

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет

**Міжнародна науково-технічна конференція
«ОРГАНІЧНІ І МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ
ТА ДОРОЖНІ БЕТОНИ НА ЇХ ОСНОВІ»**

Збірник тез доповідей



8 – 9 листопада 2022 р.

м. Харків

УДК 625.855 + 665.775 + 666.972

О 64

О 64

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі: збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, 8 - 9 листопада 2022 р., м. Харків. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2022 – 176 с.
ISBN 978-617-8009-87-8

Міжнародна науково-технічна конференція «Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі» проведена відповідно до наказу ректора Харківського національного автомобільно-дорожнього університету № 96 від 27 вересня 2022 р.

Лист ІМЗО / Посвідчення УкрІНТЕІ № 933 від 23 листопада 2021 р.

У збірнику викладено результати наукових досліджень і практичного досвіду науковців, виробничників аспірантів та студентів, які висвітлюють актуальні аспекти розвитку дорожньо-будівельної галузі з напрямків: бітумні в'язучі; асфальтобетонні суміші та асфальтобетон; цементи та цементобетони; розвиток методів оцінки якості і довговічності дорожніх бетонів на органічних та мінеральних в'язучих; енерго- і ресурсозбереження при виробництві та застосуванні дорожніх в'язучих і матеріалів на їх основі.

Видання адресоване науковцям та викладачам, працівникам підприємств дорожньо-будівельної галузі, аспірантам та студентам.

Адреса оргкомітету:

кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.
Телефон: + 38 (066) 7152752, e-mail: conferencetdbm@gmail.com

Відповідальність за зміст тез несуть автори.

УДК 625.855 + 665.775 + 666.972

ISBN 978-617-8009-87-8

© Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
2022

Редакційна колегія:

Голова:

Богомолів Віктор Олександрович, д.т.н., професор, ректор Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Заступники Голови:

Дмитрієв Ілля Андрійович, д.е.н., професор, проректор з наукової роботи
Оксак Сергій Володимирович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів

Золотарьов Віктор Олександрович, д.т.н. професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів

Члени технічного комітету:

Алексєєв Андрій Ігорович, начальник Служби автомобільних доріг у Харківській області

Кепшлер Йоахім, доктор, технічний керівник напрямку «Ремонт і захист бетону», фірма «МС-Vauchemie», Німеччина

Мишутін Андрій Володимирович, д.т.н. проф., професор кафедри автомобільних доріг та аеродромів Одеської державної академії будівництва та архітектури

Мозговий Володимир Володимирович, д.т.н. професор, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету

Рибаків Юрій, д.т.н., професор, керівник відділу структурного проектування Департаменту цивільного будівництва, університет м. Аріель, член Академії наук ЄС, Ізраїль

Соболь Христина Степанівна, д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів, Інституту будівництва та інженерії довкілля НУ «Львівська політехніка»

Тимошук Олександр Юрійович, к.т.н., начальник відділу інноваційного розвитку Департаменту технічного забезпечення та інноваційного розвитку Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор)

Толмачов Сергій Миколайович, д.т.н. професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Цинка Анатолій Олександрович, к.т.н., перший заступник директора ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»

Відповідальний секретар:

Піріг Ян Іванович, к.т.н., с.н.с. кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів

CONCENTRATED POLYMER MODIFIED BITUMEN IN PELLETS. PART 1

NGO A., Engineer of ITECH School, (Roadway solutions, France)

In France, for over 25 years now, bitumen modified by SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) has become technically the most cost-effective and efficient solution. Polymer Modified Bitumen (PMB) with SBS has been then used successfully over the entire national road network in a good number of areas usually with high traffic. Elastic behavior and greater cohesion conferred by the PMB with SBS improve considerably resistance to rutting, thermal cracking, fatigue, and aging asphalt concrete. Moreover, the cross-linking reaction makes PMB easier to store and transport.

For over the last 25 years, according to French experience, surface course lifespan is extended substantially with PMB. In this way, maintenance savings offset the initial extra cost.

Pellets of Polymer Modified Bitumen, highly concentrated in SBS

Producing PMB with elastomer requires investments in industrial plants (binder plants) and the implementation of the whole production process. Knowledge and the control of this technology are not immediate. Therefore, beyond the expensive investments required, some countries may face issues to access quickly to this technology.

Pellets of PMB, highly concentrated in SBS, could be a solution. It is used as an alternative to PMB produced in binder plants. These pellets are ready-to-use as it is directly introduced and quickly dispersed into the pug mill of the asphalt plant. This solution offers more flexibility and facilitates the production of asphalt mixes modified with elastomer. Then, the pellets are solid and cold, very easy to store, transport and dose. The PMB pellets dosage is adjusted according to the required performances. It is mainly dedicated to solve the following issues: high traffic zones; thin layers of the asphalt mix; high thermal stress; need for strong inter-granular cohesion; durability of surface characteristics (texture, adhesion, noise reduction)

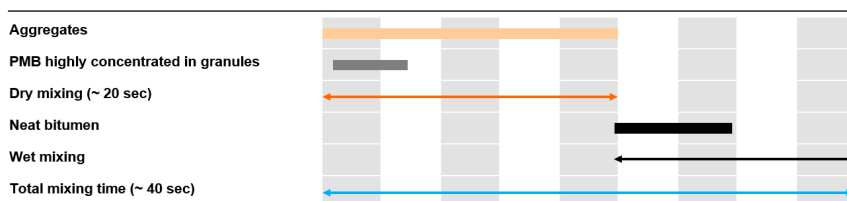


Fig. 1. Example of mixing cycle in a batch plant

Pellets of PMB, highly concentrated in SBS, are designed to be introduced directly into either continuous or discontinuous asphalt mixing plant. For the

manufacturing process, the pellets are introduced almost at the same time as aggregates and in any case before the neat bitumen.

During the mixing phase, the highly energized moving hot aggregates generates a homogeneous and quick dispersion of PMB in pellets among aggregates. There is no change in the production rate compared to a standard PMB.

For the manufacturing process, the following parameters are not disturbed by using the PMB highly concentrated in pellet form: manufacturing directives and instructions given; aggregates temperature; neat bitumen temperature; no increase in the mixing time

Therefore, with this innovative solution, it is possible to carry out construction projects with small tonnages without having to go through a full truck of PMB, as it has been the case so far.

Performance obtained with pellets of PMB highly concentrated in SBS

Using pellets of PMB highly concentrated in SBS does not change asphalt mix performance compared to PMB manufactured in a binder plant. To demonstrate it, various methods are used in laboratory. The tests are done on asphalt mixes but also on binders. The results are compared with French requirements and also with those obtained with neat bitumen and PMB produced in a binder plant.

Asphalt mixes performance

Various asphalt mixes are evaluated. One of them is composed of 20 % of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP).

Different types of binders are tested: 50/70 penetration grade neat bitumen: AC_i; standard PMB manufactured in a binder plant: AC_i^{PMB}; 50/70 penetration grade neat bitumen + Pellets of PMB highly concentrated obtained directly in asphalt mixing plant: AC_i^{P.PMB}.

The asphalt mix AC₁ is produced and used for road and highway maintenance. The asphalt mix AC₂ presents a very poor resistance against rutting. Therefore, it is exclusively used in the laboratory to emphasize the improvement capacity of a PMB like binder.

Table 1

Asphalt mixes composition

Formulation	Aggregates origine	RAP	Total binder content
AC ₁	Cemex – Salles-sur-Garonne	20 %	5.0 %
AC ₂	CSL – Décines	0 %	5.7 %

Water resistance

Interaction between the aggregates and the hydrocarbon binder film is a key factor in the asphalt mix lifespan. In case of lack of adhesion, water and moisture may cause substantial damage on the surface course. The water sensitivity test is

a way to evaluate the quality of this interaction and then evaluate the behavior of the asphalt mix on the roadway.

Various methods are available to assess water sensitivity. Most tests determine the mechanical characteristic variation after conditioning asphalt mix in water. In Europe, water sensitivity of bituminous mixtures is assessed according to the standard EN 12697-12 and more specifically in France with method B. The Table 2 presents the water sensitivity results obtained for the different asphalt mixes tested. The French requirement for the surface course is also indicated in the following table.

Table 2

Water resistance			
Water sensitivity (EN 12697-12 – Method B)	AC_1^{PMB}	$AC_1^{P.PMB}$	Surface course French requirement - EN 13108-1
i/C (%)	84	92	≥ 70

The asphalt mix $AC_1^{P.PMB}$ result fully satisfies the surface course requirement. With the pellets of PMB, the asphalt mix is classified as very resistant to water.

Considering the test precision, the two asphalt mixes tested present the same water resistance.

Workability

The workability laboratory test aims to simulate the expected asphalt mix behavior during the implementation on the work site.

In France, a new workability test method appears in the late 60s and is still currently used today. This test method requires a Gyratory Shear Compactor.

In the 90s, the Strategic Highway Research Program carried out in the USA recommended the use of a Superpave Gyratory Compactor (SGC).

“Use of the Superpave system, and thus the SGC, has proven so successful that it is now used in all 50 states and elsewhere worldwide” (MS 2 – Asphalt Mix Design Methods – Chapter 4 – Laboratory Mixture Testing)

The workability tests on asphalt mixes are standardized as EN 12697-31 and AASHTO T312 respectively for European and American methods.

As the tests are done in France, the following results are obtained according to European standards.

Experience demonstrates that a correlation exists between results from the gyratory shear compactor and the asphalt mix behavior on the work site.

The result after 10 gyrations corresponds approximately to the asphalt mix behavior after the paver screed. With 15 % voids, both mixes tested may show the same bulking at the paver screed.

Gyratory Shear Compactor

Gyratory Shear Compactor (EN 12697-31)		AC_1^{PMB}	$AC_1^{P.PMB}$	Surface course French requirement - EN 13108-1
Voids	V_{10} (%)	15.4	14.3	n.r.
	V_{80} (%)	6.9	6.1	4 to 9
	V_{200} (%)	3.8	3.3	n.r.

The result after 80 gyrations matches with an 8 cm thickness asphalt mix layer after compaction.

The results after 200 gyrations give additional information about a potential “excess” of workability of the mixture or in the case of an over-compaction.

All this information are meaningful to set the parameters for the implementation process on the work site. The workability of the two asphalt mixes tested is the same; there should be no difference in behavior during implementation on the work site. In addition, both complies with the requirement.

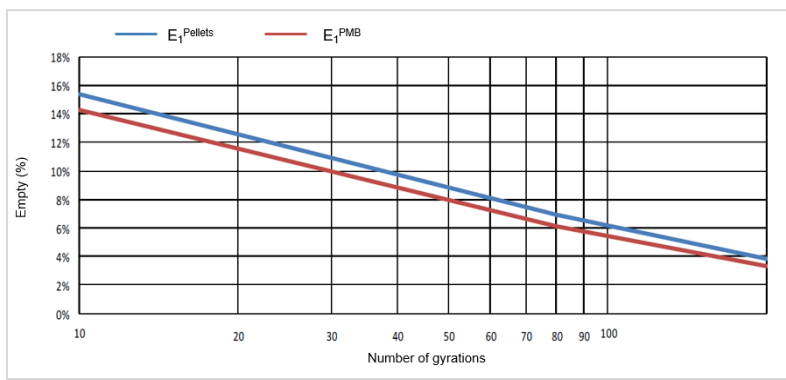


Fig. 2. Gyratory compactor graph results

**CONCENTRATED POLYMER MODIFIED BITUMEN IN PELLETS.
PART 2**

KRAFFT S., Engineer of Arts & Métiers School (Eiffage, France)

Resistance to rutting

Cracking but also rutting is for sure the pathology most commonly observed on the roads throughout the world. Some try to solve the rutting issue by increasing the modulus of asphalt mixes. This leads to a damaging effect on cracking in the surface layer. Improve asphalt mixes modulus must be restricted to reinforcement of roads with structural problems. Some countries attempt to predict the resistance to rutting by establishing more restrictions on binder requirements. However, this indirect method disregards the asphalt mixture composition. Indeed, 95 % of the asphalt mixture is aggregates.

Nevertheless, resistance to rutting of asphalt mixes can be evaluated directly in the laboratory. Among standardized test methods such as the European standard EN 12697-22, American standards AASHTO T340-1 (APA rut test), and AASHTO T324-14 (Hamburg wheel tracking test).

The European standard EN 12697-22 is a test method used to appreciate asphalt mixes resistance to permanent deformations. It consists in measuring the rut depth on a sample of asphalt mix formed by repeated passes of a loaded wheel at a constant temperature.

Both asphalt formulations were evaluated.

In the Table 4, the results are obtained on the asphalt mix AC₂ which is particularly sensitive to rutting. This formulation is very interesting to bring light to efficiency of the product.

Table 4

Resistance to permanent deformation AC₂

Rutting resistance (EN 12697-22)	AC₂	AC₂^{P.PMB}	Surface course French requirement – EN 13108-1
Voids (%)	8.4	4.8	
Rut depth (%) 3,000 cycles	10.6	3.9	n.r
0,000 cycles	13.7	4.5	n.r
0,000 cycles	17.91	6.2	≤ 10

n.r: No Requirement

As expected, the AC₂ asphalt mix, with neat bitumen, is very sensitive to permanent deformation. Obviously, no one would use this asphalt mix as a surface course, even for low traffics. In contrast, the PMB in pellets form highly improves the resistance to rutting. The performance widely exceed the lowest French requirement (≤ 10 % - Class 1).

The table below presents results from the asphalt mix AC₁. The PMB produced in the binder plant is compared with the PMB in pellets. Both are similar and very resistant to rutting.

Table 5

Resistance to permanent deformation AC₁

Rutting resistance (EN 12697-22)	AC₁^{PMB}	AC₁^{P.PMB}	Surface course French requirement – EN 13108-1
Voids (%)	8.4	5.0	
Rut depth (%) 3,000 cycles	2.5	2.2	n.r
0,000 cycles	2.9	2.5	n.r
0,000 cycles	3.1	2.7	≤ 5

n.r: No Requirement

As observed further on, modified bitumen with SBS does not increase drastically the asphalt mix modulus. However, thanks to these results it could be asserted the efficiency to improve resistance against rutting. In addition, the elastic characteristic boosts the resistance to cracking.

Stiffness modulus

Bituminous materials' behavior is viscoelastic thanks to the hydrocarbon binder. In this way, the stiffness modulus of the asphalt mix depends on temperature and frequency.

Results obtained on various asphalt mixes are summarized in the Table 6.

Table 6

Stiffness modulus

Stiffness modulus (EN 12697-26)	AC₁^{PMB}	AC₁^{P.PMB}	Surface course French requirement – EN 13108-1
Voids (%)	5.6	5.2	-
E* @ 15°C, 0.02s (MPa)	9,900	10,700	≥ 7,000

Regarding the results, the modulus value at 15 °C and 0.02 s of the two asphalt mixes reflect a difference less than 10 %. This gap remains lower than the reproducibility test (R = 2,740 MPa).

Through this method test, it is possible to establish the corresponding master curve. Comparing AC₁^{PMB} and AC₁^{P.PMB}, the rheological behaviors are the same overall frequency and temperature ranges.

Resistance to fatigue

Under wheel load, the pavement structure is damaged because of repeated deformation in traction, particularly in the base course. High traffic promotes micro-cracks after a few cycles and then the total deterioration of the structure.

The fatigue resistance of an asphalt mix reflects the capacity of the mixture to resist under cyclical tensile force. It is possible to define it thanks to the European standard EN 12697-24.

However, if the road pavement structure is adjusted rightly, tensile traction force rarely influences the surface layer. Then, it is exceptional to measure resistance to fatigue on an asphalt mix designed for the surface layer.

Nevertheless, using PMB with SBS improves substantially the elastic behavior of the asphalt mix and thus the fatigue resistance. This characteristic could be a good parameter to predict the resistance to fatigue of the asphalt mix.

Table 7

Fatigue resistance		
Resistance to fatigue (EN 12697-24)	$AC_1^{P.PMB}$	Surface course French requirement EN 13108-1
Voids (%)	5.6	5 to 8
Slope	-0.179	n.r
ϵ_6 (μdef)	126	≥ 100

n.r: No Requirement

With pure bitumen, the fatigue resistance of the asphalt mix designed for a surface layer is around 100 μdef . Therefore, $AC_1^{P.PMB}$ presents much better fatigue resistance compared to asphalt with pure bitumen. The use of the PMB in pellets improves significantly the rheological behavior of the mixture as well as the PMB manufactured in the binder plant.

Binders Performance

Pellets of PMB are designed to be introduced directly and exclusively into the pug mill of the asphalt plant. In any case, the pellets must be incorporated into the bitumen. However, it is still possible to manufacture a PMB in the laboratory. This needs a specific procedure but thanks to this step, it is possible to evaluate PMB performance according to the usual laboratory tests methods.

The following results are obtained on PMB manufactured with the PMB in pellets mixed into the 70/100 penetration grade neat bitumen.

It should be noted that an increase in the PMB in pellets improves the PMB performance. The adjustment could also be economical and find the optimal content to be closer to the requirements.

PMB performance and requirements

Manufacturing PMB based on the dilution of concentrated PMB in pellets into neat bitumen is a common procedure for customers. Many tests are done with several origin and penetration grade neat bitumen.

Measuring this PMB performance allows adjusting the PMB in pellets content and doing the neat bitumen selection wisely.

As PMB in pellets is introduced directly into the pug mill in the asphalt plant, it is possible to increase drastically the modification level of the asphalt mix. Therefore, very high performance could be reached with no limit whereas PMB produced in the binder plant is limited to pumpability issues.

Table 8

PMB with RW Elast® performance

Test method		PMB pellets	PMB requirement
<i>Test on original PMB</i>			
Penetration EN 1426	25°C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	46	45 – 80
Softening point EN 14267	Water °C	88.0	≥ 65
FRAASS EN 12593	°C	-15	≤ -12
Elastic recovery EN 13398	25°C %	96	≥ 85
<i>Test on residue from Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) – EN 12607-1</i>			
Retained Penetration EN 12607-1	25°C, 100 g, 5 s %	70	n.r
Softening point variation EN 12607-1	°C	-4.5	n.r
Mass variation EN 12607-1	%	0.02	n.r
<i>Rheological test (DSR)</i>			
High T°C of PG on unaged PMB AASHTO T315	$G^*/\sin \delta = 1$ kPa °C	82.0	n.r
High T°C of PG after RTFOT AASHTO T315	$G^*/\sin \delta = 2.2$ kPa °C	83.0	n.r

n.r: No Requirement

Elastic recovery

The binder's elastic behavior can be characterized according to the European standard EN 13398. It is a good indicator to define the PMB behavior and predict the asphalt mix performance.

It is well known that neat bitumen presents no elastic recovery. The SBS polymer is used to increase the elastic recovery of the PMB.

Pellets of PMB present the same elastic recovery performance as PMB manufactured in the asphalt plant.

Rheological test (DSR) and PG classification

In addition to European test standards, concentrated PMB in pellets is also evaluated according to the American standards more specifically the "Performance Grade" (PG) according to the AASHTO M320. Some results are presented in the

Table 8.

With concentrated PMB in pellets, it is possible to reach the highest PG classification. The content could be adjusted according to the required PG class.

Road construction

The concentrated PMB in pellets is a solution usually used to carry out many work sites in France and abroad. It could be used for the production of all types of asphalt mix.

The solution is suitable for different weather conditions and also extreme one. Examples of work sites could be mentioned in hot countries like the Middle East as well as countries with humid climates like South America or South East Asia. Some of them are also located in countries with low temperatures for example Central Asia or Quebec.

The concentrated PMB aimed to reach a very good mechanical performance of the asphalt mix. Therefore, it is a good solution for: highways; roundabouts; airport runways and taxiways; logistic platforms, car parks, and truck areas; industrial zone access; bus lanes.

Concerning the quality control of the concentrated PMB in pellets, test methods are developed to ensure the conformity of the asphalt mix composition. Moreover, the provider also guarantees the quality of its product through a quality control management.

Conclusion

The innovative solution of concentrated PMB in pellets is a good alternative to PMB manufactured in the binder plant. The SBS technology for modifying bitumen is available without no investment in any binder plant. The use of the PMB in pellets is easy and appropriate to various climates.

With this new solution, it is easy to adjust accurately the content according to the required performance. The laboratory tests could be realized according to any standards test and the asphalt mix, as well as the PMB, could be evaluated.

It offers a lot of flexibility as it overcomes constraints such as a minimum quantity, hot storage in an appropriate tank, or storage stability issues.

ЧОМУ ТА ЯК ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ ЗАЛЕЖАТЬ ВІД ФОРМИ ВИРОБУ

WHY AND HOW MATERIAL PROPERTIES DEPEND ON THE SHAPE OF THE PRODUCT

**Вировой В.М., д.т.н., проф., Коробко О.О., д.т.н., доц.,
Zenchenko D.A., аспірант, Іванов В.М., аспірант (Одеська державна
академія будівництва та архітектури)**

**Vyrovoy V.N., DSc (Tech.), Korobko O.O., DSc (Tech.),
Zenchenko D.A., graduate student, Ivanov V.M., graduate student (Odessa
State Academy Civil Engineering and Architecture)**

Властивості матеріалів, включаючи будівельні, проявляються та оцінюються в тих чи інших виробках та конструкціях. До таких властивостей слід віднести здатність матеріалів та виробів пристосовуватися до всієї палітри зовнішніх експлуатаційних навантажень. Така здатність в більшості випадків залежить від наявності в структурі матеріалів елементів, які не входили до переліку вихідних компонентів – це пори, капіляри, поверхні розділу, тріщини, місцеві та загальні залишкові деформації. Перелічені елементи присутні на всіх рівнях неоднорідностей структури та є тими, які виникли в результаті дискретно-еволюційних процесів структуроутворення. Під процесами структуроутворення слід розуміти змінний в часі процес виникнення певної цілісності, можливості якої значно більші та інші по відношенню до можливостей індивідуальних складових, взятих в сукупності. Це означає, що структуроутворення являє собою безупинний процес протягом всього життєвого циклу виробів, який неможливо аналізувати та вивчати шляхом його зупинки. В контексті даної роботи під цілісністю розуміється органічне поєднання в єдине ціле матеріалів та виробів. В зв'язку з цим, актуальною є задача виявлення взаємозв'язку та взаємовпливу між структурними особливостями та властивостями композиційних будівельних матеріалів та виробів з них.

В якості об'єктів аналізу прийняті матеріали та вироби на основі неорганічних та органічних в'язучих. Аналіз процесів структуроутворення дозволив запропонувати концепцію багатоосередкового структуроутворення. Під багатоосередковим структуроутворенням слід розуміти самовільний процес зародження в лобій системі осередків, які спроможні організувати певні локальні структури з індивідуальними для кожної такої структури об'ємом та кількісним і якісним складами складових. Проведений аналіз дозволив дійти висновку, що багатоосередкове структуроутворення реалізується на всіх рівнях неоднорідностей матеріалів та виробів, незалежно від природи та способів

твердіння матеріалів та призначення виробів. Встановлено, що для багатоосередкового структуроутворення характерним є багатоваріантність механізмів реалізації, які призводять до самовільного утворення дискретних структурних блоків. Утворення дискретних блоків веде до появи принципово нових елементів – поверхонь розділу. Подальші процеси організації структури відбуваються за принципом «від досягнутого». Можна стверджувати, що поява нових елементів порушує синергію розвитку – система набуває властивостей склерономності по відношенню до вихідних складів і концентрується на процесах та явищах, пов'язаних з впливом придбаних елементів. Аналіз дозволив проаналізувати механізми трансформації поверхонь розділу в пори, капіляри, тріщини та поверхні розділу. Особлива увага приділялась впливу геометричних характеристик на розподіл залишкових деформацій. Встановлено, що в технологічний період всі характеристики виробів і вихідні компоненти проявляють характерну для них активність. Після отримання виробу змінюється активність складових по відношенню до зовнішніх впливів. В залежності від швидкості реакцій запропоновано класифікувати елементи структури на консервативні, метастабільні та активні. До активних складових віднесені елементи, здатні в одному темпоритмі адекватно реагувати на ті чи інші зовнішні подразники – це технологічні деформації, поверхні розділу та тріщини, комплекс яких присутній на всіх рівнях неоднорідностей. Розглянута кінетика розвитку тріщин, здатних до структуроутворюючої дії та прояву ефектів адаптації до утворення руйнівної тріщини, яка розглядається як «система в системі».

Комплекс експериментальних результатів підтвердив базові концепції багатоосередкового структуроутворення та дозволив виявити та впровадити фактори управління за рахунок зими співвідношень вихідних складових, технологічних впливів та геометричних характеристик виробів та конструкцій.

Проведені дослідження дозволяють дійти висновку, що багатоосередкове структуроутворення безперечно веде до незворотного та до асиметричного розвитку структур за рахунок самовільного виникнення принципово нових елементів структури – поверхонь розділу. Характеристики багатоосередкового структуроутворення залежать від вихідних складів матеріалу та від геометричних характеристик виробів і конструкцій. При цьому слід відзначити, що матеріал одного початкового складу в виробих різної форми буде мати зовсім іншу структуру та інші властивості. Це дає змогу розширити можливості прийняття рішень по підвищенню потенційних можливостей матеріалів та виробів. Особливо це важливо для дорожніх матеріалів і конструкцій, які знаходяться в екстремальних умовах експлуатації.

ГРАФОАНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ

GRAPHO-ANALYTICAL METHOD OF OBTAINING THE BREAKING POINT TEMPERATURE OF BITUMEN BINDERS

Галкін А.В., к.т.н., (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Galkin A.V., Ph.D. (Eng.), (Kharkov National Automobile and Highway University)

Низькотемпературні характеристики асфальтобетонів значною мірою обумовлені реологічними властивостями в'язучих за від'ємних температур. Для попередження розтріскування асфальтобетонного покриття в зимовий період в нормативні документи в усьому світі було введено обмеження бітумних в'язучих за температурою крихкості. Але в теперішній час методи визначення температури крихкості бітумних в'язучих викликають багато суперечок.

Одним з найбільш розповсюджених методів визначення тріщиностійкості бітуму за низьких температур є метод крихкості Фрааса, стандартизований ДСТУ EN 12593:2018 [1]. Критерієм фіксації температури крихкості в цьому методі є поява тріщини (чіткої, перерізуючої) на бітумній плівці що періодично деформується за постійного зниження температури. Втім, фіксацію такої тріщини може бути ускладнено коли через структурні особливості в'язучого з'являється сітка тріщин, є віддлущування плівки в'язучого від металевої пластини, або температура, за якої повинна з'явитись тріщина, виходить за температурний діапазон на який розраховано прилад. В автоматичних приладах Фрааса використання п'єзо датчика на заміну візуальної фіксації тріщини не вирішило означену проблему – п'єзо датчик не фіксує розвиток сітки тріщин, або може спрацьовувати від зовнішнього шуму або вібрації в лабораторії. В цілому методу Фрааса притаманний значний розкид отримуваних значень, через що тривають пошуки альтернативних методів, які були б вільні від вказаних недоліків.

Заміна умовного методу (яким є метод Фрааса) на метод що ґрунтується на визначенні фундаментальної характеристики в'язучого – модулю пружності – здавався найбільш ефективним рішенням. Розробники системи оцінювання якості бітуму «Suprgrave» запропонували метод BBR, за яким визначається температура досягнення бітумною балочкою жорсткості у 300 МПа, або певно визначеного показника повзучості під статичним навантаженням [2]. Але цей метод виявився досить

суперечливим через низьку надійність результату у разі випробування модифікованих бітумів [3, 4, 5].

Ще однією розповсюдженою альтернативою визначення температури крихкості є метод ABCD, за яким фіксується температура виникнення тріщини у бітумному кільці, розташованому на металевому циліндрі із низьким коефіцієнтом температурного розширення. Цей метод відрізняється більш низькими температурами крихкості серед інших, що ставить під сумнів доцільність застосування цього методу для прогнозування тріщиностійкості асфальтобетону [4, 5].

Існує багато інших методів оцінювання температури крихкості бітуму які з різних причин не набули широкого розповсюдження. Наразі вказані, та практично всі новітні методи, регламентують використання складної вимірювальної та випробувальної апаратури, що обмежує практичне використання методів у виробничих умовах.

Однією з перших альтернатив методу Фрааса було відносно просте визначення температури крихкості за консистентністю бітуму разом із температурною чутливістю (за індексом пенетрації – П, або числом пенетрації-в'язкості – PVN) [6]. W. Helekom [7] встановив, що за лінійності температурної залежності логарифма пенетрації та температура, за якій пенетрація складає $1,25 \times 0,1$ мм для багатьох бітумів відповідає температурі крихкості. Це положення було підтверджено в роботі [8], де для немодифікованих бітумів різного походження було знайдено температуру крихкості запропонованим графо-експериментальним методом (рис. 1) та методом Фрааса та показано високу кореляцію обох показників.

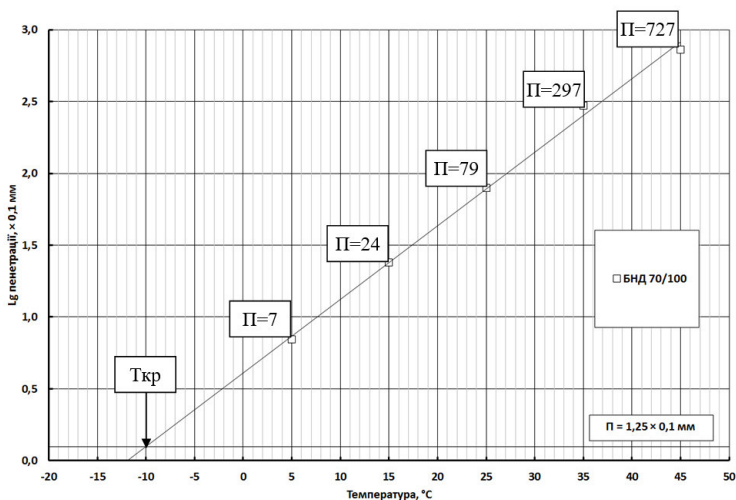


Рис. 1. Приклад знаходження температури крихкості за температурно-пенетраційною залежністю

Проте, відкритим залишилось питання можливості застосування графо-експериментального методу для модифікованих полімером бітумів. Виходячи з цього в представленому дослідженні було проаналізовано чотири бітумні в'язучі, отримані з однієї сировини, та модифіковані 3 та 6 відсотками блоксополімеру стирол-бутадієн-стиролу (табл. 1).

Таблиця 1
Властивості бітумів, модифікованих полімером СБС 1101

Вихідне в'язуче	Кількість полімеру	Пенетрація при T °C, 0,1 мм					T _p , °C	T _{кр} , °C	T _{кр} ^p , °C	T _{кр} -T _{кр} ^p , °C
		5	15	25	35	45				
гудрон	0	32	124	435			34	-22	-20	-2
	3	22	77	252			47,4	-17	-18,7	1,7
	6	21	67	164	290	570	89,4	-19	-43,0	24
БНД 150/220	0	19	57	174	594		41,3	-19	-18,6	-0,4
	3	14	44	144	288	726	46,4	-18	-21,1	3,1
	6	16	34	72	131	224	79,2	-20	-38,7	18,7
БНД 70/100	0	12	33	89	235	700	46,4	-18	-17,3	-0,7
	3	12	28	67	148	348	54,3	-15	-22,0	7
	6	10	23	48	97	178	76,6	-26	-28,0	2
БНД 50/70	0	9	22	50	124	291	54,9	-14	-17,8	3,8
	3	9	22	41	79	181	62,8	-13	-23,0	10
	6	7	18	34	60	109	84,6	< -40	-29,9	> -10

Отримані результати вказують на відносну близькість температур крихкості, отриманих обома методами, для бітумів вихідних та модифікованих 3 відсотками полімеру. При переході до високої кількості полімеру (6 %) узгодженість температур починає падати. Температура крихкості, визначена методом Фрааса (T_{кр}) є чутливою до інверсії фаз, мало змінюючись поки середовищем є бітумна складова. Після того як безперервним середовищем на мікрорівні стає насичений бітумними маслами полімер, температура крихкості різко знижується. Натомість температура крихкості знайдена графо-експериментальним методом (T_{кр}^p) не вказує на таку поведінку в'язучого за інверсії фаз. Через це необхідно обмежувати використання графо-експериментального методу як альтернативи методу Фрааса для високомодифікованих полімером бітумів.

Можливість використання графо-експериментального методу для оцінювання температури крихкості було перевірено також для бітумів, модифікованих енергозберігаючими домішками типу синтетичних восків (табл. 2). Отримані данні для бітуму модифікованого восками Licomont, Sasobit та Sarawax у кількості 2 та 3 відсотки дозволяють зробити висновок щодо можливості подібної заміни. Узгодженість результатів

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

спостерігається подібною для немодифікованого бітуму, що свідчить на користь графо-експериментального методу.

Таблиця 2

Температурно-пенетраційні властивості в'язучих з 2 % та 3 % добавок
Licomont, Sasobit та Sarawax

Структуруюча добавка, %	0	Licomont		Sasobit		Sarawax	
		2	3	2	3	2	3
Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм	98	75	65	57	48	58	43
Температура розм'якшеності, °С	46,9	61,2	83,2	62,1	74	66,6	78
Температура крихкості ($T_{кр}$), °С	-16	-18,5	-16,5	-15	-15,5	-16,5	-16,5
Пенетрація, 0,1 мм, за °С	5	11	13	11	11	11	12
	15	31	27	27	23	24	23
	25	98	75	65	57	48	58
	35	-	208	184	190	139	180
Температура крихкості ($T_{кр}^p$), °С	-14,7	-19,2	-18,0	-16,8	-20,6	-18,7	-18,0
$T_{кр} - T_{кр}^p$, °С	-1,3	0,7	1,5	1,8	5,1	2,2	1,5

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN 12593:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури крихкості за методом Фрааса (EN 12593:2015, IDT) [Чинний з 2019-01-06]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2019. 18 с.
2. ДСТУ EN 14771:2019 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення жорсткості під час випробування на повзучість за згину з використанням балочного реометра (EN 14771:2012, IDT) [Чинний з 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2020. 20 с.
3. Velasquez R., Tabatabaee H., Bahia H. Low temperature cracking characterization of asphalt binders by means of the single-edge notch bending (SENB) test. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*. 2011. № 80. P. 583–614.
4. Eckmann B., Largeaud S., Rooijen R.V., Planque L., Farrar M., Planche J.-P. New bitumen performance indicators - a feasibility study. *Proceedings of the 6th Eurasphalt & Eurobitume*. 2016.
5. Jellema E. Comparing cold performance results using fracture toughness test, asphalt binder cracking device, Fraass breaking point and bending beam rheometer / Erica Jellema, Erik Scholten, Sherida De Vries, Sang Soo Kim, Bob Klutz // *Proceedings from 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. – 2012.
6. McLeod N.W., The Case for Grading Asphalt Cements by Penetration. Development of an Asphalt Binder Cracking Device Final Report for Highway IDEA Project 99 Prepared by Sang-Soo Kim, Department of Civil Engineering, Ohio University, Athens, OH. 1975. P. 251-302.
7. Hekelom W. Une methode amelieoree de caracterisation des bitumes par leurs proprietes mecaniques. *Bull. Liasion Labo. P. Et Ch*. 1975. № 76, P. 55-64.
8. Пыриг Я.И. Определение температуры хрупкости графо-экспериментальным методом. *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2011. №. 1. С. 147-151.

УЛЬТРАТОНКІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ РЕМОНТУ АСФАЛЬТО-І ЦЕМЕНТОБЕННИХ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ВУЛИЦЬ ТА ПЛОЩ

ULTRA-THIN PAVEMENTS FOR THE REPAIR OF ASPHALT AND CEMENT ROADS, STREETS AND SQUARES

Гамеляк І., проф., д.т.н. (Національний транспортний університет),
Журавський Д., начальник лабораторії (ДП ШРБУ №100, м. Київ)

Gamelyak I., Doctor of Engineering, Professor (National Transport
University), Dem'yan ZHURAVSKY, head of laboratory (DP ShRBU
№ 100, Kiev)

Вступ. Асфальтобетонні покриття потребують періодичного ремонту. При чому ремонт необхідно виконувати практично через декілька років після влаштування покриття не чекаючи капітального ремонту. Це дозволить істотно збільшити термін служби асфальтобетону, а в деяких випадках уникнути середнього та капітального ремонту взагалі.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в Україні не існує ефективної технології попереджувального ремонту. Поверхневі обробки, які виконувалися до 2004 року не витримують навантажень від сучасних транспортних засобів та швидко втрачають експлуатаційні якості. Тонкошарові покриття не набули поширення через високу вартість та технологічні труднощі при реалізації (табл. 1). На сьогодні авторам невідомі роботи по розробці ремонтних складів матеріалів як для асфальтобетонних так і цементобетонних покриттів. Все це призводить до неефективного використання ресурсу для ремонтів (рис. 1). При оцінці вартості на період сумування витрат за 40 років вартість утримання та ремонту за стратегією 1 становить 640 000 дол. США. А за стратегією превентивних ремонтів становить 364 000 дол. США, що в 1,64 раз менше.

Мета роботи. Метою роботи є розробка технології та матеріалів для влаштування міцних, щільних та водонепроникних ультратонких покриттів. При розробці необхідно виконати ряд умов, а саме:

- Вартість покриття повинна бути не високою;
- Технологія влаштування не потребуватиме професійних дорожніх знань та спеціальної дорогої техніки;
- Ремонтний матеріал повинен мати гідроізоляційні властивості та підвищувати стійкість асфальтобетону до старіння під впливом ультрафіолетового опромінення;
- Ремонтний матеріал повинен закріпити верхній шар дорожнього покриття для усунення подальшого руйнування;
- Матеріал повинен швидко формуватися та не містити розчинників;

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

- Забезпечити та витримувати проїзд різного типу транспортних засобів (ТЗ).

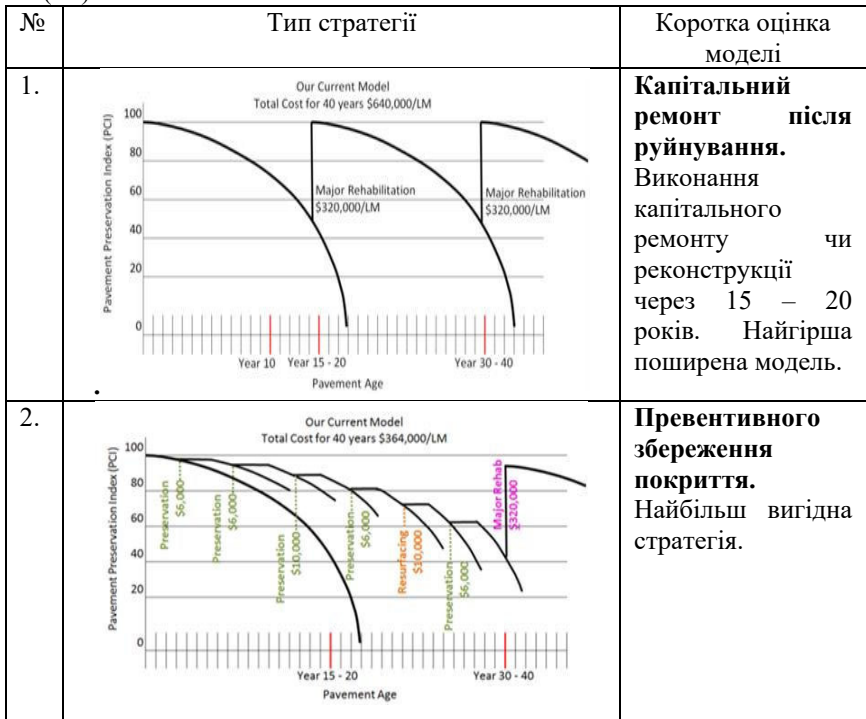


Рис. 1. Крива деградації (зносу) покриття з моделлю ремонту

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення проблеми виконані аналіз існуючих матеріалів та технологій для влаштування ультра тонких покриттів. Виявилось, що за кордоном, а саме в Сполучених штатах, активно застосовується технологія влаштування тонких шарів на основі пеку кам'яновугільного та кам'яновугільної смоли. Перед застосуванням додається певна кількість піску в окремих випадках акриловий латекс. Суміш перемішується за допомогою будівельного міксеру розливається на поверхню та розподіляється вручну за допомогою швабри або щітки.






В загальному відомо чотири види покриттів такого типу:

- На основі кам'яновугільної смоли;
- На основі нафтових бітумів;
- На основі акрилового полімеру;
- На основі масляних фракцій;

Всі вони застосовуються в залежності від виду та типу руйнувань.

Таблиця 1

Види консерваційної обробки покриттів (Pavement Preservation Treatment Types)

Тип ремонту	Фото	Коли виконується
Patches Ямковий ремонт		Виконується при значному руйнуванні покриття яке перешкоджає руху ТЗ. Вартість 200-400 грн/м ² Термін служби не нормується.
Crack Sealing Заливка тріщин		Виконується для запобігання подальшого розвитку тріщини, проникненню води та утворення вибоїни.
Chip Seal Поверхнева обробка		Виконується для поверхневого захисту покриття для продовження його термінів служби.
Pavement Rejuvenation Регенеруючий шар		Спеціальне покриття для відновлення в'язучого поверхневого шару покриття.
Micro Surfacing Покриття ЛЕМС		Поверхнева обробка «литий асфальт» має захисні функції та має властивості тонкошарового асфальтового покриття.

Порівняльна характеристика методів ремонту

Метод ремонту	Вартість, \$/м ²	Термін служби, роки
Micro surfacing	2,5-3,5	5-7
Chip Seal поверхнева обробка	0,8-1,5	3-4
Slurry Seal	1,3-2,2	5-7
Ультратонке покриття	0,3-1,5	1-3
Біовідновлююче покриття	1,0-1,6	3-5



Рис.2. Влаштування ультратонкого покриття вручну



Рис.3. Приклад старого асфальтобетону (внизу) та відремонтованого (вгорі)

Такий вид ремонту є досить ефективним та популярним і дозволяє на тривалий час захистити покриття від впливів навколишнього середовища та руйнуванню.

Розроблено декілька складів матеріалу на основі акрилу, бітуму нафтового, полімерної смоли. Всі склади на сьогоднішній день проходять лабораторну перевірку. Влаштовані експериментальні ділянки. Одна ділянка займає площу 2000 м² та влаштована у м. Бориспіль на ділянках під'їзду до складів компанії по харчовому виробництву. Зараз за ділянкою ведеться спостереження. Проведені заміри поверхневої міцності та визначається час формування ультратонкого покриття. Із аналізу виконаних робіт можна зробити висновок, що покриття такого типу може істотно зміцнювати поверхневу міцність асфальтобетону, витримувати рух вантажних транспортних засобів, створювати стійку гідроізоляційну плівку.

На рис 4. Наведено приклад частини відремонтованої ділянки. Можна спостерігати візуальне оновлення покриття. Покриття має вигляд нового асфальтобетону. Також видно що покриття вдало опирається руйнівному руху транспортних засобів. Влітку при гарній погоді рух транспортних засобів відкривається через добу.



Рис.4. Загальний вигляд відремонтованої ділянки стоянки великовагових транспортних засобів (частина з лівої сторони)

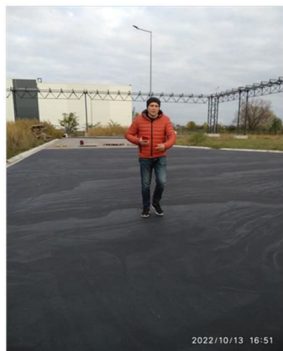


Рис. 5. Приклад сформованого покриття по якому можна відкривати рух ТЗ

Висновки. Проведені дослідження дають можливість зробити висновок, що покриття для профілактичного ремонту та відновлення є дуже перспективними та ефективними в боротьбі із розвитком руйнувань асфальто- та цементобетонного покриття. Подальший напрямок – це розробка матеріалу із можливістю більшого зміцнення існуючого асфальтобетону. Також є можливість істотного зміцнення плівки самого ультратонкого покриття. Необхідне влаштування дослідних ділянок із використанням інших типів матеріалу для порівняння ефективності ремонту. Використання технологій консерваційної обробки покриттів надає можливість зменшення вартості матеріалу та вартості влаштування одного квадратного метра покриття.

Список використаних джерел

1. БН В.2.3-218-532:2007 Укравтодор Споруди транспорту. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення.
2. СОУ 42.1-37641918-119:2014 Суміші літї емульсійно-мінеральні. Технічні умови.
3. ST-285: 2018 Street Repairs and Repaving with Pavement Preservation. Department of Public Works.
4. FHWA/TX-14/0-6747-1 EVALUATION OF SEAL COAT CONSTRUCTION MATERIALS. Texas A&M Transportation Institute College Station, Texas 77843-3135.
5. ST-285: 2018 Street Repairs and Repaving with Pavement Preservation Department of Public Works 101 City Hall Plaza Durham N.C. 27701.
6. TRS 1602 Published February 2016 Alternatives to Seal Coats. Local Road Research Board. Minnesota Department of Transportation.

**ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ
ПРОДУКТІВ ПРОМИСЛОВОСТІ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В УКРАЇНІ**

**STUDY OF THE NEED TO USE SECONDARY PRODUCTS OF
INDUSTRY DURING THE CONSTRUCTION OF HIGHWAYS IN
UKRAINE**

Головченко В.С. (Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)

Golovchenko V.S. (State enterprise «State Road Research Institute named after M. P. Shulgin», Kyiv)

Використання вторинних продуктів промисловості є важливим резервом ресурсозбереження під час будівництва та ремонту автомобільних доріг і підвищення ефективності витрачання матеріальних, енергетичних та фінансових ресурсів у дорожній галузі. Крім техніко-економічної доцільності застосування вторинних продуктів промисловості та вторинних ресурсів допомагає вирішувати екологічні проблеми регіону, вивільняючи значні території, що займаються вторинними продуктами, у тому числі сільськогосподарські землі. Матеріали добувають, використовують або додатково переробляють на продукти, а потім утилізують на сміттєзвалищах та сміттєспалювальних заводах. Існує чітка потреба в підвищенні ефективності використання ресурсів та зменшенні впливу на клімат та навколишнє середовище шляхом сприяння повторному використанню та переробці відходів та поетапному припиненню захоронення чи спалювання відходів, відповідно до ієрархії відходів Європейської рамкової директиви щодо відходів 2008/98/ЄС (Європейський Парламент, 2008) [1]. Значна частка відпрацьованих матеріалів переробляється назад в той же продукт, з якого вони утворились (переробка закритого циклу). В Україні не вирішено питання утилізації відходів промисловості, тому значна їх частина знаходиться у відвалах та несе в собі великий ризик для екології, і тільки незначна частина утилізується в будівельних проектах, хоча вже існує «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки» [2] та розпорядженням Кабінету міністрів України [3], які регламентують використання місцевих матеріалів, включаючи відходи промисловості під час будівництва автомобільних доріг.

Збереження довкілля та енергозбереження, як фундаментальні припущення сталого розвитку, та фінансова економія можливі за рахунок використання нових, нестандартних матеріалів і технологій. Різні види

відходів і промислових побічних продуктів можна використовувати в дорожньому будівництві як альтернатива кондиційним матеріалам. Для того, щоб бути застосовними, альтернативні матеріали повинні відповідати певним технічним характеристикам та бути економічними в порівнянні з традиційними матеріалами. Причин використання альтернативних матеріалів багато і багато в чому переважають можливі недоліки. Використання альтернативних матеріалів є важливим як з екологічної, так і з економічної точки зору. З екологічної точки зору використання альтернативних матеріалів означає меншу потребу в експлуатації природних ресурсів, а кількість відходів, що накопичуються на звалищах, зменшується. Альтернативні матеріали, які можна використовувати в якості заміни стандартного будівельного матеріалу, відрізняються своїми хімічними та фізичними характеристиками, вихідним станом, в якому вони знаходяться, додатковою обробкою, яку вони повинні пройти перед використанням, а також цільовим призначенням. Цілий набір матеріалів можна використовувати повторно, з незначною обробкою або без неї. З технічної та природоохоронної точок зору вторинні матеріали треба використовувати та, щоб не допускалося погіршення експлуатаційних та екологічних характеристик автомобільних доріг. Таким чином, для найрізноманітніших застосувань під час будівництва автомобільних доріг може бути використано: вторинний асфальтобетон та щебінь; ливарний пісок; побічні продукти кар'єрів; відходи покрівельної черепиці; відходи скла та кераміки; продукти спалювання на теплових електростанціях твердого палива; металургійні шлаки; фосфогіпс; лігніни та нафтові шлами; відходи нафтохімічних, коксохімічних та лісохімічних виробництв; відпрацьовані мастила; полімерні відходи; цементний пил; зношені шини; відходи від виробництва вугілля; зольний залишок від спалювання муніципальних твердих побутових відходів.

Крім того, значна кількість промислових відходів знаходиться на покинутих звалищах і промислових полігонах, складаючи екологічні збитки роками.

Дорожня галузь є споживачем значної кількості природних ресурсів. Закономірним є прагнення замінити частину природних та вперше застосовуваних матеріалів вторинними продуктами промисловості та відходами виробництва інших галузей. У зв'язку з тим, що обсяг відходів та вторинних ресурсів сучасного промислового виробництва поряд із вартістю їх розміщення, особливо у густонаселених регіонах, продовжує збільшуватися, зростає необхідність переробки таких матеріалів для повторного використання. Дорожнє господарство є перспективним споживачем великотоннажних відходів, тому що під час будівництва автомобільних доріг потрібні великі обсяги матеріалів. Так, наприклад, на зведення 1 км автомобільної дороги залежно від її категорії та місцевих умов потрібно:

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

- для спорудження земляного полотна – до 70 тис. м³ ґрунту;
- для створення дренажних та морозозахисних шарів – до 10 тис. м³ піску;
- для влаштування шару основи – 7,0 тис. м³ щебневих матеріалів;
- для влаштування верхнього шару основи та покриття – до 6 тис. т асфальтобетонних сумішей.

