115\frac{l'}{L_б - l'} + \left(0.0182\frac{l'}{P} - 0.1\right)\frac{\alpha}{\pi - \alpha}\right]\sqrt[6]{\frac{h}{P}}\left(1 - \frac{a}{P}\right) + \\ + 1{,}215 \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{h}\right) \cdot \left(\frac{a}{P}\right) \quad . \qquad (6)$$

Крупніють верхнього шару каменю донного тюфяка визначається за формулою М.М. Біляшевського $d_k = 0.0067 v_{1\%}^2$. Для отримання стійкого кріплення знайдений діаметр каменю слід перемножити на коефіцієнт запасу 1,2÷1,4. Якщо при великих швидкостях потоку біля напівзагати розмір окремих каменів накиду виходить надто великим, верхній шар донного тюфяка за межами споруди повинний виконуватися зі з'єднаних між собою бетонних плит. Напівзагат и без кріплення дна можуть бути найбільш надійними та простими в експлуатації, чим напівзагати з тюфячним кріпленням дна, якщо їх підошва заглиблена нижче відмітки очікуваного розмиву дна. Доцільність такої конструкції тим більша, чим менша очікуваний розмив дна.

$$\left(\frac{v_{\max}}{U_O}\right) = \left(\sqrt{\frac{\alpha - 13}{408}} + 1\right)(0.74 + Fr)\left(0.72 + 0.61\frac{P}{h} + \frac{1}{0.115}\frac{\Delta}{h}\right)\left(1 - \frac{a}{P}\right) + \\ + 0{,}342 \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{h}\right)^{0{,}7} \quad . \qquad (7)$$

Тип кріплення берега біля напівзагати встановлюється за величиною миттєвої швидкості одновідсоткової забезпеченості в межах укосу берега за напівзагатою, яка визначається за рекомендаціями [4]. Напівзагати зі зниженим оголовком дають мінімальні розмиви біля їх головної частини (рис.5) та можуть бути рекомендовані, особливо для крупних і середніх річок.

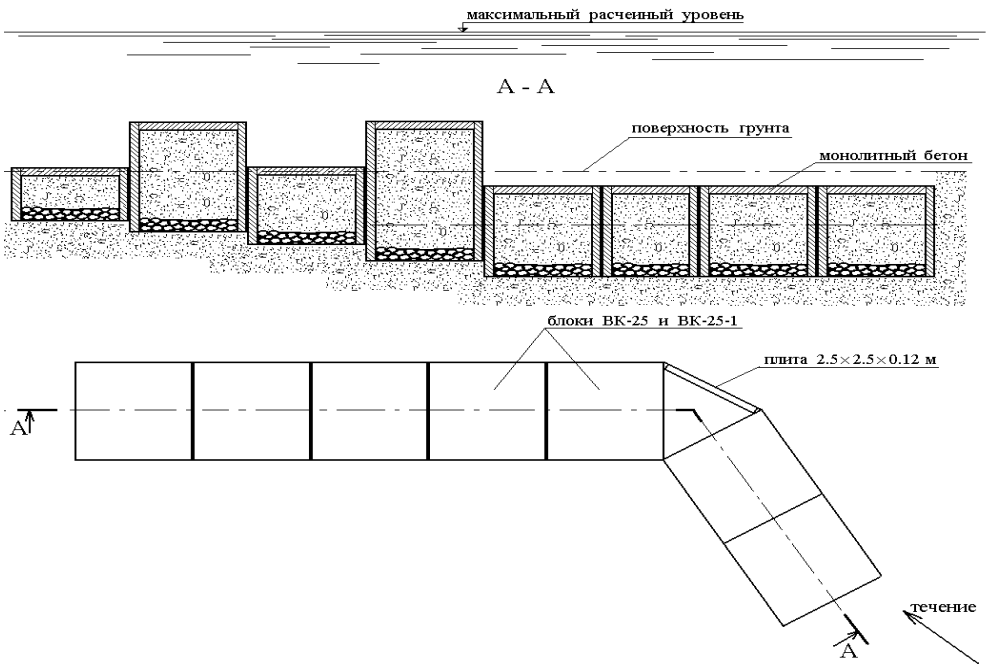


Рисунок 5 – Схема напівзагати, яка дає мінімальні розмиви біля її оголовка [4, 6]

Література

1. Щодро О.Є., Шинкарук Л.А., Корбутяк В.М., Шитов В.М. Катастрофічні розмиви, пов'язані зі звальними течіями, та їх зв'язок з геоморфологією. // Науково-технічний збірник НТУ Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Вип. 72. - К., 2004. - с.186-193.
2. Щодро О.Є., Пацелюк В.Г, Фесун А.В. Дослідження звальних течій та транспортування наносів на гідравлічній моделі Вісник Рівненського державного технічного університету Збірник наукових статей. Рівне, - 2000, - Вип.2(4), - С. 99-103
3. Кириенко И.И., Щодро А.Е. и др. Проектирование низких затапливаемых полузапруд // Гидромелиорация и гидротехническое строительство. - Вып. 9. - Львов: Вища школа, 1981. 3. Кириенко И.И., Щодро А.Е. Структура потока у низких затапливаемых полузапруд // Гидравлика и гидротехника. Республ. межвед. науч.-техн. сборник. - Вып. 28. – К.: Техника, 1979.
4. И.И.Кириенко, В.Д. Шуминский, Л.А. Шинкарук. Рекомендации по проектированию затапливаемых полузапруд на реках Карпат. - Ровно: Минводхоз УССР, УИИВХ, 1986.

5. Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла. АН Украинской ССР, Институт гидрологии и гидротехники., К.-1957, 190 С.
6. Щодро О.Є., Шинкарук Л.А., Напримєрова О.П. Методи розрахунків регуляційних споруд на передгірських ділянках річок. //Автомобільні дороги і дорожне будівництво. Міжвідомчий науково-технічний збірник. - Вип. 73. - К.: УТУ, 2006. - с. 354-357.
7. Методика розрахунку розмивів дна та берегів передгірських ділянок річок та місцевих розмивів біля річкових гідротехнічних споруд. МРР 218-02070915-231-2003. Державна служба автомобільних доріг України (УКРавтодор) Національний транспортний університет України.
8. Shchodro A.E., Local Scour Investigation on Steep River Bends in Ukrainian Carpathian. Proceedings of the Tenth International Symposium on River Sedimentation. Effects of River Sediments and Channel Processes on Social, Economic and Environmental Safety, august 1-4, 2007, Moscow, Russia, V. 3, p. 275-284.
9. Мокляк М.М. Інтенсифікація масообміну та змішування стічних вод за допомогою водозмішувальних бун // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2007. – Випуск 31. - С. 378-386.

Рецензенти

Славінська О.С., д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Савенко В.Я., д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Reviewers

Slavinska O.S., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Savenko V.Ya., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

УДК 624.21.

Снитко В.П., канд. техн. наук

РОЗРАХУНОК МОСТІВ З ВТОПЛЕНИМИ У БЕТОН МЕТАЛЕВИМИ БАЛКАМИ НА ДІЮ НОРМАЛЬНОЇ СИЛИ N З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ І УСАДКИ БЕТОНУ

Анотація. У статті розглянуто методику розрахунку прогонових будов автодорожніх мостів з втопленими у бетон металевими балками з врахуванням повзучості і усадки бетону.
Ключові слова: прогонова будова мосту, напруження, згинальний момент, поздовжня сила, усадка і повзучість бетону.

Аннотация. В статье рассмотрена методика расчета пролетных строений автодорожных мостов с утопленными в бетон металлическими балками з учетом ползучести и усадки бетона.
Ключевые слова: пролетное строение моста, напряжение, изгибающий момент, продольная сила, усадки и ползучесть бетона.

Annotation. In the article the method of calculation spans highway bridges with recessed in concrete with metal beams considering creep and shrinkage of concrete.
Keywords: bridge span , tension, bending moment , longitudinal strength, shrinkage and creep of concrete.

