

**АНАЛІЗ НАФТОВИХ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ, ЩО
ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ**

**ANALYSIS OF PETROLEUM PAVEMENT BITUMENS IN THE ROAD
INDUSTRY OF UKRAINE**

Піріг Я.І., к.т.н., с.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків), Галкін А.В., к.т.н., (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov), Galkin A.V., Ph.D. in Engineering (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov)

Виконано аналіз властивостей дорожніх нафтових в'язких бітумів, що використовуються в дорожній галузі України. На основі порівняння властивостей бітумів, виготовлених нафтопереробними заводами різних країн, та встановленні відповідностей значень показників їх якості вимогам діючих в Україні національних стандартів, визначені переваги та недоліки цих в'язких. Особлива увага в роботі приділена визначенню адгезійних властивостей бітумів, які обумовлюють водостійкість та довговічність асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг.

The government program "Big Constructing" has started in 2020. It aims construction and reconstruction of 6.5 thousand km. of automobile roads in Ukraine. More than 80 % of road pavements in Ukraine are made from asphalt concrete, and their quality mostly is a matter of properties of bitumen that was used as a component of the asphalt mixture. Taking into consideration the fact that last twenty years among 6 oil refineries that producing pavement bitumen in Ukraine left one only, most of pavement bitumen in Ukraine road industry is an import of neighbor countries. In 2020 the 516.3 thousand tones of pavement bitumen is an import, and it is in 1.64 times more than at a same period of last year. With this the amount of sources of import is growing up, and includes Italy, Greece and Turkish now. This information raises the problem of finding the quality indicators for bitumen from oil refineries of different Europe countries and their comparative analysis, which is in the aim of this research work. The bitumen from Ukraine, Belarus, Italy, Greece and Turkish, which used in pavement industry of Ukraine, is a material of presented research. All this bitumen has no certificate of conformity to DSTU 4044 standard. For all this bitumen performed evaluation of quality parameters, according with DSTU 4044 and DSTU EN 12591. It was found that with Fraas breaking temperature the several of European bitumens aren't met the requirements of DSTU 4044. Special attention is paid to finding and evaluation of structural type of bitumen and its adhesion property. With Penetration Index all European bitumen can be classified as sol-gel type with approaching to sol type. In contrast with this Ukrainian bitumen is approaching to gel type with its structure. This

difference in a type of a structure specifies the high and low temperature performance of bitumens and their temperature susceptibility. In a frame of this work adhesion is evaluated with an antistripping property for bitumen virginal and after RTFOT or TFOT hardening. Aiming the increasing in accuracy of bitumen quality evaluation and in predicting of its influence on asphalt concrete durability it is suggested to include the antistripping index (on a glass surface) bitumen after RTFOT hardening into Technical Conditions on pavement bitumen.

Ключові слова: бітум, penetрація, температура розм'якшеності, температура крижкості, зчеплюваність.

Keywords: bitumen, penetration, softening point, Fraas breaking point, resistance to stripping.

Вступ. В 2020 р. в Україні розпочато реалізацію програми «Велике будівництво», згідно з якою планується побудувати і реконструювати 6,5 тис. км автомобільних доріг. Більше 80 % автомобільних доріг в країні мають асфальтобетонне покриття, якість якого значною мірою визначається властивостями бітумів, що входять до їх складу. У зв'язку з тим, що в Україні за останні 20 років з 6 нафтопереробних заводів, які виробляли дорожній бітум, залишився лише один, велика частина бітумних в'язучих, що використовуються у вітчизняній дорожній галузі є імпортованими з країн ближнього зарубіжжя. У 2020 р. в Україні значно збільшився попит на дорожні бітуми, що привело до збільшення імпорту цього матеріалу. За даними [1] за 9 місяців цього року в країну імпортовано 516,3 тис. т бітуму, що в 1,64 рази більше ніж за аналогічний період минулого року. При цьому значно розширилась географія країн-імпортерів – поряд з поставками з Білорусі (близько 80 % всього імпорту) та Польщі, в Україну бітум почали поставляти з Болгарії, Румунії, Італії, Греції, Азербайджану, Туреччини [2]. Ще однією особливістю імпортування бітуму в цьому році стало те, що значна доля поставок відбувалась морським транспортом. Така широка географія поставок викликає занепокоєння якістю в'язучого, яка може не відповідати національним кліматичним та експлуатаційним умовам.

Аналіз публікацій. Якість будь-якої дорожньої конструкції чи виробу залежить від якості вихідних матеріалів, яка, в свою чергу, визначається вимогами до властивостей цього матеріалу. Для асфальтобетонних дорожніх покриттів визначальною, переважно, є якість бітумів та бітумних в'язучих, які поєднують вихідні кам'яні матеріали в моноліт, надаючи йому необхідні експлуатаційні властивості. У відповідності з [3 – 4] міцність, водостійкість та морозостійкість, а також стійкість проти старіння асфальтобетону залежать головним чином від властивостей та кількості бітумного в'язучого. Згідно [5], низькотемпературні властивості асфальтобетонних покриттів на 90 %

визначаються властивостями бітумів, що входять до їх складу, реологічні властивості асфальтобетону на 90 % визначаються якістю бітуму, втомні на 60 %, а колієстійкість асфальтобетону майже на 40 % залежить від якості бітумного в'язучого. В зв'язку з цим питання встановлення, нормування та підвищення якості бітумів, є актуальними.

Мета і задача дослідження. Метою виконаної роботи було встановлення та порівняльний аналіз показників якості бітумів, виготовлених нафтопереробними заводами різних країн Європи. Особлива увага приділена визначенню адгезійних властивостей прийнятих в роботі бітумів, які, в значній мірі, обумовлюють водостійкість та довговічність асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг.