Аналіз необхідних витрат (енергетичних та економічних) на виробництво та транспортування дорожньо-будівельних матеріалів до місця проведення дорожніх робіт показує, зокрема, що на виробництво дорожньо-будівельних матеріалів витрачається близько (17–22) % від загального обсягу енерговитрат на влаштування асфальтобетонного покриття (в середньому (128–190) ГДж на 1 км), на транспортування матеріалів, включаючи вантажно-розвантажувальні роботи, (15–27) % від загального обсягу енерговитрат (у середньому (125–305) ГДж на 1 км). Враховуючи, що при використанні, наприклад, такого продукту з відходів металургійних підприємств, як шлаковий щебінь, витрати на його виробництво та транспортування до місця виконання дорожніх робіт можуть бути істотно нижчими, ніж на виробництво та транспортування з більших відстаней залізницею значних обсягів кондиційного щебеню. Використання такого виду вторинного матеріального ресурсу забезпечує відчутний економічний ефект. При цьому слід зазначити, що як сталеплавильні, так і доменні шлаки, відповідають вимогам нормативних документів для певної області використання. Більше того, відвали вторинних продуктів промисловості, займають значні території та погіршують екологічний стан довкілля. Враховуючи, високу вартість займаних під відвали промислових підприємств земель сільськогосподарського призначення в різних регіонах, екологічний збиток від звалищ невикористовуваних вторинних матеріальних ресурсів також слід враховувати при оцінці ефективності їх використання під час будівництва та ремонту автомобільних доріг.

Список використаних джерел

1. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.
2. Концепція Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.01.2018 N 34-р.
3. Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві: Розпорядження Кабінету міністрів України від 04.12.2019 N 1420-р.
4. Aravind, K. and Das, A., *Industrial Waste in Highway Construction*, Pebbles, *Society of Civil Engineers*, Vol. I, IIT Kanpur, India. May, 2004.

**ОДЕРЖАННЯ ДОРОЖНІХ В'ЯЖУЧИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ
МОДИФІКУВАННЯ НАФТОВИХ ЗАЛИШКІВ ФОРМАЛЬДЕГІДОМ**

**PRODUCTION OF ROAD BINDING MATERIALS BY THE METHOD
OF MODIFICATION OF PETROLEUM RESIDUES WITH
FORMALDEHYDE**

**Гуцька В.М., к.т.н., доц., Сідун Ю.В., к.т.н., доц., Братичак М.М.,
д.х.н., проф. (Національний університет «Львівська політехніка»)**

**Gunka V.M., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Sidun Yu.V., Ph.D.
(Eng.), Associate Professor, Bratychak M.M., D.Sc. (Eng.), Professor (Lviv
Polytechnic National University)**

Сьогодні окиснення – це єдиний і практично безальтернативний спосіб хімічного перетворення гудрону в дорожній бітум. На даний час тільки ця технологія набула широкого промислового впровадження на нафтопереробних підприємствах. Проте окиснення гудрону володіє рядом недоліків, головним з яких є неможливість в багатьох випадках отримувати товарний бітум з необхідними експлуатаційними характеристиками. Як наслідок до окисненого бітуму необхідно додавати різного роду дорогі полімери, які покращують ті чи інші його якісні показники. Тоді процес виробництва необхідних бітумів перетворюється із одностадійного в двостадійний: окиснення гудрону та модифікування окисненого бітуму різними полімерами. В такому випадку переваги методу окиснення нівелюються, оскільки потрібно буде додатково будувати установки модифікування і використовувати високовартісні модифікатори.

За сприяння Національного фонду досліджень України на кафедрі хімічної технології переробки нафти та газу Національного університету «Львівська політехніка» ведуться дослідження пов'язані із одержанням нових типів дорожніх в'язучих методом хімічного модифікування низькомолекулярними органічними речовинами (в тому числі формальдегідом) нафтових залишків. Суть процесу модифікування полягає у хімічній взаємодії компонентів нафтового залишку із формальдегідом, що призводить до збільшення в'язкості системи [1-3].

Для досліджень використовувався традиційний нафтовий залишок – гудрон, що використовується як сировина для процесу одержання окиснених бітумів. Гудрон для досліджень було відібрано на нафтопереробному заводі ПАТ «Укртатнафта» (Україна). Модифікування здійснювали у герметичній ємності, оскільки модифікатор є досить токсичним. Після проведення процесу модифікування одержані продукти сушили під вакуумом. Умови одержання гудронів модифікованих формальдегідом (ГМФ) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Умови одержання ГМФ

Параметр	ГМФ-1	ГМФ-2	ГМФ-3
Сировина	Гудрон		
Витрата формаліну (37 %-ого водного розчину формальдегіду), кг/100 кг сировини	1,0	1,9	3,2
Природа каталізатора	H ₂ SO ₄		HCl
Витрата каталізатора, кг/100кг сировини	1.1	1.7	3.1
Температура, °С	110	105	100
Тривалість процесу, год	0,6	0,6	10

З поданих у табл. 1 видно, що зразки ГМФ-1 та ГМФ-2 відрізняються вмістом модифікатора (формальдегіду), а ГМФ-3 одержаний із використанням, як каталізатора процесу соляної кислоти. Процес без використання каталізатора є не ефективним.

Фізико-механічні показники нафтових бітумів одержаних модифікуванням гудронів формальдегідом подано у табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-механічні показники гудрону та ГМФ

Показник	Гудрон	ГМФ-1	ГМФ-3	Вимоги до БНД 100/150 [4]	ГМФ-2	Вимоги до БНД 70/100 [4]
Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	247	144	131	101-150	89	71-100
Температура розм'якшення, °С	39,0	48,0	47,4	41-47	59,0	45-51
Дуктильність за 25 °С, см	58,1	42	59	≥ 70	16	≥ 60
Температура крихкості за Фраасом, °С	-18	-17	-14	≤ -16	-15	≤ -13
Індекс пенетрації	0,15	0,53	0,33	-2 до 1	1,14	-2 до 1
Інтервал пластичності, °С	57,0	65,0	61,4	–	74,0	–
Зчеплення з поверхнею щебню, балів	2,5	3,5	4,5	–	4,5	–

Зразки ГМФ-1 та ГМФ-3 порівнювали із вимогами, які висуваються до окисненого нафтового бітуму марки БНД 100/150, а ГМФ-2 із БНД 70/100 (табл. 2), оскільки ці марки бітумів є найбільш затребувані при бідівництві автомобільних доріг.

Аналізуючи результати подані у табл. 2, видно що вихідна сировина модифікування (гудрон Г1) не відповідає вимогам, які висуваються до дорожніх в'язучих матеріалів. Гудрони модифіковані формальдегідом не відповідають вимогам, лише за показником дуктильності за 25 °С. Слід відмітити, що усі зразки ГМФ володіють високою теплостійкістю (висока температура розм'якшення зразків та penetрація). Високі значення penetрації за нормативні є перевагою даних бітумів. Такі бітуми, за необхідності, будуть хорошою сировиною процесу їх модифікування традиційними товарними полімерами (наприклад, СБС, СІС та іншими). По своїй суті в процесі модифікування ми одержуємо бітуми, що уже відповідають бітумам модифікованим полімерами, єдиним нюансом є тільки те що дані типи в'язучих не володіють необхідною еластичністю.

Також слід відмітити те, що усі зразки ГМФ володіють хорошими адгезійними властивостями до традиційних кислих мінеральних наповнювачів (табл. 2), що є теж суттєвою їхньою перевагою у порівнянні із традиційними окисненими бітумами.

Фізико-механічні властивості заформованих зразків ЩМА-15 з використанням різних варіантів в'язучого наведено в табл. 3. Показник стікання в'язучого з ЩМАС-15 для всіх складів був не більший ніж 0,20 % за масою згідно з вимогою [5]. Вимоги до фізико-технічних показників ЩМА-15 регламентувались відповідно до ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [5]. Зміна 1 для кліматичного району А-2 (що включає в себе Львівську область).

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості ЩМА-15

Назва показника	ГМФ-1	ГМФ-2	ГМФ-3	Вимоги для ЩМА-15, кл. район А-2 [5]
Середня густина, г/см ³	2,39	2,37	2,40	-
Водонасичення лабораторних зразків, % за об'ємом	2,0	2,3	2,1	1,0- 3,0
Границя міцності при стиску за температури, МПа:				
20 °С	1,5	1,4	2,6	Не менше 2,1
50 °С	0,6	0,7	1,1	Не менше 0,6

Аналізуючи табл. 3 спостерігаємо, що усі ЩМА-15 із використанням гудронів модифікованих формальдегідом відповідають заявленій марці за дослідженими показниками. У ЩМА-15 на ГМФ-1 та ГМФ-2 недостатня границя міцності при стиску, за температури 20 °С. Порівнюючи ГМФ між собою, то найкращі результати показав ГМФ-3, який одержаний із використанням соляної кислоти, а не сульфатної, як інші. Спостерігається

практично у два рази більша міцність на стиск у порівнянні з іншими (ГМФ-1 та ГМФ-2).

Менша міцність за ЦМА-15 із використанням ГМФ-1 та ГМФ-2 пов'язано із тим, що при вакуумному сушінні цих зразків сульфатна кислота залишається у в'язучому, на відмінно від ГМФ-3 де соляна кислота вилучається. Наявність сульфатної кислоти негативно впливає на взаємодію такого кислого в'язучого із традиційними кислими мінеральними наповнювачами асфальтобетонів. На даний час ведуться дослідження, щоб усунути цей недолік.

Отже, даний процес хімічного модифікування гудронів формальдегідом є досить гнучким і дозволяє одержати в'язучий матеріал для дорожнього будівництва з різною в'язкістю в залежності від витрати модифікатора.

Список використаних джерел

1. Pstrowska K., Gunka V., Prysiaznyi Y., Demchuk Y., Hrynychuk Y., Sidun I., Kułazyński M., Bratychak M. Obtaining of Formaldehyde Modified Tars and Road Materials on Their Basis. *Materials*. 2022. Vol. 15. Issue 16. 5693.

2. Gunka V., Bilushchak H., Prysiaznyi Y., Demchuk Y., Hrynychuk Y., Sidun I., Shyshchak O., Bratychak M. Production of Bitumen Modified with Low-Molecular Organic Compounds from Petroleum Residues. 4. Determining the Optimal Conditions for Tar Modification with Formaldehyde and Properties of the Modified Products. *Chemistry and Chemical Technology*. Vol. 16. Issue 1. pp. 142-149.

3. Bratychak, M., Gunka, V., Prysiaznyi, Y., Hrynychuk, Y., Sidun, I., Demchuk, Y., & Shyshchak, O. Production of bitumen modified with low-molecular organic compounds from petroleum residues. 1. Effect of solvent nature on the properties of petroleum residues modified with formaldehyde. *Chemistry and Chemical Technology*. Vol. 15. Issue 2. pp. 274-283.

4. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови [Чинний з 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2019. 11 с.

5. ДСТУ Б В.2.7-127:2015. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебеневомастикові. Технічні умови [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2015. 26 с.

РОЗРАХУНОК СКЛАДІВ ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ

ROAD CEMENT CONCRETE DESIGN

Дворкін Л.Й., д.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування)

Dvorkin Leonid, Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

До особливостей розрахунків складів дорожніх бетонів відносяться необхідність врахування вимог до міцності бетону на розтяг при згині і морозостійкості дорожнього покриття. Можливе застосування ряду відомих [1] розрахункових формул для визначення необхідного цементно-водного відношення, що забезпечує нормований показник міцності бетону на розтяг при згині (табл. 1). Як видно з табл. 1, ці формули дають достатньо близькі результати.

Таблиця 1
Розрахункові значення міцності бетону на розтяг при згині $f_{c,tf}$
при використанні різних формул

Міцність цементу, МПа		Ц/В	$f_{c,tf} = 0,36f_{cm}^{2/3}$	$f_{c,tf} = 0,4R_{цвг}(\Pi/B - 0,2)$	$f_{c,tf} = 0,39R_{цвг}(\Pi/B - 0,1)$	$f_{c,tf} = 0,42R_{цвг}(\Pi/B - 0,3)$
на згин $R_{цзг}$	на стиск $R_{ц}$					
5,5	40	1,5	3,0	2,9	3,0	2,8
		2,5	4,8	5,1	5,1	5,1
6	50	1,5	3,5	3,1	3,3	3,0
		2,5	5,5	5,5	5,6	5,5
6,5	60	1,5	3,9	3,4	3,5	3,3
		2,5	6,2	6,0	6,1	6,0
7,5	60	1,5	3,9	3,9	4,1	3,8
		2,5	6,2	6,0	7,0	6,9

При нормуванні міцності бетону на розтяг при згині ($f_{c,tf}$) поряд з міцністю на стиск (f_{cm}) зручно при розрахунку складів і застосуванні кондиційних матеріалів застосовувати формулу

$$f_{c,tf} = 0,36f_{cm}^{2/3}. \quad (1)$$

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

Забезпечення нормованої морозостійкості бетону досягається як міцнісними показниками, так і введенням при необхідності в бетонну суміш емульгованого повітря.

Статистична обробка великого масиву експериментальних даних в достатньо широкому діапазоні складів ($f_{ct} = 15 \dots 40$ МПа, $V = 140 \dots 220$ л/м³, $V_{п.в} = 0,8 \dots 6,5$ %) дозволила зв'язати морозостійкість, міцність бетону на стиск і об'єм втягнутого повітря:

$$F = A_1 f_{cm}^{A_2} \exp^{A_3 V_{п.в}} \quad (2)$$

Для досліджених складів бетону $A_3 = 0,35$. Для рухомих бетонних сумішей (ОК = 9...12 см), $A_1 = 0,34$, $A_2 = 1,68$; малорухомих – (ОК = 1...4 см), $A_1 = 0,91$, $A_2 = 1,47$; жорстких – $A_1 = 2,48$, $A_2 = 1,28$.

Із формули (2) можна розрахувати об'єм необхідного втягнутого повітря:

$$V_{п.в} = \ln \left(\frac{F}{A_1 f_{cm}^{A_2}} \right) / 0,35, \quad (3)$$

де F – марка бетону за морозостійкістю;

f_{cm} – міцність бетону на стиск, МПа;

A_1 і A_2 – коефіцієнти.

Нижче наведений можливий алгоритм розрахунків складів дорожніх бетонів із застосуванням наведених залежностей і приклад його реалізації.

Таблиця 2

Схема алгоритму проектування складів дорожнього бетону з заданою морозостійкістю

1. Визначають необхідний середній рівень міцності (f_{ct1}) бетону, що забезпечує заданий клас бетону за міцністю на стиск.
2. Визначають міцність бетону на стиск (f_{ct2}), що забезпечує значення інших нормованих властивостей бетону.
3. Для подальшого розрахунку вибирають порівнянням f_{ct1} і f_{ct2} більше значення міцності бетону на стиск.
4. За формулою (3) визначають об'єм втягнутого (емульгованого за допомогою повітрявтягувальної добавки) повітря $V_{п.в}$, що забезпечує при заданій міцності необхідну марку за морозостійкістю. З цією метою можуть бути застосовані і нормативні рекомендації.
5. Уточнюють необхідне значення міцності бетону з урахуванням впливу втягнутого повітря.
6. Розраховують В/Ц бетонної суміші, що забезпечує необхідну міцність бетону на стиск.
8. Знаходять витрату води з урахуванням легкоукладальності бетонної суміші й особливостей заповнювачів.
9. Визначають витрату цементу та інших компонентів бетонної суміші.

Приклад. Розрахувати склад бетону для одношарового покриття автомобільної дороги з заданими показниками міцності на стиск $f_{cm} = 30$ МПа і згин $f_{c,lf} = 4,3$ МПа. Марка бетону за морозостійкістю F300. Бетонна суміш укладається в покриття бетоноукладальною машиною (OK = 2 см).

Вихідні матеріали: портландцемент М500, НГ = 25,5 %; кварцовий пісок із модулем крупності $M_k = 2,2$, вмістом відмулюваних домішок 2,5 %, густиною $\rho_n = 2,67$ кг/л; гранітний щебінь фракції 5...40 мм, $\rho_{щ} = 2,7$ кг/л, $\rho_{н.щ} = 1,4$ кг/л; вміст відмулюваних частинок 0,8 %. Вводиться повітрявтягувальна добавка.

Для розрахунку використовуємо алгоритм, наведений в табл. 2.

1. Визначаємо за формулою (1) необхідну міцність при стиску (f_{ct1}), що забезпечує нормовану міцність при згині: $f_{ct1} = 40,8$ МПа.

2. Оскільки $f_{ct1} > f_{cm}$ приймаємо її для подальших розрахунків.

3. За формулою (3) визначаємо необхідний об'єм втягнутого повітря, $V_{п.в.}$, що забезпечує при заданій міцності необхідну марку бетону за морозостійкістю. Коефіцієнти A_1, A_2 вибираємо з врахуванням рухомості бетонної суміші:

$$V_{п.в.} = \frac{\ln\left(\frac{F}{0,91 \cdot R_{cm}^{1,47}}\right)}{0,35} = \frac{\ln\left(\frac{300}{0,91 \cdot 40,8^{1,47}}\right)}{0,35} \approx 1 \% .$$

4. Уточнюємо значення міцності бетону з урахуванням впливу втягнутого повітря, приймаючи, що кожний процент втягнутого повітря знижує міцність бетону в середньому на 5 %:

$$f'_{cm} = 40,8 - 0,05 \cdot 1 \cdot 40,8 = 38,8 \text{ МПа} .$$

5. Необхідна міцність бетону на стиск, що забезпечує задану міцність при згині і морозостійкість із врахуванням втягнутого повітря:

$$f''_{cm} = 40,8 \frac{40,8}{38,8} \approx 43 \text{ МПа} .$$

6. Розраховуємо B/C бетонної суміші, що забезпечує розрахункову міцність бетону на стиск. Для розрахунку використовуємо типову формулу $f_{cm} = AR_y (C/B - 0,5)$. Приймаємо коефіцієнт $A = 0,55$:

$$B/C = \frac{AR_y}{R_{сж} + 0,5AR_y} = \frac{0,55 \cdot 50}{43 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 50} = 0,49 .$$

7. Витрата води для заданої рухомості бетонної суміші з урахуванням особливостей заповнювачів за довідковими даними складе 180 л/м³.

8. Витрата цементу:

$$C = \frac{B}{B/C} = \frac{180}{0,49} = 368 \text{ кг/м}^3 .$$

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

9. Витрата щебеню (коефіцієнт розсунення $\alpha_p = 1,39$; пустотність щебеню $\Pi_{щ} = \frac{\rho_{щ} - \rho_{н.щ}}{\rho_{щ}} = \frac{2,7 - 1,4}{2,7} = 0,48$):

$$\Pi_{щ} = \frac{1000}{\frac{1}{2,7} + 1,39 \cdot 0,48 \frac{1}{1,4}} = 1181 \text{ кг/м}^3 \cdot$$

10. Витрату піску знайдемо з урахуванням втягнутого повітря:

$$\Pi = \left(1000 - \frac{368}{3,1} - \frac{1181}{2,7} - 180 - 10 \right) \cdot 2,67 = 680 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунковий склад бетону: $\Pi = 368 \text{ кг/м}^3$; $B = 180 \text{ кг/м}^3$; $\Pi_{щ} = 1181 \text{ кг/м}^3$; $\Pi = 680 \text{ кг/м}^3$; $V_{не} = 10 \text{ л/м}^3$.

Отриманий розрахунковий склад бетону підлягає експериментальному уточненню.

Список використаних джерел

1. Л.Й. Дворкін. Проектування складів бетонів (методи, приклади, вправи). К.: Кондор, 2018. 616 с.

**ФІБРОБЕТОНИ З ПОЛІДИСПЕРСНИМ АРМУВАННЯМ
ДЛЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ СПОРУД**

**FIBER-REINFORCED CONCRETE WITH POLYDISPERSE
REINFORCEMENT FOR RESPONSIBLE CONSTRUCTIONS**

**Дворкін Л.Й., д.т.н., проф., Бордюженко О.М., к.т.н., доц.
(Національний університет водного господарства та
природокористування, м Рівне)**

**Dvorkin Leonid, Doctor of Engineering, Professor, Bordiuzhenko Oleh,
Ph.D, Associate professor (National University of Water and Environmental
Engineering, Rivne)**

При будівництві відповідальних споруд, в т.ч. дорожніх, однією з головних характеристик бетону є його деформативність, яка значною мірою визначається співвідношенням міцності на розтяг при згині до міцності при стиску [1]. Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що в таких випадках найчастіше використовуються дисперсно-армовані бетони і, перш за все, сталеві фібробетони [2-5]. Серед зарубіжного досвіду слід виділити застосування фібробетонів в дорожньому і тунельному будівництві, будівництві морських платформ і гребель, а також в облаштуванні підлог промислових будівель, терміналів і т.п. [6-7].

Як правило, використання дисперсного армування передбачає варіант моноармування, при якому керування властивостями бетону до певної міри обмежене, тоді як полідисперсне або композиційне дисперсне армування (армування одночасно декількома видами волокон з різними характеристиками) дає можливість управляти широким комплексом властивостей в одному композиційному матеріалі [8].

Метою даної роботи було дослідження впливу параметрів складу фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням на технологічні властивості сумішей а також параметри структури та міцнісні властивості.

Для визначення можливості одержання полідисперсно-армованого фібробетону з використанням сталеві та базальтової фібри із забезпеченням рівномірності їх розподілу в одержуваній структурі, були виготовлені серії фібробетонних зразків. За базовий був прийнятий наступний склад дрібнозернистого бетону: поргланццемент – 500 кг/м³, відношення заповнювача (щебінь фракції 2...5 мм : пісок = 0,55:0,45) до цементу складало 3,6 до 1 (за масою). В/Ц суміші складало 0,35. Необхідна рухомість суміші 13...15 см досягалася за рахунок введення добавки полікарбоксилатного суперпластифікатора Melflux 2651f.

Використовували сталеву фібру хвилястого профілю (довжина 60 мм, діаметр 1 мм) в кількостях 80 і 120 кг/м³ бетону. Для отримання

поліармованої композиції використовували модифіковану базальтову фібру ТзОВ "Технобазальт-Інвест" (м. Київ) довжиною 12 та 24 мм, виготовлену з базальтового ровінгу, при цьому її вміст у фібробетоні змінювався в межах від 0 до 6 кг/м³.

Введення базальтової фібри позитивно впливає перш за все на міцність на розтяг при згині. Міцність на розтяг при згині у віці 7 діб ($f_{c,tf}^7$) фібробетону контрольного складу при витраті сталевих фібри 80 кг/м³ становила 10,3 МПа, а максимальне її значення для композиційного фібробетону з базальтовою фіброю становила 12,4 МПа (при витраті 4 кг/м³ та довжині волокон 12 мм). Середнє збільшення міцності на розтяг при згині в залежності від довжини волокна та його вмісту склало від 7 до 20 %.

При витраті сталевих фібри 120 кг/м³ ($f_{c,tf}^7$) фібробетону контрольного складу склало 13,3 МПа, а максимальне її значення для композиційного фібробетону становила 14,9 МПа (при витраті базальтової фібри 4 кг/м³ та довжині волокон 12 мм). Таким чином, максимальне зростання міцності склало 12%. Менше зростання міцності в цьому випадку очевидно можна пояснити досягненням значень загального об'ємного вмісту волокон, що відповідають максимально можливому вмісту.

Використання базальтової фібри з довжиною волокон 24 мм в цілому показало гірші результати. Зафіксоване збільшення $f_{c,tf}^7$ на 7% лише при вмісті цих волокон 2 кг/м³ (при витраті сталевих фібри 80 кг/м³). При збільшенні вмісту базальтової фібри зафіксоване максимальне падіння міцності на 40 %. Зменшення міцності фібробетону, що спостерігається при збільшенні довжини використовуваних волокон обумовлено, ймовірно, зменшенням процентного вмісту волокна в площині перетину руйнування і зниженням міцності зчеплення на границі «волокно - цементна матриця». Крім того волокна довжиною 24 мм гірше розподіляються в масиві фібробетону, що позначається в подальшому на особливостях його структури.

Аналіз характеру руйнування композиційного фібробетону, армованого базальтовими волокнами довжиною 12 мм, свідчить, що руйнування бетону відбувається з досить хорошою участю волокон в роботі цементної матриці.

Розглядаючи вплив частки базальтової фібри в загальному об'ємі армування варто відзначити, що її оптимальний вміст складає 2 кг/м³ (частка базальтової фібри в загальному об'ємі армування $n = 0.07$) при витраті сталевих фібри 80 кг/м³ і 2..4 кг/м³ ($n = 0.05...0.09$) при витраті сталевих фібри 120 кг/м³. Подальше збільшення вмісту базальтової фібри очевидно приводить до збільшення питомої поверхні дисперсної арматури, що в свою чергу приводить до збільшення кількості води, необхідної для отримання бетонних сумішей із заданою рухомістю.

Міцність при стиску композиційних фібробетонів, очікувано мало залежить від вмісту базальтової фібри (табл. 1). Для різних композицій

зафіксоване коливання значення міцності в середньому в межах 2...3 % (62...65 МПа).

Таблиця 1

Міцність фіробетонних зразків з різним вмістом та співвідношенням сталевोї та базальтової фібри

Витрата сталевої фібри, кг/м ³	Витрата базальтової фібри, кг/м ³	Загальний вміст волокон за об'ємом, μ , %	Частка базальтової фібри в загальному об'ємі армування, n	Міцність при стиску у віці 7 діб f_{cm}^7 , МПа	Міцність на розтяг при згині у віці 7 діб $f_{c,t}^7$, МПа
Базальтова фібра ($l = 12$ мм)					
80	0	1,03	0,00	64,5	10,3
	2	1,10	0,07	65,2	12,1
	4	1,18	0,13	67,1	12,4
	6	1,25	0,18	66,2	10,2
120	0	1,54	0,00	66,8	13,3
	2	1,61	0,05	66,5	14,8
	4	1,69	0,09	69,2	14,9
	6	1,76	0,13	65,4	11,5
Базальтова фібра ($l = 24$ мм)					
80	0	1,03	0,00	64,5	10,3
	2	1,10	0,07	67,2	11
	4	1,18	0,13	63,1	9,6
	6	1,25	0,18	62,8	6,54
120	0	1,54	0,00	66,8	13,3
	2	1,61	0,05	68,6	13,45
	4	1,69	0,09	63,1	11,94
	6	1,76	0,13	61,7	7,91

Базальтова фібра, яка за густиною та пружними характеристиками близька до бетонної матриці при оптимальній витраті та співвідношенні із сталевую фіброю утворює своєрідний несучий каркас, який утримує сталеву фібру, попереджає розшарування суміші та сприяє рівномірному розподіленню дисперсної арматури в структурі бетону. Все це, відповідно, позначається на міцнісних характеристиках фіробетонів.

Загалом використання композиційного дисперсного армування на противагу моноармуванню лише сталевую фіброю дозволяє суттєво зменшити розшарування бетонних сумішей. Також варто відмітити, що перевага композиційного дисперсного армування проявляється сильніше в

міру зростання тривалості віброущільнення та збільшення витрати сталеві фібри.

Також досліджено особливості порової структури фібробетонів на основі аналізу кінетики водонасичення. Встановлено, що найкращі характеристики пористості (значення коефіцієнта середнього розміру пор та показник однорідності пор за розмірами) проявляють фібробетони з композиційним дисперсним армуванням в присутності суперпластифікаторів. Все це однозначно свідчить про покращення структурних характеристик фібробетону в результаті використання комбінації сталевих та базальтових волокон.

Результати експериментальних досліджень були успішно підтверджені виробничою апробацією шляхом випуску партій бетонних сумішей для виготовлення високоміцних виробів і конструкцій з фібробетонів із полідисперсним армуванням.

Список використаних джерел

1. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Дорофєєв В.С., Мішутін А.В. Гідротехнічні та дорожні бетони. Одеса: Евен, 2012. 214 с.
2. Dvorkin, L., Bordiuzhenko, O., Tekle, B.H.б, Ribakov Y. A method for the design of concrete with combined steel and basalt fiber. *Applied Sciences*. 2021. 11(19): 8850.
3. Dvorkin L., Bordiuzhenko O., Zhitkovsky V., Gomon S., Homon S. Mechanical Properties and Design of Concrete with Hybrid Steel and Basalt Fiber. *E3S Web of Conferences* 264, 02030 (2021).
4. Ефективні види фібробетонів : монографія / Л. Й. Дворкін, А.В.Мішутін, С.О.Кровяков, О.М.Бордюженко, Л.Кінтя. Одеса : ОДАБА, 2021. 249 с.
5. Толмачов, С.М., Беліченко О.А., Дядюшко Р. В., Вплив поліпропіленової фібри X-mesh на властивості дорожнього бетону. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 2021, 198. С. 58-65.
6. Shah A. and Ribakov Y., Recent Trends in Steel Fibered High-Strength Concrete, *Materials and Design*, 2011, 32 (8–9), 4122-4151.
7. Koksal F., Sahin Y., Şahin M. Effect of Steel Fiber Tensile Strength on Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concretes, *ACI Special Publication*, 2012, P. 129-143.
8. Klyuev S.V., Khezhev T.A., Pukharenko Yu.V., Klyuev A.V. Experimental Study of Fiber-Reinforced Concrete Structures. *Materials Science Forum*, 2019, 945. P.115-119.

**ДОРОЖНІ БІТУМИ, МОДИФІКОВАНІ СМОЛАМИ
ОДЕРЖАНИМИ З ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ**

**ROAD BITUMEN MODIFIED WITH RESINS OBTAINED FROM
COCKING BY-PRODUCTS**

Демчук Ю.Я., д.ф. ас., Гунька В.М., к.т.н., доц., Сідун Ю.В., к.т.н., доц., Братичак М.М., д.х.н., проф. (Національний університет «Львівська політехніка»)

Demchuk Y., PhD, Gunka V., PhD, Sidun Iu., PhD, Bratychak M., D.Sc., Professor (Eng.) (Lviv Polytechnic National University)

Близько 85 % нафтових бітумів використовуються в якості в'язучого в різних видах укладання асфальту: тротуарів, автомобільних доріг, аеропортів тощо. Це – основний в'язучий матеріал, що використовується при будівництві автошляхів. При застосуванні дорожніх бітумів виникає ряд проблем, проте найбільш гострою є недостатньо високі адгезійні властивості товарних бітумів (навіть, якщо вони відповідають вимогам нормативних документів) [1].

Одним із засобів вирішення цієї проблеми є модифікування товарних дорожніх бітумів. Однак, використання модифікаторів обмежується внаслідок значної їх вартості. Тому важливим є пошук недорогих речовин, які б покращували експлуатаційні характеристики бітумів, першочергово, адгезійні.

Для модифікації дорожніх бітумів найбільше застосовують блоккополімери стиролу типу СБС, що зумовлено їх здатністю не тільки підвищувати міцність бітуму, але і надавати полімерно-бітумній композиції еластичності, в т.ч. при низьких температурах [1-3].

Головним недоліком, що стримує темпи зростання випуску модифікованих термоеластопластами бітумів, є їх висока вартість (в 1,5 – 2,5 рази дорожчі, ніж немодифіковані [1, 2]).

На кафедрі «Хімічної технології переробки нафти та газу» Національного університету «Львівська політехніка» ведуться дослідження, пов'язані з одержанням відносно дешевих і ефективних модифікаторів нафтових бітумів з побічних продуктів коксування вугілля [4-7].

Відомо [1, 3], що при модифікуванні нафтових бітумів досить ефективними модифікаторами є феноло-формальдегідні смоли. Але ці смоли, які одержані з чистого фенолу, не знайшли широкого застосування в якості полімерних модифікаторів, що пов'язано в першу чергу з їх високою вартістю. З іншого боку, одним з продуктів коксохімічних підприємств є фенольна фракція з виходом 1,5 – 2,5 % мас. на вихідне вугілля, в якій зосереджені основна частина фенолів і крезолів (близько 65 %), які

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

утворюються під час процесу коксування. Вартість ж фенольної фракції кам'яновугільної смоли, яка містить 35 – 50 % мас. фенолів, в 35 – 40 разів нижча за вартість синтетичного фенолу [8]. Метою цих досліджень було показати доцільність модифікування нафтових бітумів феноло-крезоло-формальдегідними смолами, одержаними з побічних продуктів процесу коксування кам'яного вугілля.

Для досліджень було відібрано широку фенольну фракцію (ШФФ) на ПрАТ «Запоріжжкокс». Одержання феноло-крезоло-формальдегідних смол здійснювали з використанням широкої фенольної фракції, а також з «сирих» фенолів, виділених з фенольної фракції кам'яновугільної смоли.

З ШФФ за допомогою 20 %-ого розчину NaOH вилучали феноли; відповідно було одержано «сирі» феноли (СФ). Вилучення фенолів розчином NaOH базувалося на тому, що фенол і його похідні утворюють водорозчинні феноляти. Останні переводили у феноли концентрованою хлоридною кислотою. Вихід «сирих» фенолів» (СФ) становив 32,3 %.

Процес поліконденсації фенолів з формальдегідом проводили за методикою поданою у [9]. Лабораторна установка синтезу феноло-крезоло-формальдегідних смол зображена на рис. 1. Сировину вміщували в тригорловий реактор та при перемішуванні нагрівали до 100 °С у термостаті. Потім додавали необхідну кількість формаліну (масовий вміст формальдегіду у формаліні становив 37 %) і концентрованої хлоридної кислоти (каталізатор), після чого фіксували початок процесу, який здійснювали протягом 60 хв. По закінченні синтезу проводили відгонку води і непрореагованих компонентів під вакуумом, після чого смолу висушували у вакуумній шафі протягом 3 год за 100 °С. Вихід отриманих смол визначали за результатами зважування сировини та одержаних феноло-крезоло-формальдегідних смол (ФіКС-Ф).

Методом поліконденсації з формальдегідом з широкої фенольної фракції і вилучених з неї «сирих» фенолів було одержано новолачні феноло-крезоло-формальдегідні смоли ФіКС-Ф1 і ФіКС-Ф2. Умови синтезу смол подані у табл. 1.

Таблиця 1

Умови синтезу феноло-крезоло-формальдегідних смол

Параметр	Значення
*Мольне відношення «сирий фенол» / формальдегід	1,42
Масове відношення «сирий фенол» / формалін (вміст формальдегіду в формаліні 37 % мас.)	1,78
Масовий вміст каталізатора (конц. HCl), % на «сирий фенол»	1,0
Температура, °С	100
Тривалість процесу, хв.	60

*Молекулярну масу «сирого фенолу» приймали 94,1.

Таблиця 2

Виходи феноло-крезоло-формальдегідних смол

Смола	Вихід на широку фенольну фракцію, % мас.
ФіКС-Ф1	18,2
ФіКС-Ф2	29,7

Для одержання бітумів, модифікованих полімерами (БМП), використовувався залишковий (дистиляційний) нафтовий дорожній бітум марки БД 60/90, відібраний на Франківському шляхо-ремонтному управлінні (м. Львів), характеристика якого подана у табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика дорожнього бітуму БД 60/90

Показник	Вимоги до БД 60/90	Методика
Глибина проникнення голки за температури 25 °С, м·10 ⁻⁴ (0,1 мм)	80	ГОСТ 11501-78
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	43	ГОСТ 11506-73
Адгезія з поверхнею скла, %	60	ДСТУ Б В.2.7 – 81 із доповненням відповідно до п 8.6 ДСТУ 4044
Адгезія з поверхнею щебеню, бал	3	ДСТУ Б В.2.7-89-99

БМП готували у наступній послідовності: необхідну кількість бітуму нагрівали при перемішуванні до температури модифікування, після цього додавали необхідну кількість модифікатора та витримували впродовж 1 год.

З даних, наведених в табл. 4, видно, що введення в БД 60/90 смол синтезованих з «сирих» фенолів (ФіКС-Ф2), приводить до більшого зростання температури розм'якшення, і, особливо, адгезії залишкового нафтового бітуму в порівнянні зі смолами синтезованими з ШФФ (ФіКС-Ф1), але більше зменшують пластичність (пенетрацію) бітуму. При використанні в процесі синтезу концентрованих фенолів – «сирих» фенолів, спостерігається більший вихід на сировину (29,7 % мас.; табл. 2). Окрім того, деякі коксохімічні підприємства, в залежності від доцільності, можуть проводити вилучення «сирого фенолу» з фенольної фракції. Тому, найбільш доцільно для одержання ефективних модифікаторів нафтових бітумів, проводити синтез з використанням не фенольної фракції кам'яновугільної смоли, а виділених з неї «сирих» фенолів.

Умови приготування та характеристики бітумів модифікованих полімерами

Показник	БД 60/90	Температура модифікування, °С (масовий вміст модифікатора у БМП 2,4 %)	
		ФіКС-Ф1	ФіКС-Ф2
		190	190
Глибина проникнення голки за температури 25 °С, $m \cdot 10^{-4}$ (0,1 мм)	80	75	65
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	43	44	46
Адгезія з поверхнею скла, %	60	87	94
Адгезія з поверхнею щебеню, бал	3	5	5

Додатково варто відзначити, що введення в склад бітумних в'язучих отриманих смол ФіКС-Ф значно покращує адгезію. Для підтвердження цього твердження було проведено Rolling bottle test. Результати досліджень наведені на рис. 1.

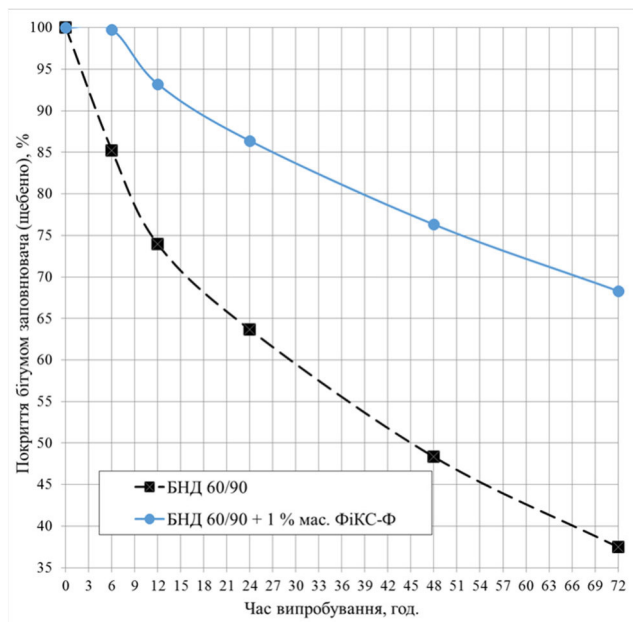


Рис. 1. Результати зчеплюваності між щебенем та бітумом на схильність в'язучого до відшарування протягом тривалого періоду часу

Згідно даних, які наведені на рис. 1 видно, що ступінь покриття бітумом у складі якого є 1 % мас. ФіКС-Ф щебеню протягом 6 год становить 99 %, а бітуму БД 60/90 покриття в'язучого становить 85 %, в свою чергу ступінь покриття бітуму модифікованого ФіКС-Ф протягом 72 год становить 68 %, а бітуму БД 60/90 покриття в'язучого становить 37 %. Це свідчить про те, що бітум-полімерна композиція у складі якої є одержана смола ФіКС-Ф є менш схильною до відшарування, тобто володіє більшою міцністю зчеплюваності в'язучого з заповнювачем (щебенем) у порівнянні з вихідним бітумом БД 60/90.

Вищенаведені результати показують, що одержана смола ФіКС-Ф проявляє хороші зчеплювальні властивості з мінеральними матеріалами (щебенем/склом), і таку смолу можна використовувати як адгезійну добавку до дорожніх нафтових бітумів.

Список використаних джерел

1. Pyshyev S., Gunka V., Grytsenko Y., Bratychak M. Polymer modified bitumen: Review. *Chemistry and Chemical Technology*. 2016. Vol. 10. №4 (s). P. 631-636.
2. Кіщинський С.В. Фізико-механічні властивості бітумів, модифікованих комплексним модифікатором Полідом. *Вестник ХНАДУ*. 2008. Вып. 40. С. 28-32.
3. Jiqing Zhu, Björn Birgisson, Niki Kringos Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal*. 2014. Vol. 54. P. 18-38.
4. Pyshyev S., Gunka V., Grytsenko Y., Shved M., Kochubei V. Oil and gas processing products to obtain polymers modified bitumen. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2017. Vol. 10. Issue 4. P. 289-296.
5. Pyshyev S.V., Grytsenko Y.B., Bilushchak H.I., Pyshyeva R.S., Danyliv N.M. Production of Indene-coumarone Resins as Bitumen Modifiers. *Petroleum and Coal*. 2015. Vol. 57, Issue 4. P. 303-314.
6. Пиш'єв С.В., Гриценко Ю.Б., Хлібишин Ю.Я., Страп Г.М., Коваль Т.М. Вплив природи полімеру на властивості модифікованих бітумів. *Восточно-европейский журнал передових технологий*. 2014. № 2/11 (68). С. 4-8.
7. Пиш'єв С.В., Гриценко Ю.Б., Никулишин І.Є., Гнатів З.Я. Одержання інденкумаронових смол для модифікації нафтових дорожніх бітумів. *Углевхимический журнал*. 2014. № 5. С. 41-48.
8. Павлович Л.Б., Соловьева Н.Ю. Разработка новых полимерных материалов на базе отходов коксохимического производства. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2016. №1 (15). С. 35-39.
9. Торопцева А.М., Белгородская К.М., Бондаренко В.М. Лабораторный практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений. Л.: Химия, 1972. 416 с.

ВИКОРИСТАННЯ ГУМАТУ КАЛІЮ ДЛЯ СПОВІЛЬНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАРІННЯ НАФТОВИХ БІТУМІВ

USE OF POTASSIUM HUMATE TO REDUCE TECHNOLOGICAL AGING IN PETROLEUM BITUMEN

**Донченко М.І., аспірант, Гринишин О.Б., д.т.н., професор,
Демчук Ю. Я., д.ф., асист., Поляк О. Є., аспірант (Національний
університет «Львівська політехніка»)**

**Donchenko M.I., PhD Student, Hrynyshyn O.B., Dr. Sc., Professor,
Demchuk Yu.Ya., Ph. D., Assistant Lecturer, Poliak O. Ye., PhD Student
(Lviv Polytechnic National University)**

Як відомо, основним зв'язуючим компонентом суміші, що формує структуру асфальтобетону та забезпечує його цілісність є бітум. Власне від характеристик бітумного в'язучого залежать подальші властивості та термін служби дорожнього покриття.

Перебуваючи під постійним впливом чинників навколишнього середовища, а також внаслідок механічних навантажень від коліс автомобілів та впливу високих температур на етапі приготування асфальтобетонної суміші, бітумне в'язуче поступово втрачає свої властивості, тобто старіє. Розрізняють два етапи процесу старіння, зокрема технологічне – при приготуванні та укладанні асфальтобетону, а також експлуатаційне старіння, що протікає в готовому дорожньому полотні при його використанні.

З метою сповільнення впливу негативних чинників на процеси технологічного старіння, протягом якого спостерігається найбільша втрата властивостей в'язучого, було запропоновано здійснювати модифікування бітуму гуматом калію.

Гумат калію – це калійна сіль гумінової кислоти, що в залежності від вихідної сировини може бути вилучена з торфу, бурого вугілля чи леонардиту, в якому вміст гумату є найбільшим та може досягати понад 80 % мас. [1]. Окрім широкої сфери застосування гумату калію, який використовують в сільському господарстві, при виробництві цементних розчинів тощо, було встановлено, що додавання відповідної солі до бітуму дозволяє також суттєво сповільнити процеси технологічного старіння.

Для досліджень, як вихідні зразки використовували окиснений бітум марки БНД 60/90 виробництва ПАТ «Укртатнафта» (м. Кременчук), а також дистиляційний бітум марки БД 130/200 виготовлений з орховицької нафти на АТ «Укргазвидобування» (м. Львів). Вміст гумінових кислот у зразку гумату калію становив 85 % мас. Модифікування бітуму проводилось за температури 130 °С протягом 1 год. Моделювання технологічного старіння

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції

здійснювали за допомогою печі RTFO. Завдяки прокручуванню в'язучого в колбах, даний метод дозволяє забезпечувати безперервне перемішування бітуму при дії на нього тепла та повітря. Перетворення, що відбувались зі зразками бітуму під час прогріття оцінювали за зміною маси зразків, зміною температури розм'якшеності та за значенням залишкової пенетрації. Найкращі результати спостерігались при додаванні 3 % мас. гумату калію до окисненого бітуму та 1 % мас. даної солі до дистиляційного бітуму, що наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Фізико-механічні властивості окисненого та дистиляційного бітумів із додаванням гумату калію

Назва показника	Значення показників			
	БНД 60/90	БНД 60/90 + 3 % ГК	БД 130/200	БД 130/200 + 1 % ГК
Глибина проникності голки за 25°C, 0,1 мм	63	62	195	158
Темп. розм'якшеності за «КіК», °C	48,0	51,4	40,8	46,8
Розтяжність за 25°C, см	62,4	62,6	150,0	150,0
Зміна властивостей після прогріття:				
- зміна маси, %	0,06	0,31	0,45	0,37
- залишкова пенетрація за 25 °C, %	60,3	83,9	50,8	64,6
- зміна температури розм'якшеності, °C	6,2	4,8	5,6	4,4

Виходячи з отриманих результатів можна стверджувати, що додавання гумату калію дозволяє суттєво сповільнювати процеси технологічного старіння обох бітумів, що відображається у вищому значенні залишкової пенетрації модифікованих зразків, а також в більш помірному зростанні їх температури розм'якшеності внаслідок прогріття.

Список використаних джерел

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%83%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%8E

**ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ
МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА ЯКОСТІ ЇХ
ЗЧЕПЛЕННЯ З БІТУМОМ, ЯК КОМПОНЕНТІВ
АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

**THEORETICAL ASPECTS OF THE METHOD OF DETERMINING
THE MINERAL COMPOSITION OF ROCKS AND THE QUALITY OF
THEIR ADHESION WITH BITUMEN AS COMPONENTS OF
ASPHALT CONCRETE**

**Єфремов С.В., к.т.н., доц. (Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, м. Харків)**

**Yefremov S.V., Ph.D. (Eng.), Associate Professor (Kharkov National
Automobile and Highway University, Kharkiv)**

Одним із ефективних шляхів підвищення довговічності асфальтобетону у покритті автомобільних доріг може бути покращення показників зчеплення мінеральних матеріалів з бітумом, що відбувається за рахунок якісного відбору мінеральних складових асфальтобетонних сумішей. Та цей відбір повинен відбуватись усвідомлено та мати теоретичне підґрунтя. Для цього треба вважати на походження та мінеральний склад гірських порід, що використовуються для виробництва асфальтобетонних сумішей.

Кожна гірська порода у своєму складі має певні мінерали та може будуватися, як з декількох мінералів (полімінеральні), так і з одного мінералу (мономінеральні). У кожного мінералу є своя особиста хімічна формула, до якої входять різні хімічні елементи. Ці хімічні елементи мають свої індивідуальні властивості, які впливають на інтенсивність взаємодії мінералів з бітумом. Однією з таких властивостей хімічних елементів, що входять до складу хімічної формули породоутворюючих мінералів, є знак іонного потенціалу. Так у лужноземельних металів Ca та Mg іонний потенціал має знак «+» і можливо це забезпечую хімічним сполукам окису кальцію (CaO) та окису магнію (MgO), що входять до хімічних формул авгіту та рогової обманки, сприятливі умови адгезійного зчеплення поверхні цих мінералів з бітумом. Оскільки, виходячи з відомих положень [1 - 5] про те, що зчеплення бітуму з мінеральною поверхнею посилюється в результаті хемосорбційних процесів на поверхні мінеральних матеріалів, що містять оксиди лужноземельних металів та даних табл. 1 має місце цілком обґрунтоване припущення, що на поверхні гірських гранітних порід, що містять темні польовошпатні мінерали (авгіт та рогова обманка) зчеплення з бітумом буде краще, ніж на цій же поверхні, що містять світлі польовошпатні мінерали (ортоклаз, мікроклін, альбіт, анортит), а тим

більше кварц. При цьому передбачалося, що оксиди лужноземельних металів другої групи (MgO і CaO) надаватимуть найбільший позитивний вплив на посилення зчеплення з бітумом. Це припущення ґрунтувалося на отриманих раніше результатах зчеплення бітуму зі лужними (вапняк, мрамур) та кислими (кварц, граніт) мінеральними поверхнями [6, 7].

Таблиця 1

Хімічний склад породоутворюючих мінералів гранітних гірських порід

Мінерали	Вміст хімічних сполук, %							
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
Кварц	100	-	-	-	-	-	-	-
Ортоклаз	64,7	-	16,9	-	-	18,4	-	-
Мікроклін	64,7	-	16,9	-	-	18,4	-	-
Альбіт	68,4	11,7	-	-	-	19,4	-	-
Анортит	43,2	-	-	-	20,1	36,7	-	-
Авгіт	21÷26	-	-	30÷60	-	4÷9	10÷40	-
Лабрадор	55,5	4,0	0,4	0,2	10,9	26,8	1,6	-
Рогова обманка	42÷48	1,5	-	11÷14	10÷13	6÷13	3÷9	9,5÷11,5
Біотит	33÷45	-	4,5÷8,5	0,3÷28	-	9,5÷31,5	0,3÷20,5	2,8÷27,5
Мусковіт	45,2	-	11,8	-	-	38,8	-	-

Кількість окису магнію (MgO) від 30 % до 60 % (табл. 1) у авгіті може значно впливати на якість зчеплення поверхні цього мінералу з бітумом. Кількісні показники окису магнію (MgO) від 11 % до 14 % та окису кальцію (CaO) від 10 % до 13 % сумарно теж можуть оказувати стосовний вплив на зчеплення поверхні рогової обманки з бітумом. Можливо саме знак іонного потенціалу цих лужноземельних металів Ca та Mg може забезпечити найкращі умови для максимально якісного зчеплення з бітумом, як авгіту та рогової обманки, так і гранітних гірських порід, до яких вони входять.