Вступ

Мости з втопленими у бетон металевими балками часто використовують, особливо закордоном, як на автомобільних дорогах, так і на залізницях. Такі конструкції використовують і для мостів під швидкісні поїзди у Німеччині і Франції.

Основна частина

Покажемо методику розрахунку такої прогонової будови моста на дію нормальної сили з урахуванням повзучості і усадки бетону.

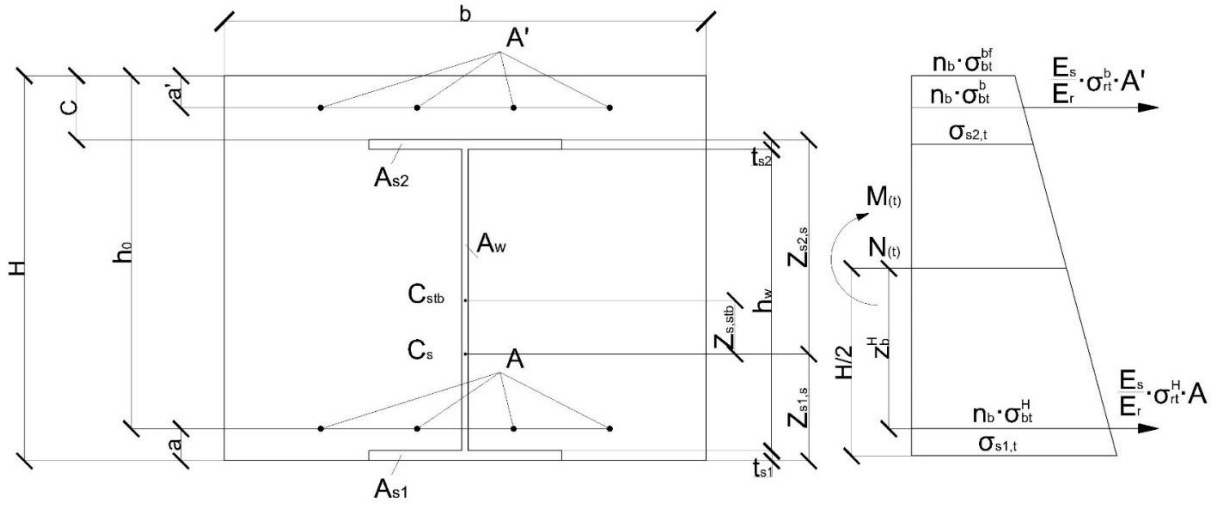


Рисунок 1 – Напруження в сталезалізобетонному перерізі

Розглянемо сталезалізобетоний працюючий без тріщин брус з втопленою у бетон металевою балкою і армований арматурою.У кожному перерізі діє нормальна сила N. Силу N прикладаємо посередині висоти сталезалізобетонного перерізу (див. рис.1). Балка довільної форми, але має одну вісь симетрії.

Передбачається, що зчеплення арматури і металевої балки з бетоном здійснено до прикладання навантаження.

Необхідно визначити напруження у бетоні, арматурі і сталевій частині перерізу у будь-який момент часу t.

Приймаємо лінійний закон розподілу напруження у бетоні і сталевій частині перерізу на висоті балки.

Невідомими вважаємо напруження в бетоні на рівні центрів ваги верхньої та нижньої арматури $\sigma_{bt}^{в}$ і σ_{bt}^{H} .

Напруження в арматурі на тих же рівнях $\sigma_{rt}^{в}$ і σ_{rt}^{H} , напруження у сталевій балці на рівні верхньої і нижньої фібри $\sigma_{s2,t}$ і $\sigma_{s1,t}$.

Вважаємо, що невідомі напруження додатні (розтяг). Для визначення невідомих складаємо рівняння проекцій діючих зусиль на вісь бруса, рівняння моментів діючих зусиль щодо центра ваги нижньої арматури , два рівняння спільності деформацій бетону і верхньої та нижньої арматури, бетону і верхньої

фібри сталевої балки , а також рівняння, що випливає із гіпотези плоских перерізів.

Напруження , що викликані дією нормальної сили N .

Напруження у бетоні у будь-якій точці перерізу, що розташована на відстані Z від центру ваги нижньої арматури σ_{bt}^{z} через $\sigma_{bt}^{в}$ і σ_{bt}^{H} . Із рисунка 2 видно, що

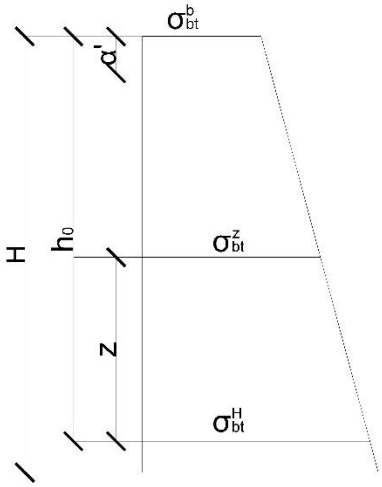


Рисунок 2 – Визначення напруження у бетоні в будь-якій точці перерізу

$$\sigma_{bt}^{z} = \sigma_{bt}^{в} \cdot \frac{z}{h_0 - a'} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{(h_0 - a' - z)}{h_0 - a'} \qquad (1)$$

Напруження у металевій балці у будь-якій точці її перерізу, що розташована на відстані Z від центру ваги нижньої арматури σ_{bt}^{z} через $\sigma_{s2,t}$ і $\sigma_{s1,t}$ буде:

$$\sigma_{st}^{z} = \sigma_{s1,t} \cdot \frac{h_0 - C - z}{H - C} + \sigma_{s2,t} \cdot \frac{z + a}{H - C} \qquad (2)$$

Рівняння рівноваги

$$\int_{A_b} \sigma_{bt}^{z} \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_{st}^{z} \cdot dA_s + \sigma_{rt}^{H} \cdot A + \sigma_{rt}^{в} \cdot A' - N = 0\,; \qquad (3)$$

$$\int_{A_b} \sigma_{bt}^{z} \cdot Z \cdot dA_b + \sigma_{rt}^{в} \cdot A' \cdot (h_0 - a') + \int_{A_s} \sigma_{st}^{z} \cdot Z \cdot dA_s - N \cdot Z_b^{H} = 0\,; \qquad (4)$$

де ексцентриситет Z_b^{H} сили N – відстань від середини висоти перерізу балки до центра ваги нижньої арматури : $Z_b^{H} = \frac{H}{2} - a$.

Рівняння спільності деформацій верхньої арматури і бетону:

$$\frac{\sigma_{rt}^{в}}{E_r} = \varepsilon_{bt}^{в}; \qquad (5)$$

де $\varepsilon_{bt}^{в}$ повна відносна деформація бетону на рівні центру ваги верхньої арматури у момент часу t ;

E_r– модуль пружності арматури на основі модифікованої теорії старіння бетону [2] одержуємо:

$$\sigma_{rt}^{в} = n_r \cdot (\sigma_{b_0}^{в} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{в} \cdot K_2), \quad (6)$$

де $\eta_r = \frac{E_r}{E_{bo}}$ відношення модуля пружності арматури до початкового модуля пружності бетону E_{bo}; K_1 і K_2 коефіцієнти, що прийняті при параболічній залежності між напруженнями в бетоні в момент часу t $\sigma_{b\tau}$ і характеристикою повзучості бетону φ_t [2], яка обчислюється за формулами :

$K_1 = (1 - a + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{3}$; $K_2 = 1 + (2 + a - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{3}$.