Заплановані проведення практичних досліджень зі зчеплення бітуму з мінеральними поверхнями авгіту та рогової обманки дозволять визначити справедливість теоретичних припущень. Крім цього корисним дослідження може бути визначення показника крайового кута змочування бітуму до поверхонь цих мінералів. Такий показник змочування мінеральної поверхні є вкрай важливим для підтвердження теоретичних аспектів механізму взаємодії бітуму з мінералами, які мають у складі хімічної формули різноманітні хімічні елементи.

Таким чином теоретично можливо підвищити показники довговічності асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг та збільшення міжремонтних термінів завдяки методично обґрунтованому якісному підбору гранітних компонентів асфальтобетонних сумішей з максимально

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

збільшеним вмістом темних польовошпатних мінералів, таких як авгіт та рогова обманка. Такий вибір може здійснюватись за темним кольоровим забарвленням цих гранітних гірських порід.

Список використаних джерел

1. Колбановская А.С. Сцепление битума с минеральной поверхностью. В кн. *Исследование гидро- и теплоизоляционных материалов и конструкций*. М.: Изд-во по строительству и архитектуре, 1955. С. 66-70.
2. Лысихина А.И., Сицкая Р.М., Авласова Н.М., Ястребова Л.Н. *О стабильности битумов и взаимодействия их с минеральными материалами*. М.: Дориздат, 1952. 175 с.
3. Колбановская А.С., Михайлов В.В. *Дорожные битумы*. М.: Транспорт, 1973. 259 с.
4. Руденская И.М., Руденский А.В. *Органические вяжущие для дорожного строительства*. М.: Транспорт, 1984. 229 с.
5. Лысихина А.И. *Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей*. М.: Автотрансиздат, 1962. – 360 с.
6. Zolotarev V.O., Yefremov S.V., Goncharenko F.P. Durability of asphalt concrete at static creep test. Proceedings of the fifth international Rilem symposium MTBM Lyon, France. Rotterdam: A. A. Balkema Press, 1997. Pp. 255-261.
7. Золотарёв В.А., Ефремов С.В. Зависимость водостойкости асфальтобетона от температуры и времени. *Вестник ХГАДТУ*. № 12-13, 2000. С. 145-148.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СКЛАДУ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

FEATURES OF DESIGNING THE COMPOSITION OF DRAINING ASPHALT CONCRETE

Желтобрюх А.Д. (Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)

Zheltobriukh A.D. (State enterprise «State Road Research Institute named after M. P. Shulgin», Kyiv)

Дренуючий асфальтобетон – це асфальтобетон каркасного типу з дуже великою кількістю порот між зернами щебеню. На відміну від щебеневомасикового асфальтобетону в дренуючому асфальтобетоні пори не заповнюють бітумно-піщаним розчином (мастикую). Головною особливістю дренуючого асфальтобетону є його пористість та висока зсувостійкість, що досягається за рахунок міцності щебеневого каркасу і високої в'язкості бітумного в'язучого, що склеює зерна [1 – 3].

Висока пористість забезпечує водопроникність, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок під час дощу, підвищуючи безпеку руху [4].

На відміну від дренуючих асфальтобетонів, що використовують у США (OGFC), в Європі дренуючі асфальтобетони мають більшу пористість від 18 % до 28 %, вимагають обов'язкового застосування бітуму, модифікованого полімером, і пред'являють більш високі вимоги до мінеральних матеріалів [5, 6].

Підбір суміші виконують таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється набагато швидше, ніж з покриття з щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливостей зернового складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь.

Першим етапом у процесі проєктування дренуючих асфальтобетонних сумішей є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва. До заповнювача висуваються жорсткі вимоги до стираності, вмісту подрібнених зерен, вмісту зерен лещадної та голчатої форм, а також до адсорбційної здатності. Крупний заповнювач для дренуючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним для опору транспортним навантаженням, оскільки дренуючий асфальтобетон складається із заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних часток і має структуру «камінь на камені».

На другому етапі виконують підбір зернового складу залежно від області застосування дренуючих асфальтобетонів згідно технічних норм. У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

умов і накопиченого досвіду, і на підставі них видано власні нормативні документи. Так як в нашій країні ці норми відсутні, то відповідно подібного клімату доцільно розглядати вимоги до зернових складів дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині, залежно від максимального розміру зерен щебеню.

Оскільки для виробництва дренуючого асфальтобетону використовують щебінь вузьких фракцій, наявні в Україні фракції щебеню було розсіяно з використанням сит з квадратними отворами на фракції 11/16, 8/11 та 5/8.

Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетонних сумішей для дренуючого асфальтобетону наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Підібраний зерновий склад дренуючого асфальтобетону

Розмір отворів сита, м	Повний прохід, % за масою, в залежності від типу дренуючого асфальтобетону								
	РА 16			РА 11			РА 8		
22,4	100	100	100	-	-	-	-	-	-
16	90	100	95	100	100	100	-	-	-
11,2	5	15	10	90	100	95	100	100	100
8	-	-	-	5	15	10	90	100	95
5,6	-	-	-	-	-	-	5	15	10
2	5	10	6	5	10	7	5	10	9
0,063	3	5	3,5	3	5	4	3	5	4,5

Для встановлення оптимального вмісту бітуму було вироблено асфальтобетонні суміші з максимальним розміром зерен 16 мм, 11 мм та 8 мм та вмістом бітуму від 5,5 % до 7,5 %.

Для виробництва дренуючих асфальтобетонів рекомендовано використовувати бітум, модифікований полімером, на дві марки вище ніж зазвичай використовують у даному регіоні залежно від максимальної температури повітря впродовж 7 діб, що обумовлено низьким вмістом структуруючих складників. Для підвищення міцності та довговічності рекомендовано також використання волокнистих стабілізуючих добавок в кількості від 0,3 % до 0,6 %. Оптимальний вміст в'язучого визначають за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених методом Маршала.

Виробництво асфальтобетонних сумішей у лабораторних умовах виконували відповідно до ДСТУ EN 12697-35 [8].

Результати випробування дренуючого асфальтобетону залежно від максимального розміру зерен наведено в табл. 2 – 4.

Вибір оптимального вмісту бітумного в'язучого виконували виходячи

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції

з економічних міркувань і накопиченого досвіду. Вміст в'язучого залежить від типу суміші. Так, наприклад, для типу РА 8 мінімальний вміст бітуму становить 6,5 %, а для типу РА 16 – 5,5 %.

Таблиця 2

Результати випробування дренажного асфальтобетону з
максимальним розміром зерен 16 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренажного асфальтобетону РА 16 з вмістом бітуму, %		
	5,5	6,0	6,5
Пористість мінеральної частини, %	36,4	36,0	34,9
Залишкова пористість, %	26,8	25,4	23,3
Міцність, кН	14,3	16,1	18,4

Таблиця 3

Результати випробування дренажного асфальтобетону з
максимальним розміром зерен 11 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренажного асфальтобетону РА 11 з вмістом бітуму, %		
	6,0	6,5	7,0
Пористість мінеральної частини, %	34,0	33,3	32,1
Залишкова пористість, %	23,2	22,4	21,2
Міцність, кН	22,1	23,6	24,1

Таблиця 4

Результати випробування дренажного асфальтобетону з
максимальним розміром зерен 8 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренажного асфальтобетону РА 8 з вмістом бітуму, %		
	6,5	7,0	7,5
Пористість мінеральної частини, %	33,7	33,7	33,6
Залишкова пористість, %	21,5	20,5	19,6
Міцність, кН	17,2	18,1	19,8

Виробництво запроєктованої суміші треба виконувати у змішувачах періодичної дії. Каркас суміші складається з однофракційного щебеню, тому питома поверхня матеріалу є набагато меншою, ніж для щільних сумішей і піддається більшому впливу полум'я, тому треба слідкувати, щоб температура матеріалу була не дуже високою та постійною. Температура

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

суміші на виході із змішувача зазвичай повинна становити від 140 °С до 160 °С. Вироблену суміш не дозволяється зберігати в бункерах-накопичувачах.

Температурний діапазон і часовий діапазон між завершенням виробництва суміші та її укладанням не дуже великий, що пов'язано з низькою температурою її випуску. Це обумовлює те, що час транспортування суміші не повинен перевищувати 45 хв, а укладання суміші має бути завершено за 60 хв після її виробництва.

Вироблені асфальтобетонні суміші укладають на водонепроникну основу з якою вода вільно стікає до узбіччя.

Основа повинна бути водонепроникною і водовідштовхувальною. Вода повинна вільно стікати. Для запобігання проникнення води в нижні шари повинна бути забезпечена гідроізоляція. Перед укладанням асфальтобетонної суміші основу необхідно очистити за допомогою відповідного обладнання.

Основними умовами влаштування шару дренажного асфальтобетону є:

- суміш повинна мати однорідну будову на ділянці будівництва;
- послідовність укладання повинна бути запланована і погоджена таким чином, щоб виключалися простой та перерви;
- укладання суміші треба виконувати на всю ширину покриття, використовуючи за потреби метод «гаряче до гарячого»;
- ущільнення треба виконувати котками з гладкими вальцями;
- відкривати рух можна тільки після достатнього охолодження, не раніше ніж через 24 год після укладання.

Список використаних джерел

1. Gregory J., Taylor P.E. Open-Graded Friction Courses (OGFC). 2014. 22 p.
2. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011.
3. Prithvi S., Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology. Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. 2002.
4. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen, Sandra Erkens. Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis. *International Journal of Pavement Engineering*. 2019
5. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p.
6. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsfl ä chenbefestigungen.
7. Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Соколов О. В. Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 168-176.
8. ДСТУ EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування. Київ, 2020. 24 с.

**СУМІСНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БІТУМІВ ЗА
ПЕНЕТРАЦІЙНОЮ ТА SUPERPAVE СИСТЕМАМИ**

**COMPATIBILITY OF BITUMEN QUALITY INDICATORS
ACCORDING TO PENETRATION AND SUPERPAVE SYSTEMS**

**Золотарьов В.О., проф., д.т.н., (Харківський національний
автомобільно-дорожній університет)**

**Zolotarev V. O., Prof., Doctor of Science, (Kharkov National
Automobile and Highway University)**

На цей час склалось дві системи оцінки якості бітумів. Перша – пенетраційна, друга – реологічно спрямована система Superpave. Пенетраційна система започаткована Боуеном у 1888 році. Друга – у 1983 році. Пенетраційна оцінка пройшла більш ніж тридцятирічну перевірку виробничим використанням. В 1910 році пенетрація була визнана головним критерієм оцінки консистенції бітуму в світі і залишається таким, наразі, в Європі. В стандартах більшості країн світу пенетрація супроводжується низкою інших показників, що мають надавати інформацію про стійкість асфальтобетонів до розвитку пластичних деформацій («Кільце та Куля»), зимову тріщиностійкість («Температура крихкості») та стійкість бітумів проти старіння. Всі ці показники згодом (в кінці 80-х років минулого століття) були визнані емпіричними, тобто такими, що не відповідають «Міжнародній системі одиниць фізичних величин». Дійсно, її показники не пов'язані з одиницями виміру напружень, деформацій, модулю пружності та в'язкості. Тим не менш, вона містить такі показники як температура крихкості, індекс пенетрації, інтервал пластичності. В EN 12591 було включено показник в'язкості при 60 °С.

На початку 80-х років минулого століття американські вчені та практики дійшли до висновку, що, користуючись пенетраційною системою, неможливо прогнозувати внесок бітуму ні в колієстійкість, ні в тріщиностійкість асфальтобетонів різних регіонів, і стійкість проти втоми, а також стійкість проти старіння. Було створено загальнодержавну програму SHARP, якою передбачалась розробка системи забезпечення якості стратегічних доріг Superpave. Головною ідеєю цієї системи була теза, яка диктувала необхідність досягнення стандартного однакового значення опору зсуву бітуму в усіх дорожньо-кліматичних регіонах США.

В якості такого параметру прийнято значення $G^*/\sin \phi$ (зворотної податливості), що ≥ 1 кПа. Цей показник використовується також для оцінки старіння бітумів (2,2 кПа) та циклічної витривалості. Що стосується температури тріщиностійкості, то її рекомендовано визначати відповідно для кожної зони за показником жорсткості ≥ 300 МПа або ж показником

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

швидкості зростання деформації у часі ($m \leq 0,3$), або за критичною деформацією на розтяг бітумної «гантелі» $\leq 1\%$.

Всі ці використані в Supergrave критерії можуть сприйматися як реологічні, бо вони враховують часові та швидкісні режими деформування. Це головна риса системи Supergrave. В той же час в системі відсутня проміжна характеристика, яка давала б уявлення про консистенцію бітуму у проміжку між високими та низькими температурами податливості бітуму, що передбачена пенетраційною системою – температурою, яка дорівнює $25\text{ }^\circ\text{C}$. Крім того, в цій системі нема показника температурної чутливості та інтервалу пластичності між крихким та текучим станом. Більш того, в системі відсутній показник адгезійності бітумів та й водостійкості асфальтобетонів, хоча, без сумніву, на дорогах США є і лушення, і викришування. Це залишилось поза увагою розробників Supergrave. Виправданням цього може слугувати те, що система Supergrave стосується тільки механічної оцінки (механічних показників). Втім, хоча руйнування здійснюється внаслідок фізико-хімічних процесів, все ж руйнування має механічний характер.

Зважаючи на такі обставини, актуальною є задача доповнення системи Supergrave показниками, притаманними пенетраційній системі за умовою надання пенетрації механічного змісту.

Це може бути досягнуто переведенням пенетрації в напруження зсуву, що можливо здійснити використанням методології Carré-Lorentz, застосованої ними по відношенню для в'язкості. Тобто, необхідно відмовитись від сприйняття в'язкості на користь розуміння того, що пенетрація є характеристикою опору зсуву бітуму при зануренні в нього циліндричної голки з конусною кінцівкою. Крім цього, треба визнати, що значення пенетрації бітуму при температурі розм'якшеності згідно Pfeiffer та Van Doornmaal відповідає пенетрації $800 \cdot 0,1$ мм. Також треба визнати, що температура крихкості, згідно W. Neukelom відповідає пенетрації $1,25 \cdot 0,1$ мм. Із цього переконливо витікає, що ці два полюси належать одній логарифмічній залежності. Це дає можливість визначити середину інтервалу пластичності T_{31} (Золотарьов В.А.). На основі цього можна здійснити перехід від пенетрації до напруження зсуву.

Приймаючи до уваги, що напруження зсуву є еквівалентним $G^*/\sin \phi$, можна практично всі позитивні накопичення пенетраційної системи перенести на систему Supergrave. Розрахунки за цієї схеми та перевірка її дієвості здійснювалась порівнянням за десятками літературних джерел. Це дозволило представити систему Supergrave наступною таблицею 1.

В таблиці кожна чарунка відповідає одній з 37 чарунок PG-підзон. В кожній з цих чарунок зверху до низу наведені значення таких показників по напруженням зсуву: температура підзони, середня температура інтервалу пластичності, температурна чутливість бітуму (ТЧА), індекс пенетрації. Під

«інтервалом пластичності» розуміється інтервал між високими та низькими температурами PG-зон.

Таблиця 1

Циклограма властивостей бітумів за системою Supergrave

Зона	Межі від'ємних температур за підзонами						
PG-46					-34	-40	-46
					6	3	0
					0,053	0,05	0,047
PG-52	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46
	21	18	15	12	9	6	3
	0,069	0,063	0,058	0,054	0,05	0,047	0,044
	-3,2	-2,8	-2,3	-1,9	-1,4	-1,0	-0,6
PG-58	-10	-16	-22	-28	-34	-40	
		21	18	15	12	9	
		0,058	0,054	0,05	0,047	0,044	
		-2,3	-1,9	-1,42	-1,24	-0,6	
PG-64	-10	-16	-22	-28	-34	-40	
	27	24	21	18	15	12	
	0,058	0,054	0,05	0,047	0,044	0,041	
	-2,3	-1,9	-1,4	-1,24	-0,6	-0,46	
PG-70	-10	-16	-22	-28	-34	-40	
	30	27	24	21	18	15	
	0,054	0,05	0,047	0,044	0,041	0,039	
	-1,9	-1,4	-1,24	-0,7	-0,46	0,17	
PG-76	-10	-16	-22	-28	-34		
	33	30	27	24	21		
	0,05	0,047	0,044	0,041	0,039		
	-1,45	-1,06	-0,66	-0,16	0,17		
PG-82	-10	-16	-22	-28	-34		
	36	33	30	27	24		
	0,047	0,044	0,041	0,039	0,037		
	-1,06	-0,7	-0,16	0,17	0,52		

В таблиці кожна чарунка відповідає одній з 37 чарунок PG-підзон. В кожній з цих чарунок зверху до низу наведені значення таких показників по напруженню зсуву: температура підзони, середня температура інтервалу пластичності, температурна чутливість бітуму (ТЧА), індекс penetрації. Під «інтервалом пластичності» розуміється інтервал між високими та низькими температурами PG-зон.

З даних таблиці витікає, що позначення всіх підзон уявляють собою арифметичні прогресії за високою та низькою температурами. В ній показники середини інтервалу пластичності та температурна чутливість теж утворюють такі ряди, відповідно: 3; 0,03-0,04. Крім того, ТЧА по діагоналі залишається постійною зі зростанням позитивної температури підзони та підвищенням від'ємної температури підзони. Цей коефіцієнт падає в межах однієї підзони зі зниженням від'ємних температур. Це означає, що система Supergrave передбачає потребу в бітумах зі зменшеною ТЧА, тобто бітумів зі зростаючим індексом penetрації. В той же час, треба мати на увазі, що стандартом EN 12591 допускається коливання індексу penetрації від - 1,5 до + 0,7. Співставлення ТЧА з класичним індексом penetрації свідчить про те, що межі зміни температурної чутливості відповідають її значенням в

межах від 0,005 до 0,037. Наведені Neukelom дані щодо цього охоплюють діапазон від 0,025 до 0,055.

Фактично, кожна чарунка PG оточена подібними з чотирьох сторін: згори і ліворуч – збільшення на 0,3 ТЧА, а знизу і праворуч – на 0,3 меншими. Отримані Пфейфером та Ван-дер-Поєм значення показників ТЧА розраховувались в обмеженому діапазоні температур від 25 °С до температури розм'якшеності, бо не було голки необхідної довжини. Представлені тут значення охоплюють весь діапазон від PG46 – (-46) до PG82 – (-10). Близькість значень коефіцієнтів температурної чутливості та отриманих за показниками напруження зсуву є одним із свідочств вірогідності прийнятого тут підходу.

Представлені тут дані дають можливість ввести одну з важливих ознак класифікації бітумів. Це стосується проміжної температури, за якої мають нормуватися бітуми. В пенетраційній системі це пенетрація за температури 25 °С. Саме це дає можливість відчувати органолептично консистенцію бітуму. На самому початку використання бітумів, консистенцію та його якість оцінювали «на зубець». В Supergrave проміжна температура відсутня. Між крайніми температурами – «полонина».

Отже, людина не може уявити собі що таке бітум. Про те, що він тече як Ньютонівська рідина або перетворюється на скло з вільним об'ємом 3 % ніхто не має уяви. В роботі Золотарьова В.О. використана температура, за якої в пенетраційній системі бітум має пенетрацію 31,6 · 0,1 мм. Це може бути перенесено і на систему Supergrave, для чого треба визначитись з опором зсуву бітуму в кожній PG-зоні. Результати такого аналізу наведені на рисунку 1.

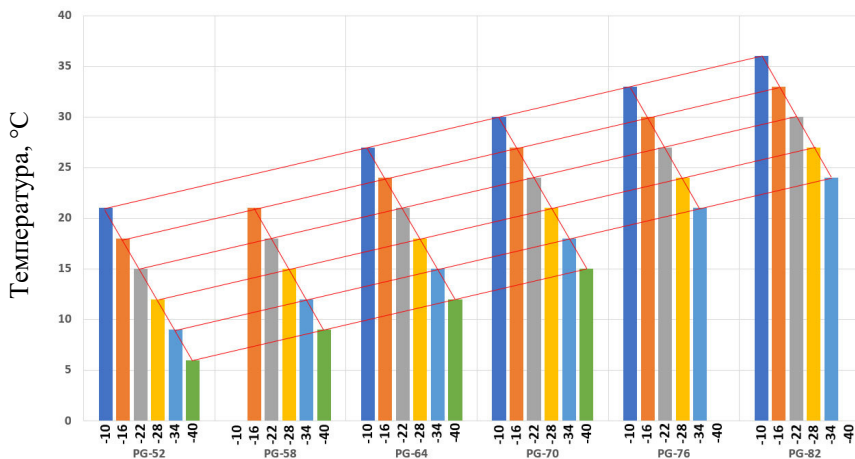


Рис. 1. Розподілення середньої температури інтервалів пластичності за показником напруження зсуву

З нього витікає, що серединна температура (ТСА) інтервалу пластичності між течією та крихкістю у кожній зоні знижується при переході від малих низьких температур до ще нижчих ($-10 \rightarrow -46$). При цьому, кожне зниження температури чарунки на $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводить до зниження ТСА на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Навпаки, підвищення літньої експлуатаційної температури на $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($50 \rightarrow 58\dots 52$) призводить до підвищення ТСА також на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отже, маркування бітумів за ТСА може чітко віддзеркалити стан бітуму. Перепад температур між крайніми ТСА становить від 3 до $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Прийняття системи позначення бітуму за серединною температурою надасть більш чітке уявлення про можливість використання бітумів в тих чи інших кліматичних умовах.

Втілення запропонованої деформаційно-міцнісної оцінки якості бітумів сприятиме: цілеспрямованому контролю якості бітумів для різних температурних регіонів; реальному врахуванню зсувних характеристик (опір зсуву в літню та тріщиноутворення в зимову пору); свідомому аналізу поведінки асфальтобетонів завдяки прогнозуванню деформаційно-зсувних характеристик бітуму при проектуванню дорожніх одягів.

ДОСВІД ТА ТЕХНОЛОГІЇ SIKA ДЛЯ ТЕРМІНОВОГО РЕМОНТУ ТА БУДІВНИЦТВА ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

EXPERIENCE AND TECHNOLOGIES OF SIKA FOR URGENT REPAIRS AND CONSTRUCTION OF ROAD PAVEMENTS

Івженко І.О., Сінякін А.Г., к.т.н., доц., Гуняк О.М., к.т.н. (ТОВ «Сіка Україна», м. Київ)

Igor Ivzhenko, Anatoliy Sinyakin, PhD, assoc. prof., Oleksii Hunyak, PhD (LLC «Sika Ukraina», Kyiv)

З початком вторгнення рф, транспортна інфраструктура України зазнала значних пошкоджень та руйнувань. Станом на 1 вересня 2022 року, згідно з оцінкою Міністерства інфраструктури, внаслідок бойових дій, руйнувань зазнали 25,0 тис. км доріг та 315 мостів і мостових переходів державного, місцевого або комунального значення, що в грошовому еквіваленті становить \$28,5 млрд [1]. Також за цей період було пошкоджено 19 аеродромів цивільного та подвійного призначення.

Для забезпечення транспортного сполучення в даних умовах, ключовими є швидкість виконання робіт, та можливість відкриття руху по відремонтованих ділянках покриття у найкоротші терміни. Одним з прикладів є ремонт плити покриття проїзної частини мосту метро у м.Києві влітку 2019 року. Згідно технічного завдання, за короткий проміжок часу з 00:00 до 06:00 необхідно було забезпечити вклядання бетонної суміші та набір критичної міцності. Для замонолічування демонтованих ділянок використовували БСГ В40 Втb4,4 Р4 W8 F300 з високою ранньою міцністю, склад БС та властивості бетону наведено у Табл. 1.

Таблиця 1

Склад бетонної суміші та властивості бетону									Міцність на стиск, МПа, у віці	
Цемент ПЦ І-500Р-Н	Пісок	Щебінь		В/Ц	Sika® Fiber PPM-12	SikaPlast® - 2508	Sika® Mix Plus	Sika® Rapid C100B	6 год	28 діб
		(5-10)	(5-20)							
		Витрата матеріалів на 1 м ³ , кг								
450	660	300	850	0,4	0,6	4,5	0,13	4,5	16,2	62,3

Використання широкого спектру хімічних добавок дало змогу забезпечити необхідні показники суміші та затверділого бетону, зокрема суперпластифікатора SikaPlast®-2508 - для досягнення необхідного В/Ц

відношення та реології суміші, повітровтягувальної добавка Sika® Mix Plus - для отримання системи замкнених мікропор і забезпечення високої морозостійкості бетону, мікрофібри Sika®Fiber PPM-12 – для зниження деформацій усадки. Прискорювач на основі безхлоридних солей Sika® Rapid C100В вводився безпосередньо в автобетонозмішувач на будівельному майданчику, та забезпечив близько 40% характеристичної міцності на 6 годину тверднення.

У зв'язку з дефіцитом бітуму в Україні, доцільним є використання дорожніх технологій та матеріалів на мінеральних в'язучих, в тому числі для ремонту дорожнього одягу нежорсткого типу. Зважаючи на конструктивні особливості та характерні пошкодження асфальтобетонних покриттів, особливої уваги заслуговує технологія підсилення існуючого дорожнього одягу «Whitetopping», яка широко застосовується у США та Європі [2]. Так, у м. Штутгарт, Німеччина, цей метод обрали для ремонту покриття на території нафтового терміналу. Спочатку виконували фрезування існуючого покриття, влаштування вирівнюючого шару а/б на окремих ділянках, та безпосередньо бетонування покриття (рис. 1).



Рис. 1. Ремонт дорожнього одягу за технологією «Whitetopping»

Особливістю даного проекту є використання бетону з низькими деформаціями усадки. Окрім пластифікатора та повітровтягувальної добавки, до складу бетону вводили Sika® Control® 40 – хімічну добавку, що знижує деформації усадки, та Fibermesh® 650 S – синтетичну макрофібру.

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

Комплексне використання даних матеріалів дало змогу значно зменшити довжину швів у покритті, а також значно покращити його властивості [3].

Процес будівництва бетонних доріг передбачає не тільки укладання бетону, а й додаткові роботи з влаштування швів, ремонту та захисту покриття, а також застосування додаткових інженерних рішень, пов'язаних із забезпеченням його надійної експлуатації. Компанія Сіка пропонує надійні та перевірені рішення, засновані на досвіді будівництва доріг у Європі та інших частинах світу.

Для влаштування деформаційних швів використовується однокомпонентний еластичний герметик прискореного твердіння Sikaflex®-406 КС (рис. 2). Даний матеріал має високу механічну і хімічну стійкість та сумісний з цементо- та асфальтобетоном. Застосовується для герметизації деформаційних швів ЗПС аеродромів, мостів і доріг.



Рис. 2. Герметизація швів за допомогою Sikaflex®-406 КС

Для ремонту сколів, а також інших локальних руйнувань використовуються тиксотропні двокомпонентні матеріали на епоксидній основі Sikadur®-31+, Sikadur®-41. Матеріали стійкі до вологи і мають високу міцність, відмінну адгезію до бетону, а також швидкий набір міцності. Для склеювання тріщин використовується епоксидний склад з низькою щільністю Sikadur®-52 Injection. Матеріал нагнітається під тиском у порожнечі в бетоні за допомогою встановлених пакерів (рис. 3). Попередньо тріщина заробляється епоксидним складом Sikadur®-31+.

Щоб відновити і зміцнити поверхню бетону, необхідно зняти верхній слабкий шар бетону, та обробити поверхню зміцнюючим просоченням Sikafloor® CureHard LI. При нанесенні на бетонну поверхню, матеріал проникає в її структуру, де ініціює хімічну реакцію, в результаті якої утворюються кристали, що заповнюють пори в бетоні та зміцнюють його (рис. 4).

Для швидкого відновлення бетонної поверхні необхідно зробити наступні кроки: зняття верхнього слабого шару бетону з підливкою

швидко твердіючим, самовирівнювальним полімерним розчином на основі хімічно-активних акрилових смол Sikadur®-12 Pronto.

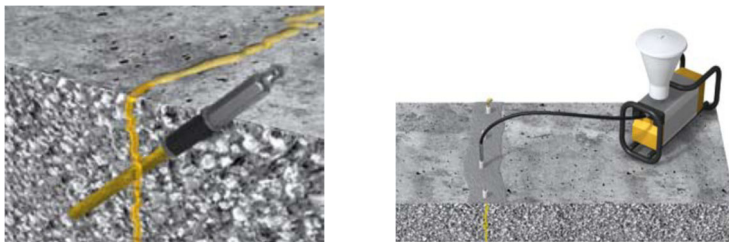


Рис. 3. Ремонт тріщин у бетонному покритті за допомогою Sikadur®-52 Injection

Матеріал має наступні властивості: швидке твердіння, високу механічну міцність, стійкість до стирання і ударних навантажень, високу хімічну стійкість, та може вкладатись при низьких температурах.



Рис. 4. Ремонт поверхні цементобетону зміцнюючим просоченням Sikafloor® CureHard LI

Для захисту бетону від зовнішніх впливів і продовження терміну експлуатації цементобетонного покриття використовується гідрофобне просочення Sikagard®-705 L, що є однокомпонентною реакційною просочувальною речовиною на основі силану, характеризується низькою в'язкістю, не містить розчинників, та проникає на глибину до 12 мм.

Список використаних джерел

1. https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/10/Sep22_FINAL_Sep1_Damages-Report.docx.pdf
2. Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Нагайчук В. М., Райковський В. Ф., Биковець М. М. Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 22. С. 63-78.
3. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А., Захаров Д. С. Повышение свойств дорожных бетонов введением полипропиленовой фибры. *Строительные материалы и изделия*. 2016. Вип. 1. С. 76-79.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОРОЖНІХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З ФІБРОЮ

RESEARCH OF ROAD REINFORCED CONCRETE PLATES WITH FIBER

Іськов В.О., ст. маг., Мішутін А.В., д.т.н., проф. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Iskov V.O., st. M.Sc., Mishutin A.V., Ph.D., prof. (Odesa State Academy of Construction and Architecture)

В останній час багато уваги приділяють будівництву цементобетонних доріг, а саме тому що в порівнянні з асфальтобетоном: - це менш витратне будівництво; великий термін придатності; менше потрібність у поточних та капітальних ремонтів; менш забруднення навколишнього середовища. Тому, саме цементобетон має більший пріоритет у будівництві доріг.

В лабораторії, кафедри Автомобільні дороги та аеродроми, проводилося дослідження бетону дорожніх плит 1П30.18.30 (ДСТУ Б В.2.6-122:2010 Плити залізобетонні з ненапруженою арматурою для покриття міських доріг) розміром 3000*1750*170 мм (виготовлених на Миколаївському заводі залізобетонних виробів). Перша – без фібри (далі А), друга – з фіброю (далі Б).

З обох плит було висвердлено 8 кернів, по 4 з кожної плити: діаметром Ø15 - 4 керна (плита А) – А1, А2, А3, А4; 1 керн (плита Б) – Б1; діаметром Ø10 - 3 керна (плита Б) – Б2, Б3, Б4.

Дослідження кернів було наступне: неруйнівний метод контролю (молотком Шмідта та арматуроскопом); міцність на стиск, розподілення фібри, водопоглинання, пористість, морозостійкість;

Визначили розміри та об'єм кернів. Об'єм кернів циліндрів для зразка кернів діаметрами Ø15 та Ø10 дорівнює: $V_{\text{Ø15}}=3034,94 \text{ см}^3$; $V_{\text{Ø10}}=1374,45 \text{ см}^3$ (табл. 1).

Визначення водопоглинання. Керни помістили в ємність з водою до тих пір, поки результати насичення двох послідовних зважувань будуть відрізнятися не більше ніж на 0,1 %. Згідно цього водопоглинання зразків дорівнює: $W'_m \text{ A1} = 0,71 \%$; $W'_m \text{ B1} = 0,83 \%$.

ДСТУ Б В.2.7.170:2008 дозволяє розрахувати пористість згідно з водопоглинанням, а саме: пористість для зразка А1 дорівнює 0,71 %, а для зразка Б1 = 0,83 %.

Визначення міцності на стиск проводилося згідно ДСТУ Б В.2.7.214:2009 «Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками» на пресі гідравлічному МС-1000 (табл. 2).

Таблиця 1

Результати розрахунків середньої густини

№/№	№ зерна	Середня густина, г/см ³
1	A1	2,40
2	A2	2,42
3	A3	2,39
4	A4	2,40
5	Б1	2,52
6	Б2	2,48
7	Б3	2,50
8	Б4	2,51

Таблиця 2

Результати розрахунку міцності на стиск

№/№	№ зерна	Міцність на стиск, МПа
1	A2	29,7
2	A3	24,4
3	A4	28
4	Б1	36,1

Проведлося дослідження неруйнівним методом, а саме: молотком Шмідта (PROCEQ Schmidt-hammer №34; №пр. 158307) та арматуроскопом (NOVOTEST №пр. 0160641015). Випробування молотком Шмідта зернів Б (з фіброю) показали міцність відносно зернів А (без фібри). (табл.3)

Арматуроскоп шукає відстань заложення арматури, її положення, та приблизний діаметр арматури. (табл.3)

Таблиця 3

Результати випробування неруйнівними методами

№/№	№ зерна	Молоток Шмідта, МПа			Арматуроскоп
		Верх	Середина	Низ	Залягання арматури, мм
1	A1	35	35	31	41 / 49
2	A2	45	33	39	- / -
3	A3	44	42	31	- / -
4	A4	47	41	36	64 / 50
5	Б1	40	35	28	39 / 33
6	Б2	29	34	26	(66 / 40)
7	Б3	38	34	32	
8	Б4	34	24	28	

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-49-96 «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні», провели випробування на морозостійкість за методом «номер 3» для дорожнього бетону (табл. 4).

Таблиця 4

Результати випробування морозостійкості

№/№	F	№ керна	Маса, г			Міцність на стиск, МПа	
			До	Після	Δ , %	До	Після
1	F100	Б2				36,1	35.74
2		Б3	1920	1919	0,1		
3		Б4	1960	1959	0,1		

Фібра підвищує міцність бетону. Стосовно розподілу фібри у нашому бетоні – вона розподілена рівномірно. Зразок висотою 175 мм розділили на рівні частини (кожна з них 58.3 мм), та у ширину - 70 мм. На верхній частині – 18 шт.; Середня – 17 шт.; Нижня – 17 шт.

Висновки

Після дослідження та аналізу бетону плит, згідно ДСТУ Б В.2.6-122:2010 «Плити залізобетонні з ненапруженою арматурою для покриття міських доріг» розміром 3000*1750*175 мм – по кернах d=100 мм, та d=150 мм, можна зробити висновки:

- 1) Бетон з фіброю (плита Б) має більш велику міцність на стиск на 8,8 МПа - 24,38% від бетону без фібри і складає – 31,6 МПа;
 - 2) Водонасичення у бетону з фіброю (плита Б) більше, ніж у бетону без фібри (плита А) на 55 г і складає 0,8%;
 - 3) Середня густина бетону - з фіброю 2.49 г/см³, а без фібри = 2.43 г/см³;
 - 4) Розподіл фібри рівномірний - 18 шт на 60 см²;
 - 5) Фібра металева – швидко кородує у модельному просторі, та вилазе назовні;
 - 6) Фібра не має захисного шару бетону, тим самим може пошкодити автомобільні колеса – для дорожнього будівництва вона не підходить;
- Кафедра АДіА розробила регламент по технології приготування фібробетону з використанням полімерної фібри, узгодила його з Службою Автомобільних доріг, і рекомендує його до використання.

Список використаних джерел

1. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Мішутін А.В., Дорофєєв В.С. Гідротехнічні та дорожні бетони. Одеса. 2012. 215 с.
2. Дворкін Л.Й., Мішутін А.В., Кривяков С.О., Бордюженко О.М., Кінтя Л. Ефективні види фібробетонів. Рівне, Одеса. 2021. 247 с.

**ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
АСФАЛЬТОБЕТОНУ ПРИ ВПЛИВІ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ
РЕАГЕНТІВ**

**THE MAIN AREAS OF RESEARCH ON THE DURABILITY OF
ASPHALT CONCRETE UNDER THE INFLUENCE OF ANTI-ICING
REAGENTS**

Ковальський В.П., к.т.н., доц., Мінцзюнь Го, аспірант (Вінницький національний технічний університет)

Kovalskiy V.P., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Guo Mingjun PhD student (Eng.) (Vinnytsia National Technical University)

In recent decades, the world's transportation industry has developed vigorously, and a large number of asphalt pavement have been built. However, the asphalt pavement in high latitude areas is covered with ice and snow for a period of time every winter, which will greatly reduce the traffic safety of the road and easily lead to traffic accidents.

Countries all over the world have carried out a lot of research on the problem of snow and ice on roads in winter. In order to ensure driving safety, the methods of road ice and snow removal generally include manual snow removal, mechanical snow removal and spreading deicing salt on the road, and spreading deicing salt is the preferred solution for ice and snow melting in winter because of its simplicity, efficiency and low cost. However, the extensive use of deicing salt will, on the one hand, bring long-term adverse effects on the living environment of the surrounding animals and plants, corrode the surrounding structures, and at the same time reduce the road performance of the pavement.

Influence of deicing salt on pavement performance of asphalt mixture under dry-wet cycle. Three deicing salts, NaCl, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ and $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$, are selected to conduct different times of dry-wet cycles for asphalt mixture in combination with the research results of the research group on the freezing point of deicing salts. The effects of deicing salts on the high-temperature stability, low-temperature cracking resistance and water stability of asphalt mixture are evaluated through high-temperature rut test, low-temperature crack resistance test, Marshall water immersion test and freeze-thaw splitting test.

Influence of deicing salt on water stability of asphalt mixture under freeze-thaw cycle. Three deicing salts, NaCl, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ and $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$, are selected to conduct freeze-thaw cycle test of asphalt mixture at different temperatures with appropriate concentration based on the research results of the research group on the freezing point of deicing salts. The effects of deicing salt on water stability of asphalt mixture at different temperatures were evaluated by Marshall water immersion test and freeze-thaw splitting test.

Influence of deicing salt on asphalt mixture under dynamic water scouring cycle. Three deicing salts, NaCl, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ and $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$, are selected to simulate the impact of dynamic water scouring on asphalt mixture under three deicing salt solutions by using the test equipment designed and assembled by the research group to simulate dynamic water scouring. The impact of deicing salts on the water stability of asphalt mixture under dynamic water scouring is evaluated through Marshall water immersion test and freeze-thaw splitting test.

Life prediction based on Grey theory. Based on the test data of Marshall water immersion test, freeze-thaw splitting test, high temperature rut test and low temperature crack resistance test, GM (1, N) model of grey system theory is used to predict the influence of deicing salt on mechanical properties of asphalt mixture under dry-wet cycle, freeze-thaw cycle and dynamic water scouring cycle.

Research ideas, methods and technical routes of scientific research are shown in Fig. 1.

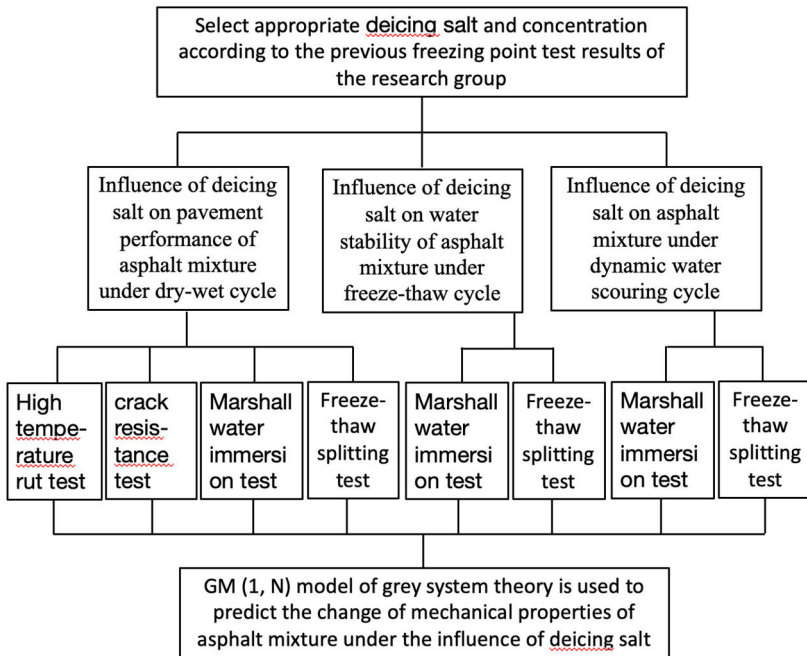


Fig. 1 Technical roadmap

By using the dynamic water pressure circulation simulation device designed and assembled by the research group, the dynamic water erosion of the asphalt

mixture by the deicing salt solution is simulated, which provides a basis for the short-term water damage law in the deicing salt spreading area.

As a result of the planned research, we will establish the regularity of the destruction of asphalt concrete under the influence of salt corrosion, which will make it possible to predict the durability of asphalt concrete from the influence of anti-icing reagents based on NaCl, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ and $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$ salts.

References

1. Guo Mingjun. Common evaluation methods for water stability of asphalt mixture [Електронний ресурс] / Guo Mingjun, Victor Kovalskiy, Mykhailo Bondar // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2021», м. Вінниця, 12-14 листопада 2021 р. : електронне мережне наукове видання. – Електрон. текст. дані. – 2021. – с 4. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2021/paper/viewFile/14092/11941>

2. Mingjun, Guo Safety measures for driving on icy roads in winter. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів" Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених 13: 266-267.

3. Mingjun G. Review of road geothermal snow melting technology [Електронний ресурс] / G. Mingjun, V. Kovalskiy // Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. Електрон. текст. дані. 2021. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12635>.

4. Guo Mingjun, Kovalskiy V.P. Research of mechanical properties of bituminous concrete at low-temperature. Applied Scientific and Technical Research : Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, April 1–3, 2020, Ivano-Frankivsk / Academy of Technical Sciences of Ukraine. Ivano-Frankivsk: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2020. V. 2. P. 104-105.

5. Мінцзюнь Г., Ковальський В. П. Overview of the test method for road pavement at high temperatures [Електронний ресурс]. Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. Електрон. текст. дані. 2020. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/8817>.

6. Technical research and development. Kalafat K., etc. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch 2021. 616 p.

7. Guo Mingjun, Kovalskiy V.P. Research status of road deicing salt.. Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт) : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (квітень 2020 року). Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2020. С. 292-297.

**УТОЧНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТЕМПЕРАТУР ВИРОБНИЦТВА
ТА УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

**SPECIFICATION OF TECHNOLOGICAL TEMPERATURES OF
PRODUCTION AND COMPACTION OF ASPHALT CONCRETE
MIXTURES**

Копинець І.В., к.т.н., Соколова О.Б., Соколов О.В., Юнак А.Л.
(Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний
інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)

**Kopynets I.V., Ph.D., Sokolova O.B., Sokolov O.V., Yunak A.L. (State
enterprise «State Road Research Institute named after M. P. Shulgin», Kyiv)**

Технологія отримання асфальтобетонів складається з двох основних стадій: процес перемішування суміші кам'яних матеріалів з бітумним в'язучим та процес ущільнення асфальтобетонної суміші, отриманої на першій стадії [1].

У випадку використання в'язких бітумних в'язучих обидва процеси виконують за високих температур: перемішування — від 140 °С до 165 °С, ущільнення — від 155 °С до 85 °С [2].

Метою процесу перемішування є повне покриття зерен кам'яних матеріалів суцільною, рівномірною за товщиною для зерен одного розміру плівкою бітумного в'язучого. Обов'язковим елементом процесу перемішування є переведення термопластичного бітумного в'язучого в текучий стан. Без цього неможливо забезпечити розтікання бітумного в'язучого по поверхні кам'яних матеріалів та її змочування [1].

Вважається, що критерієм призначення мінімально допустимої температури нагрівання в'язучого в процесі перемішування є температура, яка відповідає в'язкості, що є меншою ніж 0,5 Па·с [1, 3]. У Західній Європі у зв'язку з переважним використанням в дорожньому будівництві бітумів з важкої нафти критична в'язкість бітуму під час перемішування з мінеральними матеріалами приймається менше ніж 0,2 Па·с [3].

Температурна залежність в'язкості бітумів визначається їх маркою. Із збільшенням пенетрації знижується в'язкість бітуму. Отримані дані щодо температури нагрівання бітуму включають в стандарти [1].

Ураховуючи, що наказом ДП «УкрНДНЦ» від 12 серпня 2019 року № 246 прийнято нову редакцію ДСТУ 4044 [4], в якій встановлено нове маркування бітумів за показником пенетрації за температури 25 °С, приведене до європейського маркування, існує критична необхідність у встановленні технологічних температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей на основі цих бітумів.

Для цього доцільно проаналізувати вимоги до технологічних

температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей.

В Україні уперше вимоги до цих температур було встановлено в ДБН В.2.3-4:2000 [5]. У даних нормах було встановлено вимоги до температури нагрівання бітуму, що подається у змішувач, температури мінерального матеріалу на виході із сушильного барабану та температури випуску асфальтобетонної суміші.

У подальшому під час перегляду ДБН В.2.3-4:2000 [5] було додатково встановлено вимоги до температури початку ущільнення асфальтобетонних сумішей залежно від вмісту в асфальтобетонній суміші крупного заповнювача. Дані вимоги практично повторювали вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2003 [6]. Можливо у зв'язку з цим в ДБН В.2.3-4:2015 [7] вимоги до температури виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей було вилучено і зроблено посилання на національні стандарти.

Вочевидь практика зниження технологічних температур ущільнення асфальтобетонних сумішей, що вміщують менше ніж 45 % крупного заповнювача не виправдала себе і в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [2] було встановлено єдині вимоги до температури ущільнення асфальтобетонних сумішей, які в цілому повторювали вимоги ДБН В.2.3-4:2007 [8] та ДСТУ Б В.2.7-119:2003 [6] до ущільнення асфальтобетонних сумішей із вмістом крупного заповнювача більше ніж 45 %.

При цьому в певних випадках було підвищено температуру нагрівання бітумного в'язучого, знижено температуру нагрівання мінерального матеріалу та, що є найбільш важливим, знижено температуру асфальтобетонних сумішей на виході із змішувача, що при незмінній температурі початку ущільнення асфальтобетонних сумішей привело до того, що фактично температура асфальтобетонної суміші в процесі транспортування не мала змінюватися (див. вимоги до температури асфальтобетонної суміші на виході із змішувача та температури її ущільнення відповідно до марок бітуму БНД 40/60 та БНД 60/90).

Такі вимоги до температури виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей можна вважати революційними по відношенню до вимог ГОСТ 9128-84 [9], що діяли до розроблення даних стандартів, і в яких установлювали загальну температуру виробництва та ущільнення для бітумів марок БНД 40/60, БНД 60/90 та БНД 90/130.

У Європейському Союзі використовують інший підхід до встановлення технологічних температур в стандартах щодо технічних вимог до асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів. Так, в EN 13108-1:2016 [10] встановлено вимоги до максимальної температури асфальтобетонної суміші, що пов'язано з необхідністю збереження властивостей асфальтобетонної суміші.

Вимоги ж до температури перемішування мінерального матеріалу з бітумом та температури ущільнення асфальтобетонної суміші встановлено в EN 12697-35:2016 [11]. У даному стандарті встановлено опорні

температури ущільнення асфальтобетонних сумішей залежно від марки використовуваного бітуму.

Відповідно до EN 12697-35:2016 [11] під час зменшення в'язкості бітуму (відповідно до встановленого маркування) опорна температура ущільнення асфальтобетонних сумішей поступово знижується на 5,0 °С.

У цей час, максимальна температура перемішування мінерального матеріалу з бітумом повинна бути не більше ніж на 20 °С вищою за опорну температуру ущільнення асфальтобетонних сумішей. Саме значення температури перемішування обирають так, щоб температура асфальтобетонної суміші на момент початку ущільнення знаходилась в межах $\pm 5,0$ °С від опорної температури ущільнення відповідно до марки бітуму. Тобто фактичний діапазон температури початку ущільнення становить 10 °С. Зазвичай за температуру перемішування кам'яного матеріалу з бітумом приймають температуру за якої в'язкість бітуму становить від 0,15 Па·с до 0,19 Па·с, а за температуру ущільнення – від 0,25 Па·с до 0,31 Па·с.

З метою уточнення технологічних температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей було виконано випробування 79 зразків бітумів із значенням глибини проникності голки за температури 25 °С в діапазоні від 45 · 0,1 мм до 106 · 0,1 мм. Для усіх досліджуваних бітумів визначали динамічну в'язкість за температури 135 °С та 160 °С та будували залежність динамічної в'язкості від температури. За температуру перемішування мінерального матеріалу з бітумом приймали температуру за якої в'язкість бітуму становила від 0,15 Па·с до 0,19 Па·с, а за температуру ущільнення – від 0,25 Па·с до 0,31 Па·с.

Результати випробування показали, що діапазон температури виробництва асфальтобетонних сумішей на бітумі марки БНД 50/70 становить від 162 °С до 175 °С, на бітумі марки БНД 70/100 – від 141 °С до 167 °С, а на бітумі марки БНД 100/150 – від 141 °С до 167 °С (табл. 1).