А при лінійній залежності за формулами:

$K_1 = (1 - a + K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2}$; $K_2 = 1 + (1 + a - K_0) \cdot \frac{\varphi_t}{2}$,

де φ_t гранична характеристика повзучості бетону, що обчислюється за [1]

a і K_0 - коефіцієнти, що обчислюються за [2]

Рівняння спільності деформацій нижньої арматури і бетону за аналогією з попереднім

$$\sigma_{rt}^{H} = n_r \cdot (\sigma_{b_0}^{H} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{H} \cdot K_2). \quad (7)$$

Рівняння спільності деформації верхньої фібри металевої балки і бетону

$$\sigma_{s2,t} = n_b \cdot (\sigma_{b_0}^{s2} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{s2} \cdot K_2), \quad (8)$$

де $n_b = \frac{E_s}{E_{bo}}$ – відношення модуля пружності сталевої балки E_s до початкового модуля пружності бетону E_{b0};

σ_{b0}^{s2} і σ_{bt}^{s2} – відповідно напруження у бетоні на рівні верхньої фібри металевої балки на момент часу “0” і “t” .

З гіпотези плоских перерізів маємо:

$$\sigma_{s1,t} = \sigma_{s2,t} \cdot \frac{H - a'}{c - a'} - \sigma_{rt}^{в} \cdot \frac{n_b}{n_r} \cdot \frac{H - c}{c - a'}. \quad (9)$$

Підставляємо у рівняння (3) і (4) замість σ_{bt}^{z} і σ_{st}^{z} їх значення (1) і (2) , замість $\sigma_{rt}^{в}$ і σ_{rt}^{H} – значення (6) і (7) , а замість $\sigma_{s2,t}$ значення (8) , після деяких перетворень , одержуємо рівняння для визначення напружень $\sigma_{bt}^{в}$ і σ_{bt}^{H}:

$$\beta \cdot \sigma_{bt}^{в} + \gamma \cdot \sigma_{bt}^{H} + \Delta N = 0 ; \quad (10)$$

$$m_1 \cdot \sigma_{bt}^{в} + m_2 \cdot \sigma_{bt}^{H} + m_4 \cdot N = 0 ; \quad (11)$$

де $$\beta = \frac{S_b}{h_0 - a'} + F \cdot \frac{h_0 - c}{h_0 - a'} + D \cdot \left[\frac{(h_0 - c)\cdot(H - a')}{(h_0 - a')\cdot(H - c)} - 1\right] + K_2 \cdot A' \cdot n_r \; ; \quad (12)$$

$$D = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot [(h_0 - c)\cdot A_s - S_s]}{c - a'} \; ; \quad (13)$$

$$F = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot (S_s + a \cdot A_s)}{H - c} \; ; \quad (14)$$

$$\gamma = A_b + F \cdot \frac{c - a'}{h_0 - a'} + D \frac{(H - a')\cdot(c - a')}{(h_0 - a')\cdot(H - c)} + K_2 \cdot n_r \cdot A - \frac{S_b}{(h_0 - a')} \; ; \quad (15)$$

$$\Delta = \psi^{S2} \cdot F \cdot \frac{K_1}{K_2} + \psi^{S2} \cdot D \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{(H - a')}{(H - c)} - D \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \psi^{в} + n_r \cdot K_1 \cdot (A \cdot \psi^{H} + A' \cdot \psi^{в}) - -1 \; ; \quad (16)$$

$$m_1 = \frac{I_b}{h_0 - a'} + B \cdot \frac{h_0 - c}{h_0 - a'} + V \cdot \left[\frac{(h_0 - c)\cdot(H - a')}{(h_0 - a')\cdot(H - c)} - 1\right] + K_2 \cdot A' \cdot n_r \cdot (h_0 - a'); \quad (17)$$

$$V = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot [(h_0 - c)\cdot S_s - I_s]}{c - a'} \; ; \quad (18)$$

$$B = \frac{K_2 \cdot n_b \cdot (I_s + a \cdot S_s)}{H - c} \; ; \quad (19)$$

$$m_2 = S_b - \frac{I_b}{h_0 - a'} + V \cdot \frac{(H - a')\cdot(c - a')}{(h_0 - a')\cdot(H - c)} + B \cdot \frac{(c - a')}{(h_0 - a')} \; ; \quad (20)$$

$$m_4 = \psi^{b} \cdot n_r \cdot K_1 \cdot A' + \psi^{S2} \cdot V \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{(H - a')}{(H - c)} - \psi^{в} \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot V + \psi^{S2} \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot B - Z_b^{H} \; ; \quad (21)$$

де $$\psi^{в} = \frac{1}{A_{b.n}} - (Z_{b.n}^{H} - Z_b^{H}) \cdot \frac{Z_{b.n}^{H}}{I_{b.n}} \; ; \quad (22)$$

$$\psi^{H} = \frac{1}{A_{b.n}} + (Z_{b.n}^{H} - Z_b^{H}) \cdot \frac{Z_{b.n}^{H}}{I_{b.n}} \; ; \quad (23)$$

$$\psi^{S2} = \frac{1}{A_{b.n}} - (Z_{b.n}^{H} - Z_b^{H}) \cdot \frac{Z_{b.n}^{S2}}{I_{b.n}} \; ; \quad (24)$$

$$\psi^{S1} = \frac{1}{A_{b.n}} + (Z_{b.n}^{H} - Z_b^{H}) \cdot \frac{Z_{b.n}^{S1}}{I_{b.n}} \; ; \quad (25)$$

$A_{b.n}$ – площа перерізу приведена до бетону ;

$Z_{b.n}^{H}$ і $Z_{b.n}^{в}$ –відстані від центру приведеного перерізу відповідно до центрів тяжіння нижньої і верхньої арматури ;

$Z_{b.n}^{S1}$ і $Z_{b.n}^{S2}$ – відстані від центу приведеного перерізу відповідно до нижньої і верхньої фібри металевої балки .

$S_b = \int_{A_b} z \cdot dA_b$ – статичний момент площі бетонного перерізу A_b відносто горизонтальної вісі , що проходить через центр тяжіння нижньої арматури ;

$A_b = \int_{A_b} dA_b$ – площа бетонної частини перерізу (без врахування площі металу);

$I_b = \int_{A_b} z^2 \cdot dA_b$ – момент інерції площі бетонної частини перерізу A_b відносно вісі , що проходить через центр тяжіння нижньої арматури ;

$A_s = \int_{A_s} dA_s$ – площа металевої балки ;

$S_s = \int_{A_s} z \cdot dA_s$ – статичний момент площі металевої балки відносно горизонтальної вісі , що проходить через центр тяжіння нижньої арматури ;

$I_s = \int_{A_s} z^2 \cdot dA_s$ – момент інерції площі металевої балки A_s , щодо тієї ж вісі ;

Зрозуміло , що

де $I_{b.n}$ – момент інерції приведеного до бетону перерізу балки прогонової будови відносно горизонтальної вісі , що проходить через центр тяжіння приведеного перерізу ;

Напруження у бетоні на момент часу t , що викликані дією сили N:

$$\sigma_{bt}^{в} = \psi_t^{в} \cdot N\,; \tag{26}$$

$$\sigma_{bt}^{H} = \psi_t^{H} \cdot N\,; \tag{27}$$

Напруження в арматурі , від дії сили N :

$$\sigma_{rt}^{в} = n_r \cdot (\psi^{в} \cdot K_1 + \psi_t^{в} \cdot K_2) \cdot N; \tag{28}$$

$$\sigma_{rt}^{H} = n_r \cdot (\psi^{H} \cdot K_1 + \psi_t^{H} \cdot K_2) \cdot N; \tag{29}$$

$$\text{Де } \psi_t^{в} = \frac{\gamma \cdot m_4 - \Delta \cdot m_2}{\beta \cdot m_2 - \gamma \cdot m_1}; \tag{30}$$

$$\psi_t^{H} = \frac{\Delta \cdot m_1 - \beta \cdot m_4}{\beta \cdot m_2 - \gamma \cdot m_1}; \tag{31}$$

Напруження σ_{bt}^{S2} у бетоні на момент часу t на рівні верхньої фібри металевої балки:

$$\sigma_{bt}^{S2} = \sigma_{bt}^{в} \cdot \frac{h_0 - c}{h_0 - a'} + \sigma_{bt}^{H} \cdot \frac{c - a'}{h_0 - a'}.$$

Напруження в металевій балці на момент часу t :

$$\sigma_{S2,t} = n_b \cdot \left(\sigma_{b0}^{S2} \cdot K_1 + \sigma_{bt}^{S2} \cdot K_2\right);$$

$$\sigma_{S1,t} = \sigma_{S2,t} \cdot \frac{(H - a')}{(c - a')} - \sigma_{rt}^{в} \cdot \frac{n_b}{n_r} \cdot \frac{(H - c)}{(c - a')}.$$

Визначення напружень , що викликані дією усадки бетону .