При порівнянні отриманих даних з існуючими вимогами можна бачити, що установлений діапазон температури виробництва асфальтобетонних сумішей на бітумі марки БНД 50/70 є на (10 – 22) °С вище за відповідний діапазон температур згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 [2] та всього на (5 – 7) °С вище за діапазон згідно з ДСТУ EN 13108-1 [10]. Установлений діапазон температури виробництва асфальтобетонних сумішей на бітумі марки БНД 70/100 є на (6 – 12) °С вище за відповідний діапазон температур згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 [2], а нижня межа встановленого діапазону є на 9 °С нижчою за відповідну межу згідно з ДСТУ EN 13108-1 [10] при практично однаковій верхній межі діапазону температур. При порівнянні даних по бітуму марки БНД 100/150 бачимо, що отриманий діапазон практично співпадає з діапазоном температур згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 [2] та є значно нижчим за діапазон температур згідно з ДСТУ EN 13108-1 [10] (на (10 – 15) °С).

Такі результати можуть свідчити про більшу температурну чутливість бітумів, що використовують в Україні, в порівнянні з бітумами, що виробляють та використовують в Європейському Союзі.

Проведені дослідження дозволили установити орієнтовну температуру нагрівання бітуму під час виробництва асфальтобетонних сумішей, температуру нагрівання заповнювачів на виході із сушильного барабана, температуру асфальтобетонних сумішей на виході зі змішувача та перед вивантаженням в асфальтоукладач (табл. 1).

Таблиця 1

Орієнтовні температури

Марка бітуму	Температура, °С			
	бітуму, що подають у змішувач	заповнювачів на виході із сушильного барабана	асфальтобетонної суміші на виході зі змішувача	асфальтобетонної суміші перед вивантаженням в асфальтоукладач
БНД 35/50	від 160 до 180	від 180 до 190	від 165 до 180	не нижче ніж 155
БНД 50/70	від 150 до 170	від 175 до 185	від 155 до 170	не нижче ніж 145
БНД 70/100	від 145 до 165	від 170 до 180	від 150 до 165	не нижче ніж 140
БНД 100/150	від 135 до 155	від 165 до 175	від 140 до 155	не нижче ніж 130

Список використаних джерел

1. Золотарьов В.О. Дорожні бітумні в'язучі та асфальтобетони. Частина 2. Дорожні асфальтобетони. Харків: ХНАДУ, 2016. 204 с.
2. ДСТУ В.В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови [Чинний від 2012-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2019. 49 с.
3. Пиріг Я.І. Про особливості призначення температури технологічного нагріву бітуму. *Вісник ХНАДУ*. 2013. Вип. 60. С. 95-99.
4. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови [Чинний від 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 14 с.
5. ДБН В.2.3-4-2000 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Київ, 2000.
6. ДСТУ В.В.2.7-119:2003 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови [Чинний від 2003-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держбуд України. 2003.
7. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі змінами. Київ, 2015. 94 с.
8. ДБН В.2.3-4:2007 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі змінами. Київ, 2007.
9. ГОСТ 9128-84 Суміші асфальтобетонні дорожні, аеродромні і асфальтобетон. Технічні умови.
10. EN 13108-1:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt Concrete.
11. EN 12697-35:2016 Bituminous mixtures – Test methods – Part 35: Laboratory mixing.

ВИБІР БІТУМУ ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ОСНОВІ УМОВ ЕКСПЛУАТУВАННЯ

SELECTION OF BITUMEN DURING THE DESIGN OF A ROAD PAVEMENT STRUCTURE BASED ON THE CLIMATIC CONDITIONS OF EXPLOITATION

Копинець І.В., к.т.н., Соколова О.Б., Юнак А.Л. (Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)

Kopynets I.V., Ph.D., Sokolova O.B., Yunak A.L. (State enterprise «State Road Research Institute named after M. P. Shulgin», Kyiv)

Найбільш поширеним матеріалом для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг є асфальтобетон. До суттєвих переваг асфальтобетону належать високі експлуатаційні характеристики, порівняно високі технічні показники, придатність до регенерації тощо. У той же час асфальтобетону притаманні і недоліки, одним з яких є значна залежність міцності та деформативних характеристик від температури довкілля. Вирішальну роль в температурних властивостях асфальтобетону відіграє бітум. Наразі в Україні відсутні чіткі критерії щодо вибору бітуму, які б ураховували умови роботи асфальтобетону в конструкції дорожнього одягу, але уже виконуються перші кроки у цьому напрямку [1, 2]. Мета даної роботи полягала у практичному визначенні необхідних властивостей бітуму відповідно до раніше запропонованих алгоритмів [1 – 3].

Для визначення потрібних властивостей бітуму за кліматичними умовами (PG-марки) було прийнято ділянку автомобільної дороги II категорії, що проходить у межах Київської області від адміністративного кордону Житомирської області через м. Сквиря, м. Біла Церква, м. Кагарлик до адміністративного кордону Черкаської області (рисунок 1).

У районі проходження автомобільної дороги розташовані дві метеорологічні станції в м. Біла Церква (знаходиться безпосередньо в районі проходження автомобільної дороги на 53 км від її початку) та м. Миронівка (знаходиться в 27 км на південь від м. Кагарлик, що знаходиться в 35 км від кінця ділянки автомобільної дороги та в 57 км від м. Біла Церква).

Для аналізування кліматичних характеристик прийнято період з 2005 року до 2020 року. Зведені дані щодо середньої з максимальних температур повітря впродовж семи послідовних днів для кожного року аналізування та мінімальної температури повітря для кожного року аналізування наведено в таблиці 1.

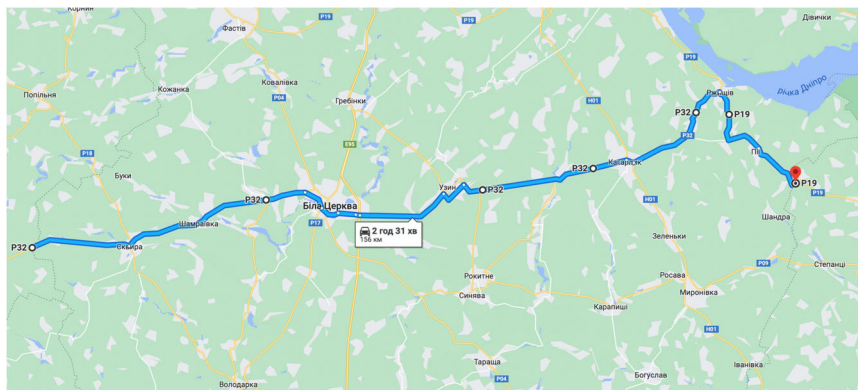


Рис. 1. Схематичне зображення ділянки автомобільної дороги

Таблиця 1

Кліматичні характеристики за даними метеорологічної станції в м. Біла Церква та в м. Миронівка

Рік	Середня з максимальних температур повітря впродовж семи послідовних днів, °С, за даними метеорологічної станції в місті		Мінімальна температура повітря, °С, за даними метеорологічної станції в місті	
	Біла Церква	Миронівка	Біла Церква	Миронівка
2005	31,3	31,2	мінус 24,5	мінус 23,6
2006	27,5	28,8	» 25,5	» 26,9
2007	32,7	32,6	» 17,8	» 16,5
2008	33,0	33,7	» 17,5	» 16,4
2009	29,8	30,5	» 27,5	» 23,3
2010	35,1	37,0	» 24,4	» 25,0
2011	31,0	31,0	» 18,5	» 16,0
2012	32,3	32,4	» 30,8	» 29,8
2013	29,3	29,3	» 18,2	» 14,2
2014	32,2	31,4	» 23,4	» 23,0
2015	31,3	26,7	» 19,2	» 18,5
2016	26,9	32,0	» 21,6	» 21,3
2017	31,8	32,1	» 22,7	» 17,4
2018	29,1	29,9	» 23,4	» 19,5
2019	30,0	30,5	» 22,9	» 18,1
2020	31,3	31,4	» 9,2	» 9,6

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

Середню максимальну та мінімальну температури повітря за період аналізування та стандартні відхилення наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Розраховані температури повітря

Показник	За даними метеорологічної станції в місті	
	Біла Церква	Миронівка
Середня максимальна температура повітря, °С	30,9	31,6
Стандартне відхилення, °С	2,10	1,99
Середня мінімальна температура повітря, °С	мінус 21,7	мінус 19,9
Стандартне відхилення, °С	4,98	5,16

Оскільки дана автомобільна дорога належить до II категорії, то прийнятий рівень надійності становив 98 %.

До розрахунку прийнято конструкцію дорожнього одягу з трьома шарами асфальтобетону товщиною відповідно 5 см, 6 см та 10 см.

Розраховану відповідно до [1] середню максимальну розрахункову температуру асфальтобетонного шару та середню мінімальну розрахункову температуру асфальтобетонного шару наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розраховані температури асфальтобетонного шару

Тип асфальтобетонного шару	Дорожній покрив	Зв'язуючий	Верхній шар дорожньої основи
Товщина асфальтобетонного шару, мм	50	60	100
Розрахункова глибина розташування асфальтобетонного шару, мм	20	70	130
Середня максимальна розрахункова температура асфальтобетонного шару, °С	54,29/54,79	49,37/49,88	46,16/46,66
Розрахункова глибина розташування асфальтобетонного шару, мм	0	50	110
Середня мінімальна розрахункова температура асфальтобетонного шару, °С	-26,7/-25,7	-23,8/-22,7	-22,2/-21,1
Примітка. У чисельнику надано температури, установлені за даними метеорологічної станції в м. Біла Церква, у знаменнику – в м. Миронівка.			

Установлені потрібні марки бітуму, уточнені марки бітуму, а також потребу в модифікуванні наведено в табл. 4.

Потрібні марки бітуму

Тип асфальтобетонного шару	Дорожній покрив	Зв'язуючий	Верхній шар дорожньої основи
Установлена потрібна марка бітуму	PG 58-28/ PG 58-28	PG 52-28/ PG 52-28	PG 52-28/ PG 52-22
Уточнена потрібна марка бітуму	PG 70-28/ PG 70-28	PG 64-28/ PG 64-28	PG 64-28/ PG 64-22
Потреба в модифікуванні	потребує/ потребує	потребує/ потребує	потребує/ не потребує
Примітка. У чисельнику надано марки бітуму, установлені за даними метеорологічної станції в м. Біла Церква, у знаменнику – в м. Миронівка.			

Установлені потрібні марки бітуму є практично однаковими. Відмінність полягає тільки в марці бітуму для асфальтобетону верхнього шару основи. Потрібно врахувати, що метеорологічна станція в м. Миронівка розташована 27 км на південь від прийнятої ділянки автомобільної дороги, а різниця в середній мінімальній розрахунковій температурі асфальтобетонного шару становить 1,1 °С, тому для всієї ділянки автомобільної дороги доцільно прийняти бітум з вищими експлуатаційними характеристиками.

Додатково доцільно виконати техніко-економічне порівняння різних варіантів конструкції дорожнього одягу. Наприклад, збільшення товщини асфальтобетону зв'язуючого шару призведе до підвищення середньої мінімальній розрахунковій температурі асфальтобетону верхнього шару дорожньої основи, що дозволить прийняти для асфальтобетону цього шару немодифікований бітум.

Оскільки наразі в Україні відсутнє необхідне лабораторне обладнання для визначення експлуатаційних характеристик бітуму, то у подальшому доцільно виконати аналіз взаємозв'язку між експлуатаційними та пенетраційними характеристиками для можливості вибору бітуму відповідно до національних стандартів.

Список використаних джерел

1. Копинець І. В., Соколова О. Б., Юнак А. Л. Вибір бітуму для виробництва асфальтобетонних сумішей з урахуванням експлуатаційних умов. *Дороги і мости*. 2022. Вип. 25. С. 48–57.
2. Золотарев В. А., Пыриг Я. И. Применение метода выбора марки битумного вяжущего, в соответствии с системой Suregrave, в условиях Украины. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков, 2018. Вып. 82. С. 119–130.
3. Проект ДСТУ Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до бітумних в'язучих за кліматичними умовами експлуатування. Київ, 2022, 30 с.

УСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДУ УЩІЛЬНЕННЯ НА ОБ'ЄМНІ ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPACTION METHOD ON THE VOLUMETRIC PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETES

**Копинець І.В., к.т.н., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д.,
Головченко В.С. (Державне підприємство «Державний дорожній
науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)**

**Kopynets I.V., Ph.D., Sokolov O.V., Zheltobriukh A.D.,
Golovchenko V.S. (State enterprise «State Road Research Institute named
after M. P. Shulgin», Kyiv)**

Одним з аспектів євроінтеграції України є впровадження європейських підходів до проектування складу асфальтобетонних сумішей. В Україні, як і в інших європейських країнах, під час проектування складу асфальтобетонних сумішей виготовляють зразки асфальтобетону ущільненням в лабораторних умовах. В Україні з цією метою використовують метод пресування за тиску ($30,0 \pm 0,3$) МПа, якщо вміст щебеню у суміші більше або дорівнює 35 %, або за тиску ($40,0 \pm 0,4$) МПа, якщо вміст щебеню в суміші становить до 35 %. У країнах Євросоюзу з цією метою переважно використовують метод ударного ущільнення Маршала за 100 ударів (по 50 з кожного боку). Тому, доцільно установити вплив методу ущільнення асфальтобетонних сумішей на об'ємні властивості асфальтобетону.

Для дослідження було прийнято асфальтобетонну суміш типу Б, що містила 40 % крупного заповнювача, 49 % дрібного заповнювача та 11 % наповнювача. Вміст бітуму становив від 6,0 % до 7,5 % від маси мінеральних матеріалів.

Використані у дослідженні матеріали мали такі показники фізико-механічних властивостей:

– крупний заповнювач: марка за дробимістю – 1200; марка за стиранистю – Ст-I; марка за морозостійкістю – F150; вміст зерен лещадної та голчатої форми – 3,6 %.

– наповнювач: пористість у разі ущільнення 40 МПа – 29,7 %; набрякання зразків із суміші порошку з бітумом – 0,4 %; структурувальна здатність – 14 °С.

– бітум: пенетрація за температури 25 °С – $74 \times 0,1$ мм, температура розм'якшеності – 47 °С, температура крижкості – мінус 23 °С.

Розрахункова дійсна щільність суміші мінеральних матеріалів становила $2,658 \text{ г/см}^3$.

Визначена на основі температурно-в'язкісної залежності температура змішування бітуму з мінеральними матеріалами становила від 154,5 °C до 160,0 °C, а ущільнення асфальтобетонної суміші – від 143,5 °C до 148,5 °C.

На першому етапі виконували порівняння об'ємних властивостей асфальтобетонів, виготовлених методом пресування за тиску $(30,0 \pm 0,3)$ МПа та методом ударного ущільнення за 50 ударів з кожного боку.

Установлено, що метод ущільнення має суттєвий вплив на середню густину асфальтобетону. У обох випадках із збільшенням вмісту бітуму має місце зростання середньої густини асфальтобетону, що пов'язане із заміщенням повітряних пор бітумом. Однак, у всіх випадках середня густина асфальтобетонних зразків, виготовлених методом пресування є більшою за середню густину асфальтобетонних зразків, виготовлених методом ударного ущільнення. Навіть для асфальтобетонних зразків, виготовлених з використанням ударного ущільнювача, з асфальтобетонної суміші з 7,5 % бітуму не досягнуто середньої густини асфальтобетонних зразків, виготовлених з використанням методу пресування, з асфальтобетонної суміші з 6,0 % бітуму. Насамперед це пов'язано з тим, що асфальтобетон, отриманий методом пресування має більшу середню густину мінеральної частини, тобто зерна мінерального матеріалу розташовані більш щільно. Так, за вмісту бітуму 6,0 % середня густина мінеральної частини зразків, виготовлених методом ударного ущільнення, становить $2,157 \text{ г/см}^3$, а для зразків, виготовлених пресуванням, – $2,200 \text{ г/см}^3$. Такі відмінності в середній густині мінеральної частини є причиною суттєвих відмінностей у вмісті пор у мінеральній частині. В середньому різниця між вмістом пор у мінеральній частині становить близько 1,7 % за об'ємом або ж практично 10 %. Оскільки бітум заповнює пори між зернами заповнювача, то для досягнення одного рівня залишкової пористості для асфальтобетону з меншим вмістом пор у мінеральному заповнювачі необхідно менше бітуму. Підтвердженням цього є і результати щодо відсотку пор, заповнених в'язучим. Так, різниця між відсотком пор, заповнених в'язучим, становить близько 0,2 % за об'ємом, в той час як за абсолютним значенням така різниця становить близько 9 %.

Такі результати не могли не позначитися на значеннях залишкової пористості та водонасичення асфальтобетону. У всіх випадках залишкова пористість та водонасичення є вищими у зразків, виготовлених ударним ущільненням.

Якщо значення залишкової пористості розглядати як критерій оптимального вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші, то за ущільнення методом пресування абсолютне значення оптимального вмісту бітуму буде нижчим. Так, для асфальтобетонної суміші, ущільненої пресуванням, оптимальний вміст бітуму, визначений як вміст бітуму за якого залишкова пористість становить 3,5 %, буде становити близько 6,25 %, тоді як для

асфальтобетонної суміші, ущільненої ударним ущільнювачем, оптимальний вміст бітуму за аналогічними критеріями буде становити 7,1 %. Це суттєво вплине на вартість асфальтобетонної суміші, оскільки призведе до перевитрат бітуму орієнтовно на 7,5 кг на тонну асфальтобетонної суміші. Це є хорошим аргументом для віддання переваги ущільненню пресуванням. Якщо враховувати дослідження ХНАДУ [1], то ще більш економічним буде ущільнення асфальтобетонної суміші секторним або гіраторним ущільнювачем, оскільки за такого ущільнення оптимальний вміст бітуму є ще нижчим за оптимальний вміст бітуму, що встановлений при ущільненні пресуванням. Тим не менше, доцільно все ж таки оцінювати методи ущільнення за комплексом властивостей асфальтобетону, зокрема його втомною довговічністю, тріщино- та колієстійкістю, що на разі не є можливим у зв'язку з поганою укомплектованістю дослідної лабораторії.

Можна припустити, що зменшення оптимального вмісту бітуму є економічно вигідним та може сприяти підвищенню колієстійкості, однак чи не погіршиться при цьому стійкість асфальтобетону до старіння в результаті зменшення товщини плівки на заповнювачі та чи не зменшиться його атмосферостійкість та втомна довговічність у зв'язку з тим же зменшенням товщини плівки бітуму.

Підвищити середню густину асфальтобетону можна шляхом використання добавок на основі поверхнево-активних речовин або шляхом збільшення навантаження. Саме другий спосіб використовують у США [2] для проектування складу асфальтобетонних сумішей, що використовують для влаштування шарів дорожнього одягу на автомобільних дорогах з великим транспортним навантаженням. Для даного випадку рекомендованим є ущільнення асфальтобетонної суміші за 75 ударів з кожного боку.

Збільшення кількості ударів під час ударного ущільнення призводить до зростання середньої густини асфальтобетону. Зростання середньої густини асфальтобетону можна охарактеризувати за коефіцієнтом ущільнення, а саме відношенням середньої густини асфальтобетону, отриманого ущільненням за 50 ударів з кожного боку, до середньої густини асфальтобетону, отриманого ущільненням за 75 ударів з кожного боку. Відповідно до отриманих результатів він буде становити 0,982.

Збільшення кількості ударів призводить до отримання співставних результатів середньої густини асфальтобетону, тобто під час ущільнення ударним ущільнювачем за 75 ударів з кожного боку отримуємо таку ж середню густину асфальтобетону як і за ущільнення пресуванням. Це дозволяє припустити, що вітчизняний метод ущільнення відповідає ударному методу, що використовують під час проектування складу асфальтобетонних сумішей у США для доріг з великим транспортним навантаженням.

Зростання середньої густини пов'язане із збільшенням середньої густини мінеральної частини. У зв'язку з цим відбувається зменшення вмісту пор у мінеральній частині. Оскільки відбувається зменшення вмісту пор у мінеральній частині, то, відповідно, для заповнення цих пор необхідна менша кількість бітуму для досягнення необхідного значення залишкової пористості.

Збільшення кількості ударів не призводить до зростання відсотку пор, заповнених в'язучим. Відповідно для усіх трьох випадків маємо практично однакові результати. Однак, зменшення загального вмісту пор у заповнювачі призводить до більшого абсолютного заповнення пор бітумом. Вищенаведені зміни властивостей асфальтобетонів призводять і до зміни залишкової пористості. Із збільшенням кількості ударів з 50 до 75 з кожного боку відбувається зниження залишкової пористості з 4,68 % до 2,94 %, тобто залишкова пористість практично досягає значення залишкової пористості асфальтобетону, ущільненого пресуванням (2,86 %).

Варто зазначити, що водонасичення асфальтобетону, отриманого ущільненням пресуванням, є завжди нижчим за водонасичення асфальтобетону, отриманого ударним ущільненням. Це свідчить про більшу кількість закритих пор не доступних для води в асфальтобетоні, отриманому з використанням методу пресування. У такому випадку можна припустити, що під час виробничого ущільнення в асфальтобетоні також може формуватися відмінна від лабораторного ущільнення кількість закритих пор, що дозволяє поставити під сумнів використання показника водонасичення для оцінювання якості ущільнення асфальтобетонних сумішей та й для оцінювання асфальтобетонних сумішей взагалі.

Представлені результати показали, що впровадження європейських методів проєктування складу асфальтобетонних сумішей буде доволі проблематичним, оскільки зміна методу ущільнення асфальтобетонної суміші впливає на всі об'ємні властивості асфальтобетонів. У зв'язку з цим потребують уточнення вимоги до пористості мінеральної частини, а також до критеріїв якості виробничого ущільнення асфальтобетонних сумішей.

Тому подальші дослідження мають бути спрямовані на установлення оптимального лабораторного методу ущільнення асфальтобетонних сумішей з урахуванням їх типу та виду, а також кількості прикладань розрахункового навантаження, з урахуванням мети такого ущільнення.

Список використаних джерел

1. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести комплексні дослідження з установлення оптимального методу лабораторного ущільнення асфальтобетонних сумішей та визначення ступеня їх ущільнення в шарах дорожнього одягу та підготувати пропозиції щодо необхідності внесення змін у відповідні нормативно-технічні документи», Київ, 2021.

2. Asphalt Design Mix Methods. 7th Edition. USA, 2014. 188 p.

СУПЕРШВИДКОТВЕРДНУЧІ ШЛАКОЛУЖНІ ЦЕМЕНТИ ДЛЯ АВАРІЙНОГО ВІДНОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ПОКРИТТІВ

SUPER-RAPID HARDENING ALKALI-ACTIVATED SLAG CEMENTS FOR EMERGENCY REHABILITATION OF CONCRETE COATINGS

Кривенко П.В., д.т.н., проф., Руденко І.І., д.т.н., с.н.с.,
Константиновский О.П., к.т.н., доц. (Науково-дослідний інститут
в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету
будівництва і архітектури)

Krivenko P.V., D.Sc. (Eng.), Professor, Rudenko I.I., D.Sc. (Eng.), S.
Scientist, Konstantynovskyi O.P., Ph.D. (Eng.), Associate Professor
(Scientific-Research Institute for Binders and Materials of Kyiv National
University of Construction and Architecture)

Відомо, що лужно-активовані цементи (за національним стандартом ДСТУ Б В.2.7-181:2008 – лужні цементи) за кінетикою набору ранньої міцності не уступають глиноземистому і сульфаталюмінатному цементам та перевершують всі відомі типи мінеральних в'язучих речовин за довговічністю. Це підтверджується тривалим досвідом експлуатації бетонів на основі лужно-активованих цементів в конструкціях самого різного призначення і умов експлуатації. Прикладом є розвиток міцності важкого бетону на основі шлаколужного цементу, використаного як покриття танкодрому (рис. 1).

а)



б)

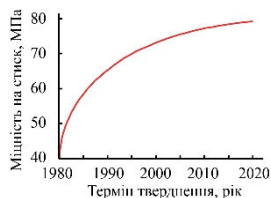


Рис. 1. Довговічність дорожнього покриття танкодрому. Матеріал: бетон на основі шлаколужного цементу. Споруджено в 1980 р.:
а) Фрагмент покриття (фото зроблено в 2020 р.); б) Розвиток міцності бетону впродовж 40 років експлуатації

Порівняльний аналіз довговічності бетонного дорожнього покриття, отриманого на основі шлаколужного цементу наведено на рис. 2.

Перспективність використання супершвидкотверднующих лужно-активованих цементів базується на досвіді використання їх аналогів – геополімерів при ремонті бетонних покриттів, в т.ч. злітно-посадочних смуг

і площадок для базування літаків, в Іраку після проведення військової операції Багатонаціональних коаліційних сил «Буря в пустелі» [1].



Рис. 2. Частина литого покриття дорожнього полотна (м. Тернопіль, Україна). Матеріал: бетон на основі шлаколужного цементу (ліворуч), для порівняння - бетон на основі портландцементу (праворуч). Споруджено в 1984 р. Фото зроблено в 2000 р.

Фізико-механічні властивості лужних цементів, регламентовані вищезгаданим стандартом, характеризуються міцністю на стиск на 2 добу – 30 МПа, у віці 28 діб – 100 МПа.

Активність лужних цементів пояснюється особливостями гідратних новоутворень. Залежно від складу лужно-активованого цементу змінюється вид продуктів гідратації [2]. Так, продукти гідратації шлаколужного цементу характеризуються поряд низькоосновними гідросилікатами кальцію складу $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ додатковим вмістом лужних гідроалюмосилікатів складу $\text{Na}_2\text{O(K}_2\text{O)-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Натомість лужний портландцемент, навпаки, характеризується максимальним вмістом клінкерної складової та, відповідно, пріоритетним вмістом у продуктах гідратації (в основному) низькоосновних гідросилікатів кальцію і додатковим вмістом фаз складу $\text{CaO-Na}_2\text{O(K}_2\text{O)-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ [3]. Проміжні місця за композиційним складом і, як наслідок, за складом продуктів гідратації займають лужні цементи інших типів (пуцолановий, композиційний та шлакопортландцемент).

На відміну від згадуваної норми на лужні цементи, ДСТУ Б В.2.7-46 для цементів, які виготовляють на основі портландцементного клінкеру, регламентує максимальну марку 500. Національний стандарт ДСТУ Б EN 197-1:2015, який є тотожним перекладом європейської норми EN 197-1:2011, верхню границю стандартної міцності у віці 28 діб для цементів найвищого класу міцності (52,5) взагалі не регламентує.

Не зважаючи стандартизовані для лужних цементів високі показники міцності у віці 2 діб, практика будівництва вимагає в'язучих речовин для бетонних покриттів, здатних до супершвидкого тверднення і сприйняття навантажень від ходіння людей вже через 1 год після укладання, автотранспорту – через 4 год і авіатранспорту 1-го класу за злітною масою (≥ 75 т) – через 6 год. Такі бетони необхідні для аварійного відновлення і ремонту дорожніх та аеродромних покриттів, в т.ч. військового

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

призначення, у максимально стислі терміни. Саме розробці супершвидкотверднучих шлаколузних цементів для бетонних покриттів присвячене дане дослідження.

Як алюмосилікатний компонент було порівняно два типи ГДШ, мелених до питомої поверхні 4500 і 5300 см²/г (за Блейном). Хімічний склад ГДШ типу І характеризувався модулем основності ($M_o = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) рівним 1,17, вміст склофази 96 %. ГДШ типу ІІ характеризувався $M_o = 1,06$ і вмістом склофази 56 %.

В ролі лузних компонентів використано п'ятиводний метасилікат натрію $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (МС) і натрієве рідке скло (РС) з силікатним модулем (M_c) = 1,8...3,0 і густиною (ρ) = 1,30...1,38 г/см³.

Дванадцятиводний тринатрійфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, натрієвий лігносульфанат з рН= 9,5, поліізоціанат $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$, стеарат кальцію $\text{Ca}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ і портландцемент ПЦ І-500 були використані як добавки для регулювання тужавлення і тверднення бетону. Використано також добавку аморфізованої силіки марки AEROSIL® 90 (згідно з CAS 112 945-52-5, 7631-86-9). Заповнювач цементно-піщаних сумішей (1:3) було представлено стандартним піском СЕН.

Консистенцію сумішей визначали за розпливом (110...140 мм) на струшувальному столику згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Підтримували наступні умови тверднення зразків: після формування і до віку 3 діб – при відносній вологості 95...100 % і температурі 20±2 °С, після 3 діб – у воді. Міцність цементу визначали згідно з ДСТУ EN 196-1:2019.

Встановлено, що шляхом підбору силікатного модуля і густини розчину лузного компонента відповідно до характеристик алюмосилікатної складової, а також модифікуючих добавок можна коригувати строки тужавлення, консистенцію сумішей і її збереженість, швидкість тверднення та отримувати супершвидкотверднучі високоміцні і надвисокоміцні цементні матриці для аварійного відновлення бетонних покриттів: 20...26 МПа після 3 год (рис. 3), 56...63 МПа після 3 діб тверднення в нормальних умовах і до 100...123 МПа у віці 28 діб.

Ці показники перевершують ранній приріст міцності відомого за функціональним призначенням аналога на основі "Pyragment®" [4].

Актуальною для аварійного відновлення бетонних покриттів є подальша розробка лузно-активованих лузно-активованих супершвидкотверднучих цементів на основі портландцементів загальнобудівельного призначення, в т.ч. шлакопортландцемент, пуцолановий і композиційний цемент.

Можна передбачити, що вказаний підхід до модифікації найбільш повно розкриє потенціал таких в'язучих речовин в довговічних бетонних покриттях для особливих умов експлуатації, де крім міцності необхідними є вогнестійкість, регульовані усадочні деформації і пружно-пластичні властивості, здатність до тверднення під водою тощо [2, 3, 5].

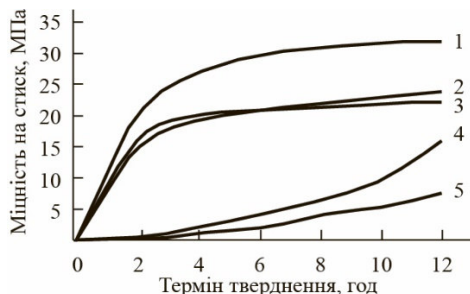


Рис. 3. Залежність міцності бетону від терміну тверднення при використанні як основи: 1 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу II (4500 см²/г) + РС ($M_c = 2,6$, $\rho = 1,38$ г/см³); 2 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу I (5300 см²/г) + РС ($M_c = 2,0$, $\rho = 1,36$ г/см³); 3 – ‘Pyrament®’; 4 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу II (5300 см²/г) + МС; 5 – шлаколуужний цемент: ГДШ типу I (5300 см²/г) + МС

Актуальною задачею є також використання силікатних луужних компонентів в сухому стані, що забезпечить отримання наномодифікованих луужно-активованих цементів як однопакувальних продуктів і, відповідно, спростить технології при їх використанні.

Список використаних джерел

1. Hambling D. Cool under pressure: geopolymers offer diverse Structural benefits. Defense Technology International. Washington, DC, 2009. P. 42.
2. Krivenko P. Why alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials. *Journal of ceramic science and technology*. Vol. 8, No. 3. P. 323-334.
3. Hybrid binders: A journey from the past to a sustainable future (opus caementicium futurum) / A. Palomo et al. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. 105829.
4. Early high-strength mineral polymer: patent U.S. Patent 4, 509, 985 United States: C04B 1904. No. 6/582,279; applied on 22.02.2022; published on 09.10.2022.
5. Clay calcination technology: state-of-the-art review by the RILEM TC 282-CCL / K.L. Scrivener et al. *Materials and Structures*. 2022. Vol 55. 3.

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЦЕМЕНТІВ, СКЛАДОВИХ ТА ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЦЕМЕНТОБЕТОНІВ

INFLUENCE OF THE QUALITY OF CEMENTS, COMPONENTS AND ADMIXTURES ON THE PROPERTIES AND DURABILITY OF CEMENT CONCRETES

**Кріпка Л.М. (Асоціація Укрцемент), Саницький М.А. д.т.н., проф.
(Національний університет «Львівська політехніка»)**

**Kripka L. (Ukrcement Association), M.A. Sanytsky DrSc., prof. (Lviv
Polytechnic National University)**

Питання вибору типу дорожнього одягу для автомобільних доріг актуальне від початку їх проектування. Дорожнє будівництво – матеріаломістке виробництво з високою часткою витрат на сировину та основні матеріали. Асоціація «Укрцемент» тісно співпрацює з ОТГ щодо розширення застосування бетонних технологій для ремонту і будівництва місцевих доріг. У кінці 2021 року розпочато проект «Довговічні дороги силами громади» щодо поширення алгоритму ремонту місцевих доріг ОТГ. Спільно з ДП «ДерждорНД» розроблено новий сучасний Альбом конструкцій жорсткого дорожнього одягу, який містить:

- найбільш поширені конструкції жорсткого дорожнього одягу, які враховують залежність від категорії автомобільної дороги, регіону влаштування дороги, рівня варіації ґрунтів та варіантів технологій;
- детальну характеристику кожної конструкції щодо товщин та матеріалів, а також її наочну візуалізацію;
- детальну інформацію щодо технологій відновлення/підсилення дорожнього одягу із застосуванням цементобетону (кращі практики – вайтопінг та укочений бетон).

Передумови влаштування цементобетонного покриття:

- дефіцит бітуму вітчизняного виробництва;
- постійне підвищення цін на бітум та висока імпортозалежність;
- висока міцність на стиск і згин, витримує значно більші осьові навантаження, що зменшує імовірність утворення колійності;
- вищі міжремонтні строки для доріг з цементобетонним покриттям;
- наявність виробничих потужностей вітчизняного цементу;
- незначні витрати на утримання;
- краща видимість в темний час доби.

Руйнівні наслідки та обсяг шкоди російської агресії для України уже великі. Але повна картина стане відомою після витіснення ворога з країни. Для відновлення інфраструктури потрібно встановлення мирного часу та фінансове забезпечення кожного окремого проекту. Дефіцит чи відсутність

бітуму стимулює відновлення транспортних мереж з цементобетонними технологіями, а також переходити на кращі практики та вітчизняні будівельні матеріали як будівництва, так і аварійних ремонтів.

Позитивний досвід застосування укоченого бетону (RCC) на об'єктах транспортної інфраструктури є у різних країнах світу, зокрема на автомобільних дорогах невисокого значення та низьких категоріях. Роботи з влаштування покриття із RCC виконують на сухому, чистому, рівному, немерзлому шарі основи, похил якого повинен відповідати проектному, та який здатний сприймати навантаження від проходження технологічного транспорту без руйнувань.

Переваги RCC:

- покриття здатне витримувати значні навантаження, що дозволить забезпечити нормативні вимоги (можливо, навіть вищі) щодо надійності та довговічності автомобільних доріг низьких категорій;
- технологія не потребує застосування спеціальної техніки (основу ланки складають асфальтоукладач та дорожні котки);
- технологія дозволяє значно швидше відкрити рух для проїзду транспортних засобів у порівнянні з цементобетонним покриттям із штирковим з'єднанням плит;
- технологія може бути досить ефективною, враховуючи гострий дефіцит в Україні бітумних матеріалів та їх високу вартість.

Whitetopping-технологія передбачає усунення поверхневих дефектів асфальтобетонного покриття, а також підсилення існуючого нежорсткого дорожнього одягу шляхом нанесення на покриття шару із цементобетону під час капітального ремонту. Цю технологію доцільно застосовувати для усунення проблемних ділянок із дефектами верхнього шару покриття на автомобільних дорогах з інтенсивним рухом вантажних транспортних засобів (понад 20 % вантажних автомобілів), а також на ділянках, що мають пластичні деформації, зокрема в критичних зонах у межах міста та в зонах зміни режиму руху (світлофори та перехрестя, смуги руху маршрутних транспортних засобів, зупинки маршрутного транспорту тощо). Замість повної заміни покриття проводиться швидкий ремонт пошкодженого покриття за допомогою укладання тонкого шару цементобетону, для якого існуюча конструкція дорожнього одягу служить основою. Цементобетонне покриття здатне витримувати значні навантаження, в зв'язку з чим строк його експлуатації не залежить в значній мірі від інтенсивності та складу транспортного потоку. Використовується при влаштуванні тонких і звичайних видів покриття.

Застосування прогресивних світових технологій для відновлення та відбудови дорожньої інфраструктури потребує високоякісних цементів, заповнювачів та хімічних добавок. Статус асоційованого члена ЄС та сучасне законодавство зобов'язує Україну замінити нормативну базу на європейську. Основний стандарт на цемент ідентичний європейському

«ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Частина 1 Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів (EN 197-1:2011, IDT)» є у Переліку національних стандартів для цілей застосування Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» (наказ Мінрегіону № 54 від 18.02.2022).

Для виготовлення дорожніх бетонів в основному використовують цементи загальнобудівельного призначення категорії «ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТИ». При виборі цементу враховують ряд критеріїв, в першу чергу – це умови експлуатації майбутніх доріг, а саме навантаження на дорогу; місце роботи бетону; агресивна дія навколишнього середовища; використання протиморозних засобів. Зазначеним вимогам відповідає портландцемент ПрАТ “Івано-Франківськцемент”, що виготовляється на основі портландцементного клінкеру нормованого мінералогічного складу (мас. %: C_3S – 60,82; C_2S – 14,62; C_3A – 6,76; C_4AF – 12,32; вміст Na_2O_e - 0,8. Висока активність портландцементного клінкеру ($R_{c28}=52-54$ МПа) визначає можливість одержання різних видів портландцементів з високою ранньою міцністю. В результаті для дорожнього будівництва забезпечується досягнення показників ранньої міцності бетонів, в т. ч. марочної міцності на згин через 3-7 діб (при правильному підборі заповнювачів бетону). За результатами перевірки «СЕПРОЦЕМ» встановлено, що портландцемент для дорожніх бетонів як за хіміко – мінералогічним складом, так і за фізико-механічними властивостями може використовуватись на всій території України для облаштування одношарового або верхнього шару двошарового покриття автомобільних доріг IV категорії, а також для нижнього шару двошарового покриття автомобільних доріг I-IV категорій. Для контролю якості дорожніх цементів застосовуються ті ж основні правила, як і для портландцементу. Стратегія розвитку цементів для дорожнього будівництва передбачає оптимізацію властивостей (легковкладальність, стандартна та рання міцність, довговічність, вартість, вплив на навколишнє середовище).

Необхідний рівень міцності і експлуатаційних властивостей цементобетонів нового покоління досягається якісним проектуванням складу, вибором технології виготовлення, доглядом, доведенням якості цементобетону до необхідного рівня технічного стану на стадії експлуатації, а також економічною ефективністю. Проектування складу цементобетону включає систему технологічних розрахунків для встановлення такого співвідношення між компонентами бетонної суміші, що гарантує необхідну міцність і довговічність бетону в дорожньому полотні та задану зручність її укладання з урахуванням технології виробництва та ущільнення, а також необхідну економічність.

Слід зазначити, що згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95 зерновий склад піску для будівельних робіт знаходиться в межах 0,16...5,0 мм. В той же час, згідно норм ЄС зерновий склад піску складає 0-2 мм, а наступні фракції

заповнювачів - відповідно 2-8 та 8-16 мм. В Україні при виготовленні бетонних сумішей часто використовують дуже дрібні піски ($M_k=1,0\dots1,5$) та крупні заповнювачі фракції 5-20 мм і вище. При цьому відсутність фракції від 2 до 5 мм у бетонній суміші призводить до збільшення міжзернової пористості в бетоні та перевитрати цементу. В результаті на практиці виникає потреба кореляції результатів випробувань цементобетонів, запроєктованих згідно з вітчизняними та європейськими стандартами.

Характерно, що цементобетон як багатокomпонентний композит містить ряд капілярів і пор, які наповнені повітрям та/або водою; вказаний поровий простір (капілярно-пориста структура) розподіляється переважно в зонах з міжфазними межами. Внутрішня структура бетону є багатофазною та неоднорідною, гетерогенною. Технічні характеристики цементобетонного композиту переважно залежать від властивостей окремих складників, а також їх об'єму та конфігурації цих фаз у бетоні; важливим фактором є адгезія між складниками на різних масштабних рівнях.

Правильно запроєктований зерновий склад заповнювачів забезпечує задану легковкладальність бетонної суміші з врахуванням економічно доцільної витрати цементу. Крива зернового складу заповнювачів, що знаходиться в області задовільного гранулометричного складу, гарантує відповідну консистенцію бетонної суміші при якомога найменшій кількості води та цементу (розчинової складової), а також мінімальному вмісті повітря; при цьому також забезпечується низька проникність бетону та менша усадка. Слід зазначити, що на практиці для приготування бетонів часом використовуються заповнювачі невідповідного зернового складу. Проте такий бетон буде не економічним через необхідність використання значної кількості цементу і може характеризуватись пониженою легковкладальністю; пониженою міцністю, якщо кількість цементу не забезпечить заповнення надмірної кількості порожнин між зернами заповнювача; низькою довговічністю внаслідок підвищеної пористості.

Для цементобетонів слід також дотримуватись мінімальних термінів догляду, особливо в умовах понижених температур та сухого жаркого клімату. На початкових етапах тверднення цементобетон вразливий до втрати значної кількості води внаслідок її випаровування. Тому поверхня бетону повинна бути відповідно захищеною через захист поверхні бетону хімічними засобами, що запобігають випаровуванню води, або накрити бетон захисною плівкою. Мінімальний термін догляду, що забезпечує мінімальну експлуатаційну міцність, в значній мірі визначається швидкістю набору міцності бетону ($r = f_{cm,2} / f_{cm,28}$) і залежить від температури тверднення. Крім факторів, пов'язаних з доглядом, для цементобетонів важливе значення має також ступінь повітревтягування при вкладанні бетонної суміші. Одним з найбільш ефективних шляхів підвищення будівельно-технічних властивостей та довговічності цементобетонів є їх модифікування комплексними багатофункціональними добавками.

УДАРНА СТІЙКІСТЬ ВИСОКОМІЦНИХ ФІБРОБЕТОНІВ

IMPACT RESISTANCE OF HIGH STRENGTH FIBER REINFORCED CONCRETES

Марущак У.Д., д.т.н., проф., Сидор Н.І., д.філософії (Національний університет «Львівська політехніка»)

Marushchak U.D., D.Sc. (Eng.), prof., Sydor N.I., Ph.D. (Eng.) (Lviv Polytechnic National University)

Бетони є найбільш використовуваним матеріалом будівельної галузі завдяки універсальності, можливості регулювання міцності на стиск в широких межах, високій довговічності. Одним з основних способів зниження впливу бетону на навколишнє середовище є забезпечення високої міцності та підвищення довговічності конструкцій на його основі в різних умовах експлуатації. Одними з найнебезпечніших впливів на бетонні конструкції є динамічні навантаження. Ударні навантаження часто зустрічаються в інженерній практиці під час будівництва та експлуатації, як окремих конструкцій, так і цілих споруд, зокрема мостів, промислових споруд, портів, протиаварійних бар'єрів, злітних смуг аеропортів тощо. Ударних впливів зазнають конструкції під час природних, техногенних катаклізмів, воєнних дій – землетрусів, аварій, вибухів.

Підвищення довговічності конструкцій, в т.ч. стійкості до динамічних навантажень зумовлює розроблення високоміцних дисперсно-армованих бетонів. Принципи отримання високоміцних композитів базуються на направленому регулюванні процесами гідратації та тверднення на всіх структурних рівнях за рахунок комплексного використання хімічних та мінеральних добавок [1-4]. При застосуванні дисперсного армування виникають додаткові механізми підвищення в'язкості руйнування, пов'язані з появою значної кількості поверхонь розділу, які викликають дисипацію енергії руху тріщин [5].

У роботі досліджено вплив поліпропіленової фібри на ударну в'язкість високоміцного бетону, модифікованого суперпластифікатором полікарбоксилатного типу (1,5 мас. %), мікрокремнеземом (5,0 мас. %) та нанокремнеземом – Aerosil-380 (0,5 мас. %). Витрата портландцементу ПЦ І-500Р-Н становила 400 кг на 1 м³ бетонної суміші. Випробування проводили при дозуванні поліпропіленової фібри 0; 1,0 та 2,0 %. Марка за рухомістю бетонної суміші – Р4. Ударну в'язкість оцінювали величиною ударного навантаження низької швидкості до появи першої тріщини та до повного руйнування високоміцного бетону через 28 діб тверднення.

Випробуваннями міцності на стик через 28 діб отриманих бетонів встановлено, що при введенні фібри міцність дещо знижується і становить

99,4; 96,8 та 84,1 МПа відповідно для бетону без фібри, з 1,0 та 2,0 % фібри. За показниками міцності на стиск бетони відповідають вимогам щодо високоміцних. Як видно з рис. 1, введення фібри суттєво підвищує ударну в'язкість досліджуваних бетонів. Для високоміцних дисперсно-армованих бетонів ударна в'язкість за показником появи першої тріщини становить 42,0 Дж/см³ та 47,9 Дж/см³ відповідно при введенні 1,0 та 2,0 % фібри, у той час як для неармованого бетону – 6,7 Дж/см³. Через 28 діб тверднення показники ударної в'язкості модифікованого дисперсно-армованого бетону за показником повного руйнування зростають в 10,8 – 14,0 рази порівняно з неармованим модифікованим бетоном.

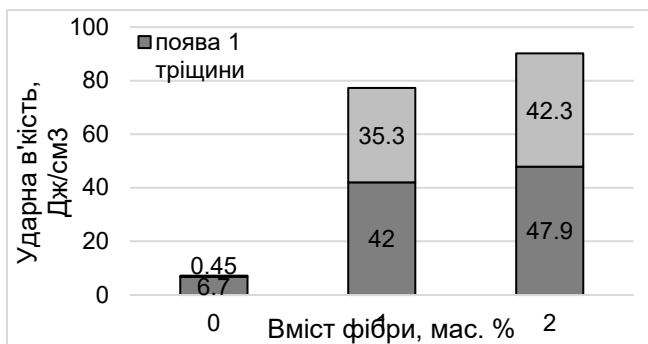


Рис. 1. Ударна в'язкість високоміцних бетонів

Дисперсне армування поліпропіленою фіброю забезпечує тривимірне зміцнення високоміцного фібробетону, що підвищує енергоємність процесу руйнування та зростання ударної стійкості композиту та забезпечує зростання довговічності конструкцій на його основі в умовах дії динамічних навантажень.

Список використаних джерел

1. Sanytsky M., Marushchak U., Olevych Y., Novytskyi Y. Nano-modified ultra-rapid hardening Portland cement compositions for high strength concretes. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 47. 2020. P. 392-399.
2. Solodkyy S., Markiv T., Sobol K., Hunyak O. Fracture properties of high-strength concrete obtained by direct modification of structure. *MATEC Web of Conference*. Vol. 116. 201701016.
3. Tolmachov S., Belichenko O. Physico-chemical investigations of water suspensions microfillers. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 100. P. 466–473.
4. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони забезпеченої довговічності для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. *Вісник ОДАБА*. 2020. Вип. 78. С. 89-96.
5. Chen M., Ren C., Liu Y., Yang Y., Wang E., Liang X. Effects of polypropylene fibre and strain rate on dynamic compressive behavior of concrete. *Materials*. № 12. 2019.

ОЦІНЮВАННЯ ДІЇ ВОДОМОРОЗНИХ ВПЛИВІВ НА ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF WATER AND FROST ON THE CRACK RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE COATING

Мозговий В.В., д.т.н., проф., Баран С.А., к.т.н., Гринчак І.І.
(Національний транспортний університет)

Mozgovii V.V., Ph.D., Professor, Baran S.A., Ph.D., Hrynychak I.I.
(National Transport University)

Згідно чинного нормативу ГБН В.2.3-37641918-559 [1] розрахунок на тріщиностійкість асфальтобетонного покриття здійснюють за критерієм опору розтягу при згині на період до кінця терміну служби дорожнього одягу. При цьому за розрахункові (найбільш несприятливі) умови для асфальтобетонного покриття прийнято: температура – 0° С; час дії навантаження – 0,1 с; місце дії горизонтальних нормальних напружень від дії транспортного навантаження – нижня частина покриття. Під час розрахунку визначають допустиме напруження при згині асфальтобетону за формулою

$$R_p = R_{\text{лаб}} k_m k_{\text{кп}} k_T, \quad (1)$$

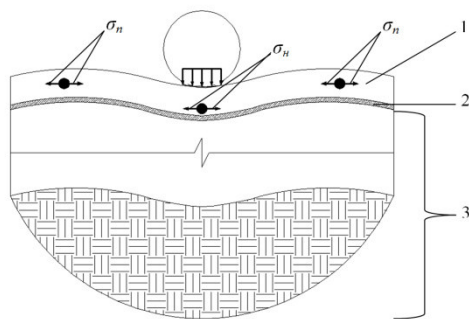
де $R_{\text{лаб}}$ – лабораторне значення границі міцності на розтяг при згині при одноразовому прикладанні навантаження; k_m – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов (табл. 1); k_T – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температуро-усадочних впливів; $k_{\text{кп}}$ – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторюваність навантажень на дорозі.

Таблиця 1
Значення коефіцієнту, що враховує зниження міцності в часі від дії
погодно-кліматичних умов для різних матеріалів шарів

Ч.ч.	Матеріал шару, що розраховується	k_m
1	Полімерасфальтобетон	1,00
2	Асфальтобетон щільний: І марки	0,95
	ІІ марки	0,90
3	Асфальтобетон щєбєнево-мастиковий	0,85
4	Асфальтобетон пористий	0,75
5	Асфальтобетон високопористий	0,70

Із наведеного слідує, що на стадії проектування асфальтобетонного покриття при розрахунку його на тріщиностійкість від дії транспортного навантаження врахування водоморозних впливів реалізується через застосування коефіцієнта k_m , який передбачає врахування зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов. Загальновідомо, що водоморозні впливи негативно впливають на структурні зв'язки асфальтобетону не тільки послаблюючою дією води до замерзання та її розклинюючою дією під час замерзання в порах, а також (на відміну від цементобетону) ще додатково за рахунок суттєвої різниці коефіцієнтів лінійного температурного деформування бітумного в'язучого та мінеральної частини. Однак його застосування не достатньо повно враховує вплив водоморозних факторів до кінця терміну служби дорожнього одягу, терміни якого можуть бути різними для різних категорій доріг та інших обставин, а також не враховується те, що параметри погодно-кліматичних умов є різними для різних кліматичних регіонів. Також слід зауважити, що морозостійкість асфальтобетону суттєво залежить від його складу та застосування різних модифікаторів [2 – 6].

Крім того слід звернути увагу на те, що чинний нормативний документ дозволяє виконувати розрахунки асфальтобетонного покриття на дію горизонтальних нормальних розтягуючих напружень від дії транспортних засобів тільки у випадку коли вони виникають в нижній частині покриття σ_n у розрахунковий період (рис.1).



1 – асфальтобетонне покриття; 2 – прошарок, що з'єднує асфальтобетонне покриття з нижніми шарами; 3 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна.

Рис. 1. Схема роботи асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження

Також необхідно звернути увагу на те, що у верхніх шарах асфальтобетонного покриття завжди діють горизонтальні нормальні розтягуючі напруження σ_n від дії транспорту в різні сезони року, а не тільки

в розрахунковий період. Це, безумовно, також призводить до розриву структурних зв'язків асфальтобетону та пошкодження його структури, тому на кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету запропоновано при розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонного покриття від дії транспортних навантажень враховувати вище вказані обставини з одночасним впливом водоморозних факторів. У даному випадку пропонується використати базові теоретичні положення кінетичної теорії міцності твердих тіл та принципи Пальгрейна-Майнера та Бейлі, які є основою аналітичних залежностей чинного нормативу [1]. У загальному виразі критерію граничного стану при визначенні міри вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття M пропонується врахувати сумарну дію від транспортного навантаження та водоморозних впливів

$$M = M_{Tp} + M(N_{BMP3}) \leq 1, \quad (2)$$

де M_{Tp} – міра вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття від дії транспорту;

$M(N_{BMP3})$ – міра вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття від водоморозних впливів.

У виразі (2) міру вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття від дії транспорту (з урахуванням загальновідомого підходу при циклічній дії напружень) визначається за виразом 3.

$$M_{Tp} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum N_p(t, \sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} + 2 \cdot \frac{\sum N_p(t, \sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} \right), \quad (3)$$

де $\sum N_p(t, \sigma)$ – сумарна інтенсивність прикладання розрахункового навантаження в i -тий період року, на момент часу експлуатації t при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття σ_n ;

$[N_p(t, \sigma)]$ – гранично допустима кількість прикладання розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття в i -тий період року при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття σ_n (встановлюються на основі експериментальних даних);

m – кількість характерних i -тих періодів року з близькими кліматичними умовами.

Міра вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття від водоморозних впливів M_{BMP3} виразу (2) визначається за розробленою методикою, суть якої полягає у наступному.

$$M(N_{BMP3}) = 1 - M(\sigma(t)), \quad (4)$$

де $M(\sigma(t))$ – міра вичерпування довговічності асфальтобетону в експерименті при встановленні $R_p = f(N_{BMP3})$ для заданого режиму зміни розтягуючих напружень $\sigma(t)$.

Таким чином аналітичні залежності для прогнозування порушення суцільності покриття при спільній дії факторів: транспортного навантаження та водоморозних впливів дає можливість підвищити точність прогнозування довговічності асфальтобетонного покриття

Список використаних джерел

1. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. [Чинний від 2019-06-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2019. 59 с.
2. Золотарєв В.А., Ильин Я.В. Влияние циклического замораживания-оттаивания на модуль упругости асфальтобетона. *Дороги и мосты*. 2017 Вып. 37/1. с. 236-250.
3. Victor Zolotaryov, Yaroslav Iliyev Evaluation of Asphalt Mixture Frost-Resistance based upon its Stiffness Proceedings of the 7th Eurasphalt & Eurobitume Congress v1.0, first published 1st July 2020, ISBN: 9789080288461. 8 p.
4. Ильин Я.В. Визначення зміни показників морозостійкості асфальтобетону при підвищенні процентного складу полімеру. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць*. Вип. 10. 2018. С 58-63.
5. Ильин Я.В. Влияние среды замораживания на показатели времени жизни асфальтобетона. Вісник Національного технічного університету «ХП». *Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Х.: НТУ «ХП», 2017. № 23 (1245). с. 22-26.
6. Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження довговічності щебеневомастикових асфальтобетонів різних видів за критерієм морозостійкості. *Дороги і мости*. 2017. Вип. 17. С. 61-66.

**БЕТОНИ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА
ШЛАКОВМІСНИХ ЦЕМЕНТАХ**

**CONCRETE FOR TRANSPORT PURPOSES ON SLAG-CONTAINING
CEMENTS**

Москаленко О.А. Голова департаменту (MC-Bauchemie Ukraine)

Moskalenko O.A. Head of the department (MC-Bauchemie Ukraine)

It is known that blast furnace granulated slag has a complex of physical and chemical properties. It is one of the main mineral additives used in the production of cement. The chemical composition of slag is dominated by such oxides as: CaO, MgO, SiO₂ and Al₂O₃, which account for 90...95% of the slag mass. Depending on the speed and method of cooling the slag melt, it is possible to obtain slag with a different content of the glass phase, the share of which is usually up to 80%.

This combination of slag properties makes it possible to use slag-containing cements, for example, CEM II, CEM III, CEM V, for the production of special types of concrete. Concretes based on such cements must have high density, water resistance, gas resistance, and high deformability. They are able to gain strength during the entire hardening period and constantly improve their characteristics. Such concretes include concretes for the construction of roads and runway, hydro technical concretes, and concretes for underwater construction.

However, there are problems with the use of slag-containing cements, primarily slag-portland cements, for the production of ready-mix concrete, which are operated under the influence of aggressive environments. The main problems are the slow set of strength and other indicators of the quality of heavy concrete, as well as the low frost resistance of concrete on cements containing an increased amount of slag, compared to cements without slag. Until now, there is no consensus on the reasons for the decrease in concrete performance on slag-containing cements. However, based on the analysis of literature data, it can be assumed that this is due to the porosity of the concrete structure, first of all, the structure of the hardened cement dough and the structure of the cement mortar. In addition, the cause may be a rather slow process of hydrolysis of slag minerals and, accordingly, delayed colloidal-chemical reactions of the subsequent hydration and crystallization of newly formed silicates.

Therefore, the urgent task of using such cements for the production of ready-mix concrete is the task of improving properties of the slag component of cement.

One of the ways to implement this task is a complex effect on several levels of the concrete structure. As elements of impact, the most likely use of modern superplasticizers, possessing a complex action. Their influence extends both to the sub-microstructure of concrete (hydrosilicate gel), and to the microstructure

(hardening cement paste) and mesostructure (cement mortar). The use of a superplasticizer will allow you to activate cement by increasing the degree of its hydration. With the correct choice of such a complex action additive, the components included in the plasticizer should activate the colloidal-chemical processes of the interaction of slag minerals in the aqueous medium. In this way, the activation of the hydraulic component of slag-containing cement can be realized. This will increase the rate of cement hardening and increase the density of the concrete microstructure.

The most effective method of influencing the microstructure and mesostructure of concrete is the introduction of a microfiller into the concrete mix. The purpose of this is to increase the amount of reagents for the pozzolanic reaction. This will also make it possible to influence the kinetics of concrete hardening and ensure a constant and long-lasting set of strength over time. In addition, microfiller particles that did not enter the pozzolanic reaction will fill the pores and voids at these levels of the structure.

Thus, the use of multi-level physical and chemical activation together with the compaction of the concrete structure will increase the effectiveness of the use of slag-containing cements in concrete for transport purposes. The noted possibilities of such cements allow them to be classified as special-purpose cements.

ПРОБЛЕМИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЦЕМЕНТІВ У БЕТОНАХ

PROBLEMS OF RATIONAL WASTE CEMENT IN CONCRETE

Нетеса М.І., д.т.н., проф., Нетеса А.М., к.т.н., доц., Нікіфорова Н.А., к.т.н., доц., Косячевська С.М., к.т.н., доц. (Український державний університет науки та технологій)

Netesa M.I., Dr. Sci. Eng., Prof, Netesa A.M., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nikiforova N.A., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Kosiachevska S.M., Ph.D. (Eng.), Associate Professor (Ukrainian State University of Science and Technologies)

Проблеми раціонального ефективного використання природних ресурсів у будівництві, в тому числі дорожнього, в останні десятиліття постали досить гостро у світі. Особливо важливі ці проблеми для України. Протягом військових дій на території України в період 2014-2022 рр. відбулося руйнування значної кількості об'єктів житлового, громадського призначення, інфраструктурних комплексів, тощо. Закордонні партнери вже створюють фінансові інститути для якомога швидшого повоєнного відновлення України. Відповідно, процеси будівництва будуть масштабними та призведуть до найбільшого напруження логістичних елементів організаційно-технологічних та планувальних процесів. Очікується особливо гостра проблема в постачанні будівельних матеріалів (цемент) на заводи з виробництва бетонних сумішей через значне зростання попиту, особливо з урахуванням очікуваного акцентування на зведенні підземних споруд значних обсягів (автомобільні парковки, сховища для людей, тощо), які очікувано будуть основним аспектом відновлення населених пунктів, а також створення нового сучасного інклюзивного гнучкого та зручного життєвого простору для жителів міст.

Для суттєвого зниження енергозатрат у будівельній галузі ефективно розвивається напрямок з використанням цементів у бетонах і розчинах з мінімізацією витрат в них клінкерної складової. Остання найбільш енергозатратна з усіх інших складових цементів. Цьому напрямку присвячені роботи [1 – 3], в яких приведені власні результати досліджень та детальний огляд джерел з цих проблем. Вирішення даних проблем досягається, в основному, за рахунок ефективної хімізації цементів та бетонів, за рахунок чого суттєво підвищуються технологічні характеристики бетонних сумішей та потрібні фізико-механічні характеристики затверділих бетонів. Такі результати досягаються головним чином за рахунок вплив різноманітних хімічних добавок на

цементний камінь, який забезпечує високі фізико-механічними характеристиками затверділих бетонів.

Але при однакових, у тому числі високих, характеристиках цементного каменю фізико-механічні характеристики затверділих бетонів у значній мірі залежать від структури бетонів на мікро-, мезо- та макрорівнях. Проблемам структурних теорій міцності у минулому столітті присвячені фундаментальні роботи [4 – 6]. Останнім часом цим проблемам приділяється менше уваги. Нами для дослідження впливу структури бетону на напружено-деформований стан та концентрацію найбільш небезпечних для бетонів розтягувальних напружень використовувалися близькі до реальної структури бетонів розрахункові моделі з визначенням напружено-деформованого стану методом скінчених елементів [7 – 11]. Отримані результати теоретичних досліджень підтверджені дослідженнями на фізичних моделях та натурними дослідженнями з реалізацією запропонованих рекомендацій при виготовленні різноманітних бетонів.

Зокрема проведеними нами дослідженнями встановлено, що концентрація найбільш небезпечних для бетонів розтягувальних напружень найбільша на межі пор або інших аналогічних дефектів структури з твердою фазою бетону і досягає величини стискувальних навантажень на бетон. Оскільки бетон має міцність на розтяг на порядок менший ніж на стиск, ці розтягувальні напруження зумовлюють початкові додаткові до існуючих у бетоні тріщиноутворення, які з'являються при його твердненні, уже при навантаженнях, які складають 25 – 30 відсотків від розрушаючих. Ці тріщини досить небезпечні, бо по мірі подальшого зростання навантажень і впливів вони розповсюджуються у бетоні та являються основною причиною його подальшого руйнування.

Тому цілеспрямоване формування низькодефектної структури з метою мінімізації концентрації розтягувальних напружень може забезпечити підвищені фізико-механічні характеристики бетонів та ефективно використання цементів у них. А отже суттєве зниження енергозатрат на їх виробництво. Проведеними нами експериментальними дослідженнями встановлено, що мінімальна пустотність трифракційної суміші забезпечується при співвідношенні розмірів зерен крупної, середньої та дрібнофракцій 100:10:1, а об'ємів цих фракцій (враховуючи, що щільність зерен фракцій важкого бетону приблизно однакова, то і мас) у співвідношенні 52:23:25. Незначне відхилення об'ємів (мас) цих фракцій в межах 2 – 3 % суттєво на щільність суміші не впливає, але при зменшенні дрібнофракції менше 20 % щільність починає зменшуватися тим інтенсивніше, чим менший відсоток цієї фракції у суміші.

Універсальним показником ефективності використання цементу в бетонах є досягнута міцність бетону на одиницю витрат цементу – коефіцієнт ефективності використання цементу - відношення міцності до витрат цементу на кубометр бетонної суміші. Аналізом характерних складів

товарних бетонів нашого регіону встановлено, що для отримання бетону міцністю 30 МПа витрати цементу складають приблизно 300 – 350 А для бетонів міцністю 10 МПа витрати цементу складають не менше 200 кг на кубометр бетонної суміші. Тобто коефіцієнт ефективності використання цементу менший майже у два рази. На основі наших досліджень щодо раціонального зернового складу компонентів нами зроблено припущення, що таке різке зменшення коефіцієнту ефективності виростання цементу спостерігається із-за суттєвого відхилення від раціонального зернового складу компонентів. А відповідно значно більшої дефектності структури, оскільки неможливо досягти щільної упаковки зерен компонентів. Виходячи з отриманих нами попередніх досліджень з урахуванням деякої кількості дрібних компонентів у щебені та піску для важких бетонів раціональний зерновий склад має складати щебеню біля 1200 кг, піску – 550 кг цементу та мікронаповнювачу із зерновим складом приблизно таким же як цемент – 500 кг.

Практично усі дослідження щодо визначення раціональної кількості мікронаповнювачів проводяться для бетонів середньої міцності з поступовим додаванням мікронаповнювачу до складів бетону доки міцність не почне знижуватися. Кількість мікронаповнювачу при якій отримано найбільшу міцність і вважають оптимальною. Але, виходячи з наших результатів досліджень, для бетонів різної міцності раціональна кількість мікронаповнювачу суттєво відрізняється. Зменшення витрат цементу для бетонів меншої міцності необхідно компенсувати відповідно збільшенням витрат мікронаповнювачу, щоб забезпечувати раціональний зерновий склад компонентів. Забезпечуючи визначену закономірність нами бетони міцністю 10 МПа отримано приблизно з таким же коефіцієнтом ефективності використання цементу, як і бетонів міцністю 30 МПа. Така закономірність підтверджена при використанні мікронаповнювачу з хвостів збагачення залізних руд, зол виносу та інших.

Бетони низької міцності у дорожньому будівництві використовуються у значних об'ємах у якості підстилаючі шарів. Логістичні операції щодо забезпечення об'єктів будівельної індустрії необхідними матеріалами потребують ретельного проектування, особливо при зростанні обсягів робіт та швидкості створення будівельної продукції. Тому прогнозується суттєве зниження витрат найбільш енергомісткої складової бетонів та утилізація в них значної кількості вторинних ресурсів, які негативно впливають на екологічну ситуацію промислових регіонів України.

Список використаних джерел

1. Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Руденко І.І. Пластифіковані бетони і розчини на основі цементів системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$: монографія. Київ: Видавництво Ліра-К, 2022. - 392 с.

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції

2. Саницький М. А., Кропивницька Т. П., Гев'юк І. М. Швидкотверднучі портландцементи з добавкою вапняку. *Будівельні матеріали та вироб.* 2019. № 1/2 (100). С. 34–37.
3. Aitcin P.-C., Wilson W. Cements of today – concretes of tomorrow. *CWB*. 2014. P. 349–358.
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
5. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 96 с.
6. Грушко И.М., Ильин А.Г. Прочность бетонов на растяжение. Харьков: Изд-во ХГУ, 1973. 215 с.
7. Нетеса Н.И. Механика и технология бетонов. Киев-Донецк: Вища школа, 1987. 148 с.
8. Пшинько А.Н., Нетеса Н.И., Данилов Е.И. Возможное влияние важнейших структурных характеристик бетона на концентрацию напряжений и прочность. *Перспективные задачи инженерной науки*. Д.: GAUDEAMUS. 2002. Вып. 4. С. 71-76.
9. Гусев Б.В., Зазимко В.Г., Нетеса М.И. Исследование напряженно-деформированного состояния композитов с использованием метода конечных элементов. *Строительство и архитектура. Известия высших учебных заведений*. 1981. № 8. С. 13-16.
10. Нетеса Н.И., Кирыш В.Г. Эффективность бетонных смесей с рациональным зерновым составом. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2001. № 5. С. 41-46.
11. Нетеса Н.И. Влияние зернового состава компонентов на структуру и прочность бетонов. *Вопросы химии и химической технологии*. 2002. № 1. С. 56-60.

**ВПЛИВ ВМІСТУ МІНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКУ ТА ЯКОСТІ
БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ЛИТОГО
АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

**INFLUENCE OF MINERAL FILLER AGGREGAT CONTENT AND
QUALITY OF BITUMEN BINDERS ON THE LIFE CYCLE OF
MASTIC ASPHALT CONCRETE**

**Оксак С.В., к.т.н., доц., Ільїн Я.В., к.т.н., ас. (Харківський
національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)**

**Oksak Serhii, Ph.D. (Eng.), Assoc. Prof., Ilyin Yaroslav, Ph.D. (Eng.)
(Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv)**

Литим асфальтобетоном називається штучний будівельний матеріал, що утворюється в результаті охолодження і затвердіння, без участі ущільнюючих засобів або при ущільненні тільки вібробрусом асфальтоукладальника, гарячої литої асфальтобетонної суміші. При цьому практично всі між зернові пори мінеральної суміші щебеню і піску заповнені асфальтов'язучою речовиною.

Згідно [1] литі асфальтобетони характеризуються підвищеною довговічністю через величезний вміст бітумного в'язучого (до 12 %) у своєму складі.

Великий вплив на фізико-механічні властивості литого асфальтобетону, як і традиційного, має його склад і насамперед вміст мінерального порошку [2], крім того, суттєвий вплив на властивості литого асфальтобетону також має вид та властивості в'язучого, що застосовується для його виробництва.

Метою виконаної роботи було визначення впливу вмісту мінерального порошку та якості бітумного в'язучого на довговічність литого асфальтобетону під дією постійного навантаження за методикою [3, 4].

В якості об'єктів дослідження прийняті литі асфальтобетони, що повністю відповідали вимогам [5, 6] та містили: 42 % гранітного щебеню фракції 5-10; 23-43 % гранітного відсіву; 15-35 % вапнякового мінерального порошку I марки; 10 % бітумного в'язучого.

В якості в'язучих для приготування литих асфальтобетонних сумішей прийняті: бітум БНД 70/100 (як найбільш поширений нафтовий бітум, що застосовується в дорожній галузі України), бітум БНД 35/50 та бітум БНД 70/100, модифікований полімером СБС Кратон 1192 у кількості 6 %. Властивості прийнятих в'язучих наведено в табл. 1.

Для визначення довговічності литого асфальтобетону виконуються випробування з визначення часу до руйнування під дією постійного навантаження зразку-балки (4×4×16 см), завантаженого за схемою чистого

згину за методикою [3, 4]. Для об'єктивної характеристики довговічності литих асфальтобетонів різних складів та впливу різного в'язучого необхідно забезпечити однаковий рівень напруженого стану в зразках [4]. Під рівнем напруженого стану мається на увазі відношення діючої в зразку напруги (створеного статичним навантаженням) до міцності зразка на розтяг (яка в свою чергу може суттєво відрізнятись), визначеної при постійній швидкості деформування 3 мм/хв. У роботі рівень напруженого стану литого асфальтобетону для визначення довговічності був прийнятим рівним 0,2.

Таблиця 1
Властивості бітумів прийнятих для виробництва литих асфальтобетонних сумішей

№ з/п	Найменування показника	Марка бітуму		
		БНД 70/100	БНД 35/50	БНД 70/100 + 6 % СБС Kraton 1192
1	Пенетрація при 25 °С (P_{25}), 0,1 мм	85	38	47
2	Температура розм'якшення (T_p), °С	47,4	58,1	90
3	Температура крихкості ($T_{кр}$), °С	-15	-11,5	-19,5
4	Температура спалаху ($T_{сп}$), °С	295	300	316
5	Розтяжність при 25 °С (D_{25}), см	> 100	9,2	27
6	Інтервал пластичності (ІП), °С	62,4	69,6	109,5
7	Індекс пенетрації	-0,55	0	-

Міцність на згин та час життя литого асфальтобетону на різних в'язучих наведено в табл. 2.

Таблиця 2
Міцність на згин та час життя литого асфальтобетону на різних в'язучих під дією постійного навантаження (20 % від руйнівного)

Вид в'язучого	Пенетрація в'язучого при 25 °С, 0,1 мм	Кількість в'язучого, %	Міцність на згин, МПа	Час життя, с
БНД 35/50	38	10	2,57	30776
БНД 70/100	85	10	1,22	28816
БНД 70/100+ 6 % СБС 1192	47	10	1,96	29150

Литий асфальтобетон на звичайному бітумі БНД 70/100 характеризується досить низькою міцністю на згин (1,22 МПа) у порівнянні з високов'язким бітумом (2,57 МПа). Використання полімеру призводить до збільшення міцності на згин до 1,96 МПа, що в свою чергу все одно значно менше ніж у литого асфальтобетону на зіставленому бітумі.

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

Для оцінки впливу мінерального порошку були визначені міцність на вигин та довговічність литих асфальтобетонів при 21 °С на високов'язкому бітумі з різним вмістом мінерального порошку (табл. 3).

Таблиця 3

Міцність на згин та час життя литого асфальтобетону з різним вмістом мінерального порошку під дією постійного навантаження (20 % від руйнівного)

Вид в'язучого	Кількість в'язучого, %	Вміст мінерального порошку, %	Міцність на згин, МПа	Час життя, с
БНД 35/50	10	15	2,31	30071
		25	2,57	30776
		35	2,83	31446

Збільшення вмісту мінерального порошку з 15 до 35 % посилює структурування зіставленого бітуму у складі литого асфальтобетону, внаслідок чого підвищується міцність на згин литого асфальтобетону з 2,31 до 2,83 МПа. Однак таке структурування погіршує зручнокладальність, та відповідно вимагає підвищення технологічних температур.

Час життя литого асфальтобетону на різних в'язучих практично не змінюється (різниця складає 6,37 %), підвищення вмісту мінерального порошку з 15 до 35 % також практично не змінює час життя (збільшення складає 4,37 %), це може бути обумовлено рівним напруженим станом при визначенні довговічності за прийнятою методикою досліджень.

Список використаних джерел

1. Bony B. Contribution à la théorisation des BBCC (bétons bitumineux coulés à chaud). *RGRA*. Mai 2000. № 784. P. 48-51.
2. Борщ И.М. Структурообразующая роль минеральных порошков в асфальтовых смесях. *Труды ХАДИ*. 1954. Выпуск 17. С. 10-15.
3. Ефремов С.В. Долговечность асфальтобетона под действием нагрузок и агрессивных сред: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков, 2010. 217 с.
4. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7-319:2016. [Чинний від 2017-04-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 75 с. (Національний стандарт України).
5. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетони литі. Технічні умови: СОУ 42.1-37641918-106:2013. [Чинний від 2013-11-01]. К. Державна служба автомобільних доріг України, 2013. 10 с. (Стандарт організації України).
6. Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 6. Литий асфальтобетон: ДСТУ EN 13108-6:2018 (EN 13108-6:2016, IDT). [Чинний від 01.07.2019]. К. ДП «УкрНДНЦ», 2018. 38 с. (Національний стандарт України).

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІТУМІВ ПІСЛЯ СТАРІННЯ

ANALYSIS OF THE INDEX USED FOR ASSESSING CHANGES IN THE PROPERTIES OF BITUMEN AFTER AGEING

Пиріг Я.І., к.т.н., с.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Pyrig Y.I, Ph.D. (Eng.), S. Researcher (Kharkov National Automobile and Highway University)

Європейська та вітчизняна системи оцінки якості в'язких нафтових дорожніх бітумів націлені на випробування цих в'язучих після їх виготовлення на нафтопереробному заводі (паспорт якості) та під час виконання вхідного і операційного контролю якості в'язучих на асфальтобетонному заводі перед виготовленням асфальтобетонних сумішей. В той же час однією з негативних особливостей бітумів є їх схильність до старіння, яка в значній мірі залежить від сировини, з якої виготовлено бітум, його групового складу та структурно-реологічного типу.

Згідно з [1] під старінням бітумних в'язучих мається на увазі вся сукупність незворотних змін їх структури та властивостей під дією різноманітних факторів, що відбувається впродовж зберігання в'язучого, технологічних операцій приготування асфальтобетонних сумішей на заводі та наступної тривалої експлуатації асфальтобетонних покриттів на дорозі.

За [1, 2], під час технологічних операцій приготування асфальтобетонних сумішей на заводі відбувається суттєве старіння бітумів (так зване технологічне старіння), за рахунок чого властивості бітумів змінюються в більшій мірі, ніж після тривалої експлуатації автомобільної дороги з асфальтобетонним покриттям (так зване експлуатаційне старіння). У відповідності з наведеними в [2] даними, під час технологічного старіння, яке триває впродовж декількох годин, відбувається зниження penetрації бітуму до 0,6 – 0,75 від вихідного значення, підвищення температури розм'якшеності в 1,08 – 1,1 разу та зменшення в'язкості в 2,08 рази. В той же час внаслідок експлуатаційного старіння впродовж декількох років роботи покриття в дорозі penetрація зменшується до 0,3 – 0,4 від вихідного значення, а температура розм'якшеності підвищується в 1,2 – 1,25 рази.

Система оцінки якості дорожніх в'язких бітумів, що наведена в ДСТУ 4044 [3] та ДСТУ EN 12591[4], передбачає оцінювання властивостей бітумів після технологічного старіння, що умовно моделюють методи старіння, наведені в ДСТУ Б EN 12607-1 [5] (метод RTFOT) та ДСТУ Б EN 12607-2 [6] (близьким аналогом якого є метод, наведений в ГОСТ 18180 [7])

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

за наступними показниками: остаточна penetрація, зміна температури розм'якшеності та зміна маси. Такий підхід дозволяє формально оцінити зміну умовних показників якості та не дозволяє оцінити зміну структурно-реологічних характеристик бітумів. Підхід бере коріння з початку минулого століття, коли в дорожній галузі широко використовувалися розріджені бітуми і головною задачею було визначення втрати маси бітумів за рахунок випаровування розріджувача [8].

В табл. 1 наведені результати визначення показників якості бітумів, виготовлених з різної сировини, за різними технологіями в різних країнах Європи. Відповідно до діючої системи оцінки якості бітумів для всіх в'язучих були визначені значення залишкової penetрації (Пзал), зміни температури розм'якшеності (ΔT_p) і зміна маси (ΔM), а також додатково встановлені показники, що характеризують структурно-реологічний тип бітуму – індекси penetрації, розраховані за температурою розм'якшеності (IP_{T_p}) та температурою, що відповідає penetрації $800 \times 0,1$ мм (IP_{T800}).

Таблиця 1

Показники якості в'язких нафтових дорожніх бітумів

Показники		Білорусь		Греція	Іспанія	Італія	Польща	Туреччина	Україна
		Мозирь	Нафтан						
П ₂₅ , 0,1 мм		86	90	85	86	70	86	90	91
T _p , °C		48,6	48,8	47,4	47,1	48,4	45,5	45,1	50
IP _{T_p}		-0,18	0,02	-0,55	-0,61	-0,81	-1,09	-1,08	0,38
IP _{T800}		-0,35	-0,07	-1,59	-1,40	-1,93	-0,93	-1,27	0,11
Старіння за ГОСТ 18180 [7]	Пзал, %	74,4	65,6	62,4	59,3	74,3	74,4	85,6	74,7
	ΔT_p , °C	3,2	4,6	4,5	4,4	5	3,8	3,3	3,4
	ΔM , %	0,39	0,32	0,05	0,04	-0,16	0,27	0,04	-0,04
	IP _{T_p}	-0,16	0,02	-0,61	-0,79	-0,30	-0,80	-0,55	0,39
	IP _{T800}	-0,49	0,04	-1,07	-0,79	-2,31	-1,01	-2,01	1,11
Старіння за RTFOT [5]	Пзал, %	70,9	65,6	65,9	60,5	72,9	75,6	64,4	78,0
	ΔT_p , °C	3,3	4,9	4,2	4,7	3,3	3,8	6,8	5
	ΔM , %	0,23	0,11	0,24	0,04	-0,3	0,14	0,2	0,04
	IP _{T_p}	-0,26	0,09	-0,55	-0,67	-0,74	-0,76	-0,39	0,89
	IP _{T800}	0,01	0,50	-1,33	-0,63	-2,07	-0,84	-1,12	0,54

У відповідності з отриманими даними, бітуми, що згідно стандартних показників якості (залишкова penetрація та зміна температури розм'якшеності) зістарюються на однаковому рівні, характеризуються різною зміною структурно-реологічного типу, тобто в дійсності мають різний ступінь старіння. Так, наприклад, бітуми, виготовлені в Італії, Білорусі (Мозирський НПЗ), Польщі та Україні після старіння за методом, наведеним в ГОСТ 18180 характеризуються однаковими значеннями

залишкової пенетрації (74,3 ... 74,7 %) та близькими значеннями зміни температури розм'якшеності (3,2 ... 5,0 °C). В той же час структурно-реологічний тип цих в'язучих після старіння, визначений особливо за показником IP_{T800} , суттєво змінюється – у бітуму, виготовленому в Україні, IP_{T800} після старіння зросла з 0,11 до 1,11 (з типу «золь-гель» до типу «гель»), а у бітуму, виготовленому в Польщі, IP_{T800} змінився лише з мінус 0,93 до мінус 1,01.

Подібне спостерігається й після старіння за методом RTFOT. Так, бітуми, виготовлені в Білорусі (Нафтан), Греції та Туреччині характеризуються практично однаковими значеннями залишкової пенетрації (64,4 ... 65,9 %) та близькими значеннями зміни температури розм'якшеності (4,2 ... 6,8 °C), а інтенсивність зміни структурно-реологічного типу у них різна. У бітуму, виготовленому в Білорусі (Нафтан) значення IP_{T800} після старіння змінилось з мінус 0,07 до 0,50 (з типу «золь-гель» до типу, близького до «гель»), а у бітумів, виготовлених в Греції та Туреччині значення IP_{T800} змінюється в значно меншій мірі – відповідно з мінус 1,59 до мінус 1,33 та з мінус 1,27 до мінус 1,12.

Визначення структурно-реологічного типу за показником IP_{Tp} є значно менш чутливим до зміни властивостей бітумів після старіння, ніж за показником IP_{T800} .

Ще більш інформативним є використання показника IP_{T800} під час оцінювання зміни властивостей бітумів після експлуатаційного старіння, що здійснено методом PAV (згідно ДСТУ EN 14769 [9]), підтвердженням чого є дані, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінювання впливу технологічного та експлуатаційного старіння на властивості дорожніх бітумів марки БНД 70/100

Показники		Значення для бітумів	
		1	2
Пенетрація за 25 °C (P_{25}), 0,1 мм		85	93
Температура розм'якшеності (T_p), °C		49,6	49,1
Індекс пенетрації за температуру, що відповідає пенетрації $800 \times 0,1$ мм (IP_{T800})		-0,67	-0,55
Старіння за RTFOT [5]	Залишкова пенетрація ($P_{зал}$), %	71,8	68,8
	Зміна температури розм'якшеності (ΔT_p), °C	2,6	3,4
	IP_{T800}	-0,61	0,49
Старіння за PAV [9]	Залишкова пенетрація ($P_{зал}$), %	61,3	61,3
	Зміна температури розм'якшеності (ΔT_p), °C	11,8	13,4
	IP_{T800}	0,92	3,22

Для випробування були прийняті виробничі в'язкі бітуми марки БНД 70/100, що мали близькі значення penetрації ($85 \dots 93 \times 0,1$ мм). Прийняті бітуми були зістарені за методами RTFOT [5] та PAV [9]. Після зістарення для в'язучих були визначені значення залишкової penetрації, зміни температури розм'якшеності та індекс penetрації за T_{800} .

Згідно отриманих даних після технологічного старіння за методом RTFOT всі бітуми мали приблизно однаковий рівень старіння, що підтверджується практично рівними значеннями залишкової penetрації (68,8 ... 71,8 %), але згідно показника IP_{T800} структурно-реологічні типи цих бітумів суттєво змінилися. Структурний тип бітуму № 1 залишився майже без змін (значення IP_{T800} змінилось з мінус 0,67 до мінус 0,61), а у бітуму № 2 структурно-реологічний тип змінився з «золь-гель» став близьким до типу «гель». Після експлуатаційного старіння за методом PAV значення залишкової penetрації бітумів є однаковими, а значення зміни температури розм'якшеності відрізняється лише на 1,6 °С. В той час як згідно значень IP_{T800} спостерігається суттєва різниця в структурних типах, згідно яких бітум № 2 піддався значно більшому старінню.

На основі вищенаведеного можна зробити висновок про доцільність введення до показників, за якими оцінюється зміни властивостей після старіння, показника індекс penetрація, визначений за температурою T_{800} .

Список використаних джерел

1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 264 с.
2. Radovskiy V., Teltayev V. Viscoelastic properties of asphalts based on penetration and softening point. New York: Springer, 2018. P. 23-39.
3. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови [Чинний від 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 14 с.
4. ДСТУ EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT) Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів. [Чинний від 2017-01-10]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2017. 30 с.
5. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2016. 23 с.
6. ДСТУ EN 12607-2:2019 (EN 12607-2:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом тепла та повітря. Частина 2. Метод TFOT. [Чинний з 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2019. 20 с.
7. ГОСТ 18180-72. Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева [Не действует]. Москва: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1972. 4 с.
8. Richardson C. The modern asphalt pavement. New York – London. J. Wiley & Sons, 1907. 652 p.
9. ДСТУ EN 14769:2019 (EN 14769:2012, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Прискорене довгострокове старіння з використанням камери високого тиску (КВТ). [Чинний з 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2019. 19 с.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ШПАЛАХ ІЗ БЕТОНУ

PERSPECTIVES OF THE APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCEMENT FOR CONCRETE SLEEPERS

**Плугін А.А., д.т.н., проф., Калюжна О.В., д-р філ., Муригін М.А.,
асп., Наджафов Е.Ф., асп., Плугін Д.А., д.т.н., проф. (Український
державний університет залізничного транспорту)**

**Plugin A.A., DSc (Eng), Professor, Kaliuzhna O.V., PhD, Murygin
M.A., postgraduate, Nadzhafov E.F., postgraduate, Plugin D.A., DSc (Eng),
Professor (Ukrainian State University of Railway Transport)**

В теперішній час на залізницях світу використовуються різні конструкції підрейкових основ із різних матеріалів. Оскільки умови експлуатації залізниць постійно змінюються – зростають швидкості руху, осьові навантаження, вантажонапруженість, змінюються і національні вимоги до конструкцій підрейкових основ та матеріалів для їх виготовлення. З ХІХ по середину ХХ століття практично єдиною масовою підрейковою основою були дерев'яні шпали. Однак у зв'язку з очевидними недоліками деревини для експлуатації в умовах змінної вологості – великими вологими деформаціями, низькою біостокістю, з другої половини ХХ століття їх активно витісняють попередньо напружені залізобетонні шпали. Проте залізобетонні шпали також мають ряд недоліків, в основному обумовлених корозійною вразливістю арматури та бетону. Вже в ХХІ столітті з'являються композитні шпали, які позбавлені багатьох недоліків дерев'яних і залізобетонних шпал, все більшого поширення набуває композитна арматура для армування бетону, що має ряд переваг над сталевую арматурою. Однак вони поки не знаходять широкого застосування і дерев'яні та залізобетонні шпали досі є наймасовішими. Тому обґрунтування виготовлення та використання шпал на основі сучасних композитних матеріалів в умовах змінних вимог до підрейкових основ залізниць є актуальним завданням.

Основними елементами верхньої будови залізничної колії є баласт, підрейкова основа та рейки, що з'єднуються з підрейковою основою проміжними рейковими скріпленнями [1]. Підрейкова основа призначена для розподілу та передачі навантаження від рухомого складу та рейок на баласт і через нього – на основну площадку земляного полотна або штучну споруду, а також для забезпечення незмінних положення рейок у плані та профілі та ширини колії, їх утримання від поздовжнього переміщення.

Підрейкова основа виконується зі шпал, брусів, плит, рам. На перегонах, станціях, мостах із їздою по баласту використовуються шпали та

бруси стрілочних переводів, на металевих мостах із безбаластним мостовим полотном – плити, мостові бруси. Найбільш масовими є дерев'яні та залізобетонні шпали, рідше використовуються металеві шпали або шпали із клеєної деревини [1]. Незважаючи на перевірені часом переваги дерев'яних, залізобетонних, металевих шпал, вони мають ряд недоліків.

Дерев'яні шпали в основному виготовляються з сосни, модрина, кедра, берези, рідше – з дуба, евкаліпта. Дерев'яні шпали схильні до утворення тріщин внаслідок вологих деформацій та біологічних ушкоджень дереворуїнуючими грибами та комахами, а також мають низьку зносостійкість у підрейковій зоні [2, 3]. Металеві шпали виготовляють коробчатого перерізу із сталі. Вони схильні до корозії та електрокорозії, мають зайву електропровідність, створюють великий шум під час руху поїздів, підрейкова основа з них характеризується високою металоємністю [4]. Тому сфера застосування металевих шпал обмежена і вони застосовуються рідко.

Залізобетонні шпали (рис. 1) випускають попередньо напруженими з бетону високих класів, армованими дротяною або стержневою арматурою, зусилля попереднього напруження якої передається на затверділий бетон [5]. Попереднє напруження багато в чому визначає значну ресурсоенергоємність виробництва шпал. Воно змушує застосовувати металомісткі силові форми, потужніше технологічне устаткування, вимагає великих площ виробничих приміщень. Попереднє напруження змушує також прискорювати твердіння бетону високими витратами цементу, енергоємною тепловологовою обробкою, добавками прискорювачами твердіння, що у ряді випадків може сприяти внутрішній корозії бетону від взаємодії лугів цементу з реакційно здатними заповнювачами (рис. 2, а), корозії арматури. У шпалах, особливо з анкерними рейковими скріпленнями (рис. 1, д), значне попереднє напруження арматури сприяє утворенню поздовжніх тріщин (рис. 2, а) [5]. Залізобетонні шпали мають велику вагу, що вимагає застосування більш важких колійних машин.

Характер роботи шпали і її бетону в колії визначає застосований тип проміжного рейкового скріплення. Роздільні скріплення (рис. 1, г) через металеву підкладку розподіляють навантаження по великій площі, у горизонтальному напрямку через розташування закладного болта в отворі із зазором є податливими і в цілому створюють менші напруження в бетоні. Але вони є надто жорсткими у вертикальному напрямку, що неприйнятно для високих швидкостей руху, матеріаломісткими й багатодетальними, їх експлуатація трудомістка, тому їх поступово замінюють нероздільними пружними скріпленнями, позбавленими зазначених недоліків (рис. 1, д). Проте анкерний варіант цих скріплень має надто високу жорсткість у поперечних напрямках, що у шпалах з ними може сприяти утворенню як подовжніх (рис. 2, а), так і поперечних (рис. 2, б) тріщин. Нерівномірне

динамічне навантаження шпали з такими скріпленнями, вимагає більш високих класів бетону – нормованих С32/40 (В40, М500) недостатньо.

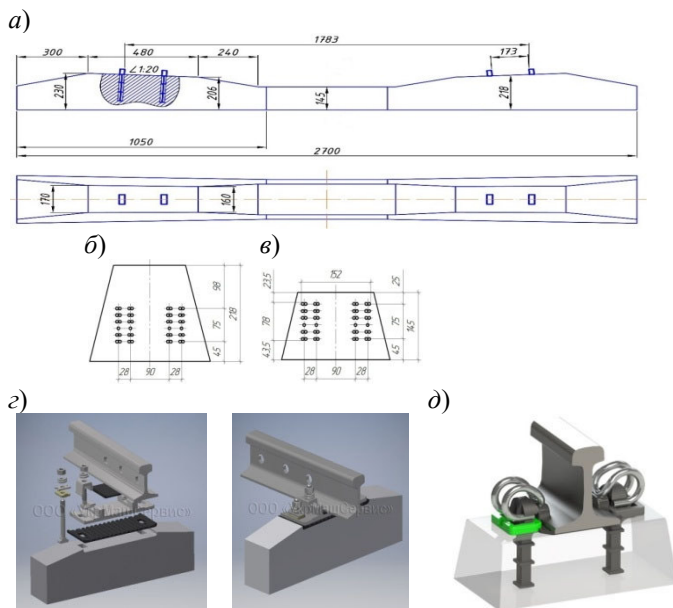


Рис. 1. Попередньо напружені залізобетонні шпали: а - загальний вигляд; б - підрейковий переріз; в - середній переріз; з - роздільне клемно-болтове рейкове скріплення КБ-65 (<https://ukrmashservis.com.ua/>); д - нероздільне безпідкладкове анкерне пружне рейкове скріплення КПП-5 (<https://krt.co.ua/>)



Рис. 2. Тріщини у залізобетонних шпалах: а – дрібна сітка тріщин від внутрішньої корозії і велика подовжня тріщина у кінці шпали; б – поперечна тріщина в зоні анкера

Значний вплив на експлуатаційні якості шпал мають також електричні і корозійні характеристики сталеві арматури. Електропровідність,

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

корозійна та електрокорозійна уразливість сталеві арматури, особливо попередньо напруженого високоміцного дроту $\varnothing 3\text{Вр}1400$:

- обумовлює низький електричний опір шпал, витік (втрату) тягового струму та його електрокорозійний вплив на самі шпали та, особливо, оточуючі конструкції;

- спричиняє утворення і розвиток пошкоджень шпал від корозії та електрокорозії арматури;

- вимагає високих вимог до тріщиностійкості шпал.

Високі вимоги до тріщиностійкості вимагають значного зусилля попереднього напруження, яке, у свою чергу:

- створює значні розтягувальні напруження у поперечному напрямку, які сприяють утворенню та розвитку пошкоджень шпал (рис. 2, а);

- вимагає застосування для виробництва шпал важких металомістких силових форм;

- вимагає призначення великої передаточної міцності бетону 32 МПа.

Досягнення такої передаточної міцності за 8-24 години вимагає енергоматеріалоємної інтенсифікації твердіння (ТВО, добавки-прискорювачі тощо).

В теперішній час у різних галузях все ширше використовуються полімери та композиційні матеріали на їх основі [3, 6–8]. Попередній аналіз їх властивостей показує, що шпали із таких матеріалів можуть бути позбавлені зазначених недоліків. Композитні (полімерні) шпали успішно проходили експлуатаційні випробування, але поки не знайшли широкого застосування. Однак відомі й недоліки полімерів – старіння під впливом ультрафіолетового випромінювання, невисока теплостійкість, горючість. Істотно відрізняються від залізобетону та деревини і їх фізико-механічні властивості, особливо деформативні характеристики.

Таким чином традиційні дерев'яні, металеві, попередньо напружені залізобетонні шпали, а також клеєні дерев'яні та композитні шпали, що з'явилися в останні десятиліття, мають недоліки, що зумовлюють в сучасних умовах високу вартість будівництва та експлуатації залізниць, значні додаткові витрати на підвищення ресурсу та довговічності конструкцій шляху, забезпечення безпеки руху.

В результаті аналітичного огляду показано, що багатьох недоліків можуть бути позбавлені бетонні шпали, армовані композитною арматурою [3, 6, 8]. Серед їх переваг можна відзначити захищеність полімеру бетоном від ультрафіолетового випромінювання, високу корозійну стійкість арматури. Заміна сталеві арматури корозійностійкою композитною арматурою дозволить знизити вимоги до тріщиностійкості шпал і зменшити зусилля попереднього натягу (або відмовитися від нього). Це дозволить оптимізувати вимоги до ранньої міцності бетону, зменшити ушкоджувальність шпал при експлуатації за рахунок зниження напруг, що розтягують, у поперечному напрямку.

Виконано теоретичні та експериментальні дослідження, в результаті яких з'ясовано механізм протікання електричного струму через бетонну шпалу, у тому числі роль мікротріщин у ньому (рис. 2), показано, що заміна сталевий дрітної арматури неелектропровідною композитною арматурою дозволить підвищити електричний опір шпали навіть при роботі під навантаженням з тріщинами. Отже, заміна сталевий арматури композитною арматурою може дозволити: знизити вимоги до тріщиностійкості шпал і, відповідно, зменшити зусилля попереднього натягу (або відмовитися від нього), оптимізувати вимоги до ранньої міцності бетону; зменшити ушкоджувальність шпал під час експлуатації за рахунок зниження напруг, що розтягують, у поперечному напрямку, відсутність корозії та електрокорозії арматури.

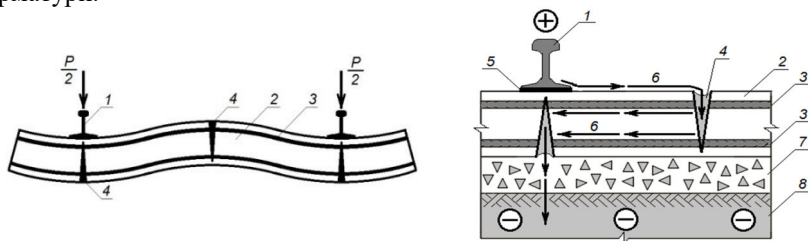


Рис. 3. Вплив мікротріщин на електропровідність шпал: 1 - рейка; 2 - бетон шпали; 3 - арматура; 4 - мікротріщини, заповнені електродом (насиченим розчином $Ca(OH)_2$); 5 - підрейкова ізолююча прокладка; 6 - струм витоку; 7 - баласт; 8 - основна площадка земляного полотна

На основі конструкції попередньо напруженої залізобетонної шпали, армованої високоміцним сталевим дротом $44\text{Ø}3$ мм, розроблено конструкцію бетонної шпалі, армованої композитною (епоксидний склопластик) арматурою $8\text{Ø}12$ мм (рис. 4) [9].

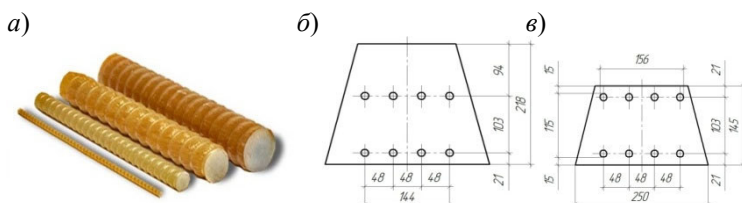


Рис. 4. Бетонні шпалі, армовані композитною арматурою: а – загальний вигляд композитної арматури; б, в – перерізи шпалі (рис. 1), армованої композитною арматурою – підрейковий (б) та середній (в)

В результаті виконаних методом скінчених елементів розрахунків і аналізу напружено-деформованого стану шпал (рис. 5) [9] встановлено, що за однакового попереднього напруження 353 кН максимальні стискаючі

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

напруження у шпалах, армованих сталевим дротом (25,7 МПа, рис. 5, б) і композитною арматурою (26,6 МПа, рис. 5, в), майже однакові. Максимальні розтягувальні напруження у бетоні шпали з композитною арматурою у середньому перерізі (0,8 МПа) перевищують напруження у шпалі зі сталевією арматурою (0,12 МПа), хоча умови для утворення тріщин не створюються. Зниження попереднього напруження композитної арматури на 25 % та більше призводить до незначного збільшення максимальних стискаючих напружень, проте розтягувальні напруження у середньому перерізі збільшуються до величин до 6,3 МПа, що перевищують границю міцності на розтяг, отже, шпала працює з тріщинами у розтягнутій зоні середнього перерізу. Таким чином, зниження попереднього напруження композитної арматури аж до відмови від нього не призведе до руйнування бетону в стиснутих зонах, проте обумовить роботу шпал із тріщинами.

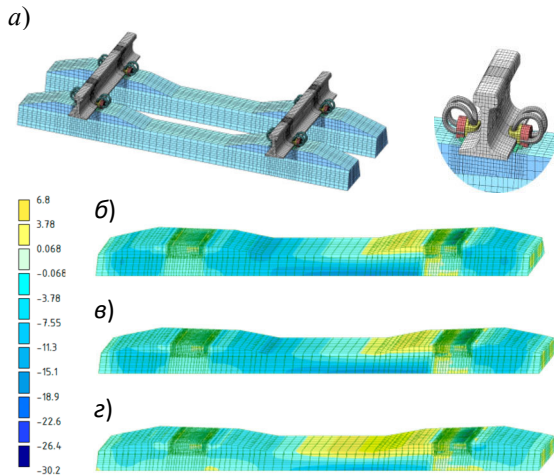


Рис. 5. Аналіз напружено-деформованого стану попередньо напружених шпал: а – скінчено елементна модель; б, в, з – поля напружень шпал залізобетонної (б), бетонної з композитною арматурою (в) і бетонної з композитною арматурою зі зменшеним на 25 % попереднім напруженням (з)

Таким чином, припущено, що заміна сталевією арматури композитною у попередньо напружених шпалах із бетону дозволить зменшити зусилля попереднього натягу, оптимізувати вимоги до ранньої міцності бетону, зменшити ушкоджуваність шпал під час експлуатації за рахунок зниження напруг, що розтягують, у поперечному напрямку, виключити корозію та електрокорозії арматури, підвищити електричний опір шпал. Для шпал,

армованих композитною арматурою, рекомендовано знизити вимоги до тріщиностійкості шпал і, відповідно, зменшити зусилля попереднього натягу на 50 %. Дослідження продовжуються.