Розглядаємо балку , що зображена на рис.1

Силові фактори M і N відсутні , враховується лише дія усадки , що характеризується відносною деформацією ε_{yt}. У сталезалізобетонній балці усадка бетону стримується арматурою і металевою балкою . В результаті в арматурі , в металевій балці , і в бетоні виникають урівноважені зусилля .

Рівняння рівноваги :

$$1)\ \sum x = 0\ ;\ \int_{A_b} \sigma^{z}_{b,yt} \cdot dA_b + \sigma^{\text{н}}_{r,yt} \cdot A + \sigma^{\text{в}}_{r,yt} \cdot A' + \int_{A_s} \sigma^{z}_{s,yt} \cdot dA_s = 0\ ; \qquad (32)$$

2) $\sum M = 0$; (відносно центру нижньої арматури):

$$\int_{A_b} \sigma^{z}_{b,yt} \cdot Z \cdot dA_b + \sigma^{\text{в}}_{r,yt} \cdot A' \cdot (h_0 - a') + \int_{A_s} \sigma^{z}_{s,yt} \cdot Z \cdot dA_s = 0\ ; \qquad (33)$$

Рівняння спільності деформацій записується на основі того , що алгебраїчна сума відносної деформації усадки бетону ε_{yt} і відносна деформація бетону $\varepsilon_{b,yt}$, що викликана усадковими напруженнями , дорівнює відносній деформації арматури . Теж саме відноситься і до металевої балки .

$\varepsilon_{yt} + \varepsilon_{b,yt} = \varepsilon_{r,yt}$;

$\varepsilon_{yt} + \varepsilon_{b,yt} = \varepsilon_{st,yt}$;

Враховуємо , що у початковій момент часу t=0 , з якою починається врахування усадки , напруження не виникають , тоді записуємо :

$$\varepsilon_{yt} + \int_0^t \frac{d\sigma_{b,yt}}{d\tau} \cdot \left(\frac{1}{E_\tau} + C_{t\tau}\right) d\tau = \frac{\sigma_{r,yt}}{E_r}; \qquad (34)$$

де $C_{t\tau}$ – міра повзучості бетону на момент часу t . Застосовуючи модифіковану теорію старіння бетону і формулу [2] , що $\varepsilon_t = \frac{1}{E_0} \cdot (\sigma_0 \cdot K_1 + \sigma_t \cdot K_2)$ та враховуючи , що $\sigma_{by,0} = 0$ маємо $\varepsilon_{b,yt} = \frac{\sigma_{b,yt} \cdot K_2}{E_0}$.

Тоді рівняння спільності деформацій арматури і бетону будуть мати вигляд :

$$\sigma^{\text{в}}_{r,yt} = E_r \cdot \varepsilon_{yt} + n_r \cdot K_2 \cdot \sigma^{\text{в}}_{b,yt}; \qquad (35)$$

$$\sigma^{H}_{r,yt} = E_r \cdot \varepsilon_{yt} + n_r \cdot K_2 \cdot \sigma^{H}_{b,yt}; \qquad (36)$$

Рівняння спільності деформацій верхньої фібри металевої балки і бетону :

$$\sigma_{s2,yt} = E_{st} \cdot \varepsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma^{S2}_{b,yt}; \qquad (37)$$

Величина ε_{yt} - це деформація стиснення , тому її приймаємо з від’ємним знаком.

Підставляючи вираз (35) , (36) і (37) в рівняння рівноваги (32) і (33) і замінюючи σ_{bt}^{z} його значенням із формули (1) , а σ_{st}^{z} – із формули (2) маємо рівняння з двома невідомими $\sigma_{b,yt}^{в}$ і $\sigma_{b,yt}^{H}$:

$$1)\beta \cdot \sigma_{b,yt}^{в} + \gamma \cdot \sigma_{b,yt}^{H} + E_b \cdot n_r \cdot \varepsilon_{yt} \cdot (A + A') + T \cdot E_b \cdot \varepsilon_{yt} = 0; \quad (38)$$

$$2)m_1 \cdot \sigma_{b,yt}^{в} + m_2 \cdot \sigma_{b,yt}^{H} + E_b \cdot n_r \cdot \varepsilon_{yt} \cdot A' \cdot (h_0 - a') + P \cdot E_b \cdot \varepsilon_{yt} = 0; \quad (39)$$

де

$$T = \frac{D}{K_2} \cdot \left(\frac{H-a'}{H-c} - 1\right) + \frac{F}{K_2}; \quad (40)$$

$$P = \frac{1}{K_2} \cdot \left[V \cdot \left(\frac{H-a'}{H-c} - 1\right) + B\right]; \quad (41)$$

Значення β, γ, m_1 і m_2 обчислюються за формулами (12) , (15) , (17) і (20).

Тоді :

$$\sigma_{b,yt}^{в} = \eta_{yt}^{в} \cdot E_b \cdot \varepsilon_{yt}; \quad (42)$$

$$\sigma_{b,yt}^{H} = \eta_{yt}^{H} \cdot E_b \cdot \varepsilon_{yt}; \quad (43)$$

де

$$\eta_{yt}^{в} = \frac{\gamma \cdot [n_r \cdot A' \cdot (h_0 - a') + P] - m_2 \cdot [n_r \cdot (A + A') + T]}{\beta \cdot m_2 - \gamma \cdot m_1}; \quad (44)$$

$$\eta_{yt}^{H} = \frac{m_1 \cdot [n_r \cdot (A + A') + T] - \beta \cdot [n_r \cdot A' \cdot (h_0 - a') + P]}{\beta \cdot m_2 - \gamma \cdot m_1}; \quad (45)$$

Напруження в арматурі визначаються за формулами (35) і (36).

Напруження у бетоні на рівні верхньої фібри металевої балки :

$$\sigma_{b,yt}^{S2} = \sigma_{b,yt}^{в} \cdot \frac{h_0 - c}{h_0 - a'} + \sigma_{b,yt}^{H} \cdot \frac{c - a'}{h_0 - a'}. \quad (46)$$

Напруження в металевій балці:

на рівні верхньої фібри

$$\sigma_{s2,yt} = E_{st} \cdot \varepsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b,yt}^{S2}; \quad (47)$$

На рівні нижньої фібри

$$\sigma_{S1,yt} = \sigma_{S2,yt} \cdot \frac{(H - a')}{(c - a')} - \sigma_{r,yt}^{в} \cdot \frac{n_b}{n_r} \cdot \frac{(H - c)}{(c - a')}. \quad (48)$$

Розглянемо розрізну прогонову будову автодорожнього мосту довжиною 18 м і габаритом Г-11,5 м ,що має дві смуги руху шириною по 3,75 м і дві смуги безпеки по 2,0 м.

Залізобетонна плита шириною 13,5 м у верхній частині має симетричні поперечні 2% похили від осі моста до країв.

Огородження проїзду встановлені на цоколях висотою 10 см над покриттям і шириною 1,0 м . Середня висота залізобетонної плити прогонової будови 60 см. Бетон плити класу міцності В35 , щільності W14 і морозостійкості F300.

Залізобетонна плита має утоплені у бетон сталеві прокатні балки з постійним поперечним перерізом із двотаврів з широкими поличками 50 $Ш_4$ з кроком 75 см у поперек мосту , із сталі класу міцності С390 і висотою h=50,1 см . Кількість металевих балок у поперек мосту складає 18 шт.

Поперечний переріз сталезалізобетонного мосту з утопленими у бетон балками показано на рис.3

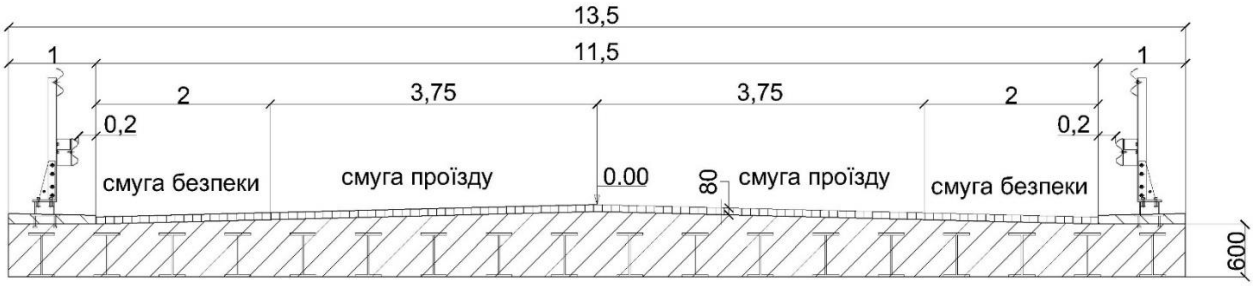


Рисунок 3 – Поперечний переріз мосту

Крім того , сталезалізобетонна плита прогонової будови армована двома сітками арматури АІІІ діаметром d 16 мм. Всі стики арматури виконані у перехльост.

Коефіцієнт армування у кожному напрямі прийнятий не менший за 1%. Фрагмент плити прогонової будови з утопленими у бетон металевими балками показано на рис. 4.

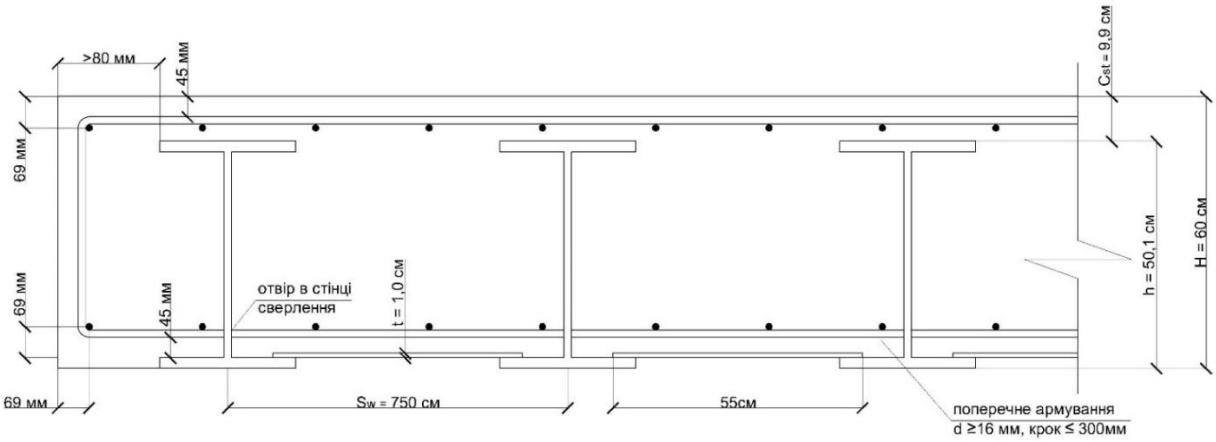


Рисунок 4 – Фрагмент плити прогонової будови у поперек мосту

Відстань від верхньої і нижньої грані плити до центрів тяжіння верхньої і нижньої арматури прийнята 69мм.

Розрахунок виконано для перерізу сталезалізобетонної плити посередині прогону мосту.

Відносна деформація усадки бетону прийнята $\varepsilon_{yt} = 2 \cdot 10^{-4}$.

Усадка бетону викликало появу на момент часу t додаткових напружень у бетоні :

На рівні центра тяжіння верхньої арматури $\sigma_{b,shr}^{в} = 1{,}06 МПа$;

На рівні центра тяжіння нижньої арматури $\sigma_{b,shr}^{Н} = 1{,}73 МПа$.

Додаткові напруження від усадки бетону на час t в металевій балці склали на рівні :

Верхньої фібри $\sigma_{s2,shr} = -23{,}3 МПа$;

Нижньої фібри $\sigma_{s1,shx} = -9{,}9 МПа$.

Література

1. ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби .Правила проектування. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.
2. Лившиц Л.Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона – К. : Вища школа, 1975.
3. Снитко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів : навч. посібник. – К. : НТУ, 2005.
4. Снитко В.П. Проектування та розрахунок прогонових будов металевих мостів : навч. посібник. – К. : НТУ, 2010.

Рецензенти

Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ “Львівська політехніка” (Львів)

Кузло М.Т., д-р техн. наук, НУВГП (Рівне)

Reviewers

Solodkyi S.Yo., Dr.Tech.Sci., NU “Lviv Polytechnic” (Lviv)

Kuzlo M.T., Dr.Tech.Sci., NUWM (Rivne)

УДК 532.5:627.13

Савенко В.Я., д-р техн. наук, **Славінська О.С.**, д-р техн. наук,
Бондаренко Л.П., канд. техн. наук

МЕТОД ОЦІНКИ ВПЛИВУ СПОРУД ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ

Анотація. В роботі запропоновано метод оцінки впливу споруд дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан поверхневих вод. Метод розроблений на основі числової реалізації тривимірної математичної моделі, що враховує просторову та анізотропну структуру водного потоку в зоні змішування. Наведено приклад числового розрахунку переносу домішок з поверхні реального мостового переходу.
Ключові слова: мостовий перехід, водні ресурси, екологічний стан, математичне моделювання ,числові методи

Аннотация. В работе предложен метод оценки влияния сооружений дорожно-транспортного комплекса на экологическое состояние поверхностных вод. Метод разработан на основе численной реализации трехмерной математической модели, учитывающей пространственную и анизотропную структуру водного потока в зоне смешения. Приведен пример численного рассчета переноса примеси с поверхности реального мостового перехода.
Ключевые слова: мостовой переход, водные ресурсы, екологическое состоние, математическое моделирование, численне методы

Annotation. This paper proposed a method of assessing the impact of road transport facilities complex on the ecological status of surface waters. The method is based on the numerical realization of three-dimensional mathematical model that considers the spatial and anisotropic structure of the water flow in the mixing. An example of numerical calculation of the transfer of impurities from the surface of the real bridge.
Keywords: bridge, water resources, ecological conditions, mathematical modeling, numerical methods

Вступ

Охорона водного середовища майже не щодня ставить перед інженерами-проектувальниками цілий ряд складних задач, пов'язаних з необхідністю проведення екологічних експертиз проектованих об'єктів та організації відповідних охоронних заходів.

Зокрема, така проблема є актуальною та злободенною і в дорожньо-транспортній галузі при розробці проектів будівництва та реконструкції ділянок автомобільних доріг і мостових переходів, які поряд з промисловими об'єктами є досить потужними джерелами забруднення поверхневих водних ресурсів. Ключовим моментом на шляху вирішення даної проблеми є всебічне вивчення механізму переносу забруднюючих речовин у відкритих потоках та розвиток відповідної теоретичної бази, що дозволить більш точно прогнозувати стан водоймищ і рік, а також дасть можливість підвищити науково-інженерний рівень та обґрунтованість заходів, спрямованих на їх збереження.

Аналіз публікацій На сьогоднішній день одним з найбільш ефективних методів дослідження процесів динаміки і переносу забруднюючих речовин у відкритих потоках є їх математичне і числове моделювання. Різноманітні математичні моделі і методи розрахунку переносу домішок у відкритих потоках запропоновано і реалізовано в роботах А.М. Айтсама, Х.А. Вельнера, Л.Л. Пааля, О.Ф. Васильєва, В.І. Квона, Й.Д. Родзіллера, Є.В. Бруяцького, І.А. Шеренкова, А.П. Нетюхайла, М.М. Бєляєва, Ю.А. Малевича, В.К. Хруща, С.О. Іваненка, П.П. Корявова, О.М. Мілітеєва, Т.Е. Кулласа, Р.Е. Тамсалу, Б. Лаундера, А. Морса, В. Роді, Д. Сполдінга, А. Растоджі та інших вчених.