Список використаних джерел

1. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Київ. 2010.
2. Плуґін Д.А. Клеєні дерев'яні бруси підвищеної тріщиностійкості. Дис... к.т.н. УкрДУЗТ. Харків. 2003.
3. Ferdousa W., Manalob A., Al Ajarmehc O., Mohammedd A.A., Salihe C., Yuf P., Khotbehsarag M.M., Schubelh P. Static behaviour of glass fibre reinforced novel composite sleepers for mainline railway track. *Engineering Structures*. 2021. v.229. 111627.
4. Guoqing J., Hao F., Peyman A. Lateral displacement of different types of steel sleepers on ballasted track. *Construction and Building Materials*. 2018. V.186. P.1268–1275.
5. Plugin A.A., Miroshnichenko S.V., Lobiak O.V., Kalinin O.A., Plugin, D.A. Crack resistance of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate. *IOP Confer. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020. V.1002(1). 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/1002/1/012010
6. Raj A., Nagarajan P., Shashikala A.P. A Review on the Development of New Materials for Construction of Prestressed Concrete Railway Sleepers. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. v.330. 012129. DOI:10.1088/1757-899X/330/1/012129
7. Indhiradevi, P., Saravanakumar, P., Manikandan, P., Rajkumar, K., Logeswaran, S., Arul pandian, S. A Comparative Study on Recycled Plastic Railway Sleeper with Concrete Sleeper. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. V.1145. 012125. DOI: 10.1088/1757-899X/1145/1/012125
8. Shokrieh M.M., Rahmat M. On the reinforcement of concrete sleepers by composite materials. *Composite Structures*. 2006. V.76. p.326–337.
9. Plugin A., Kaliuzhna O., Lobiak O., Plugin D., Nadzhafov E., Lagler M. Regarding the Replacement of Steel Reinforcement in Pre-Stressed Concrete Sleepers with Composite Rebars. *Internat. Scient. Confer. on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies BulTrans-2022*. <http://bultrans.org/BulTrans-2022-program.pdf>

**ВПЛИВ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БЕТОНУ НА
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ**

**INFLUENCE OF THE QUALITY OF CONCRETE MATERIALS
ON THE PERFORMANCE PROPERTIES
OF REINFORCED CONCRETE SLEEVES**

**Плугін А.А., д.т.н., проф., Мусієнко С.М., асп., Крикун О.П., асп.,
Зінченко В.В., асп., Калінін О.А., к.т.н., доц. (Український державний
університет залізничного транспорту)**

**Plugin A.A., DSc (Eng), Professor, Musienko S.M., postgraduate,
Krykun O.P., postgraduate, Zinchenko V.V., postgraduate, Kalinin O.A.,
PhD, Associate Professor**

На залізницях світу з XIX по середину XX століття практично єдиним типом підрейкової основи були дерев'яні шпали. Проте за цей період умови експлуатації залізниць суттєво змінювались – зростали швидкості руху, осьові навантаження, вантажонапруженість, змінювались також нормативні вимоги до конструкцій підрейкових основ та матеріалів для них. У зв'язку з недоліками деревини для експлуатації у таких умовах, а також в умовах змінної вологості – великими вологісними деформаціями, тріщиноутворенням, низькою біостійкістю [1], з другої половини XX століття їх активно витісняють попередньо напружені залізобетонні шпали. Але в Україні й залізобетонні шпали в більшості випадків мають обмежений ресурс. Шпали типу Ш1 під проміжні рейкові скріплення роздільного типу передчасно виходять із ладу і не можуть бути застосовані як старопридатні через корозію та електрокорозію вузла фіксації закладного болта. У шпалах типу СБ3 і т.п. під нероздільні скріплення часто утворюються тріщини аж до їх повного руйнування та необхідності заміни під час навіть поточного утримання. Звертає не себе увагу, що в Україні шпали виготовляють (виготовляли) із бетону класу С32/40 (класу В40, марки М500). Відомо, що у технологічно розвинутих країнах для шпал застосовуються більш високі класи бетону, які досягаються іншими складами бетону та вимогами до матеріалів для нього. Це дозволяє висунути припущення, що стосовно вітчизняної сировинної бази існують ще невідомі фактори впливу на експлуатаційні якості залізобетонних шпал не тільки їх конструктивних особливостей, а й складу бетону, якості матеріалів для нього тощо. Їх виявлення та врахування дозволить підвищити ці якості, знизити пошкоджуваність шпал та підвищити їх експлуатаційний ресурс.

В Українському державному університеті залізничного транспорту з 1965 р. функціонує галузева науково-дослідна лабораторія підрейкових основ і спецзалізобетону. Її дослідження спрямовані на удосконалення

технології виробництва залізобетонних шпал, підвищення їх довговічності [2]. З 2000-х рр. у зв'язку з підвищенням вимог до енергоресурсозбереження дослідження спрямовуються на зниження енерговитрат на виробництво шпал [3, 4], яке досягнуто застосуванням комплексних хімічних добавок суперпластифікаторів нафталінформальдегідів та прискорювачів твердіння – електролітів [5 – 7], суперпластифікаторів полікарбоксилатів та активних мінеральних добавок як прискорювачів [8, 9].

У зв'язку із зазначеними вище змінами умов експлуатації залізниць та відповідним підвищенням технічних вимог до залізничної колії та її підрейкових основ в Україні та світі здійснюється перехід з жорстких роздільних клемно-болтових проміжних рейкових скріплень на інші типи прикріплення рейок до залізобетонних підрейкових основ [10]. В УкрДУЗТ розробляються і проходять успішні експлуатаційні дослідження пружні нероздільні рейкові скріплення [11 – 13]. В Польщі, Україні розповсюджуються пружні нероздільні рейкові скріплення SB-3, КПП-5, які мають цілу низку переваг – малодетальність, невисокі матеріалоємність і собівартість, низькі експлуатаційні витрати. Проте під час їх експлуатації відзначається збільшення пошкоджуваності шпал СБЗ у порівнянні зі шпалами Ш1 під роздільні скріплення [14 – 16], недостатній електричний опір шпал СБЗ [17]. В результаті проведених досліджень встановлено, що більшість пошкоджень – це тріщини, пов'язані з невідповідністю традиційно застосовуваного для шпал під роздільні скріплення бетону класу С32/40 (раніше класу В40, марки М500) конструкції нероздільних рейкових скріплень [14 – 16]. Суттєвим фактором, що спричиняє тріщиноутворення або сприяє йому, є внутрішня корозія бетону від взаємодії реакційно здатних заповнювачів із лугами цементу [18 – 21]. Очевидно, існують й інші фактори, що впливають на тріщиноутворення. У [22 – 24] досліджено вплив складів бетону та якості матеріалів для нього на ранню міцність, проте такий вплив на тріщиноутворення у шпалах докладно не досліджувався.

Таким чином, показано актуальність теми підвищення експлуатаційних якостей залізобетонних шпал для нероздільних рейкових скріплень. Проведено аналіз виконаних раніше в УкрДУЗТ досліджень в цьому напрямку. Обрано напрям подальших досліджень – виявлення впливу складів бетону та якості матеріалів для нього на тріщиноутворення у шпалах під нероздільні рейкові скріплення.

Список використаних джерел

1. Плугін А.М., Плугін Д.А., Борзяк О.С., Плугін А.А. Зменшення та усунення тріщиноутворення дерев'яних шпал і брусів та поліпшення їх електроізоляційних властивостей. *Дороги і мости*. 2007. Вип.7. Т.ІІ. С.114-120.
2. Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал. Тр.ХИИТа. Под ред. О.П.Мчедлова-Петросяна. Транспорт. Москва. 1971. 64 с.
3. Плугін А.А., Плугін А.М., Романенко О.В., Яковлев В.О., Борзяк О.С., Плугін О.А., Дудін О.А. Дослідження можливості виробництва залізобетонних шпал

за безпропарювальною технологією. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2008. Вип.91. С.211-224.

4. Плугін А.А., Романенко О.В., Яковлев В.О. Обґрунтування скорочення енерговитрат при тепловологісній обробці залізобетонних шпал. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2009. Вип.109. С.38-56.

5. Романенко О.В., Плугін А.А., Яковлев В.О. Уточнення оптимальної витрати добавки суперпластифікатора при виробництві залізобетонних шпал без тепловологісної обробки. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2010. Вип.115. С.97-103.

6. Плугін А.А., Романенко О.В., Бабій А.І., Калінін О.А., Плугін О.А. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С.62-72.

7. Plugin A.A., Plugin A.N., Plugin O.A., Romanenko O.V., Kalinin O.A., Miroshnichenko S.V., Babii A.I., Partala N.M. Reducing of energy intensity of concrete sleepers production using superplasticizers and hardening accelerators. 19 Internationale Baustofftagung (19.ibausil). Weimar. 2015. Band 2. P.1125-1133.

8. Плугін А.А., Калюжна О.В., Бабій А.І., Плугін О.А., Овчинніков О.О. Підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних шпал за допомогою добавок суперпластифікаторів. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Вип.105 (3). С.155-167. DOI: 10.29295/2311-7257-2021-105-3-155-167.

9. Плугін А.А., Калюжна О.В., Борзяк О.С., Плугін О.А., Савченко О.М. Надшвидке отримання передаточної міцності бетону залізобетонних шпал за допомогою комплексних добавок. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2021. Вип.197. С.44-63. DOI: 10.18664/1994-7852.197.2021.248243

10. Перестюк В., Шуба Т., Чистяк В., Плугін А. Огляд конструктивних особливостей та умов експлуатації залізобетонних конструкцій підрейкових основ залізниць. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2013. Вип.138. С.56-65.

11. Плугін А.М., Плугін А.А., Тулей Ю.Л., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А. Досвід експлуатації залізобетонних шпал з пружними рейковими скріпленнями, розробленими в УкрДАЗТ. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148. Ч.2. С.92-103.

12. Плугін А.А., Плугін А.М., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А., Тулей Ю.Л. Досвід експлуатації пружних рейкових скріплень типу PRS і залізобетонних шпал із ними. *Українські залізниці*. 2015. №3-4. С.60-64.

13. Палант О.В., Плугін Д.А., Плугін А.А. Сучасні конструктивно-технологічні рішення підрейкових основ трамвайних колій, реалізовані у м. Харків. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип.160 (додаток). С.80-81.

14. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Тулей Ю.Л., Суслов В.М., Колесников М.О. Дослідження можливості застосування залізобетонних шпал типу СБЗ зі скріпленнями КПП-5 на ділянках підвищеної вантажонапруженості. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (TransBud). Харків. 2017. С.65-67.

15. Plugin A.A., Miroshnichenko S.V., Lobiak O.V., Kalinin O.A., Plugin D.A. Crack resistance of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020. V.1002(1). 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/1002/1/012010.

16. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Ляху Л.В., Ганжела С.Ю. Експериментальні дослідження тріщиностійкості залізобетонних шпал з

безпідкладковим пружним рейковим скріпленням. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2020. Вип.192. С.11-23.

17. Плугін А.М., Плугін А.А., Плугін О.А., Дудін О.А. Електричний опір залізобетонних шпал з різними типами рейкових скріплень. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2009. Вип.111. С.245-261.

18. Коваленко В.В., Заяць Ю.Л., Пшинько П.О. Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних шпал на Знам'янській дистанції колії ПЧ-10 Одеської залізниці. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. Вип.6. С.149-163.

19. Плугін А.А., Крикун О.П., Зінченко В.В., Борзяк О.С., Дудін О.А. Вплив корозії бетону від взаємодії лугів цементу з реакційноздатними заповнювачами на пошкодження залізобетонних шпал у колії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2021. Вип.196. С.43-57. DOI: 10.18664/1994-7852.196.2021.241657

20. Плугін А.А., Плугін Д.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Крикун О.П. Дослідження бетону залізобетонних шпал, що зазнали пошкоджень під час експлуатації. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2021. Вип.20. С.56-65. DOI: 10.15802/bttrp2021/245342

21. Plugin A., Borziak O., Miroshnichenko S., Krykun O., Zinchenko V. Effect of internal concrete corrosion on reinforced-concrete sleepers. *AIP Conference Proceedings*. 2022. V.2557. 070004. DOI:10.1063/5.0104860

22. Плугін А.А., Романенко О.В., Калінін О.А., Плугін О.А., Афанасьєв О.В., Бабій А.І. Аналіз матеріалів і складів бетону для виробництва залізобетонних шпал на підприємствах України. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2015. Вип.151. Т.2. С.152-162. DOI: 10.18664/1994-7852.151.2015.69168

23. Романенко О.В., Калінін О.А., Плугін О.А., Плугін А.А., Бабій А.І. Аналіз складів бетону для виготовлення залізобетонних шпал на заводах ЗБШ України. *Науковий вісник будівництва*. 2015. №2(80). С.144-147.

24. Бабій А.І., Калінін О.А., Плугін А.А. Роздільне дозування фракцій заповнювачів у виробництві залізобетонних шпал. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2015. Вип.151. Т.2. С.173-174.

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ПРОКЛАДНОГО ШАРУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF MATERIALS FOR THE PADDING
LAYER OF THE RAILWAY BALLAST-FREE BRIDGE FLOOR**

Плугін А.А., д.т.н., проф., Мурігіна Н.О., асп., Мірошніченко С.В., к.т.н., доц. (Український державний університет залізничного транспорту)

Plugin A.A., DSc (Eng), Professor, Murygina, N.O., postgraduate, Miroshnichenko, S.V., PhD, Associate Professor

На залізничних мостах застосовується мостове полотно двох типів: на залізобетонних мостах – переважно з колією на баласті, який укладається в гідроізольоване баластове корито; на металевих мостах – переважно безбаластне [1]. Безбаластне мостове полотно виконується із дерев'яних, іноді металевих поперечин (мостових брусів), які укладаються безпосередньо на балки мосту, або із залізобетонних плит (рис. 1).

а)



б)

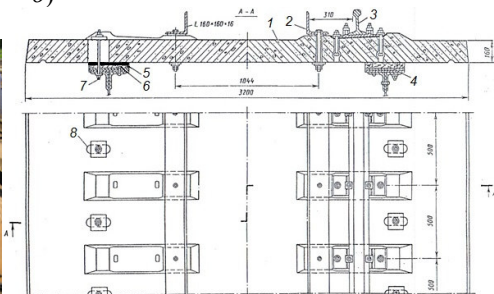


Рис. 1. Безбаластне мостове полотно із залізобетонних плит: а – загальний вигляд; б – конструкція: 1 – плита БМП; 2 – контруктник; 3 – рейка; 4 – верхня полка подовжньої (головної) балки прогонової будови; 5 – армована гумова стрічка прокладного шару; 6 – дерев'яна дошка прокладного шару; 7 – високоміцна шпилька; 8 – отвір в плиті для високоміцної шпильки

Сполучення між залізобетонними плитами безбаластного мостового полотна і головними або подовжніми балками металевих мостів забезпечується через суцільний по всій довжині балок прокладний шар або через дискретні опори, влаштовані по осі верхнього поясу балки під кожною підрейковою основою плити [1]. Суцільний прокладний шар виконують із

різноманітних матеріалів: антисептованих дощок або фанери з гумовою стрічкою (рис. 1, б); армованого цементно-піщаного розчину або дрібнозернистого бетону; безусадкової швидкотверднучої наливної суміші з гумовою стрічкою тощо. Дискретне обпирання виконується із металевих обойм, заповнених дрібнозернистим бетоном.

На залізницях України в теперішній час експлуатується суцільний прокладний шар таких видів:

- двошаровий гумо-дерев'яний з верхнім шаром із армованої гуми (транспортної стрічки) товщиною 8 – 10 мм і нижнім із дерев'яної дошки – соснової шириною 200 – 240 мм або з твердих порід деревини шириною не менше 100 мм (рис. 1, б);

- одношаровий гумовий з армованої гуми (транспортної стрічки) товщиною до 10 мм;

- одношаровий із армованого цементно-піщаного розчину або полімерцементного розчину;

- двошаровий з верхнім шаром із армованої гуми (транспортної стрічки) товщиною 8 ÷ 10 мм, шириною 160 – 250 мм, нижній – із полімеркомпозиційного матеріалу.

Аналіз досвіду експлуатації гумо-дерев'яного і гумового прокладних шарів [2 – 4] показав їх переваги і недоліки:

- зменшення жорсткості колії і подовження терміну служби її окремих елементів;

- складність забезпечення обпирання плити на балку без несущільностей і пустот;

- невеликий термін експлуатації через швидку втрату деревиною властивостей;

- нерівномірну втрату зусилля натягу шпильок, яка призводить до пошкодження плит;

- недостатній захист металевої поздовжньої балки прогонової будови від корозії та електрокорозії і навіть їх посилення за рахунок скупчування вологи в деревині та під нею.

Аналіз досвіду експлуатації цементно-піщаного прокладного шару [5–7] показав, що він забезпечує добрий контакт між плитою та балкою і захищає її від корозії. За товщини понад 40–50 мм прокладний шар зберігся у доброму стані, у плитах тріщини і дефекти не спостерігаються, при товщині 20 – 30 мм він, як правило, пошкоджений внаслідок неповного заповнення порожнечі і недостатньої міцності розчину через досягнення потрібної текучості за рахунок підвищення вмісту води (без пластифікаторів).

У [2 – 8] узагальнено дефекти і пошкодження мостового полотна із залізобетонних плит на різному прокладному шарі, розкрито причини більшості з них. Найбільш масовими пошкодженнями плит є тріщини [2], причинами утворення яких є розтягувальні напруження через надто високе

затягування високоміцних шпильок, недостатньо жорсткий або надто вузький прокладний шар [6, 7]. Сприяють розвитку тріщин і струми витoku на ділянках, електрифікованих постійним струмом [8]. З урахуванням результатів цього аналізу, вивчення досвіду улаштування та експлуатації подібних конструкцій в інших країнах [9] розроблено рекомендації з підвищення тріщиностійкості плит БМП [10], а також нові конструктивно-технологічні рішення прокладного шару, який має високу довговічність, запобігає утворення тріщин у плитах і струми витoku з колії [11 – 13].

Жорсткий прокладний шар рекомендовано виконуваний заливним полімеркомпозиційним [9] або із полімерцементних готових до застосування сухих будівельних сумішей [11]. Суміш повинна мати розтікання не менше 250 мм за віскозіметром Сутарда, міцність на стиск через 1 добу – не менше 20 МПа, проектну міцність – не менше 40 МПа. Розроблено полімерну композицію для улаштування наливного прокладного шару [9]. Композиція складається із епоксидної смоли ЕД-20 або її аналога, високоактивного амінного отверджувача УП-583Д, кам'яновугільної смоли, пластифікатора – дібутилфталата, портландцементу як наповнювача. 15-річний досвід експлуатації такого прокладного шару на мосту поблизу ст. Новожанове на ділянці Основа – Харків-пас. Південної залізниці показав його високі якість і довговічність. Проте складність наливної технології стосовно прокладного шару досі стримує її застосування під час експлуатації мостів.

Для улаштування прокладного шару, який забезпечить високу тріщиностійкість, ремонтпридатність, довговічність безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит розроблено цементну композицію, армовану полімерним волокнистим матеріалом [12, 13]. В теперішній час тривають дослідження, спрямовані на прискорення твердіння композиції, а також удосконалення технології улаштування прокладного шару.

Таким чином, встановлено, що основним типом прокладного шару під безбаластним мостовим полотном із залізобетонних плит на залізницях України є двошаровий гумодерев'яний шар, який має невисоку довговічність, а у плитах на ньому часто утворюються тріщини. Встановлено причини утворення тріщин, серед яких через надто високе затягування високоміцних шпильок, недостатньо жорсткий або надто вузький прокладний шар. Розроблено рекомендації із запобігання утворення тріщин у плитах та підвищення довговічності полотна, а також нові конструктивно-технологічні рішення улаштування прокладного шару і матеріали для них. Для подальшого удосконалення і досліджень обрано цементну композицію, армовану полімерним волокнистим матеріалом.

Список використаних джерел

1. Інструкція з укладання та експлуатації безбаластного мостового полотна

Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції

(БМП) на залізобетонних плитах (ЦП-0137). УкрДАЗТ, Укрзалізниця. 2006.

2. Мирошніченко С.В., Плугін А.Н., Плугін А.А., Корниенко И.Г. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна. *Будівельні конструкції*. 2009. Вип.72. С.457-464.

3. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Забіяка О.А., Линник Г.О., Бабенко А.І. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбалластного мостового полотна залізничних мостів. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2009. Вип.109. С.120-130.

4. Мірошніченко С.В. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2009. Вип.109. С.113-119

5. Линник Г.О. Дослідження місцевих деформацій бетонного прокладного шару при використанні мостового полотна на плитах БМП. Вісник НУ "Львівська політехніка". 2010. №662. С.293–295.

6. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Лобяк О.В., Забіяка О.А., Линник Г.О., Шуба Т. Аналіз напружено-деформованого стану плит безбалластного мостового полотна і прокладного шару під ними. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148. Ч.2. С.104–110.

7. Plugin A., Miroshnichenko S., Zabiya A., Linnik G. Increase of crack-stability of plates of without-ballast bridge bed of railway bridges. 7th Intern. Confer. on Bridges across the Danube «Theory and practice in bridge engineering». Sofia. 2010. P.307–310.

8. Плугін А.А., Забіяка О.А., Линник Г.О. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбалластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2010. Вип.115. С.75-82.

9. Шуба Т., Чистяк В., Перестюк В., Єлякіна О., Забіяка О.А., Плугін А.А. Досвід застосування нових конструкцій безбалластного залізничного полотна у Польщі та оцінка перспектив їх застосування в Україні. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.122. С.201–221.

10. Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбалластного мостового полотна (ЦП-0224) УкрДАЗТ, Укрзалізниця. 2010.

11. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Партала Н.М., Нестеренко С.Г., Перестюк В.В., Никитенко А.В. Цементні та полімерцементні дрібнозернисті бетони для прокладного шару безбалластного мостового полотна із залізобетонних плит. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148. Ч.2. С.39–45.

12. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Конев О.А., Партала Н.М., Суханова Ю.А., Палант О.В. Фізико-механічні властивості прокладного шару безбалластного мостового полотна із просторово армованої полімерним волокнистим матеріалом цементної композиції. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (TransBud). Харків. 2017. С.64–65.

13. Plugin A., Murygina N., Miroshnichenko S., Kaliuzhna O. Materials for Connecting Railway Reinforced Concrete Bridge Deck with Steel Bridge Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023. vol 290. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_32

**МОДИФІКУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО БІТУМУ МОНО-
ПЕРОКСИДНОЮ ПОХІДНОЮ ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ ЕД-24**

**MODIFICATION OF ROAD BITUMEN WITH MONOPEROXIDE
DERIVATIVE OF EPOXY RESIN ED-24**

Поляк О.Є., аспірант, Гунька В.М., к.т.н., доц., Братичак М.М., д.х.н., проф. (Національний університет «Львівська політехніка»)

Poliak O.Ye., PhD student (Eng.), Gunka V.M., Ph.D., Associate Professor (Eng.), Bratychak M.M., Dr. Sc., Professor (Eng.) (Lviv Polytechnic National University)

При одержанні і застосуванні дорожніх бітумів в Україні виникає три основні проблеми. Перша з них – неможливість на вітчизняних нафтопереробних підприємствах одержати якісний дорожній бітум, що пояснюється відсутністю важких ароматичних нафт в українських родовищах, які власне є сировиною виробництва бітумних матеріалів. Друга – недостатньо високі теплостійкі та адгезійні властивості товарних нафтових бітумів, що при збільшенні інтенсивності дорожнього руху, зростанні обсягів великовантажних перевезень, маси автомобілів разом із впливом на дорожню конструкцію погодно-кліматичних факторів, призводить до руйнування дорожнього покриття. Третя – для покращення експлуатаційних властивостей бітумів до них необхідно додавати дорогі промислові модифікатори [1-4].

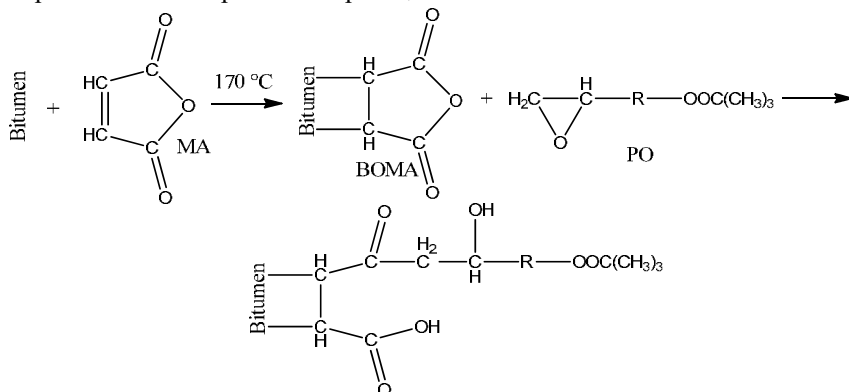
На даний час в Україні остання проблема є особливо актуальною, оскільки в останні 5 – 7 років ведеться інтенсивне будівництво нових автошляхів, ремонт існуючих, і, особливо, пошкоджених внаслідок військових дій, що, своєю чергою, викликає потребу у значній кількості якісного дорожнього бітуму. Внаслідок цього наша країна імпортує великі об'єми дорогих модифікаторів, що в кінцевому результаті значно підвищує вартість автомобільних доріг.

У зв'язку з цим останні кілька років на кафедрі хімічної технології переробки нафти та газу Національного університету «Львівська політехніка» ведуться наукові дослідження в напрямку розроблення нових методів одержання дорожніх нафтових бітумів, якісні характеристики яких відповідали покращеним вимогам.

Дана робота присвячена одержанню дорожніх нафтових бітумів модифікованих низькомолекулярними органічними речовинами. Варто зауважити, що запропонований метод відноситься до «хімічного модифікування», що, у випадку його промислового впровадження, дозволить уникнути використання дорогих «фізичних модифікаторів». Також розглянуто вплив монопероксидної похідної епоксидної смоли

ЕД-24 (ПО/РО – пероксидний олігомер) [5] на дорожній нафтовий бітум, який містить у своїй структурі фрагменти малеїнового ангідриду [6].

На нашу думку хімізм взаємодії окисненого бітуму з ПО можна зобразити за таким рівнянням реакції:



де, R – структурний фрагмент епоксидної смоли ЕД-24.

Отримання модифікованих бітумів проводили шляхом їх термостатування у герметичних ємностях. На першому етапі досліджень необхідно встановити вплив тривалості процесу модифікування на експлуатаційні властивості модифікованих зразків. Вивчення впливу тривалості здійснювали за 1, 2, 4, 6 та 8 год. при фіксованих параметрах інших чинників, а саме: температур процесу 130 °С, кількість ПО становила 2 % мас. на малеїнізований бітум. У наступних дослідженнях буде вивчено вплив температури та кількості ПО на процес.

Основні отримані результати зображені на рис. 1 та 2.

З рисунків 1 і 2 видно, що зі збільшенням тривалості модифікування бітуму спостерігається незначне збільшення температури розм'якшеності із зменшенням пенетрації за 25 °С. Варто відзначити, що збільшення тривалості модифікування понад 2 год спостерігається зменшення температури розм'якшеності (51,2 °С для 4 – 8 год у порівнянні з 52,0 °С для тривалості модифікування 1 та 2 год). Подібна тенденція спостерігається для пенетрації за 25 °С (45 – 48 дмм для 4 – 8 год у порівнянні з 52,0 дмм для тривалості модифікування 1 та 2 год). З вищенаведених даних можна зробити висновок, що модифікування малеїнізованого бітуму (БОМА) ПО варто проводити за тривалості 1-2 год.

Отже, досліджено принципову можливість використання ПО у процесі модифікування бітумів із проміжним модифікуванням малеїновим ангідридом. Встановлено, що найбільш доцільно модифікувати малеїнізований бітум ПО за тривалості 1 – 2 год. Отримані модифіковані бітуми володіють більшою теплостійкістю (температурою розм'якшеності)

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

бітумних в'язучих, із незначним зменшенням пенетрації. Зроблено припущення, що відбувається хімічна взаємодія ПО з компонентами малеїнізованого бітуму, яка на даний час підтверджується.

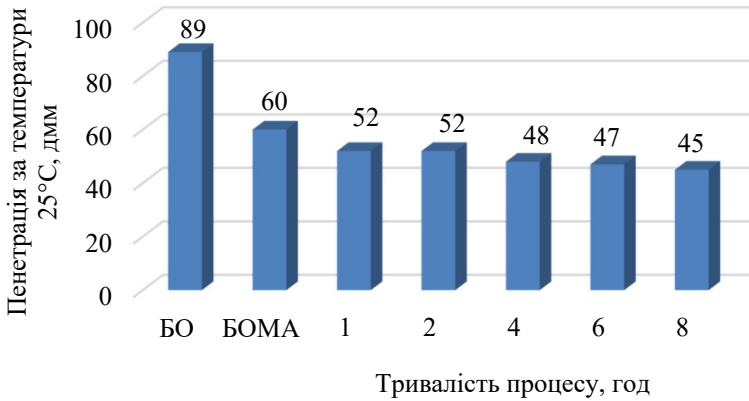


Рис. 1. Зміна пенетрації за температури 25 °С в залежності від тривалості процесу модифікування БОМА ПО (БО – бітум, БОМА – бітум модифікований малеїновим ангідридом)

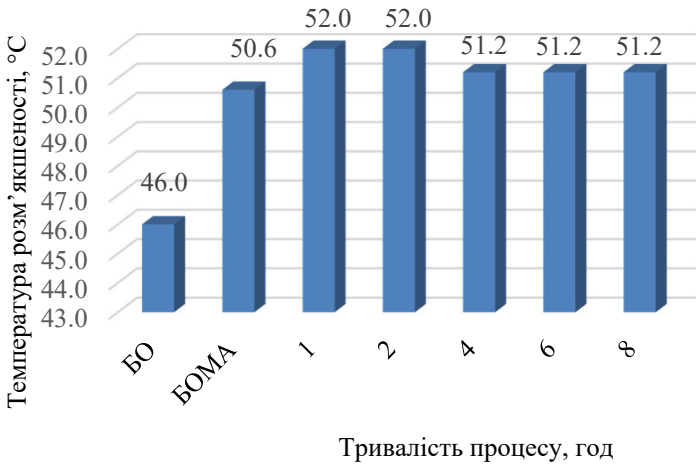


Рис. 2. Зміна температури розм'якшеності в залежності від тривалості процесу модифікування БОМА ПО (БО – бітум, БОМА – бітум модифікований малеїновим ангідридом)

Список використаних джерел

1. Boutevin B., Pietrasanta Y., Robin J.J.. Bitumen-Polymer Blends for Coatings Applied to Roads and Public Constructions. *Prog. Org. Coat.* 1989, 17, 221–249.
2. Walkering C.P., Vonk W.C., Whiteoak C.D., Improved Asphalt Properties Using SBS modified Bitumens. *Shell Bitum. Rev.* 1992, 66, 9–11.
3. Rodrigues C., Hanumanthgari R., Polymer modified bitumens and other modified binders. In *The Shell Bitumen Handbook*, 6th ed.; Hunter, R.N., Self, A., Read, J., Eds.; ICE Publishing: London, UK, 2015.
4. Pyshyev S., Gunka V., Grytsenko Y., Bratychak M. Polymer modified bitumen: Review. *Chemistry and Chemical Technology Volume 10, Issue 4s*, 2016, Pages 631-636.
5. М.М. Братичак, Мих.Мих. Братичак. Пероксидні похідні епоксидних смол: Синтез, властивості, застосування. Львів: В-но НУ «Львівська політехніка»,– 2003, – 236с.
6. Gunka V., Prysiaznyi Y., Hrynchuk Y., Sidun I., Demchuk Y., Shyshchak O., & Bratychak M. (2021). Production of bitumen modified with low-molecular organic compounds from petroleum residues. 2. Bitumen modified with maleic anhydride. *Chem. Technol*, 15(3), 443-449.

БІТУМНІ КАТІОННІ ЕМУЛЬСІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВОДИ ВІДБРАНОЇ ІЗ СТАВКІВ-НАКОПИЧУВАЧІВ КИСЛИХ ГУДРОНІВ

BITUMEN CATIONIC EMULSIONS USING WATER COLLECTED FROM ACID TAR STORAGE PONDS

**Сідун Ю.В., к.т.н., доц., Гунька В.М., к.т.н., доц., Волліс О.Є.,
аспірант, Бідось В.М., аспірант (Національний університет «Львівська
політехніка»)**

**Sidun Yu.V., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Gunka V.M., Ph.D. (Eng.),
Associate Professor, Vollis O. E., postgraduate student (Eng.), Bidos V.M.,
postgraduate student (Eng.) (Lviv Polytechnic National University)**

В недалекому минулому в нафтопереробці сірчана кислота в великому об'ємі використовувалась в якості реагенту для очистки від небажаних компонентів оливних фракцій, парафінів, гасу і бензину. Очистку проводили для видалення з нафтових фракцій ненасичених, сірко- та азотовмісних і смолистих сполук, які обумовлюють малу стабільність при зберіганні, нестабільність кольору і погіршує деякі експлуатаційні властивості. Проте даний процес, не зважаючи на технологічну простоту, володіє рядом недоліків, основним з яких є утворення досить великих кількостей відходів – кислих гудронів, які накопичувалися у ставках кислих гудронів.

Кислий гудрон, не зважаючи на його багаторічну історію, до даного часу практично не перероблявся. Відсутність раціонального методу переробки і утилізації кислого гудрону примушує підприємства вивозити його з території заводу і скидати в ставки- накопичувачі. Витрати виробництва на побудову ставків-накопичувачів, витрати на вивезення кислого гудрону і експлуатацію сховищ збільшують собівартість основної продукції. При такому «похованні» кислого гудрону відбувається забруднення навколишнього середовища, що призводить до закислення ґрунту і водоймищ, і як наслідок до знищення флори і фауни. Окисно-відновний процес, який самовільно протікає при довшому зберіганні кислого гудрону, несе за собою виділення великої кількості діоксиду сірки, що в свою чергу забруднює повітряний басейн і наносить шкоду тваринному та рослинному світові. При похованні кислого гудрону безповоротно втрачаються цінні ресурси органічної маси і сірки, які могли би бути використані [1 – 4].

Львівський дослідний нафтомаслозавод з 1955 до 1990 р. виготовляв трансформаторні оливи методом сірчаноокислотної очистки нафтових дистилатів. В результаті очистки одержували оливу та кислий гудрон, який вивозили на ставки-накопичувачі в районі села Грибовичі. Сьогодні існує чотири таких ставки біля Львівського полігону твердих побутових відходів.

Речовина в ставках має три шари: верхній – водний шар; середній – кислий гудрон, який являє собою суміш сульфокислот і непрореагованого нафтового дистилату; нижній – твердий шар. Верхній – водний шар (до 1 м) представлений «кислою водою», що вміщує сірчану кислоту, воду та інші домішки. Як відомо, для виготовлення катіонних дорожніх бітумних емульсій (БЕ) потрібно попередньо виготовити водну фазу емульсії, що включає в себе воду, емульгатор та кислоту.

Метою даного дослідження було вивчення можливості застосування «кислої води», як замітника кислоти та води в катіонних емульсіях.

Відтак, із трьох ставків-накопичувачів було відібрано ряд проб «кислої води» із водневим показником рН, що коливався в межах 0,97 – 1,97 та сформовану усереднену пробу із значення рН 1,64. Попередньо для дослідження можливості використання «кислої води», як замітника кислоти та частково води в катіонних емульсіях, виготовляли БЕ марки ЕКП-55 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [5], рецепти яких наведені в табл. 1. Як емульгатор використали четвертинний амін – товарний емульгатор Redicote E-11 компанії Nouryon (Нідерланди).

Таблиця 1

Рецепти катіонних бітумних емульсій

№ рецепту на БНД 70/100 ПАТ «Укртатнафта»	Компоненти БЕ, мас.%						Можливість виготовлення БЕ згідно рецепту
	Бітум	Катіонактивний емульгатор (Redicote E-11)	HCl	«Кисла вода»	Питна вода	рН у водній фазі	
1К	55,0	1,0	-	9,9	34,1	2,5	Так
2К			0,05	-	43,95	2,5	Так

В лабораторних умовах було встановлено, що для досягнення рівня рН 2,5 у водній фазі БЕ та вмісті емульгатора 1,0% мас. (в загальній масі БЕ) потрібно додати кислоту до питної із емульгатором у співвідношенні 1 до 3,5 (№ рецепту 1К, табл. 1). Тобто вміст кислої води в водній фазі БЕ складає близько 22 % мас, внаслідок чого вдається на цей відсоток зменшити вміст питної води у водній фазі БЕ і виключити використання кислоти. Дослідний рецепт №1К порівнювали із стандартним виробничим рецептом №2К за фізико-технічними показниками наведеними в табл. 2. Аналізуючи табл. 2 обидва рецепти БЕ придатні для застосування та не відрізняються особливо між собою.

Також була спроба виготовлення катіонних емульсій без додавання питної води, а лише на «кислій воді» з рН 1,64. Але додавання емульгаторів в кислоту воду особливо не підвищує рН водної фази БЕ. А рекомендоване рН у водній фазі для таких рецептів БЕ складає приблизно 2,5 (табл. 1). Відтак, фактор не дотримання рекомендованого рН у водній фазі (а саме заниження

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

його значення) призводить до утворення «агресивної емульсії», яка різко реагує з різними поверхнями, що може призвести до поганої однорідності, та як наслідок передчасного розпаду. Тому для заміни і кислоти, і води в водній фазі БЕ потрібно використовувати «кислу воду» із наперед підібраним її рН.

Таблиця 2

Фізико-технічні показники катіонних БЕ

Назва показника	Рецепти БЕ		Вимоги ДСТУ Б В.2.7-129
	1К	2К	
1. Зовнішній вигляд	Відповідає		Однорідна темно-коричнева рідина
2. Показник концентрації водневих іонів, рН	3,17	3,85	1,5-6,5
3. Однорідність (залишок на ситі № 014), %	0,01	0,01	не більше 0,25
4. Вміст залишкового в'язучого, %	55,90	55,47	53-57
5. Умвна в'язкість, за температури 20 °С на апараті з діаметром отвору витоку 4 мм, с	5,8	5,6	20, не більше, включно
6. Зчеплюваність залишкового в'язучого з поверхнею щебеню, балів	5,0	5,0	не менше 5,0
7. Індекс розпаду, %	226	228	170-230

В загальному отримані дослідження свідчать, що кислу воду можна використовувати, як компонент водної фази БЕ або для так званого купажу БЕ. Під купажем розуміють суміш кислоти з емульгатором та невисокою кількістю води. Купаж, як правило використовують на бітумно-емульсійних установках безперервної дії, його дозують у водний потік та вимірюють рН утвореної водної фази безпосередньо перед попаданням її у колоїдний млин. В даному випадку купаж буде складатись лише із поєднання емульгатора та кислоти води. Отже, видається принципово можливим використання кислоти води, як заміника кислоти в повному обсязі та заміника води для водної фази катіонних дорожніх БЕ.

Список використаних джерел

1. G J. Demaison. Tar Sands and Supergiant Oil Fields. *AAPG Bulletin*. 1977. 61 (11): p.1950-1961.
2. Буртна, І. А., Гачечіладзе, О. О., Ружинська, Л. І. Технологія переробки кислих гудронів з використанням мембранного розділення складних сумішей вуглеводнів. *Вісник ЖДТУ*. 2016. Вип. 44, С. 175-178
3. Фридер І.В., Топільницький П.І., Гринишин О.Б. Використання кислих гудронів у виробництві нафтових бітумів. *Вісник НУ «ЛП»*. 2013. Вип. 761.С. 452-457.
4. Львов О., Кандяк Я., Васків Н. Дослідження можливості використання кислих гудронів в дорожньому будівництві. *Збірник матеріалів II-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю*.2007. Вип. 3. С.135-138.
5. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови [Чинний з 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2013. 24 с.

**ВИКОРИСТАННЯ ВИПАЛЕНОГО ШЛАМУ ПАПЕРООБРОБКИ
(ВШП) ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА**

**USE OF WASTEPAPER SLUDGE ASH (WSA) IN ROAD
CONSTRUCTION**

**Соболь Х.С., д.т.н., проф., Гуняк О.М., к.т.н., Розмус Д.І.
(Національний університет «Львівська політехніка»)**

**Sobol Kh.S., DrSc, prof., Hunyak O.M., PhD, Rozmus D.I. (Lviv
Polytechnic National University)**

Будівельна галузь багатьма розцінена як дуже консервативна в своїх підходах, особливо в плані поглинань досягнень в області матеріалознавства. В сучасних реаліях в'яжучі на основі портландцементу розглядаються як основне джерело консервативних тенденцій, а нові цементні в'яжучі та супутні продукти потребують сертифікації та тривалого впровадження. Таким чином більшість нових матеріалів, незважаючи на вражаючі результати, все ще стикаються з жорсткою конкуренцією з боку більш відомих матеріалів. Яскравим прикладом вищенаведених фактів служить використання зольних залишків від спалювання відходів паперового виробництва в дорожньому будівництві.

Використання відходів паперообробки в будівництві – багаторічна дослідницька практика Європейських країн. У роботі дослідників щодо утилізації макулатурних відходів [1] прослідковуються два основних методи використання: перший включає залучення відходів макулатури у «сирому» вигляді, тоді як інший підхід - застосування випаленого шламу паперообробки (ВШП).

В Європі, за даними офіційної статистики до 2009 року, утворювалося приблизно 11 млн. тон відходів паперового виробництва щороку. Цю сировину доцільно відправляти на переробку, надавши їй екологічний та економічний потенціал, утворюючи майже безвідходний процес виробництва [2]. Оптимальним вирішенням проблеми утилізації макулатури є комплексне використання паливного ресурсу його органічної складової з наступним залученням утворених термооброблених залишків у будівельну індустрію.

На даний час є окремі пропозиції по використанню попередньо висушених відходів у виробництві теплоізоляційних виробів, в керамічній промисловості, для закріплення ґрунтів, та у сільському господарстві. Але більша його частина у вигляді вологого шламу зберігається у відвалах, породжуючи проблему забруднення навколишнього середовища. Використання термооброблених паперових відходів є перспективним напрямом економії паливо-енергетичних та зменшення витрат природних

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

ресурсів при виробництві цементу і бетону, спрямованим на зменшення частки клінкеру в цементі, заміни частини цементу додатковими цементуючими матеріалами. Такий підхід відповідає пріоритетним принципам рівномірного і сталого розвитку галузі, спрямованим на створення екологічно чистих малоенергоємних технологій.

Згідно з попередніми дослідженнями [3] встановлено, що ВШП за своїми фізико-хімічними властивостями та складом (табл. 1) дуже схожі на класичні силікатні в'язучі матеріали і утворюють тверднучі системи. Окремі дослідження [4, 5] показали, що ВШП успішно використовуються в порівняно невеликому дозуванні (5 – 10 % від маси цементу) у бетоні та розчинах для поліпшення механічних властивостей матеріалу.

Таблиця 1

Хімічний склад ВШП

Складові	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	В.п.п.	Σ
Мас. %	49.84	26.44	15.36	2.16	1.16	0.45	3,13	98,54

При розробці дорожніх бетонів для вивчення фізико-хімічних закономірностей підвищення ефективності використання цементів, було використано портландцемент ПЦ II/A-III-400 ПрАТ «Кривий Ріг Цемент». Гранітний щебінь кар'єру м. Коростень Житомирської області суміші фракції (3 - 8) та (5 - 20) використовувався в якості крупного заповнювача для дорожніх бетонів. Як дрібний заповнювач використовували кварцовий пісок Жовківського кар'єру Львівської обл., що задовольняє вимоги ДСТУ Б В.2.7-32-95. Метою дослідження було встановлення можливості застосування випалених відходів целюлозно-паперового виробництва для дорожніх цементобетонів.

Було підібрано три склади дорожнього цементобетону з використанням ВШП: контрольний, із заміною 5 та 10% цементу на ВШП. Номінальний склад бетону Ц:П:Щ(3-8):Щ(5-10)=1:1,94:1:58:2,45 при В/Т=0,42. Для підвищення характеристик бетону до його складу також вводили добавки концерну Sika, а саме суперпластифікатор Plastiment-1135 та повітровтягувальну добавку Sika Mix Plus у кількості 0,8 % та 0,02 % від маси в'язучого відповідно. Властивості сумішей наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Властивості цементобетоних сумішей

Назва складу	ОК, см	Об'єм втягнутого повітря, %	Густина бетонної суміші, кг/м ³
Контрольний	4	5,5	2320
5 % ВШП	4	5,2	2360
10 % ВШП	2,5	5,0	2390

Експлуатаційні та фізико-механічні властивості бетону визначаються його структурою, яка залежить від властивостей складових – крупного і дрібного заповнювачів, цементу, їх кількісним вмістом і взаєморозташуванням, характером структурних і хімічних зв'язків між ними, а також наявністю різноманітних порожнин, мікротріщин та пор у міжзерновому просторі і т.д. З основних властивостей затверділого важкого бетону в цій роботі найбільшу увагу приділяли міцності на стиск і згин (рис. 1).

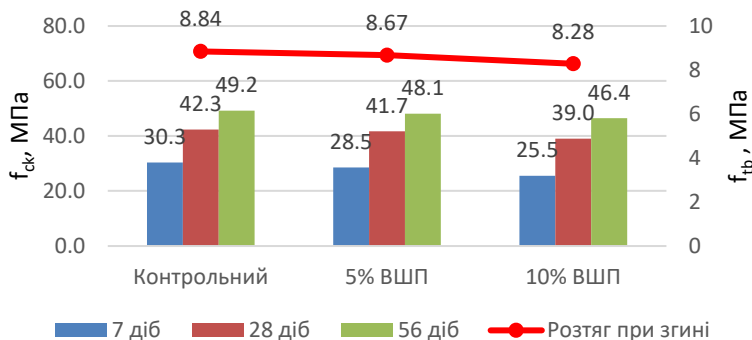


Рис. 1. Міцність бетону на стиск та розтяг при згині

Результати показують незначне падіння міцності на згин на 28-му добу тверднення, на 1,9 % і на 6,3 % відповідно. Слід відзначити, що на початкових етапах тверднення міцність зразків з використанням ВШП є дещо меншою ніж у контрольного зразка, однак з плином часу різниця стає все меншою завдяки пролонгованій гідратації в'язучих компонентів.

Відкрита пористість зразків зросла на 5,9 % із заміною 5 % цементу на ВШП і на 11,5 % при заміні 10 % цементу порівняно з бетоном контрольного складу (рис. 2). Результати корелюють з показниками водопоглинання бетону. Це викликано значною пористістю випаленого шламу.

Згідно отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Використання ВШП в якості додаткових цементуючих матеріалів може мати екологічну та економічну ефективність при використанні їх у бетонах, в тому числі і дорожніх.

2. Додавка ВШП у початковий період тверднення дещо знижує міцність бетону, проте з плином часу негативний вплив на фізико-механічні властивості нівелюється.

3. Із збільшенням вмісту ВШП у бетоні, зростає його водопоглинання та відкрита пористість.

4. Вивчення впливу ВШП на довговічність бетону, зокрема водонепроникність та морозостійкість потребує додаткових досліджень.

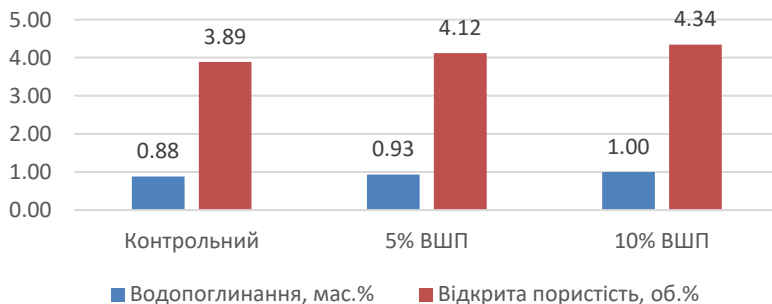


Рис. 2. Водопоглинання за масою та відкрита пористість бетону

Список використаних джерел

1. Ochoa de Alda, J.A.G.: Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. *Resour. Conserv. Recycl.* 2008. 52(7). P. 965–972.
2. Jain S. Utilization of waste paper sludge in construction industry. Technical report., 2015. 15 p.
3. Sobol, K., Solodkyy, S., Petrovska, N., Belov, S., Hunyak, O., Hidei, V.. Chemical Composition and Hydraulic Properties of Incinerated Wastepaper Sludge. *Chemistry & Chemical Technology*. 2020. 14(4). P. 538-544.
4. Frias M., Garcia R., Vigil R., Ferreiro S. Calcinations of art paper sludge waste for the use as a supplementary cementing material. *Appl Clay Sci* 2001, 42(1-2), P. 189-193.
5. Ahmad, S., Malik, M. I., Wani, M. B., Ahmad, R. Study of concrete involving use of waste paper sludge ash as partial replacement of cement. *IOSR Journal of Engineering*. 2013. 3(11). P. 6-15.

**ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ
МІНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКУ В ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ
ТЕМПЕРАТУР**

**ASSESSMENT OF THE STRUCTURING CAPACITY OF MINERAL
POWDER IN A EXTENSIVE RANGE OF TEMPERATURES**

Соколов О.В. (Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)

Sokolov O.V. (State enterprise «State Road Research Institute named after M. P. Shulgin», Kyiv)

Мінеральний порошок є важливим складником асфальтобетонної суміші, що виконує велику роль в забезпеченні їх якості. Питома поверхня мінерального порошку становить близько 90 % питомої поверхні мінеральних матеріалів у складі асфальтобетонної суміші. У складі асфальтобетонної суміші мінеральний порошок виконує дві ролі – заповнює пори між дрібним та крупним заповнювачем і структурує бітум. Останнім часом значна кількість робіт присвячується дослідженню відходів промисловості як сировини для виробництва мінерального порошку. Насамперед ці дослідження пов'язані з оцінюванням безпосереднього впливу мінерального порошку переважно на об'ємні властивості асфальтобетону або ж на його міцнісні властивості. Оскільки одним із призначень мінерального порошку є структурування бітуму, то значну увагу під час дослідження альтернативної сировини доцільно приділяти структурувальній здатності отриманого мінерального порошку, оскільки недостатня структурувальна здатність мінерального порошку може стати причиною утворення пластичних деформацій, а надто велика структурувальна здатність – причиною зростання жорсткості асфальтобетону та зниження його низькотемпературної тріщиностійкості.

Дане дослідження було присвячено оцінюванню впливу мінерального порошку різного походження на структурування бітуму за низької та високої температури експлуатації, а також за технологічних температур виробництва асфальтобетонних сумішей.

Для проведення досліджень було прийнято мінеральний порошок з вапняку, граніту, кварциту, золи-винесення, механоактивованої золи-винесення, золи з гідровідвалу, доменного шлаку та цементу. Мінеральні порошки з кварциту, граніту, доменного шлаку та механоактивованої золи-винесення було отримано в лабораторних умовах з використанням кульового млина.

Також для досліджень було прийнято базовий бітум марки БНД 70/100, що характеризується глибиною проникності голки за

температури 25 °С $74 \times 0,1$ мм, температурою розм'якшеності 48 °С та температурою крихкості мінус 19 °С.

Досліджувану суміш мінерального порошку та бітуму (асфальтов'язуче) отримували шляхом змішування 60 % мінерального порошку з 40 % бітуму за температури близько 150 °С. Оскільки в роботі [1] було показано, що на структурувальну здатність мінерального порошку впливає розмір його частинок, то для більш точного порівняння було взято мінеральний порошок з розміром частинок менше ніж 0,071 мм.

Структурувальну здатність мінерального порошку за низьких експлуатаційних температур оцінювали за різницею температури крихкості асфальтов'язучого та бітуму, за високих експлуатаційних температур – за різницею температури розм'якшеності асфальтов'язучого та бітуму, а також за відношенням динамічної в'язкості асфальтов'язучого та бітуму за температури 70 °С, за технологічних температур – за відношенням динамічної в'язкості асфальтов'язучого та бітуму за температури 165 °С. В усіх випадках для забезпечення потрібної товщини плівки асфальтов'язучого або ж його обсягу, враховували його дійсну щільність.

Вимогами [2] встановлено, що структурувальна здатність мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності повинна становити від 10 °С до 20 °С. Результати досліджень показали, що всі мінеральні порошки за структурувальною здатністю за високих експлуатаційних температур на основі зміни температури розм'якшеності відповідають вимогам [2].

Найбільшою структурувальною здатністю за температурою розм'якшеності відзначається мінеральний порошок із золи гідровідвалу (15,3 °С), а найменшою – з цементу (10,3 °С). При цьому, мінеральний порошок з вапняку, граніту та доменного шлаку має практично однакову структурувальну здатність, а мінеральний порошок з кварциту, золи-винесення та механоактивованої золи-винесення відзначаються на (1,0 – 2,0) °С вищою структурувальною здатністю.

Вищі значення структурувальної здатності мінерального порошку можуть свідчити про більшу пористість відповідного мінерального порошку, наближення форми частинок мінерального порошку до округлої форми (підтвердженням чому може бути зниження структурувальної здатності мінерального порошку з золи-винесення під час механоактивації), а також різний зерновий склад мінерального порошку в межах до 0,071 мм.

Найбільшою структурувальною здатністю за відношенням динамічної в'язкості відзначається мінеральний порошок із золи гідровідвалу (7,6), а найменшою – з вапняку (4,3), тобто структурувальна здатність мінерального порошку із золи з гідровідвалу є практично в два рази більшою за структурувальну здатність мінерального порошку з вапняку. Близькою до структурувальної здатності мінерального порошку з вапняку є структурувальна здатність золи-винесення (5,0) та механоактивованої золи-

винесення (4,7), а до значень структурувальної здатності мінерального порошку із золи гідровідвалу наближається структурувальна здатність мінерального порошку з іншої сировини. Варто зазначити, що результати оцінювання структурувальної здатності мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності та відношенням динамічної в'язкості мають суттєві відмінності. Якщо за зміною температури розм'якшеності мінеральний порошок з вапняку, граніту та доменного шлаку має близькі значення структурувальної здатності, то за відношенням динамічної в'язкості мінеральний порошок з граніту та доменного шлаку має в (1,5 – 1,6) рази більшу структурувальну здатність.

Ще більш цікавими виявилися результати визначення структурувальної здатності мінерального порошку за технологічних температур. За температури 165 °С структурувальна здатність мінерального порошку є більше ніж в два рази вищою за структурувальну здатність мінерального порошку за температури 70 °С, тому варто очікувати, що за низької температури експлуатації структурувальна здатність мінерального порошку буде найнижчою. Також варто зазначити, що характер структурувальної здатності мінерального порошку за відношенням динамічної в'язкості за температури 70 °С та 165 °С є однаковим.

Якщо структурувальна здатність мінерального порошку за температурою розм'якшеності становить від 10,3 °С (з цементу) до 15,2 °С (із золи з гідровідвалу), то структурувальна здатність за температурою крихкості становить від 3,0 °С (з вапняку) до 5,2 °С (із золи з гідровідвалу).

В процесі даного випробування було встановлено, що під час підготування пластин з асфальтов'язучим відбувається його розшарування (виняток має місце у випадку мінерального порошку з вапняку, кварциту та механоактивованої золи-винесення), тобто можна стверджувати, що значною мірою має місце не структурування в'язучого, а його наповнення мінеральним порошком. Це, в свою чергу, може впливати на достовірність результатів випробування, зокрема, під час визначення структурувальної здатності за відношенням динамічної в'язкості в результаті осідання мінерального порошку, що може пояснити більшу структурувальну здатність мінерального порошку за технологічної температури. Крім того, під час використання відповідного мінерального порошку за технологічної температури можливе часткове відділення бітуму від асфальтов'язучого та сегрегація асфальтобетонної суміші за в'язучим.

Для оцінювання ефективності мінерального порошку можна досліджувати його структурувальну здатність за зміною температури крихкості, оскільки під час визначення даного показника можна оцінити ефект від структурування, що полягає в збереженні однорідності асфальтов'язучого під час підготування пластин.

В результаті об'єднання мінерального порошку з бітумом відбуваються позитивні зміни останнього, що проявляється в більшому

зростанні температури розм'якшеності ніж температури крихкості, тобто асфальтов'язуче має більший інтервал пластичності ніж бітум.

В цілому інтервал пластичності асфальтов'язучого є більшим в межах до 10,1 °С. Зважаючи на те, що найменше підвищення температури крихкості має місце у випадку асфальтов'язучого з мінеральним порошком з вапняку, а також спостереження під час визначення даного показника, то даний мінеральний порошок можна вважати найбільш привабливим до використання, принаймні для асфальтобетону шару покриття. Також доцільно звернути увагу на мінеральний порошок з кварциту та механоактивованої золи-винесення.

Дослідження структуровальної здатності мінерального порошку за зміною температури розм'якшеності різного походження засвідчили можливість використання для виробництва мінерального порошку сировини різного походження, а саме: сировини з гірських порід (осадових, вивержених та метаморфічних), сировини з вторинних продуктів промисловості (золи-винесення, золи з гідровідвалу та металургійних шлаків), а також фактично готовий будівельний продукт (цемент).

Відомо [3], що під час виробництва асфальтобетонних сумішей під впливом температури та кисню відбувається старіння бітуму, тому дану особливість доцільно враховувати і під час оцінювання структуровальної здатності мінерального порошку, а також під час оцінювання впливу мінерального порошку на старіння асфальтобетону в цілому. Це означає, що як підвищення температури крихкості, так і зростання температури розм'якшеності певною мірою може бути пов'язане з старінням бітуму.

Наступні дослідження доцільно присвятити оцінюванню старіння бітуму в результаті змішування з мінеральним порошком, а також оцінюванню впливу мінерального порошку на старіння бітуму в процесі експлуатації асфальтобетону.

Список використаних джерел

1. Пыриг Я.И. О структурирующей способности минеральных порошков. *Вестник ХНАДУ*, вып. 67, 2014.
2. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2015. 42 с.
3. Ivan Kopynets, Oksana Sokolova, Iryna Gudyma, Alina Yunak. Laboratory studies to reduce the technological aging of bitumen. *Дороги і мости*. Київ, 2018. Вип. 18. С. 107-118.

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ РУХУ ВАНТАЖНИХ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ
ПОВІТРЯ**

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF TRAVELING TRUCK
VEHICLES IN HIGH AIR TEMPERATURES**

Соколова О.Б., Копинець І.В., к.т.н., Юнак А.Л. (Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ)

Sokolova O.B., Kopynets I.V., Ph.D., Yunak A.L. (State enterprise «State Road Research Institute named after M. P. Shulgin», Kyiv)

Наразі в Україні діють обмеження щодо руху в денну пору доби за температури повітря вище 28 °С транспортних засобів фактичною масою понад 24 тонни і навантаженням на вісь 7 тонн, крім транспортних засобів, що здійснюють перевезення небезпечних, швидкопсувних вантажів, живих тварин і птиці, а також перевезення, пов'язані із запобіганням або ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій. Температуру повітря 28 °С вважають температурою за якої конструкція дорожнього одягу під впливом динамічних навантажень може різко втрачати несучу здатність, що є однією з умов, за яких створюється загроза безпеці дорожнього руху або можуть бути пошкоджені та зруйновані автомобільні дороги [1].

Чинною нормативною документацією встановлено, що під час проектування конструкції дорожнього одягу має бути враховано кліматичні умови роботи асфальтобетону, а покриття має протистояти накопиченню пластичних деформацій влітку для чого треба передбачити заходи з забезпечення його колієстійкості [2, 3]. У той же час алгоритму забезпечення колієстійкості поки що не існує.

У зв'язку з цим у роботі [1] було встановлено шість критеріїв, які треба урахувати під час визначення можливості зняття обмежень до руху вантажних транспортних засобів за високої температури повітря для уже побудованих автомобільних доріг, а саме: марка бітуму у складі асфальтобетону; сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за строк експлуатації дорожнього одягу; категорія автомобільної дороги; швидкість руху транспортних засобів; рік влаштування покриття.

Виходячи з цього, було виконано збір відповідної інформації від служб автомобільних доріг у областях щодо автомобільних доріг державного значення, виконано аналіз зібраних даних та визначено ділянки автомобільних доріг на яких доцільно обмежити рух вантажних транспортних засобів за високої температури. Зведену інформацію щодо проаналізованих ділянок автомобільних доріг наведено в таблиці 1, а

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

проаналізовані ділянки із зазначенням ділянок на яких доцільно установлювати обмеження зображено на рисунку 1 (виділені червоним кольором).

Таблиця 1

Зведена інформація щодо проаналізованих ділянок автомобільних доріг

Показник	Автомобільні дороги			
	міжнародні	національні	регіональні	територіальні
Загальна кількість ділянок, шт.	449	482	623	1509
Кількість проаналізованих ділянок, шт.	419	453	621	1488
Кількість ділянок, для яких недоцільно встановлювати обмеження для руху вантажних транспортних засобів, шт.	171	200	283	868
Кількість ділянок, для яких доцільно встановити обмеження для руху вантажних транспортних засобів, шт.	248	253	338	620
У тому числі кількість ділянок, для яких доцільно встановити обмеження для руху вантажних транспортних засобів за температури вище ніж 29 °С, шт.	30	52	59	93
Загальна протяжність ділянок, км	6980,1	6040,6	7743,4	17968,6
Загальна протяжність проаналізованих ділянок, км	6640,2	5614,3	7716,9	17855,4
Загальна протяжність проаналізованих ділянок, для яких недоцільно встановлювати обмеження для руху вантажних транспортних засобів, км	1810,2	1769,1	2365,2	8584,2
Загальна протяжність проаналізованих ділянок, для яких доцільно встановити обмеження для руху вантажних транспортних засобів, км	4830,0	3845,2	5351,7	9271,2
У тому числі протяжність ділянок, для яких доцільно встановити обмеження для руху вантажних транспортних засобів за температури вище ніж 29 °С, км	378,5	765,9	790,8	812,2

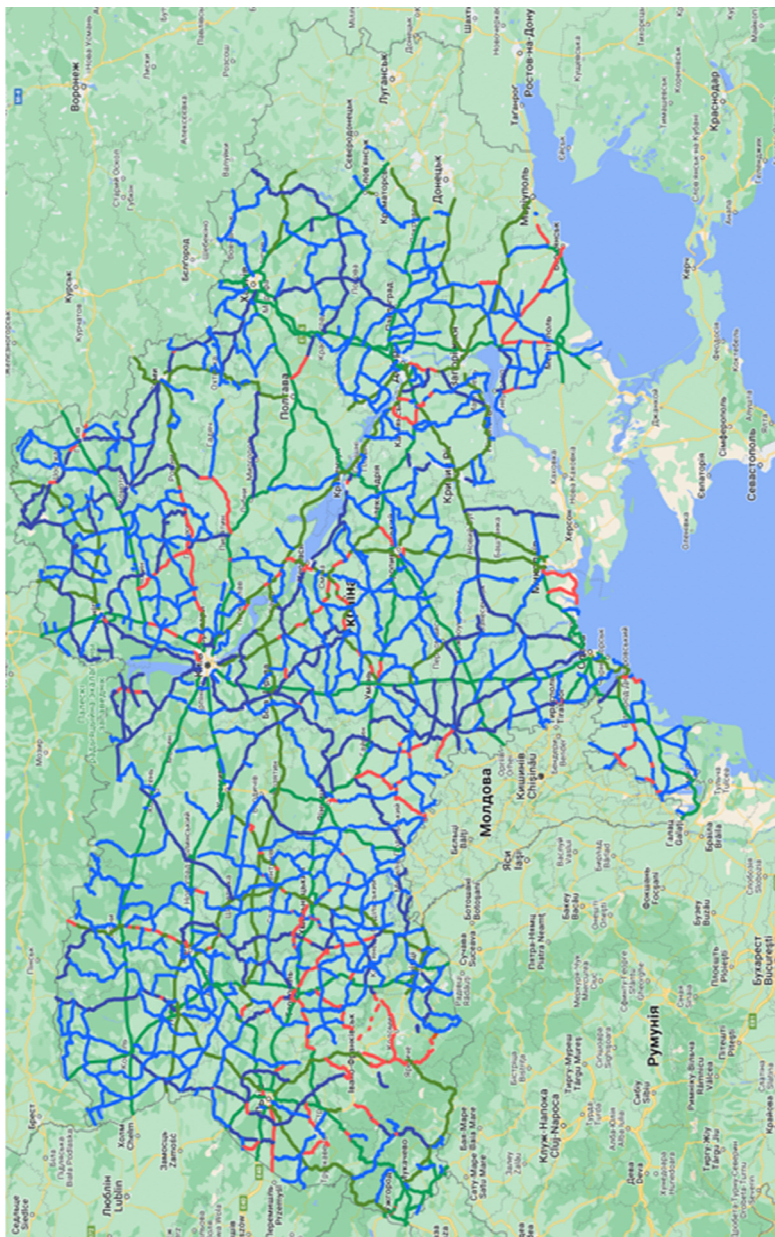


Рис. 1 – Загальне зображення проаналізованих ділянок

Виконаний аналіз матеріалів бітумовмісних шарів дорожнього одягу автомобільних доріг державного значення показав, що в Україні в складі асфальтобетону переважно використовували звичайні бітуми, які не забезпечували колієстійкість асфальтобетону, що, ймовірно й обумовило введення обмежень.

Сучасні знання щодо зміни властивостей бітуму та асфальтобетону під дією погодно-кліматичних чинників дозволили віднести такі автомобільні дороги збудовані переважно в період з 1980-х років до 2015 року до таких, що умовно відповідають кліматичним умовам роботи асфальтобетону за високих температур.

Незважаючи на розвиток технологій поліпшення властивостей бітуму шляхом їх модифікації, що сприяє підвищенню колієстійкості асфальтобетону, в останні роки також мало місце застосування бітумів, що не відповідають кліматичним умовам роботи асфальтобетону, що в певних випадках може стати причиною утворення колії у разі зняття обмежень щодо руху вантажних транспортних засобів.

Результати досліджень засвідчили, що під час проектування конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг обов'язково треба здійснювати вибір бітуму для асфальтобетону з урахуванням кліматичних умов роботи асфальтобетону, що в майбутньому дасть змогу не застосовувати жодних температурних обмежень до руху вантажних транспортних засобів. Для цього треба розробити чіткий алгоритм вибору бітуму з урахуванням клімату, сумарної розрахункової кількості проїздів розрахункового навантаження за весь нормативний строк експлуатації дорожнього одягу та швидкості руху транспортних засобів.

Однак, на початковому етапі все ж таки доцільно обмежити рух великовагових транспортних засобів за температури вище ніж 29,0 °С, виконати дослідні спостереження за автомобільними дорогами на яких здійснюється рух таких транспортних засобів, зокрема з використанням даних системи WiM, та прийняти рішення щодо подальших обмежень.

За результатами виконаної роботи розроблено інтерактивну карту із зазначенням критичних ділянок автомобільних доріг, рух на яких за певних температурних умов може призвести до утворення колії. Однак треба ураховувати, що дані ділянки визначені відповідно до запропонованого авторами алгоритму, який потребує детального обговорення.

Список використаних джерел

1. Копинець І. В., Соколова О. Б., Юнак А. Л. Передумови зняття обмежень до руху вантажних транспортних засобів за високої температури повітря. *Дороги і мости*. 2022. Вип. 26. С. 61–84.
2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015.
3. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ, 2019.

РОЗРОБКИ EN СПЕЦИФІКАЦІЙ НА БІТУМНІ В'ЯЖУЧІ

DEVELOPMENTS IN EN SPECIFICATIONS FOR BITUMINOUS BINDERS

Сотерн М., Bituconsult Ltd

Southern M., Bituconsult Ltd

Нормативно-правова база ЄС щодо будівельних матеріалів ґрунтується на «Регламенті будівельних матеріалів (Регламент (ЄС) № 305/2011)», який встановлює «Основні вимоги до виробництва» (BWR). До них відносяться:

- Механічна стійкість та стабільність.
- Безпека у разі пожежі.
- Гігієна, здоров'я та довкілля.
- Безпека та доступність у використанні.
- Захист від шуму.
- Енергозбереження та збереження тепла.
- Рациональне використання природних ресурсів.

Вимоги BWR повинні бути включені до специфікації бітумів різних типів:

- Дорожні марки (EN 12591).
- Тверді дорожні марки (EN 13924 – 1).
- Дорожній бітум Мультиґрейд (EN 13924 – 2).
- Бітум, модифікований полімерами (EN 14023).
- Твердий будівельний бітум (EN 13305).
- Окислений бітум (EN 13304).

Сучасний стан стандартів EN на бітум:

• Діючі версії для бітумних в'язучих не оновлюватимуться через проблеми із затвердженням їх консультантом HAS (Гармонізовані стандарти, Комісія ЄС).

• Мандат CEN та Регламент будівельних матеріалів несумісні.
• Можна розглянути питання про оновлення стандартів без гармонізації, але малоімовірно, що вони будуть поширені.

• Фундаментальні методи випробувань (реологічні) набувають все більшого поширення в державах-членах.

• Загальна згода працювати над добровільною специфікацією, включаючи реологічні випробування.

Бітум дорожній Технічні характеристики.

Обов'язкові вимоги версії стандарту, що розглядається, не відрізняються від вимог стандарту EN 12591:2016 (Рис. 1, 2).

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

Table 1 — Paving grade bitumen specifications for grades from (20 × 0,1) mm to (220 × 0,1) mm penetration —
Properties applying to all paving grade bitumens listed in this table

Property	Test method	Unit	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetration at 25 °C	EN 1426	0,1 mm	20 – 30	30 – 45	35 – 50	40 – 60	50 – 70	70 – 100	100 – 150	160 – 220
Softening point	EN 1427	°C	55 – 63	52 – 60	50 – 58	48 – 56	46 – 54	43 – 51	39 – 47	35 – 43
Resistance to hardening at 163 °C	EN 12607-1									
Retained penetration		%	≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Increase in softening point, - Severity 1		°C	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
or		°C	or	or	or	or	or	or	or	or
Increase in softening point, - Severity 2 ^a		°C	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
Change of mass ^b (absolute value)		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Flash point	EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Solubility	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0

^a When Severity 2 is selected it shall be associated with the requirement for Fraass breaking point or penetration index or both measured on the unaged binder (see Table 2).
^b Change in mass can be either positive or negative.

The properties in Table 1 shall be specified for all paving grade bitumens listed in this Table. They are associated with regulatory or HSE requirements and shall be included in all specifications.

Рис. 1. EN 12591 – специфікація що пропонується

Table 2 — Paving grade bitumen specifications for grades from (20 × 0,1) mm to (220 × 0,1) mm penetration -
Properties associated with regulatory or other regional requirements

Property	Test method	Unit	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetration index ^a	Annex A ^b	-	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c	- 1,5 to + 0,7 or NR ^c
Dynamic viscosity at 60 °C	EN 12596 / EN 13302 ^{d,e} / EN 13702 ^d	Pa · s	≥ 440 or NR ^c	≥ 260 or NR ^c	≥ 225 or NR ^c	≥ 175 or NR ^c	≥ 145 or NR ^c	≥ 90 or NR ^c	≥ 55 or NR ^c	≥ 30 or NR ^c
Fraass breaking point ^a	EN 12593	°C	NR ^c	≤ - 5 or NR ^c	≤ - 5 or NR ^c	≤ - 7 or NR ^c	≤ - 8 or NR ^c	≤ - 10 or NR ^c	≤ - 12 or NR ^c	≤ - 15 or NR ^c
Kinematic viscosity at 135 °C or Dynamic Viscosity at 135 °C	EN 12595 or EN 13302 / EN 13702 ^d	mm ² /s or mPa · s	≥ 530 or or NR ^c	≥ 400 or or NR ^c	≥ 370 or or NR ^c	≥ 325 or or NR ^c	≥ 295 or or NR ^c	≥ 230 or or NR ^c	≥ 175 or or NR ^c	≥ 135 or or NR ^c

^a When Severity 2 is selected it shall be associated with the requirement for Fraass breaking point or penetration index or both measured on the unaged binder.
^b Reference to normative Annex A in this document dealing with the calculation of penetration index.
^c NR. No Requirement may be used when there are no regulations or other regional requirements for the property in the territory of intended use.
^d For viscosity testing, interested parties are invited to use EN 13302 and EN 13702 respectively if correlation with EN 12595 and EN 12596 test results is demonstrated. However, in case of dispute for testing dynamic viscosity at 60 °C the reference method remains EN 12596.
^e Experience has shown that for viscosity testing at 60 °C EN 13302 is applicable to grades 70/100 and softer only.

The properties in Table 2 are required to meet specific regional conditions. They are associated with regulatory or other regional requirements.

Рис. 2. EN 12591 – продовження

Як і в попередньому випадку, ця таблиця не містить відмінностей від вимог EN 12591:2016.

PROPERTY		TEST METHOD	UNIT	VALUE
Low temperature behaviour after long term ageing ^a	Temperature at which $S = 300 \text{ MPa}$	EN 12607-1 +	°C	RV
	Temperature at which $m = 0.3$	EN 14769 +	°C	RV
		EN 14771 +		
Addressing temperature sensitivity: G^* and δ @ 1.59 Hz (10 rad s^{-1}) after short-term ageing ^a	8 mm plate	EN 12607-1 +	°C	RV
	Temperature for $G^* = 5 \text{ MPa} = T1^b$		°	RV
	Value of δ at $T1$			
	25 mm plate		°C	RV
Temperature for $G^* = 50 \text{ kPa} = T2^b$	°		RV	
Value of δ at $T2$				

^a The applicable properties shall be provided for bitumen grades appearing in Table 1; long term ageing includes RTFOT + PAV conditioning.

^b The temperatures $T1$ and $T2$ shall be determined by interpolation from two temperatures, one below and one above the targeted temperature.

RTFOT
PAV
BBR
RTFOT
DSR

RV A Reported Value is described as a value which shall be given by the supplier of the bituminous binder.

Рис. 3. EN12591 – запропоновані реологічні випробування

Майбутнє специфікації бітумних в'язучих.

- Майбутні специфікації повинні включати етапи короткострокового та довгострокового старіння.

- Тестування на динамічному реометрі зсуву буде мати важливе значення для оцінки експлуатаційних характеристик (якості), і обов'язково використовуватиметься для визначення властивостей при підвищених робочих температурах.

- Перевага віддається реометру з балкою, що згинається, для низьких робочих температур, але замість нього можна використовувати 4 мм DSR

Планується розробити стандарти на методи випробувань:

- EN 14770 (Визначення комплексного модуля зсуву та фазового кута – динамічний реометр зсуву (DSR)) знаходиться на стадії перегляду та включатиме пластину товщиною 4 мм.

- EN17643 – Визначення температури модуля рівного зсуву та фазового кута за допомогою реометра динамічного зсуву (DSR). Випробування BTSV. Передбачається визначення температури, за якої $G^* = 15 \text{ кПа}$ та можлива заміна температури розм'якшеності на це випробування.

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЗУЧОСТІ ФІБРОБЕТОНУ

FEATURES OF CREEP OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

Сур'янінов М.Г., д.т.н., проф., Константинов П.В., к.т.н., доц., Метлицький В.В., аспірант (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Surianinov M.H., D.Sc. (Eng.), Prof., Konstantinov P.V., Ph.D. (Eng.), Metlitzkiy V.V., postgraduate (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

В останні десятиліття відмітною рисою розвитку промислового виробництва є застосування нових матеріалів, і, зокрема, композитів. У будівництві таким матеріалом є фібробетон. Привабливість фібробетону обумовлена тим, що він має більш високі міцнісні й деформаційні характеристики в порівнянні зі звичайним бетоном. Це дозволяє ефективно використовувати фібробетон у конструкціях, які експлуатуються в складних умовах — мостах, тунелях, аеродромних покриттях, морських спорудах і ін.

Застосування фібробетону у фібробетонних конструкціях вимагає знання широкого спектру його фізико-механічних характеристик, отриманих у результаті лабораторних досліджень. Такими дослідженнями займалися багато фахівців [1 – 3], однак аналіз даних про вплив дисперсного (фібрового) армування на міцнісні властивості фібробетону свідчить про їхню неоднозначність. Цю відмінність можна пояснити цілим рядом об'єктивних причин — составом матриці, видом фібри й відсотком фібрового армування, типорозмірами зразків, умовами проведення експерименту і ін.

Проте, міцнісні характеристики фібробетону в цей час уже досить добре вивчені. Деформаційні характеристики, особливо повзучість і усадка при тривалій дії навантаження, вивчені значно гірше.

Нами проведені експериментальні дослідження, у ході яких вивчалася робота фібробетону при тривалій дії навантаження.

Програмою випробувань передбачено два етапи. На першому етапі визначалася кубикова й призмена міцність, деформативність при центральному стиску, ряд спеціальних характеристик (водопоглинення, морозостійкість і ін.). При цьому варіювався відсоток фібрового армування, який становив 0,5 %, 1,0 % і 1,5 %, а також максимальний розмір великого заповнювача (гранітний щебень) — з розміром фракції ≤ 10 мм у першій серії випробувань і ≤ 20 мм — у другій.

В експериментах використана сталева фібра із загнутими кінцями, що випускається ЧАО "ПО" Стальканат-Силур" відповідно до Європейського

стандарту EN 14889-1: 2006. Фібра виготовляється із дроту з тимчасовим опором 1150 МПа (1 клас), 1335 МПа (2 клас) і 1550 МПа (3 клас).

Світовий досвід практичного застосування свідчить про те, що фібра із загнутими кінцями практично не утворює "їжаків", що дозволяє добитися її рівномірного розподілу за обсягом. У проведених дослідженнях використана фібра 2 класу з діаметром 1 мм.

З метою зіставлення властивостей бетону й сталевібробетону всі види випробувань проводилися на зразках, виготовлених з обох матеріалів.

У табл. 1 наведені параметри використовуваних зразків і види проведених випробувань.

Таблиця 1

Зразки й види випробувань

Вид зразка	Матеріал	Розміри, мм	Обумовлені характеристики
Куб	Бетон	100x100x100	Кубикова міцність, морозостійкість, стиранність, водопоглинення, розтягання при розколюванні
Призма	Бетон	100x100x400	Призмена міцність, коефіцієнт Пуассона, модуль пружності, тріщиностійкість при вигині
Куб	СФБ	100x100x100	Кубикова міцність, морозостійкість, стиранність, водопоглинення, розтягання при розколюванні
Призма	СФБ	100x100x400	Призмена міцність, коефіцієнт Пуассона, модуль пружності, тріщиностійкість при вигині, міцність на розтягання при вигині

Проведені дослідження показали, що, у порівнянні зі звичайним бетоном, структура фібробетону характеризується меншою кількістю великих пор і більш високою однорідністю. Як відомо, у звичайному бетоні утворюються контактні зони межфазного шару з поліпшеними механічними властивостями. У фібробетоні ці зони виявилися в 5 – 6 раз крупніше, а їх загальне число збільшилося. Очевидно, це приводить до підвищення фізико-механічних характеристик матеріалу в цілому. Крім того, довільно орієнтована в зразку сталевібра перерозподіляє градієнти напружень, що виникають під навантаженням, у результаті чого знижується концентрація напружень.

Випробування кубів і призм проводили за стандартною методикою відповідно до діючих рекомендацій. Результати першого етапу випробувань

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

показали, що оптимальними характеристиками фібробетонної суміші є матриця з великим заповнювачем фракції ≤ 10 мм при 1,0 % фібрового армування. Тому для дослідження повзучості на другому етапі випробувань були виготовлені зразки — призми розміром 100x100x400 мм із фібробетону й звичайного бетону того ж складу, які випробовувалися на спеціальних стендах, призначених для дослідження повзучості (рис. 1).



Рис. 1. Стенди для дослідження повзучості й тривалої міцності

Перед початком основних випробувань був проведений ряд допоміжних (попередніх) випробувань, за результатами яких визначені рівні тривалого навантаження — 0,3; 0,4; 0,5; 0,67 і 0,8 від призменої міцності. При тривалих випробуваннях, після досягнення заданого рівня навантаження, останнє фіксувалося, і за допомогою пружинної касети й домкрату підтримувалося протягом усього експерименту (180 доби).

З метою зіставлення результатів експериментальних досліджень на кожному стенді в одному силовому ряді розташовувалися дві призми: одна зі звичайного бетону, а друга — з фібробетону. Зазначена схема дозволяє прикладати до двох зразків однаковий рівень навантаження й підтримувати його протягом усього експерименту.

Криві повзучості, побудовані шляхом математичної обробки результатів випробувань, показані на рис. 2.

Висновки. Руїнування зразків з 0,5 % фібрового армування носить крихкий характер, що не спостерігається при 1,0 % і 1,5 % фібрового армування. Оптимальними характеристиками фібробетонної суміші є матриця з великим заповнювачем фракції ≤ 10 мм при 1,0 % фібрового армування. Фіброве армування призвело до збільшення міцності бетону на стиск в 1,35 рази й збільшенню міцності на розтягання при вигині в 3,4 рази. При цьому деформації повзучості знижуються на 21 – 30 відсотків залежно від рівня напружень.

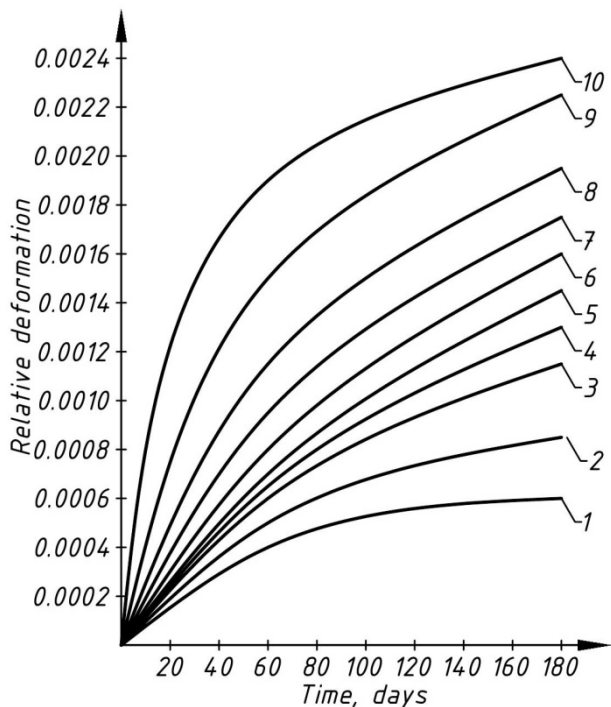


Рис. 2. Криві повзучості: 1, 3, 5, 7, 9 — фібробетон; 2, 4, 6, 8, 10 — звичайний бетон при 0,3R; 0,4R; 0,5R; 0,67R; 0,8R

Список використаних джерел

1. Арончик В.Б. Исследование работы армирующего волокна в фибробетоне. Рига, 1982.
2. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции. Москва, 2006.
3. Талантова К.В. Исследование влияния свойств стальных фибр на эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций. Москва, 2011.

ЗМІНА МІЦНОСТІ БЕТОНУ ТА ФІБРОБЕТОНУ ІЗ ЧАСОМ

CHANGING THE QUALITY OF CONCRETE AND FIBER-REINFORCED CONCRETE FROM AN HOUR

Сур'янінов М.Г., д.т.н., проф., Аксьонова І.М., к.т.н., доц., Петрук В.П., аспірант (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Surianinov M.H., D.Sc. (Eng.), Prof., Aksyonova P.V., Ph.D. (Eng.), Petruk V.P., postgraduate (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

Досвід експлуатації бетонних і залізобетонних конструкцій і результати експериментальних досліджень показують, що із часом міцність бетону зростає.

Відомий цілий ряд аналітичних залежностей, що зв'язують міцність бетону R і його вік. Найбільше часто посилаються на логарифмічну залежність, запропоновану Б.Г. Скрамтаєвим [1]:

$$R_t = \frac{\lg t}{\lg 28} R_{28}, \quad (1)$$

де R_{28} й R_t — кубикова міцність бетону у віці 28 діб й t діб відповідно.

Однак на характер твердіння бетону впливає настільки велика кількість факторів (температура, вологість, марка цементу, крупність заповнювача та ін.), що результати досліджень [2, 3] найчастіше далекі від закону, описуваного залежністю (1).

Питання про зміну міцності сталевібробетону у часі практично не досліджене [4].

Метою даної роботи є порівняльний аналіз зміни міцнісних властивостей бетону й сталевібробетону із часом.

Для проведення випробувань була виготовлена серія зразків з бетону, армованого сталевий фіброю. При цьому варіювався відсоток фібрового армування, який становив 0,5 %, 1,0 % і 1,5 %, а також максимальний розмір великого заповнювача (гранітний щебень) — з розміром фракції ≤ 10 мм у першій серії випробувань і ≤ 20 мм — у другій.

На другому етапі із зазначеної суміші виготовлено дві серії зразків (кубиків 100x100x400 мм) зі звичайного бетону й фібробетону.

На рис. 1 наведені дані про зміну міцності бетонних і сталевібробетонних кубів на стиск у часі.

З наведених результатів видно, що міцність звичайного бетону за час спостереження (400 діб) зросла на 3,5 МПа, що становить 11,3 %. Міцність фібробетону за той же період зросла на 10,1 МПа, тобто на 31 %.

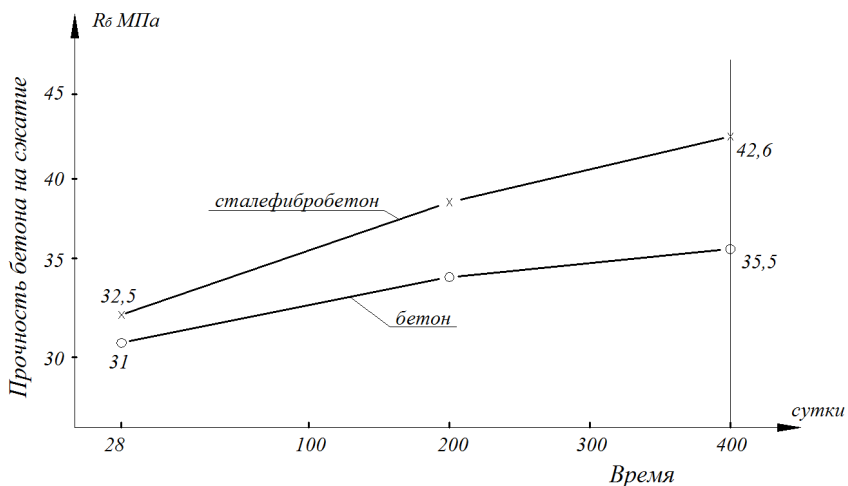


Рис. 1. Зміна міцності бетону й сталеві фібробетону

І якщо до моменту набору марочної міцності бетону (28 діб) міцність фібробетону лише на 4,7% перевищувала міцність звичайного бетону, то практично через рік ця відмінність збільшилася до 24 %.

Слід також зазначити принципову відмінність у характері руйнування кубів. Якщо бетонні зразки руйнуються по класичному сценарію, то куби зі сталеві фібробетону й після втрати несучої здатності (руйнування) не змінюють своєї геометричної форми. Єдина помітна відмінність — наявність тріщин і збільшення поперечних розмірів у напрямку, перпендикулярному площині дії навантаження (з 10,0 до 10,4 см).

Паралельно з дослідженнями міцності бетонів на стиск проводилися аналогічні дослідження при розтяганні. Для цих цілей була виготовлена спеціальна опалубка у вигляді «гантелі». Розтяжні зусилля від розривної машини (преса) на бетон передавалися через арматурні стрижні 10 мм. До бетонування стрижні встановлювали (монтували) на кінцевих ділянках експериментальних зразків. Вільні ділянки стрижнів заправляли в захвати розривної машини. Навантаження прикладали шаблями по 1 кН із витримкою на кожному шаблі. У процесі навантаження вимірювали зусилля й деформації розтягнутого бетону. Для цих цілей на двох плоских гранях зразків кріпили індикатори годинного типу із ціною розподілу 0,001 мм. За результатами експерименту побудовані діаграми (рис. 2).

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

З даних представлених на рис. 2 видно, що характер деформування досліджуваних бетонів однаковий. Однак деформації в бетонних зразках трохи вище, чим в аналогічних фібробетонних.

Дані, отримані в результаті експериментальних досліджень, наведені в табл. 1.

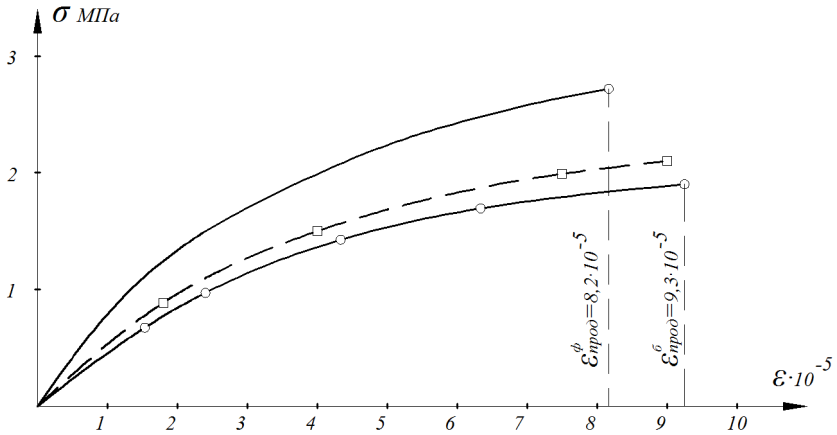


Рис. 2. Діаграми розтягання бетону й фібробетону

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Характеристики	Фібробетон	Звичайний бетон	Співвідношення, %
Модуль пружності при розтяганні	$3,8 \cdot 10^4$ МПа	$3,45 \cdot 10^4$ МПа	10 %
Міцність на розтягання	2,93 МПа	2,35 МПа	25 %
Гранична відносна деформація	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	13 %

Міцність досліджуваних бетонів на розтягання крім випробувань нестандартних зразків (гантелей) визначалася шляхом сколювання (зрізу) кубів за стандартною методикою. Результати досліджень наведені на рис. 3, з якого випливає, що протягом року міцність сталевібробетону на розтягання зросла з 1,96 МПа до 2,55 МПа, тобто на 31 % (точно так само, як і міцність на стиск). За такий же проміжок часу аналогічна міцність зразків зі звичайного бетону зросла на 15,7 %.

Слід зазначити, що зразки (куби) зі звичайного бетону при сколюванні завжди діляться на дві частини, зразки зі сталевібробетону, особливо в зрілому віці, як правило, залишаються єдиним масивом з однією наскрізною поздовжньою тріщиною.

Таким чином, усі міцнісні характеристики сталевібробетону при первинних випробуваннях вище, чим у звичайного бетону, на $5\div 10\%$. Зі збільшенням віку бетону (рік і більш) це процентне співвідношення зростає до 30% .

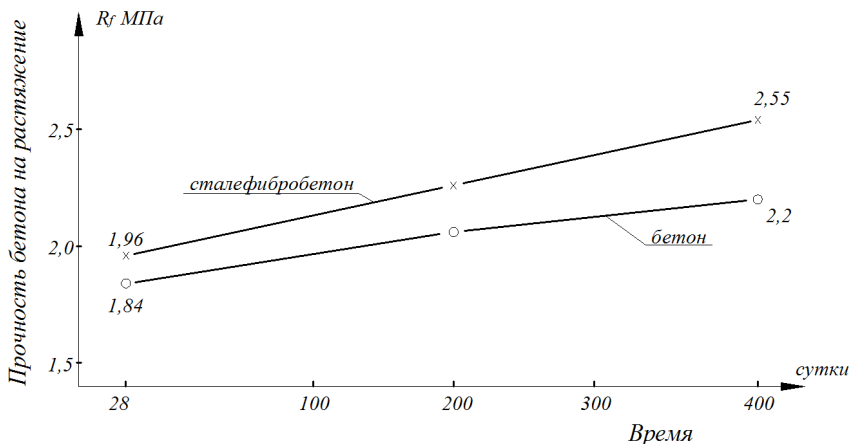


Рис. 3. Зміна в часі міцності на розтягання

Список використаних джерел

1. Скрамтаев Б.Г., Лещинский М.Ю. Испытание прочности бетона в образцах, изделиях и сооружениях. Москва: Стройиздат, 1964. 176 с.
2. Шейкин А.Е. Строительные материалы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1978. 432 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. 3-е изд. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
4. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.

МІЦНІСТЬ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ З ФІБРОЮ РІЗНОГО ТИПУ

STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE WITH FIBER OF DIFFERENT TYPES

Сур'янінов М.Г., д.т.н., проф., Клименко О.В., аспірант, Єсванджия В.Ю., аспірант, Шимченко П.В., аспірант (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Surianinov M.H., D.Sc. (Eng.), Prof., Klimentko O.M., postgraduate, Yesvandzhyia V.Yu., postgraduate, Shymchenko P.V., postgraduate (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

Дисперсне фіброве армування дозволяє у великому ступені компенсувати головні недоліки бетону — низьку міцність на розтягання й крихкість руйнування, а також знижує усадку й повзучість.

Сталефібробетон виготовляється з легкого або важкого бетону. Цей вид бетону виходить при армуванні бетонної основи сталевую фібрую, рівномірно розподіленої за обсягом бетону. Інтегральні властивості фібробетону, як будь-якого композита, обумовлюються властивостями його компонентів (фібри й бетону-матриці), а також наявністю й ступенем їх спільної роботи. У фібробетоні така спільна робота забезпечується за рахунок зчеплення й анкеровки фібри в бетоні.

Суттєвою характеристикою сталеві фібробетону є його пластичність, яка визначається типом фібри, її кількістю і механізмом зчеплення. Крім усього іншого, сталеві фібробетон відмінно забезпечує несучу здатність при центральному стиску, що в довгостроковій перспективі дозволить заощадити на трудовитратах і матеріалі при виготовленні конструкцій, що працюють на стиск.

Дослідженнями у сфері фібробетону займається багата кількість вчених. Результати робіт [1 – 5], що присвячені аналізу міцності та деформативності сталеві фібробетону, показують підвищення характеристик бетону при додаванні сталеві фібри, але рекомендації до її оптимальної форми недостатні або зовсім відсутні. Таким чином, дослідження механічних властивостей сталеві фібробетону з додаванням сталеві фібри різної форми продовжує залишатися актуальним.

Мета даної роботи полягала у дослідженні поліпшення несучої здатності на стиск бетону з додаванням сталеві фібри різної форми. Для виготовлення зразків під час замішування бетонної маси рівномірно додавалася фібра, загальний обсяг якої становив 1 % від самого виробу. Цей обсяг був визначений як найбільш оптимальний в ході попередніх досліджень. Випробування проводилися на призмах і кубах, розмірами 100x100x400 мм і 100x100x100 мм відповідно, витриманих 28 доби. Призми

і кубів виготовлені згідно з нормативними документами. Виготовлене по 4 групи призм і кубиків. По одній — зі звичайного бетону (з розмірами великого заповнювача до 10 мм) класу C20/25, і ще по три — з різними типами фібри (анкерна, плющена і волнова), рис.1. Кожна група складалася із шести зразків. Фібра, використана для досліджень, була надана підприємством ПАТ ВО «Стальканат Сілур» і виконана відповідно до вимог Європейського стандарту.



Рис. 1. Види фібр: анкерна, плющена, волнова

Всі випробування проводилися на спеціально підготовленому для цих цілей пресі. Під час випробувань на стиск зразки кубів і призм встановлювалися обраною гранню на нижню опорну плиту преса центрально щодо його поздовжньої осі. Між плитами преса і його опорними поверхнями зразків допускається прокладання сталеві плитки. Після встановлення зразка на опорну плиту преса, зміщлася верхня плита преса з верхньої опорної гранню елемента таким чином, щоб їх площини повністю прилягали одна до одної. Після чого починалося завантаження.

На бічні поверхні призм кріпилися індикатори годинникового типу — по одному на кожну — для вимірювання поздовжніх деформацій під час завантаження. Для зручності кріплення індикаторів до зразків були виготовлені дві рамки по меншому перетину призма. Паралельно гранях призм розташовувалися стрижні, що впиралися в пристрої. Саме завдяки зміні у поведінці цих стрижнів ідентично паралельним їм гранях, можемо судити про відносні деформації, що утворювалися в призмах.

Для вимірювання повздовжніх деформацій використовувалися датчики годинникового типу із ціною розподілу 0,001 мм і базою 25 см. Лабораторні випробування призм проводилися за однаковою програмою, навантаження прикладалися однаковими ступенями з витримкою тривалістю 10 хвилин. Лабораторні випробування кубів проводилися аналогічно даними призмам, за винятком відстеження поздовжніх деформацій на кожному етапі завантаження і, як наслідок, фіксації лише максимального витриманого зразком навантаження, через неможливість стійкої фіксації датчика.

Таким чином, було випробувано на стиск до руйнування 24 призма, по шість у кожній серії, самих серій 4, вони відрізнялись наповнюванням та

виготовлялися з однієї матриці. Як відомо з літературних джерел, результати, отримані різними авторами при схожих випробуваннях, найчастіше суттєво відрізняються друг від друга. Тому всі зразки були випробувані протягом однієї доби, що, при наймі, забезпечило однаковий температурно-вологісний режим експериментів.

В межах серії розкид показників виявився дуже малим, тому немає сенсу збільшувати кількість зразків у серії. Автори отримали збільшення несучої здатності на стиск призм зі вмістом сталеві фібри 11 %, що виходить за рамки похибки, бо середнє руйнівне навантаження для призм з бетону — 221 кН, а зі сталеві фібробетону — 245 кН. При однаковому відсотку армування несуча здатність сталеві фібробетону, як виявилось, майже не залежить від форми фібрового волокна, але наявність фібри у складі бетону змінює характер руйнування зразка. Замість миттєвого крихкого руйнування маємо уповільнений процес, та призма не розпадається на окремі частини, а залишається єдиним масивом з наскрізними тріщинами. Від остаточного руйнування її утримують волокна фібри.

Поведінку кожного з видів призм під час проведення випробувань можна відстежити за графіком залежностей на рис. 2. Очевидно, що до появи мікротріщин всі графіки зливаються, різниця між ними майже не помітна, немає сенсу приводити їх окремо, чи по серіях, тому на рис. 3 показані середні значення. Коли несуча здатність бетонної матриці вичерпана, графік для серії з бетону обривається, бо зразки розколюються, чого не відбувається зі сталеві фібробетонними призмами, у них тріщини розкриваються повільно, що дає їм можливість витримати ще один ступінь навантаження, при цьому кут нахилу графіків збільшується.