Однак, виконаний аналіз літературних джерел показав, що на сьогоднішній день дослідження динаміки і міграції домішок в природних руслах проводиться переважно в рамках різноманітних варіантів одновимірних або двовимірних моделей, здатних описувати ці процеси лише в областях досить віддалених від джерела викиду, залишаючи відкритим питання взаємодії струминного і безнапірного потоків безпосередньо в зоні змішування, де течія має складну просторову й анізотропну структуру. Існуючі ж тривимірні моделі не враховують складний анізотропний характер течії в природних потоках, ґрунтуються на припущенні про ізотропність коефіцієнтів турбулентної в'язкості і дифузії, що з одного боку значно спрощує математичний аналіз рівнянь турбулентного руху і переносу, з іншого – приводить до спотворення реальної картини течії, особливо поблизу джерела викиду

Не достатня вивченість процесу взаємодії струминного і безнапірного потоків в ближній зоні викиду забруднюючих речовин у відкритий потік та відсутність строгої математичної моделі для розрахунку основних характеристик потоку в ній, істотно впливають на правильність розрахунків переносу забруднюючих речовин в цілому і приводять до виникнення ряду труднощів при розв'язуванні конкретних інженерних задач. Зважаючи на ці факти в роботах [1, 2] розроблена методика розрахунку основних характеристик потоку поблизу джерела викиду забруднюючих речовин у відкритий потік, що ґрунтується на числовій реалізації тривимірної нестаціонарної математичної моделі і дає можливість визначати її геометричні параметри в процесі розрахунку.

Постановка і розв'язання задачі

З метою врахування фізичних особливостей переносу домішок у природних водотоках, в роботах [1, 2] була розроблена відповідна тривимірна математична модель, що враховує вплив початкового імпульсу забрудненої струмини, архімедові сили, анізотропний стан турбулентності і т.п.:

$$\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial t}+\frac{1}{2}D_1\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_1}+\frac{1}{2}D_2\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_2}+\frac{1}{2}D_3\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_3}=-\frac{1}{2\rho}\frac{d\bar{p}_x}{\partial x_1}+\frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial x_2}\left(-\overline{\upsilon'_1\upsilon'_2}\right)+\frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial x_3}\left(-\overline{\upsilon'_1\upsilon'_3}\right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\upsilon}_2}{\partial t}+\bar{\upsilon}_1\frac{\partial \bar{\upsilon}_2}{\partial x_1}+\bar{\upsilon}_2\frac{\partial \bar{\upsilon}_2}{\partial x_2}+\bar{\upsilon}_3\frac{\partial \bar{\upsilon}_2}{\partial x_3}+D_4\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_1}+D_5\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_2}+D_6\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_3}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_2}+\frac{\partial}{\partial x_2}\left(-\overline{\upsilon'^2_2}\right)+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(-\overline{\upsilon'_2\upsilon'_3}\right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{\upsilon}_3}{\partial t}+\bar{\upsilon}_1\frac{\partial \bar{\upsilon}_3}{\partial x_1}+\bar{\upsilon}_2\frac{\partial \bar{\upsilon}_3}{\partial x_2}+\bar{\upsilon}_3\frac{\partial \bar{\upsilon}_3}{\partial x_3}+D_7\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_1}+D_8\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_2}+D_9\frac{\partial \bar{\upsilon}_1}{\partial x_3}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_3}-\beta g\Delta\bar{C}+\frac{\partial}{\partial x_2}\left(-\overline{\upsilon'_2\upsilon'_3}\right)+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(-\overline{\upsilon'^2_3}\right). \quad (3)$$

$$D_i=\left[\bar{\upsilon}_{1зовн}\frac{\bar{\upsilon}_i}{\bar{\upsilon}_1}-\frac{\overline{\upsilon'_1\upsilon'_i}}{\bar{\upsilon}_1}\right],\ i=\overline{1,3},\quad D_j=\left[\frac{\overline{\upsilon_j}\,\bar{\upsilon}_{2зовн}}{\bar{\upsilon}_1}-\frac{\overline{\upsilon_2}\,\overline{\upsilon_j}}{\bar{\upsilon}_1}-\frac{\overline{\upsilon'_2\upsilon'_j}}{\bar{\upsilon}_1}\right],\ j=\overline{4,6},\quad D_к=\left[\frac{\overline{\upsilon_k}\,\bar{\upsilon}_{3зовн}}{\bar{\upsilon}_1}-\frac{\overline{\upsilon_2}\,\overline{\upsilon_k}}{\bar{\upsilon}_1}-\frac{\overline{\upsilon'_2\upsilon'_k}}{\bar{\upsilon}_1}\right],\ k=\overline{7,9}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t}+\vec{\upsilon}\,grad\left(\bar{C}\right)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(-\overline{\upsilon'_i C}\right), \quad (5)$$

де $\bar{\upsilon}_i$, υ'_i – осереднені та пульсаційні складові швидкості; $\bar{C}$ – осереднене значення концентрації забруднюючої речовини.

Модельна система рівнянь (1)-(5) є параболізованою. Еліптичний характер течії у повздовжньому напрямку врахований за допомогою апроксимації тиску по Госману і Сполдінгу, згідно якої статичний тиск в струмені представляється у вигляді суми двох складових p_x і p, причому складова тиску p_x визначається

лише з рівняння руху в повздовжньому напрямку, а складова тиску p змінюється в поперечному перерізі струмини [3].

Складова тиску p змінюється в поперечному перерізі і описується рівнянням Пуассона еліптичного типу в кожному поперечному перерізі:

$$\frac{\partial^2 \overline{p}}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2 \overline{p}}{\partial x_3^2}=\rho\Bigg[-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{\partial \overline{\upsilon}_2}{\partial t}\right)-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\overline{\upsilon}_1\frac{\partial \overline{\upsilon}_2}{\partial x_1}\right)-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\overline{\upsilon}_2\frac{\partial \overline{\upsilon}_2}{\partial x_2}\right)-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\overline{\upsilon}_3\frac{\partial \overline{\upsilon}_2}{\partial x_3}\right)-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(D_4\frac{\partial \overline{\upsilon}_1}{\partial x_1}\right)-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(D_5\frac{\partial \overline{\upsilon}_1}{\partial x_2}\right)-\frac{\partial}{\partial x_2}\left(D_6\frac{\partial \overline{\upsilon}_1}{\partial x_3}\right)+$$
$$+\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\left(-\overline{\upsilon'^2_2}\right)+\frac{\partial^2}{\partial x_2\partial x_3}\left(-\overline{\upsilon'_2\upsilon'_3}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\frac{\partial \overline{\upsilon}_3}{\partial t}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\overline{\upsilon}_1\frac{\partial \overline{\upsilon}_3}{\partial x_1}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\overline{\upsilon}_2\frac{\partial \overline{\upsilon}_3}{\partial x_2}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\overline{\upsilon}_3\frac{\partial \overline{\upsilon}_3}{\partial x_3}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(D_7\frac{\partial \overline{\upsilon}_1}{\partial x_1}\right)-$$
$$-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(D_8\frac{\partial \overline{\upsilon}_1}{\partial x_2}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(D_9\frac{\partial \overline{\upsilon}_1}{\partial x_3}\right)-\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\beta g\Delta\overline{C}\right)+\frac{\partial}{\partial x_3\partial x_2}\left(-\overline{\upsilon'_2\upsilon'_3}\right)+\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\left(-\overline{\upsilon'^2_3}\right)\Bigg] \tag{6}$$

Замикання математичної моделі (1)-(6) здійснено на основі спільного використання модифікованої к-ε- моделі турбулентності [2]:

$$\frac{\partial k}{\partial t}+\overline{\upsilon}_i\frac{\partial k}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x_i}\right)+P-\varepsilon\,, \tag{7}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}+\overline{\upsilon}_i\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}=c_\varepsilon\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right)+\left(c_{1\varepsilon}\frac{P}{\varepsilon}-c_{2\varepsilon}\right)\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{8}$$

і алгебраїчних співвідношень для турбулентних напружень і турбулентних потоків маси [2]:

$$\overline{\upsilon'_i\upsilon'_j}=\frac{2}{3}\delta_{ij}k\frac{c_1-1}{c_1-1+P/\varepsilon}+\frac{1-c_2}{c_1-1+P/\varepsilon}\frac{k}{\varepsilon}\left(P_{ij}+\frac{c_2}{1-c_2}\frac{2}{3}\delta_{ij}P\right) \tag{9}$$

$$\overline{\upsilon'_iC'}=\frac{1}{c_{1c}-1+P/\varepsilon}\frac{k}{\varepsilon}\left[(1-c_{2c})P_{ic}-\overline{\upsilon'_i\upsilon'_j}\frac{\partial\overline{C}}{\partial x_j}\right],\quad \overline{C'^2}=-\frac{2}{c_c}\frac{k}{\varepsilon}\overline{\upsilon'_iC'}\frac{\partial\overline{C}}{\partial x_i}\,, \tag{10}$$

$$P_{ij}=-\overline{\upsilon'_i\upsilon'_\kappa}\frac{\partial\overline{\upsilon}_j}{\partial x_k}-\overline{\upsilon'_j\upsilon'_\kappa}\frac{\partial\overline{\upsilon}_i}{\partial x_k}+\beta\left(g_j\overline{\upsilon'_iC'}+g_i\overline{\upsilon'_jC'}\right), \tag{11}$$

$$P=-\overline{\upsilon'_i\upsilon'_j}\frac{\partial\overline{\upsilon}_i}{\partial x_j}+\beta g_i\overline{\upsilon'_iC'}\,,\quad P_{ic}=-\overline{\upsilon'_iC'}\frac{\partial\overline{\upsilon}_i}{\partial x_k}-\overline{\upsilon'_i\upsilon'_\kappa}\frac{\partial\overline{C}}{\partial x_k}+\beta g_i\overline{C'}^2\,. \tag{12}$$

Використовуючи такий підхід, коефіцієнти турбулентної в’язкості і турбулентної дифузії вважаються анізотропними величинами і визначаються із співвідношень:

$$\nu_{ij}^{t} = -\frac{\overline{v_i' v_j'}}{\left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\delta_{ij} k}, \quad D_i^t = \frac{-\overline{v_i' C'}}{\partial \bar{C} / \partial x_i}. \tag{13}$$

Для розв'язання математичної моделі (1)-(13) був розроблений числовий метод на основі модифікованого Simple-подібного методу, методу Мак-Кормака і методу послідовної верхньої релаксації [4]. Метод доведений до обчислювальних програм для ЕОМ, тестованих на експериментальному і аналітичному матералі і призначених для розрахунку гідродинамічних полів, полів концентрацій домішок і турбулентних характеристик потоку в зоні змішування стічних вод з основним річковим потоком [4].

Числова реалізація для інженерної практики запропонована математична модель з прийнятими початковими і граничними умовами була реалізована у вигляді програмного комплексу „RIVER", який дає можливість:

– замінити тривалі та економічно невигідні натурні і експериментальні дослідження процесів переносу домішок у відкритих потоках дешевим і ефективним комп'ютерним моделюванням;

- з мінімальними затратами і в короткий термін отримувати коректні числові значення гідродинамічних полів і полів концентрацій домішок в річках і водоймах;

– вибирати найбільш оптимальні варіанти водоохоронних заходів;

– обґрунтовувати місце розташування у відкритому потоці випускних споруд;

– прогнозувати наслідки різних аварійних ситуацій, пов'язаних з викидами домішок у відкриті потоки;

– проводити екологічні експертизи об'єктів дорожньо-транспортного комплексу як на стадії проектування, так і в процесі їх експлуатації.

Програмний комплекс складається з окремих модулів, що включають в себе шість функціонально незалежних, але повністю узгоджених між собою програмних одиниць (рис.1).

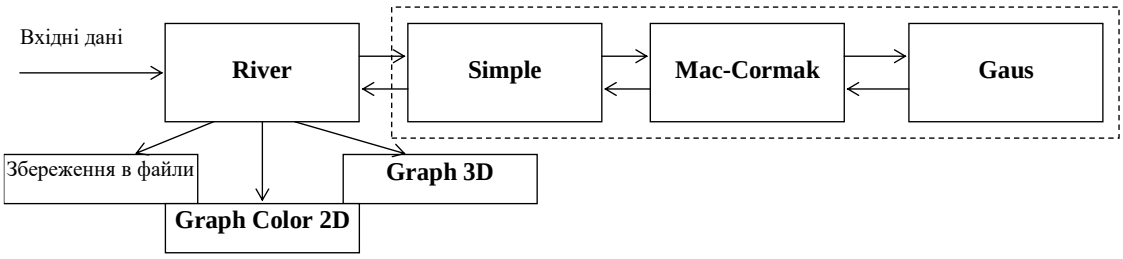


Рисунок 1 – Схема функціонування програмного забезпечення

Модуль River являє собою головний модуль обчислювального комплексу, який завантажує вхідні дані, будує просторову розрахункову сітку та проводить інтерполювання значень відповідних характеристик в розрахункових вузлах сітки. Далі модуль River активізує модуль розрахунку та формує результуючі файли даних. Модуль має інтуїтивний та зручний інтерфейс користувача, за допомогою якого проводиться введення вхідних даних, покроковий розрахунок значень відповідних характеристик потоку та перегляд проміжних результатів. Від користувача вимагається задавання наступних вхідних даних:

а) гідрологічні і гідродинамічні особливості відкритого потоку, в який відбувається викид стічних вод (морфологічні характеристики і коефіцієнти шорсткості русла; витрата води у відкритому потоці; фонові концентрації домішок);

б) конструктивні і технологічні особливості випуску стічних вод (місце розташування випускної споруди; форма і розміри випускних отворів; витрата води в початковому перерізі; концентрація домішок в стічних водах;

в) розрахункові кроки $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta t$;

г) константи $k-\varepsilon$ – моделі турбулентності та алгебраїчних співвідношень для турбулентних напружень і турбулентних потоків маси.

В результаті роботи даного програмного забезпечення отримуються відповідні чисельні файли і графіки, що описують шукані величини в заданий момент часу в кожній точці розрахункової сітки.

Апробацію запропонованої математичної моделі, розрахункових алгоритмів та програмного комплексу „RIVER” здійснено шляхом співставлення результатів чисельних експериментів з натурними та експериментальними даними інших авторів, а також шляхом розв’язання тестових задач. Результати співставлення показали досить високу збіжність результатів, отриманих на основі комплексу „RIVER” з існуючими аналогами (відносна похибка не перевищила 18%).

Результати числових розрахунків В якості прикладу нижче наведено практичні аспекти застосування розробленої математичної моделі та програмного комплексу для прогнозування забруднення р. Канелка поверхневими стоками мостового переходу на автомобільній дорозі Київ-Одеса поблизу с. Соколівка.

Зворотні води, що формуються на території мостового переходу та підходів до нього, відносяться до категорії стічних та формують один випуск в р. Канелка. Згідно результатів досліджень, проведених інститутом

„Укрдіпродор” якість води в стічних водах, що потрапляють в р. Канелка змінюється протягом року. Найбільша кількість забруднюючих речовин потрапляє в річку зі стічними водами навесні в період паводку внаслідок накопичення їх вздовж автомобільної дороги протягом зими (шкідливі викиди двигунів внутрішнього згоряння, протиожеледна обробка покриття дороги сульфатами та хлоридами).