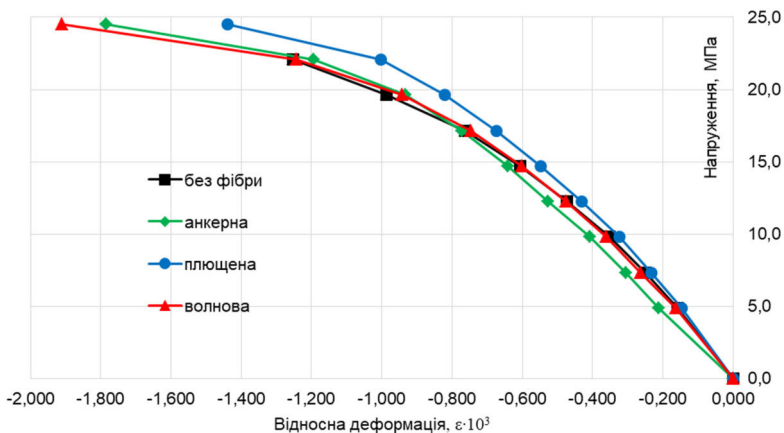


Рис. 2. Залежність деформації від напруження при стиску призм бетонних та сталеві фібробетонних зі вмістом різних фібр

Таким чином, встановлено, що несуча здатність сталевібробетону при стиску практично не залежить від виду фібри, але її наявність у складі бетону міняє характер руйнування зразка. Замість миттєвого крихкого руйнування спостерігається повільно поточний процес, і призма не розпадається на окремі частини, а залишається єдиним масивом з наскрізними тріщинами; від остаточного руйнування її втримують волокна фібри. Призми зі сталеву фіброю витримували навантаження на 11% більше, ніж зразки з бетону. Застосування сталеву фібри поліпшує не тільки несучу здатність, а й деформативність. Відносна поздовжня деформація сталевібробетону в середньому виявилася на 36% вище, чим у бетону, внаслідок наявності у фібробетону псевдопластичної фази деформування.

Список використаних джерел

1. Seong-Cheol Lee, Joung-Hwan Oh, Jae-Yeol Cho. Compressive Behavior of Fiber-Reinforced Concrete with End-Hooked Steel Fibers. *Materials* (Basel), 2015.
2. A Study On The Compressive & Flexural Strength Behavior Of Steel Fiber Reinforced Concrete Beam / Nafissa Tabassum and others. *International Journal of Advanced Research*, 2018.
3. Comparison of material properties of steel fiber reinforced concrete with two types of steel fiber / Z. Marcalíková and others. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 549, 2019.
4. Reza Babaie, Milad Abolfazli, Ahmad Fahimifar, Mechanical properties of steel and polymer fiber reinforced concrete. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, vol. 28, issue 1, 2019.
5. Гафарова Н.Е. Фибробетон для монолитного строительства. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 3-1. С. 11.

**КОМП'ЮТЕРНІ ТРЕНАЖЕРИ
ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

**COMPUTER SIMULATOR FOR
ASPHALT CONCRETE MIXTURES PRODUCTION**

Татаринський В.Б., к.т.н., директор з розвитку ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «Транссистема», Петренко Ю.А., д.т.н., проф. Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Tatarinsky V.B., PhD, Development Director of «SPA «Transсистема» LTD, Petrenko Y.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University

В даний час у світі існує кілька сучасних тренажерних платформ моделювання технологічних процесів, розроблених та підтримуваних основними світовими виробниками комп'ютерних тренажерів (КТ), такими як ABB Simcon, Inc., Honeywell Hi-Spec Solutions.

КТ чи симулятори це імітатори, комп'ютерні чи механічні, які керують будь-яким процесом. Гнучка архітектура персональних комп'ютерів (ПК) дозволяє вирішити конфігураційні проблеми: у обчислювальній мережі сучасних КТ легко розміщуються кілька робочих місць оператора, робоча станція інструктора, інженера, технолога тощо. Сучасні КТ легко з'єднуються з різними розподільчими системами управління (DCS), програмованими логістичними контролерами (PLC), системами візуалізації даних та супервізорного управління (SCADA) та іншими засобами. Разом з тим, полегшуються і можливості застосування різних стандартів відображення інформації та управління процесом. Значний досвід використання КТ у навчальному процесі накопичено німецькою фірмою Ammann. На рис. 1 представлений навчальний центр операторів асфальтозмішувальних установок фірми Ammann. у м. Лангеталь (Швейцарія) [1 – 3]. У вітчизняній практиці навчання у ВНЗ, за винятком тренажерів для енергетики, де досягнуто якісних технічних рішень, відсутні розвинені тренажерні платформи технологічних процесів, що позначається і на якості самих моделей, і на рівні відтворення операторського інтерфейсу. Слабко представлено також методичну сторону навчання. Це характерно і під час навчання за автомобільно-дорожніми спеціальностями.

У березні 2021р. Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), приватне акціонерне товариство «Кременчуцький завод дорожніх машин» (ПрАТ «Кредмаш») та ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «Транссистема» (ТОВ НВО «Транссистема») уклали договір про створення спільного науково-освітнього центру дорожніх машин при механічному факультеті ХНАДУ. Як показало знайомство з учбовими

програмами кафедри будівельних та дорожніх машин та автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій механічного факультету ХНАДУ, в учбовому процесі відсутні тренажери виробництва дорожньо-будівельних матеріалів.

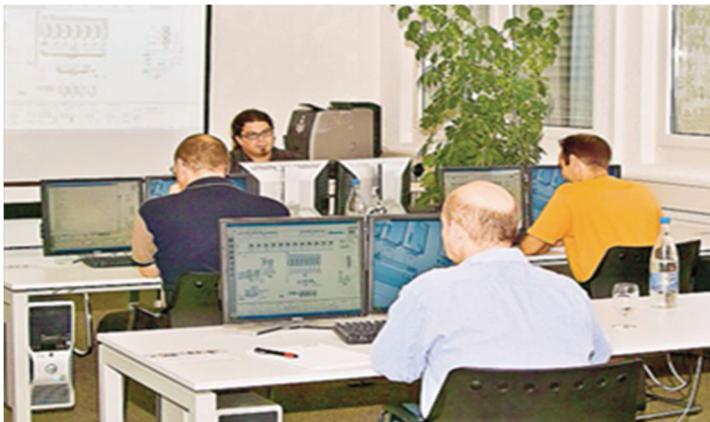


Рис. 1. Навчальний центр операторів асфальтозмішувальних установок

ТОВ НВО «Транссистема» надало комплектуючі та розробило конструкцію навчального тренажера, що максимально імітує технологічний процес виробництва асфальтобетонних сумішей (АБС) (рис. 2).

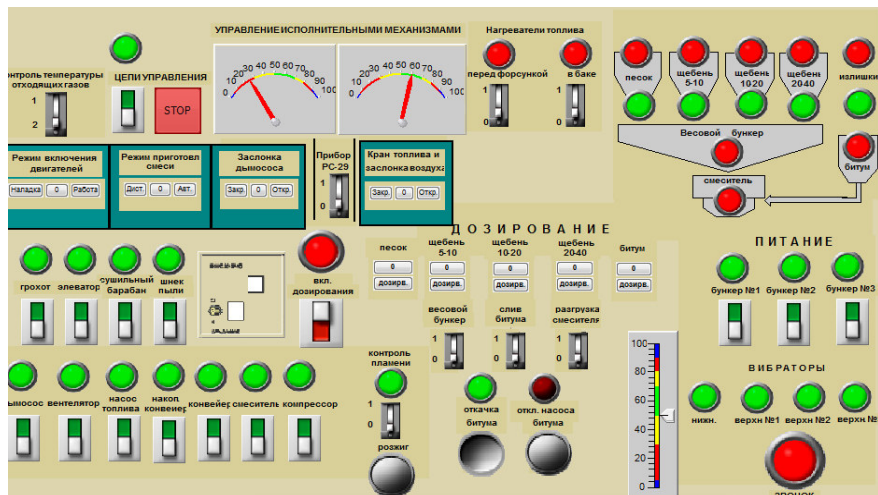


Рис. 2. Навчальний тренажер виробництва АБС

На першому етапі розробки конструкції навчального тренажера було вирішено завдання представлення випуску АБС на вітчизняних асфальтозмішувальних установках, виробництва ПрАТ «Кредмаш», що використовують як мікропроцесорну систему управління, так і релейно-контактну систему управління, яка характерна для багатьох асфальтозмішувальних установок, що експлуатуються в Україні.

В основу технічного завдання на розробку навчального тренажера було покладено навчальний посібник, розроблений ПрАТ "Кредмаш" та ТОВ НВО "Транссистема" - "Основи експлуатації асфальтозмішувальних установок" [4]. Цей навчальний посібник був створений на основі національного стандарту [5]. Значний обсяг інформації у навчальному посібнику присвячений практичним знанням з апаратного оснащення сучасних асфальтозмішувальних установок, порядку запуску та зупинки обладнання, їх технічного обслуговування та ремонту. Додатково у навчальному посібнику викладено інформацію з охорони праці та захисту навколишнього середовища під час виробництва АБС. На рис. 3. представлено технологічну схему виробництва АБС з логотипами безпеки з учбового посібника [4].

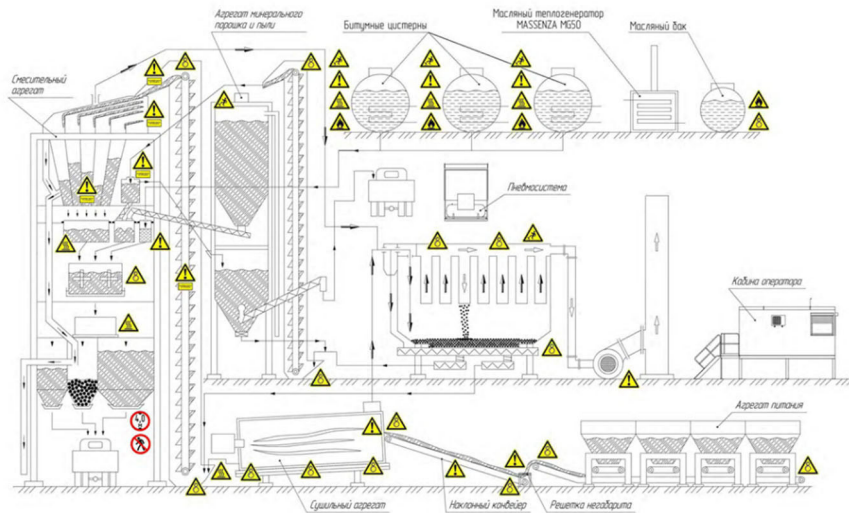


Рис.3. Технологічна схема виробництва АБС із логотипами безпеки

На другому етапі розробки навчального тренажера зроблено узгодження пульта керування асфальтозмішувальної установки з технологічною схемою виробництва АБС із використанням сучасних тренажерних платформ моделювання технологічних процесів.

Додатково для візуального представлення технологічного процесу виробництва АБС ТОВ НПО «Транссистема» надало відео, що демонструє роботу агрегатів асфальтозмішувальної установки у 3D [6].

Одним з основних завдань під час проведення практичних занять у процесі освоєння технології виробництва АБС є імітація дій оператора асфальтозмішувальної установки. Оператор асфальтозмішувальної установки реалізує складний та багатостадійний технологічний процес, що базується на стандартах виробництва різних АБС [5, 6]. Спільно з лаборантом, який здійснює попередній підбір складу АБС, оператор повинен забезпечувати безперервність процесу виробництва, розуміти зв'язок якості сумішей з якістю вихідних матеріалів, що обумовлює випуск якісних АБС, мінімізувати витрату палива на їх виробництво, скорочувати негативний вплив на навколишнє середовище, забезпечувати безпеку праці та подовжувати термін служби устаткування. Це значною мірою досягається під час використання у навчальному процесі навчальних тренажерів.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт компанії Ammann Group. Режим доступу: info.aag@ammann-group.com.
2. Кнеллер Д.В. Компьютерный тренинг – это просто...или мини энциклопедия расхожих заблуждений. *Автоматизация в промышленности*. 2003. №7. С.29-33.
3. Невлюдов І.Ш. Автоматизована система керування технологічними процесами в SCADA системі TRACE MODE 6: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, В.В. Євсєєв, С.С. Максимова, М.Г. Стародубцев, В.В. Невлюдова. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2018. – 316 с.
4. Татаринский В.Б. Основы эксплуатации асфальтосмесительных установок: Учебное пособие. Миргород. Видавництво "Миргород", 2022. 138 с.
5. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7–119:2011. [Чинний від 01-10-2011]. К.: Мінрегіон України, 2011. – 59 с. (Національний стандарт України).
6. Офіційний сайт компанії ЧАО «Кредмаш». Режим доступу: <http://www.kredmash.com>.

МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА, РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ПОКРИТТІВ

MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR CONSTRUCTION, REPAIR AND RESTORATION OF CONCRETE PAVEMENTS

**Толмачов С.М., д.т.н., проф., (Харківський національний
автомобільно-дорожній університет), Токар А.А. технолог ПрАТ
«Кривий Ріг цемент»**

**Tolmachov S.M., Doctor of Technical Sciences, Prof., (Kharkiv
National Automobile and Road University), Tokar A.A. technologist PJSC
"Kriviy Rig Cement"**

Вважається, що ремонт та відновлення бетонних покриттів автошляхів та майданчиків є більш складним технологічно. Крім того, він вимагає значних витрат часу на твердіння бетону та великих матеріальних витрат. Однак, в умовах постійного дефіциту та зростаючої вартості органічних в'язучих необхідно розглянути реальність проведення таких робіт, використовуючи неорганічні в'язучі.

Швидкість будівництва або ремонту доріг, якість бетонних покриттів залежить в першу чергу від сировинних матеріалів для бетонів. Це впливає на ефективність технологій виготовлення та укладання бетонної суміші, а також на ефективність використання обладнання.

Розглянемо якість матеріалів. Окрім традиційно застосовуваних кварцових пісків для розширення сировинної бази та підвищення якості бетонів доцільним є застосування дрібних заповнювачів із побічних продуктів тієї ж будівельної індустрії. До них відносяться відходи від розпилювання вапнякових порід на стінові блоки. Проведені дослідження показали, що висока пористість таких заповнювачів дозволяє їм агрегувати надмірну кількість води, яка використовується при гідратації цементу після 28 діб. Це призводить до збільшення швидкості набору міцності у часі, а також щільності та морозостійкості бетонів на 20...40 %. Застосування таких заповнювачів у важких бетонах значно дешевше, ніж спеціальних капсул, що містять воду, які широко рекламують за кордоном. У даному випадку йдеться про бетон, що саморемонтується - Self-Repairing Concrete (SRC). Цей вид бетону відрізняється тим, що в його склад, в зону, в якій діють напруження розтягу вводять спеціальні міні-капсули (або волокна), наповнені смолою і затверджувачем.

Коли внутрішня напруга перевищує певний рівень, капсули ламаються, відбувається злиття компонентів, які проникаючи в мікротріщини, що утворюються заповнюють їх, і, як наслідок, твердіють, блокуючи дефект. Інший спосіб саморемонту SRC полягає в використанні

бентонітових глин, які здатні набухати при дії вологи і заповнювати гелеподібною речовиною тріщини і дефекти. Однак, у дорожньому будівництві застосування таких добавок неможливе, оскільки деформації набухання та подальшої усадки призводять до руйнування структури бетону. Недоліком бетонів з вапняковими дрібними заповнювачами є підвищений знос покриття. Однак, існують сучасні хімічні добавки та технологічні прийоми, які дозволяють тією чи іншою мірою вирішити цю проблему.

Можна сказати, що друге народження в технології дорожніх та аеродромних бетонів переживає застосування відсіву дроблення гірських порід. У 80-х роках минулого століття відсіву не знайшли застосування через достатню кількість кар'єрів середніх і крупних пісків та підвищену кількість пилюватих частинок у їхньому складі. Сьогодні, в умовах дефіциту середніх пісків застосування відсіву дозволяє ефективно використовувати дуже дрібні і навіть тонкі піски практично будь-яких місцевих кар'єрів. Застосування комбінації дуже дрібного піску та відсіву, як показують дослідження та практична реалізація, дозволяє не лише підвищити міцність дорожніх бетонів, а й збільшити їхню зносостійкість. Раціональне поєднання природного та штучного пісків коливається в широких межах і залежить від їхньої гранулометрії.

Можливістю розширити сировинну базу заповнювачів є використання кварцитових заповнювачів. Основними проблемами при їх застосуванні є забрудненість поверхні кварцитового щебеню та велика кількість лещадних частинок у їхньому складі. Багаторічні дослідження та практичне застосування кварцитових щебенів показує, що найбільш ефективним методом очищення їх поверхні є роздільна технологія виготовлення суміші, при якій у змішувач спочатку подають щебінь і воду, а потім – всі інші компоненти. Експлуатаційні показники бетонів на кварцитах, виготовлених за цією технологією можуть перевищувати характеристики бетонів на гранітних щебнях. Кварцитові заповнювачі складно використовувати для домобудівництва через їхню підвищену щільність, а значить підвищену масу виробів. Але це не так важливо для дорожніх бетонів. Кількість лещадних частинок у кварцитовому щебені знижується при зменшенні крупності частинок, тому доцільним є застосування дрібних фракцій щебеню. Вибір раціонального співвідношення між фракціями щебенів також дозволяє зменшити середній вміст лещадних частинок у суміші фракцій.

Основним компонентом у бетонній суміші є в'язуче. Традиційно для дорожніх бетонних покриттів у нас в країні застосовують цементи із вмістом мінеральних добавок не більше 5% – СЕМ I чи ПЦ I. Одним із найпростіших шляхів розширення сировинної бази в'язучих для дорожніх покриттів є застосування інших типів цементів. Світовий досвід будівництва бетонних покриттів свідчить про широке використання

цементів, що містять добавки золи або шлаку. Однак, мінеральний та хімічний склад цементів при цьому не розкривають. Роботи, проведені під керівництвом професора М.А. Саницького, показують можливість застосування цементів із добавками не лише шлаку та золи, а й інших мінеральних добавок. Проведені нами дослідження показали, що підвищення ефективності застосування, наприклад, цементів, що містять шлаки, можна забезпечити за рахунок оптимізації процесів помелу клінкеру і шлаку. Цікаво, що в однакових умовах питомі поверхні подрібнених шлаків та клінкеру однакові. Це дозволяє припустити ідентичність механізмів розмелювання шлаку та клінкеру, а також можливість керування ними за допомогою сучасних хімічних добавок. При цьому необхідно підібрати раціональне співвідношення між кількістю шлаку та клінкеру. Ще одним шляхом підвищення ефективності використання шлаковмісних цементів є активізація не тільки гідравлічних, а й пуцоланових властивостей мінералів шлаку. Це також можна здійснити за допомогою добавок.

Застосування фібри досить відоме. Однак, до цього часу фібробетони практично не застосовують у дорожніх бетонних покриттях. По-перше, це пов'язано з неправильним ставленням практиків-шляховиків до застосування цього нового матеріалу (враховують тільки збільшення вартості бетону), по-друге, існує певний сумнів щодо ефективності застосування фібри в дорожніх бетонах, а по-третє, різноманіття видів фібри вносить деяку невизначеність у питанні вибору фібри. Ефективність застосування фібри у багатьох бетонних виробах та конструкціях доведена численними дослідженнями за кордоном. У нашій країні вони проводилися і проводяться під керівництвом професорів Л.І. Дворкіна, А.В. Мішутіна, У.Д. Марущак, С.І. Солодкого, Соболь Х.С., М.Г. Сур'янінова, С.М. Толмачова, які показали високу якість фібробетону для спеціальних виробів та конструкцій. Що стосується дорожнього та аеродромного бетонів, то слід ймовірно виключити застосування металевої та скляної фібри через схильність до корозії та небезпеки для коліс транспортних засобів. Поліамідна та вуглецева фібри досить дефіцитні, дорогі та недостатньо ефективні. Тому найбільший інтерес для монолітних дорожніх бетонів становить застосування поліпропіленової та базальтової фібри. Поліпропіленова фібра випускається різних розмірів та конфігурації. Наші дослідження показали, що найбільший ефект для таких бетонів забезпечується застосуванням суміші фібри двох видів: тонковолокнистої з діаметром волокон 20...50 мкм та жорсткої макрофібри, що складається з волокон, перетином 1...2 мм². У цьому випадку жорстка фібра створює в макро- і мезоструктурі бетону каркас, що сприймає навантаження, а тонка фібра стримує деформації усадки. Таке поєднання дозволяє підвищити на 30...40 % міцність за розтягом, ударну та втомну міцність, зносостійкість, морозо- та корозійну стійкість. Тому мета застосування фібри не економія цементу, а загальне значне збільшення терміну служби дорожніх покриттів.

Крім того, подібне дискретне армування дозволяє якщо не відмовитись, то суттєво зменшити ступінь армування бетону металевими стрижнями.

Основним компонентом складу дорожніх бетонів, який принципово змінює властивості бетонних сумішей та бетонів є хімічні добавки та просочувальні системи. Дія повітровтягуючих добавок спрямовано лише на підвищення морозо- та корозійної стійкості та механізм їх впливу досить вивчений. У той же час, вплив суперпластифікаторів, особливо сучасних, настільки різноманітний, що досі досліджується різними вченими. Так, наприклад, незважаючи на те, що відома виборча адсорбція суперпластифікаторів на позитивно заряджених ділянках цементних зерен, логічним є подібна адсорбція на інших матеріалах, що мають позитивний поверхневий заряд. У цьому випадку показники адсорбції, у тому числі її швидкість та щільність залежать від загальної величини заряду та його розташування у структурній формулі добавки. Такий підхід дозволяє керувати впливом суперпластифікатора на властивості цементних систем.

Вважається, що нанесення просочення на поверхню бетонного покриття сприяє підвищенню його довговічності. Наші дослідження показали, що ця думка досить спрощена. Насамперед, слід розуміти, що механізм дії просочувальних складів заснований на їх проникненні в поверхневий шар покриття. Враховуючи те, що хімічний склад просочення, в основному, має органічну основу, то просочення має пройти на достатню глибину. Якщо це не станеться, то органікою буде просочене тонкий шар, що прилягає до поверхні. Наші дослідження показали, що якщо цей шар не більше 5 мм, то при дії агресивних середовищ може відбуватися лушення і руйнування спочатку ослабленого шару, а потім і нижчих шарів. У рекламних проспектах різних фірм, що випускають просочення, ця глибина варіюється від 10 до 50 мм. Але для дорожніх бетонів з регламентованою міцністю В30 і вище, водопоглинанням не більше 2 % і водонепроникністю 8 і вище просочення на таку глибину є неможливим. Тому застосування просочувальних складів, що не мають особливих властивостей (крім гідрофобізуючого) для високощільних і міцних бетонів не є безумовно необхідним. Більш того, воно може призвести до лушення поверхні покриття. З іншого боку, застосування просочувальних складів, що гідрофобізують поверхню покриття дозволяє захистити її від корозійних процесів, що відбуваються в цементі. Але такий захист слід проводити протягом перших двох-трьох років. У той же час застосування складів, що володіють комплексом властивостей (що ущільнює, що підвищує твердість), є найпростішим способом ремонту покриттів, що мають часткове руйнування поверхні. Тому складні багатофункціональні просочення ефективні для частково зруйнованих бетонів або бетонів міцністю менше класу В25.

ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ

WAYS TO ENSURE DURABILITY OF CONCRETE

Шишкіна О.О., к.т.н., доц, Шишкін О.О., д.т.н., проф. (Криворізький національний університет)

Shyshkina O.O., Candidate of technical science, Associate professor, Shyshkin O.O., Doctor of Technical Sciences, Professor (National University of Kryvyi Rih)

Одним з основних напрямків технічного прогресу в галузі будівництва є створення бетонів високої якості та довговічності.

Дуже показова в цьому плані ретроспективна схема розвитку бетону, що наводиться у різних джерелах та варіантах [1]. Динаміка зміни максимальної міцності та усередненого В/Ц важкого бетону така: початок ХХ ст. – до 30 МПа (В/Ц \approx 0,6), 1990-2000 р.р. – до 150 МПа (В/Ц \approx 0,25). Виразно проглядається тенденція збільшення міцності бетону та зниження в ньому значень водоцементного відношення [1].

Отримання високоякісних бетонів на цей час у багатьох випадках вирішується за допомогою хімічних добавок – модифікаторів різної природи та механізму дії. Створення та освоєння випуску суперпластифікаторів (СП) дозволило успішно вирішити проблему отримання групи спеціальних в'язучих зі зниженим вмістом клінкеру та високими будівельно-технічними властивостями.

Висока ефективність СП не викликає сумнівів. Але разом з тим залишається в тіні питання - що ж відбувається з добавкою (СП) після закінчення дії пластифікації? Ще одна проблема – наслідки браку води при значеннях В/Ц \leq 0,3 для здійснення гідратації та розвиток внаслідок цього аутогенної усадки [2].

За даними [3], у передіндукційний період цементне тісто із СП при В/Ц = 0,3 відрізняється інтенсивнішими виділеннями тепла порівняно з цементним тістом без добавок. Дещо інакше ніж при В/Ц = 0,3 відбувається процес хемосорбції та утворення первинного гідрату на поверхні зерен цементу при В/Ц = 0,5. У цьому випадку, навіть без добавки СП, за рахунок підвищеної кількості води, також відбувається часткова дезагрегація цементу, що і збільшує його реакційно-активну поверхню і відповідно тепловиділення в порівнянні з складом з В/Ц = 0,3 без добавок. Разом з цим цементне тісто з СП при В/Ц = 0,5 має знижене тепловиділення в порівнянні зі цементним тістом при В/Ц = 0,3 [3].

Підвищене В/Ц (більше 0,3) призводить до збільшення вмісту портландиту в цементному камені в усі терміни гідратації та твердіння цементу, тобто підвищене В/Ц вимагає більшої кількості Ca(OH)₂ для

створення рН середовища ≈ 12 , необхідного для гідратації цементу та стабільного існування всіх гідратних фаз. У свою чергу підвищена кількість $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вимагає більше часу на накопичення іонів кальцію, це підтверджує збільшений індукційний період і уповільнення активної стадії гідратації цементу при підвищеному В/Ц [3].

Так як при підвищеному В/Ц для пересичення рідкої фази та утворення $\text{Ca}(\text{OH})_2$ потрібно більше іонів кальцію, то гідросилікати кальцію сформуються зі зниженим відношенням CaO/SiO_2 . Тобто при підвищеному В/Ц гідросилікати кальцію мають дещо знижену основність (відповідно й більшу міцність), порівняно з гідросилікатами, що формуються за низького В/Ц. Але міцнісні показники цементного каменю при $\text{В/Ц} = 0,5$ набагато нижчі ніж при $\text{В/Ц} = 0,3$, що пов'язано з підвищеними пористістю цементного каменю та вмістом портландиту, який, як відомо, має міцність суттєво нижчу, ніж міцність інших гідратних фаз [3].

Цементний камінь, у тому числі виготовлений із низьким водоцементним відношенням, не є повністю інертним матеріалом. Процеси гідратації цементу, хоч і мляво, тривають (звісно, за наявності вологи) роками. Куди надходять новоутворення? І чи не призведуть вони до руйнування матеріалу завдяки виникненню деформацій, що розклинають, і зниженням його міцнісних та інших супутніх характеристик? На можливість існування названого явища при відносному вмісті води в цементному тісті менше 0,63 вказував Й. М. Ахвердов [4].

Грунтуючись на поглядах Т. К. Пауерса [5] про те, що об'єм гелю в 2,2 рази перевищує вихідний об'єм цементу, С. С. Гордон [6] отримав формулу, що пов'язує витрату цементу з мінімальним водоцементним відношенням, при якому в затверділому бетоні не виникають великі внутрішні напруги. О. В. Волженський [7,8] отримав формулу для розрахунку об'ємної концентрації продуктів гідратації в цементному камені. В результаті аналізу формули було зроблено висновок, що при водоцементних відношеннях 0,35 і нижче, руйнування цементного каменю починається при об'ємній концентрації новоутворень 0,70-0,78.

На основі викладеного можна зробити такий висновок. Для кожного цементу, який має певний мінералогічний та гранулометричний склад, за певних характеристик навколишнього середовища, в умовах якого відбувається гідратація цього цементу, існує величина водоцементного відношення $[\text{В/Ц}]_m$ зменшення В/Ц менше якої призводить до небезпеки виникнення великих внутрішніх напруг, які обумовлюють можливість саморуйнування цементного каменю, тобто до зменшення його довговічності. Ліквідація ж недоліків системи «цемент – вода» при $\text{В/Ц} \geq [\text{В/Ц}]_m$ таких як підвищена пористість та підвищений вміст портландиту, дозволить отримати високоміцні та довговічні бетони.

Одним з шляхів вирішення означеної задачі є введення в систему «цемент – вода» мінеральних або органічних, активних до іонів кальцію

речовин (АД), які мають розміри часток співставні з розмірами часток цементу (наприклад, мікрокремнезем) [9-11]. АД необхідно вводити в систему у вигляді попередньо приготованої емульсії або суспензії стабілізованої СП або гіперпластифікатором (ГП). Тобто у вигляді міцел СП або ГП наповнених АД. Така технологічна підготовка АД «запустить» механізм міцелярного каталізу в системі «цемент – вода» [12]. За рахунок міцелярного каталізу взаємодії АД з мінералами цементу, а також відкритого доступу води до мінералів цементу (так як міцели не покривають повністю поверхню частинок цементу) досягається висока швидкість і ступінь гідратації цементу, що зменшує кількість порожнин та портландиту в системі і, як наслідок, підвищує міцність цементного каменю. Досліди показали, що у даному випадку міцність цементного каменю досягає 200% відносно міцності цементного каменю без добавок.

Іншим шляхом зменшення (ліквідації) недоліків системи «цемент – вода» при $V/C \geq [V/C]_m$ є використання «Ефекту надмалих доз» [9, 13]. У даному випадку використовується ефект структурування води надмалими дозами різноманітних речовин від вуглецевих нанотрубок до сполук різних металів [14] та органічних речовин [15,16]. Встановлено, що введення гідрофобних ПАР, поліспиртів, інших вуглеводнів, а також мінеральних речовин в надмалих дозах (0,0002...0,002 %) призводить до утворення рівномірно розподілених пір в цементному камені, в які мігрують портландит і етtringіт, що утворюються. В результаті формується структура цементного каменю з підвищенням вмістом високоміцних низькоосновних гідросилікатів кальцію.

Означений ефект виникає через зміну структури води наведеними речовинами у визначеній концентрації, яке призводить до виникнення у воді значної кількості протонів. Протони, як активні речовини, мігрують всередину кристалічних ґрат цементних мінералів, руйнуючі їх. Одночасно протони вступають в реакції іонного обміну з катіонами Ca^{2+} . В результаті чого поряд з гідроксилами утворюються аквакомплекси кальцію і первинні молекули портландиту. Поява, в наслідок протонізації мінералів цементу, активних частинок (Ca^{2+} , $(SiO_4)^4-$, H_3O^+ , OH^- , H^+ та ін.), їх швидкоплинна взаємодія і є причиною прискорення гідратації цементу та формуванню структури цементного каменю, яка має високу міцність (практично в 2 рази більшу ніж у цементного каменю без добавок).

Ще одним шляхом зменшення (ліквідації) недоліків системи «цемент – вода» при $V/C \geq [V/C]_m$ є використання суміші вод різної структури [16].

Досліди показали, що у даному випадку міцність цементного каменю досягає 260% відносно міцності цементного каменю без добавок.

Через достатньо високу кількість води в системі в усіх наведених випадках, кількість введення СП та ГП зменшується. Вони починають виконувати тільки свою безпосередню функцію – підвищення пластичності

цементного тіста, практично не впливаючи на формування міцної та довговічної структури цементного каменю.

Список використаних джерел

1. Ушеров-Маршак А.В. Современный бетон и его технологии. Бетон и железобетон. 2009. 2. С. 20- 25.
2. Ушеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы. *Строительный журнал*, октябрь 2006. С. 6-12.
3. Иванов И.М., Матвеев Д.В., Орлов А.А., Крамар Л.Я. Влияние водоцементного отношения и суперпластификаторов на процессы тепловыделения, гидратации и твердения цемента. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, 2, P. 42–49
4. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
5. Пауэрс Т. К. Физические свойства цементного теста и камня: четвертый Международный конгресс по химии цемента, 1964. С. 402–438.
6. Гордон С. С. О технологии тяжелых долговечных бетонов для сборных изделий: матер. VI конференции по бетону и железобетону. 1966. С. 29–38.
7. Волженский, А. В. Карпова Т. А. Влияние низких водоцементных отношений на свойства камня при длительном твердении. *Строительные материалы*. 1980. 7. С. 18–20.
8. Волженский, А. В. Влияние дисперсности портландцемента и В/Ц на долговечность камня и бетона. *Бетон и железобетон*. 1990. 10. С. 16, 17.
9. Беличенко Е.А., Толмачев С.Н., Особенности активационных способов впливу на структурні рівні цементних бетонів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 2015, вип.155. С.173-179.
10. Kurdowski W. Chemistry of cement and concrete. Scientific Publishing PWN. Warsaw, 2010. 728 p.
11. Пушкарьова К. К., Павлюк І. М. Швидкотверднучі композиційні в'язучі речовини, модифіковані комплексною добавкою сульфатнокарбонатного складу. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. 2009. Вип. 33. С. 36–40.
12. Шишкіна О.О. Міцелярний каталіз в технології бетонів нового покоління: Монографія. Кривий Ріг: КНУ, 2016. 300 с.
13. Shishkina A. Shishkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 907 (2020) 012038.
14. Тевяшев А. Д., Шитиков Е. С. О возможности управления свойствами цементобетонов с помощью наномодификаторов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009. 4/7 (40). С. 35-40.
15. Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Вплив виду наномодифікатора на міцність бетону. III Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (12-14 листопада 2019 р., Амстердам, Нідерланди): Дніпро-Амстердам, 2019. С. 394-398.
16. Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Керування структурою води, призначеної для виготовлення бетону. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і методи будівельного матеріалознавства» (Харків, 5-6 листопада 2020 р.). С. 23-28.

ДОСВІД БУДІВНИЦТВА ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ ІЗ ЦЕМЕНТОБЕТОННИМ ПОКРИТТЯМ

EXPERIENCE IN THE CONSTRUCTION OF ROADS AND AIRFIELDS WITH CEMENT CONCRETE PAVEMENT

Яницький О.Б. генеральний директор ТОВ “Бетонні покриття та технології”, Данілов Є.С. начальник лабораторії ТОВ “Бетонні покриття та технології”

Yanitsky O.B. general director a partnership with a closed supply of “Concrete coating and technology”, Danilov E.S. head of the laboratory “Concrete coating and technology”

Практика дорожнього та аеродромного будівництва показує, що в останні два десятиліття в Україні зростають обсяги робіт із будівництва автомобільних доріг, аеродромів та елементів їх облаштування з важкого цементного бетону. Починаючи з 2004 року було збудовано: парапетну огорожу типу «New Jersey» на дорозі Київ-Одеса, проведено реконструкцію автодороги Харків-Сімферополь на ділянці Харків - Красноград - Перещепине, будується дорога Київ - Ковель в обхід м.Житомир, проведено реконструкцію, а фактично здійснено нове будівництво аеропортів у м. Донецьк, м.Харків, м.Львів, м.Одеса. З 2019 року успішно проводилось капітальні ремонти дорог загального користування державного значення Н-14 Олександрівка -Кропивницький – Миколаїв, М-14 Одеса - Мелітополь – Новоазовськ, Н-31 Дніпро - Царичанка - Кобеляки – Решетилівка.

Частина з цих об'єктів, особливо останніми роками, будувалася за безпосередньою участю ТОВ "БПТ", що є структурним підрозділом "Автомагістраль Південь".

Сьогодні є необхідність показати ті особливості технології будівництва доріг із цементобетонним покриттям, облік яких дозволять виготовляти їх швидко, дешево та ефективно.

Найвні в Автомагістраль-Південь такі установки як: Goker GBS Compact, LIEBHERR Betomix 3.0 B-R/DW і LIEBHERR Betomix 4.5 B-R/DW, а також Simem Mobilmix 3.0, забезпечені потужними змішувачами, що дозволяють перемішати суміші практично будь-якої зручності, в тому числі з дисперсними мінеральними добавками і фіброю. Вони мають 4 або 5 бункерів інертних матеріалів, що дає можливість застосовувати два види піску та декілька фракцій щебеню. У лабораторних умовах отримати таку якість перемішування суміші є дуже складним. З одного боку, це вимагає коригування складів бетону при їх виготовленні в таких змішувачах, але з іншого боку розширює можливості виробництва для виготовлення сумішей для сучасних високоміцних і швидкотвердіючих бетонів.

Наступним є наявність високопродуктивних бетоноукладальних комплексів, наприклад GOMACO GP4, WIRTGEN SP 64, WIRTGEN SP 1200, WIRTGEN SP 1500. Бетоноукладальні машини, що входять до складу цих комплексів дозволяють укладати і ущільнювати бетон з товщиною шару до 40 см, а при двошаровому укладання - до 60 см. Автоматичне укладання стрижнів у шви стиснення дозволяє відмовитися від їх ручного занурення, що знімає небезпеку "випливання" цих стрижнів на поверхню покриття через розущільнення бетону при роботі вібраторів-занурювання. Позитивним у роботі укладачів є висока швидкість укладання, яка, у свою чергу, вимагає підбору складу суміші, кромки якої не осідають при русі ковзної опалубки укладачів.

Час нарізки швів у бетоні, що твердіє, визначається не тільки рекомендаціями нормативів, але і залежить від складу суміші і кінетики твердіння бетону. Особу увагу слід приділяти заповненню швів стиску. Слід застосовувати мастики з великим інтервалом пластичності та високими адгезійними властивостями до бетону.

Правильне та своєчасне нанесення шорсткості на поверхню бетонного покриття та подальше нанесення плівкоутворювального матеріалу є основою якісного та довговічного покриття, а також тривалої його експлуатації.

Велику роль у забезпеченні якості монолітних дорожніх та аеродромних бетонів відіграють науковий супровід будівництва та технологічний контроль якості процесів. Найбільший ефект дає узгоджена робота виробничої лабораторії та лабораторії, яка здійснює науковий супровід. За такої співпраці всі види контролю якості (вхідний, операційний та приймальний) мають відбуватися паралельно та незалежно. Періодично слід проводити порівнювальний аналіз одержуваних результатів. Така робота лабораторій дозволяє гарантовано забезпечувати вирішення всіх технологічних питань, які потребують оригінальності та не входять до проектної документації.

Ми маємо позитивний досвід такої спільної роботи. У той же час співробітники виробничої лабораторії постійно вирішують щоденні поточні технологічні питання, які забезпечують якість будівництва. Це, наприклад, огляд кузова автосамоскидів після розвантаження суміші на місці укладання, що дозволяє контролювати втрати суміші, відсутність сторонніх предметів і т.д.

Важливе значення має візуальний контроль однорідності суміші, а також вимірювання рухливості бетонної суміші на місці виробництва та після доставки на місце укладання. Зниження рухливості нижче необхідної межі призведе до недоущільнення суміші, а вище допустимого - до опливу кромки та розшарування.

Основним елементом приймального контролю є контроль міцності бетону. Для цього в лабораторії щодня виготовляють зразки кубу та зразки

балки з виробничих сумішей. При цьому необхідно проводити випробування не тільки лабораторних зразків, але насамперед зразків, випиляних з покриття або основи. Контроль слід проводити неруйнівними методами та порівнювати результати з отриманими в лабораторії.

Актуальні питання сьогодення в дорожньому та аеродромному цементобетоні

1. Необхідно вирішити питання з можливістю застосування комбінованих дорожніх покриттів. Доцільно робити основний проїзд в цементобетонні, а ПШС та з'їзди в асфальтобетоні. Це обумовлено дуже великою трудомісткістю виробництва з'їздів з великою кількістю ручної роботи. Влаштування асфальтобетонного покриття буде проходити швидше з меншими трудовитратами.

2. Слід привести до відповідності таблицю 5.1 в ГБН В.2.3-37641918-557:2016 згідно раніше діючому ВСН 139-80 (табл. 4). Необхідно враховувати той факт, що при різних температурах укладання цементобетонної суміші відстань між швами розширення змінюється, а при температури +20С та більше шви не влаштовуються зовсім. Це необхідно для того, щоб проектувальники могли враховувати можливу відсутність швів розширення в проекті, а також можливість змінювати відстань між ними при необхідності.

3. При проектуванні шарів основи марки М60 та більше, з «пісного бетону» або сумішей укріплених цементом, у проекті необхідно передбачати шви стискування, суміжні з швами в верхньому шарі покриття.

4. Для влаштування більш якісного покриття на дорогах II...IV категорій, необхідно передбачати повне перекриття руху на ділянках де влаштовується верхній шар покриття. В свою чергу проектними організаціями повинні бути враховані влаштування об'їзних доріг.

5. Сучасна тенденція ринку веде до швидких темпів будівництва та введення в експлуатацію доріг за один сезон. Необхідно нормативно врегулювати використання на таких ділянках додаткових покриттів бетону спеціальними гідрофобізаторами, або введенням спеціальних добавок в бетон, для збільшення його стійкості до агресивного середовища.

6. Поява в останні десятиліття високоефективних хімічних добавок і підвищення якості цементів, що виробляються, дозволяє отримувати дорожні цементні бетони класів В25 і вище на 3...7 добу природного твердіння. Це веде до швидких темпів будівництва та введення в експлуатацію доріг з цементобетонним покриттям за один сезон

7. Збільшення агресивності дорожнього середовища призводить до необхідності захисту дорожніх та аеродромних покриттів із цементобетону за допомогою спеціальних захисних просочувальних складів або гідрофобізуючих складів. Таке просочення дозволить не лише захистити покриття, а й збільшити термін його служби, що дозволить відмовитися від експлуатаційних та ремонтних витрат. Необхідно нормативно врегулювати

використання таких складів, в першу чергу для включення в проектну документацію.

8. Необхідно розвивати технологію вайтопінгу, використовуючи верхній шар існуючої дороги з а/б з невеликими витратами на вирівнювання, як шар основи, з наступним влаштуванням верхнього шару з цементобетону. Нове покриття укладають на міцну готову основу, що дозволить зменшити товщину цементобетонного шару покриття і значно збільшити термін служби нової конструкції дороги. У технології використовують наявні сучасні бетоноукладальні комплекси, що дозволяють укласти до 1 км покриття в зміну. Технологія широко застосовується за кордоном і вважається економніше, ніж ремонт старого асфальтобетонного покриття.

9. Будівництво місцевих та сільськогосподарських доріг, особливо в аграрних регіонах країни, на сьогоднішній день має стати пріоритетним. Це вирішить таку проблему як тепловий режим, що в свою чергу позитивно позначиться на оптимізації логістичного сектору в сільському господарстві.

10. Важливим стає необхідність розвитку напрямку будівництва доріг I категорії з комбінованим покриттям. Передбачати праву смугу руху для вантажного транспорту з цементобетонного покриття.

ЗМІСТ

Ngо А. Concentrated polymer modified bitumen in pellets. Part 1.....	4
Krafft S. Concentrated polymer modified bitumen in pellets. Part 2.....	8
Вировой В.М., Коробко О.О., Зенченко Д.А., Іванов В.М. Чому та як властивості матеріалу залежать від форми виробу.....	13
Галкін А.В. Графоаналітичний метод знаходження температури крихкості бітумних в'язучих.....	15
Гамеляк І., Журавський Д. Ультратонкі покриття для ремонту асфальто- і цементобенних покриттів автомобільних доріг, вулиць та площ.....	19
Головченко В.С. Дослідження необхідності використання вторинних продуктів промисловості під час будівництва автомобільних доріг в Україні.....	24
Гунька В.М., Сідун Ю.В., Братичак М.М. Одержання дорожніх в'язучих матеріалів методом модифікування нафтових залишків формальдегідом.....	27
Дворків Л.Й. Розрахунок складів дорожнього цементного бетону.....	31
Дворкін Л.Й., Бордюженко О.М. Фібробетони з полідисперсним армуванням для відповідальних споруд.....	35
Демчук Ю.Я., Гунька В.М., Сідун Ю.В., Братичак М.М. Дорожні бітуми, модифіковані смолами одержаними з побічних продуктів переробки вугілля.....	39
Донченко М.І., Гринишин О.Б., Демчук Ю. Я., Поляк О. Є. Використання гумату калію для сповільнення технологічного старіння нафтових бітумів.....	44
Єфремов С.В. Теоретичні аспекти методу визначення мінерального складу гірських порід та якості їх зчеплення з бітумом, як компонентів асфальтобетону	46
Желтобрюх А.Д. Особливості проектування складу дренаючого асфальтобетону.....	49

Золотарьов В.О. Сумісність показників якості бітумів за пенетраційною та Supergrave системами.....	53
Івженко І.О., Сінякін А.Г., Гуняк О.М. Досвід та технології Sika для термінового ремонту та будівництва дорожніх покриттів.....	58
Іськов В.О., Мішутін А.В. Дослідження дорожніх залізобетонних плит з фіброю.....	62
Ковальський В.П., Мінцзюнь Го, Основні напрямки дослідження довговічності асфальтобетону при впливі протижеледних реагентів	65
Копинець І.В., Соколова О.Б., Соколов О.В., Юнак А.Л. Уточнення технологічних температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей.....	68
Копинець І.В., Соколова О.Б., Юнак А.Л. Вибір бітуму під час проєктування конструкції дорожнього одягу на основі умов експлуатування.....	72
Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Установлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів.....	76
Кривенко П.В., Руденко І.І., Константиновский О.П. Супершвидкотверднучі шлаколузні цементи для аварійного відновлення.....	80
Кріпка Л.М., Саницький М.А. Вплив якості цементів, складових та добавок на властивості та довговічність цементобетонів.....	84
Марущак У.Д., Сидор Н.І. Ударна стійкість високоміцних фібробетонів	88
Мозговий В.В., Баран С.А., Гринчак І.І. Оцінювання дії водоморозних впливів на тріщиностійкість асфальтобетонного покриття.....	90
Москаленко О.А. Бетони транспортного призначення на шлаковмісних цементах.....	94
Нетеса М.І., Нетеса А.М., Нікіфорова Н.А., Косячевська С.М. Проблеми раціонального використання цементів у бетонах.....	96

Оксак С.В., Ільїн Я.В.	
Вплив вмісту мінерального порошку та якості бітумних в'язучих на життєвий цикл литого асфальтобетону.....	100
Пиріг Я.І.	
Аналіз показників, що використовуються для оцінювання зміни властивостей бітумів після старіння	103
Плугін А.А., Калюжна О.В., Муригін М.А., Наджафов Е.Ф., Плугін Д.А.	
Перспективи застосування композитної арматури в шпалах із бетону...	107
Плугін А.А., Мусієнко С.М., Крикун О.П., Зінченко В.В., Калінін О.А.	
Вплив якості матеріалів для бетону на експлуатаційні властивості залізобетонних шпал.....	114
Плугін А.А., Муригіна Н.О., Мірошніченко С.В.	
Порівняльний аналіз матеріалів для прокладного шару залізничного безбаластного мостового полотна.....	118
Поляк О.Є., Гунька В.М., Братичак М.М.	
Модифікування дорожнього бітуму моно-пероксидною похідною епоксидної смоли ЕД-24.....	122
Сідун Ю.В., Гунька В.М., Волліс О.Є., Бідось В.М.	
Бітумні катіонні емульсії із використанням води відібраної із ставків-накопичувачів кислих гудронів.....	126
Соболь Х.С., Гуняк О.М., Розмус Д.І.	
Використання випаленого шламу паперообробки (ВШП) для дорожнього будівництва.....	129
Соколов О.В.	
Оцінювання структуровальної здатності мінерального порошку в широкому діапазоні температур.....	133
Соколова О.Б., Копинець І.В., Юнак А.Л.	
Аналіз можливості здійснення руху вантажних транспортних засобів за високої температури повітря.....	137
Сотерн М.	
Розробки EN специфікацій на бітумні в'язучі.....	141
Сур'янінов М.Г., Константінов П.В., Метлицький В.В.	
Особливості повзучості фібробетону.....	144

Сур'янінов М.Г., Аксьонова І.М., Петрук В.П. Зміна міцності бетону та фібробетону із часом.....	148
Сур'янінов М.Г., Клименко О.В., Єсванджия В.Ю., Шимченко П.В. Міцність сталевих фібробетону з фіброю різного типу.....	152
Татаринський В.Б., Петренко Ю.А. Комп'ютерні тренажери виробництва асфальтобетонних сумішей.....	156
Толмачов С.М., Токар А.А. Матеріали та технології для будівництва, ремонту та відновлення бетонних покриттів.....	160
Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Шляхи забезпечення довговічності цементного каменю.....	164
Яніцький О.Б., Данілов Є.С. Досвід будівництва доріг та аеродромів із цементобетонним покриттям.....	168

Збірник тез доповідей
Міжнародної науково-технічної конференції

«ОРГАНІЧНІ І МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ
ТА ДОРОЖНІ БЕТОНИ НА ЇХ ОСНОВІ»

8 – 9 листопада 2022 р.
м. Харків

Комп'ютерне макетування – Пиріг Я.І.

Відповідальний за випуск – Оксак С.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

СТИЛЬ 
ИЗДАТ 
Друкарня
www.stil-izdat.com

® Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 10,23. Тир. 100 прим. Зам. 879-22.

Видавець та виготовлювач ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (066) 822-7 1-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.