Очисні споруди, згідно проекту можуть працювати як в безнапірному режимі та і в напірному (під час весняних або дощових паводків), тому необхідно розрахувати їх на максимальні пропуски стічних вод, тобто для режиму водності 1% забезпечення. Максимальний рівень стічних вод, що потрапляють в р. Канелка може становити 121,2 м^3 (з урахуванням різних типів покриття).

В якості розрахункової витрати води в річці Канелка прийнято $Q_{1\%} = 242{,}3$ м^3/с, відповідно до якої побудовано гідрограф весняного паводку 1% забезпечення (рис.2.).

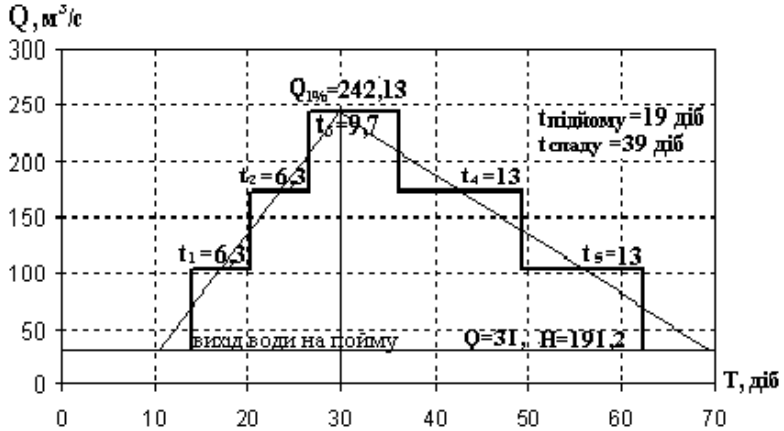
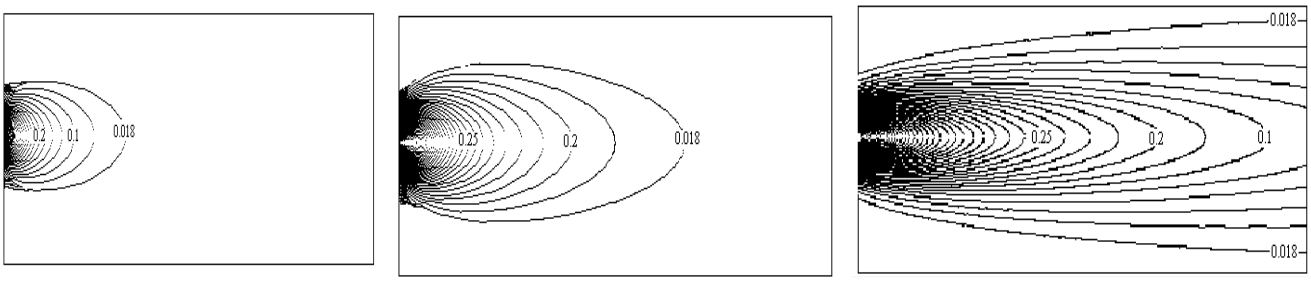


Рисунок 2 – Гідрограф паводку 1% забезпечення в р. Канелка

Розрахунок фонових концентрацій забруднюючих речовин в р. Канелка проводився шляхом співвіднесення отриманих концентрацій по кожному інгредієнту з витратами води у річці в цей період, для чого будувались графіки регресії $C = f(Q)$. З графіків визначалась не скоригована фонова концентрація забруднюючих речовин по витратах води у річці 1% забезпечення.

На рис. 3 представлено результати числових полів концентрацій свинцю, що попадають в р. Канелка зі зворотними стічними водами поблизу джерела викиду. Як показав аналіз результатів розрахунку, довжина струминної зони

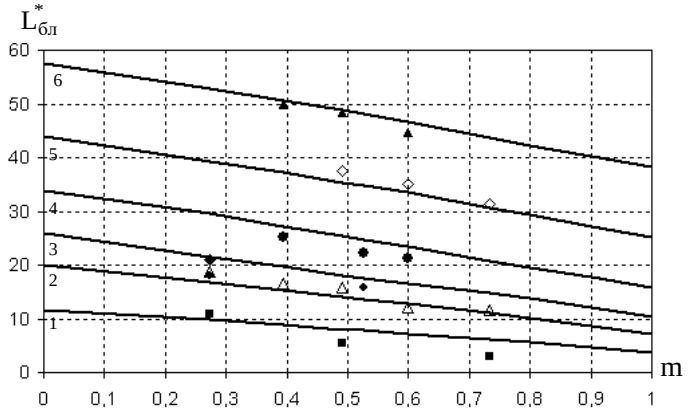
викиду змінюється в часі і досягає свого максимального значення через 6-7 хвилин після викиду, після чого струминна течія встановлюється і носить стаціонарний характер.



а) б) в)

Рисунок 3 – Розподіл концентрацій свинцю в зоні випуску в р. Карелка: а) t=5 с; б) t=30 с; в t=60 с

Аналіз натурних даних інституту «Укрдіпродор» та результатів числових експериментів на основі розробленого програмного комплексу, дозволив зробити висновок про залежність довжини ближньої зони викиду від параметра спутності $m = \bar{\upsilon}_{1,зовн} / \bar{\upsilon}_{1,0}$ і початкового густинного числа Фруда $Fr_0 = \bar{\upsilon}_{1,0} / \sqrt{g((\rho_{зовн} - \rho_0)/\rho_0) d_0}$. Графік даної залежності наведено на рис.4, де точки відповідають натурним даним інституту „Укрдіпродор”, суцільні лінії одержані в результаті числового експерименту (натурні і числові експерименти проводились в діапазоні $Fr_0 = 1 \div 200$, m<1, як найбільш типового для струминних викидів стічних вод у відкриті потоки). Як видно з рис.4 безрозмірна довжина ближньої зони викиду $L^*_{бл} = L_{бл} / d_0$ при m<1 лінійно залежить від параметра спутності m і збільшується зі збільшенням числа Фруда Fr_0 .



1 – $Fr_0 = 1$; 2 – $Fr_0 = 54$; 3 – $Fr_0 = 65$; 4 – $Fr_0 = 92$; 5 – $Fr_0 = 121$; 6 – $Fr_0 = 200$

Рисунок 4 – Залежність безрозмірної довжини ближньої зони викиду від параметра спутності і початкового густинного числа Фруда

Висновки

Запропонована в роботі математична модель та програмний комплекс для ЕОМ дають можливість виконувати оцінку впливу об'єктів будівництва і реконструкції споруд дорожньо-транспортного комплексу на екологічний стан водних ресурсів, а також дозволяють прогнозувати наслідки різних аварійних ситуацій, пов'язаних з викидами домішок у природні водні потоки.

Література

1. Савенко В.Я., Славінська О.С., Бондаренко Л.П. Гідродинамічний опис розповсюдження забруднюючих речовин у ближній зоні від джерела викиду в безнапірному потоці // Вісник НТУУ «КПІ». – 2002. – Вип. 42, т. 1. – С. 122-127.
2. Славінська О.С., Бондаренко Л.П. Математична модель переносу забруднюючих речовин поблизу джерела викиду у відкритих потоках з урахуванням анізотропії турбулентності // Вісник НТУУ«КПІ». – 2002. – Вип. 43. – С.181-183.
3. Gosman A.D., Spalding D.B. The Prediction of Confined Three-dimensional Boundary Layers // Safford Symposium on Internal Flows, London. – 1971. – P. 19.
4. Бондаренко Л.П. Розрахункові алгоритми динамічних і тепломасопереносних процесів в ближній зоні викиду забруднюючих речовин у відкритий потік // Вісник Сумського державного університету. Серія технічні науки. – 2003. – № 12 (58). – С.113-119.

Рецензенти

Угненко Є.Б., д-р техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Кузло М.Т., д-р техн. наук, НУВГП (Рівне)

Reviewers

Uhnenko Ye.B., Dr.Tech.Sci., KhNAHU (Kharkiv)

Kuzlo M.T., Dr.Tech.Sci., NUWM (Rivne)