Методи та об'єкти дослідження. В якості об'єктів дослідження в роботі були прийняті бітуми, виготовлені на нафтопереробних заводах наступних країн: Україна (ПАТ «Укртатнафта»), Білорусь (ВАТ «Мозирський нафтопереробний завод» та ВАТ «Нафтан»), Греція (нафтова компанія Motor Oil Hellas), Італія (нафтогазова компанія Eni S.p.A.), Туреччина (нафтопереробний завод компанії Turgas). Для всіх прийнятих в дослідженні бітумів визначені: стандартні показники якості згідно національних стандартів ДСТУ 4044 [6] та ДСТУ EN 12591 [7]; зміна властивостей в'язучих після старіння за методом RTFOT та наведеною в ДСТУ 4044 модифікованою методикою TFOT (аналог методу старіння за ГОСТ 18180); структурно-реологічні типи в'язучих за значеннями індексів пенетрації, розрахованих за температурою розм'якшеності (IP_{T_p}) та еквіпенетраційною температурою T_{800} (температурою за якої пенетрація складає $800 \times 0,1$ мм) ($IP_{T_{800}}$) [8]; зчеплюваність з поверхнею скла за температури 75 °С, згідно методики проекту стандарту, що в даний час розробляється на заміну діючого ДСТУ Б.В.2.7-81 [9]. Властивості прийнятих в роботі бітумів наведені в табл. 1.

Результати дослідження. Згідно отриманих даних всі розглянуті бітуми відносяться до марки БНД 70/100, яка в даний час є найбільш поширеною в дорожній галузі України. Слід зауважити, що всі бітуми (навіть в'язуче, що виготовлено в ПАТ «Укртатнафта») згідно паспортних даних відповідають вимогам, що пред'являються до марки 70/100 згідно ДСТУ EN 12591 [7] і жоден бітум не має паспорту на відповідність вимогам діючого в Україні національного стандарту ДСТУ 4044 [6].

Порівняння температурних характеристик бітумів з нормованими, згідно національних стандартів, вимогами свідчить про невідповідність температури крижкості бітуму, що вироблено в Італії, вимогам навіть загальноєвропейського стандарту, які є більш м'якими порівняно з нормами стандарту ДСТУ 4044 (рис. 1). Щодо відповідності вимог

ДСТУ 4044, то за показником температури крихкості нормам стандарту не відповідають бітуми, виготовлені в Італії та Греції (Ткр вище максимального нормованого значення відповідно на 7 °С та 1 °С). За температурою розм'якшеності всі бітуми відповідають нормам як ДСТУ 4044, так і ДСТУ EN 12591 (хоча Тр бітуму, що виготовлено в Туреччині, знаходиться майже на нижній нормованій в ДСТУ 4044 межі). Виходячи з встановлених значень температур крихкості та розм'якшеності, найбільш вузький інтервал пластичності (тобто умовно інтервал експлуатаційних температур асфальтобетонного покриття) притаманний бітуму, виготовленому в Італії (54,4 °С), а найбільш широкий інтервал пластичності спостерігається у бітуму, виготовленому ПАТ «Укртатнафта». Це дозволяє віднести досліджувані бітуми до різних структурно-реологічних типів, які обумовлюють різну температурну чутливість вітчизняного та європейських бітумів.

Таблиця 1

Властивості бітумів, прийнятих в дослідженні

Показники якості		Країна-виробник бітуму					
		Греція	Італія	Туреччина	Білорусь		Україна
					Мозир	Нафтан	
Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм		85	70	90	86	90	91
Температура розм'якшеності (Тр), °С		47,4	48,4	45,1	48,6	48,8	50
Температура крихкості (Ткр), °С		-12	-6	-14	-19	-17	-22,5
Розтяжність за 25 °С (Д), см		>150	>150	121,3	94,4	>150	41,1
Індекс пенетрації за Тр		-0,55	-0,81	-1,08	-0,18	0,02	0,38
Температура Т ₈₀₀ , °С		44	44,5	44,5	48	48,5	49
Індекс пенетрації за Т ₈₀₀		-1,59	-1,93	-1,27	-0,35	-0,07	0,11
Зчеплюваність зі склом (С), %		13,1	19,7	19,2	22,9	30,2	6,0
Старіння за ТГОГ	Залишкова пенетрація, %	62,4	74,3	85,6	74,4	65,6	74,7
	Зміна Тр, °С	4,5	5	3,3	3,2	4,6	3,4
	Зміна маси після прогріву, %	0,05	-0,16	0,04	0,39	0,32	-0,04
	Температура крихкості, °С	-9	-4	-12,5	-18	-16	-19
	Розтяжність за 25 °С, см	>150	>150	>150	52,4	>150	20,9
	Індекс пенетрації за Тр	-0,61	-0,30	-0,55	-0,16	0,02	0,39
	Індекс пенетрації за Т ₈₀₀	-1,07	-2,31	-2,01	-0,49	0,04	1,11
	Зчеплюваність зі склом, %	25,1	16,6	21,6	13,1	36,0	8,9
Старіння за РГГОГ	Залишкова пенетрація, %	65,9	72,9	64,4	70,9	65,6	78,0
	Зміна Тр, °С	4,2	3,3	6,8	3,3	4,9	5
	Зміна маси після прогріву, %	0,24	-0,3	0,2	0,23	0,11	0,04
	Температура крихкості, °С	-9	-4	-13,5	-18	-15	-24
	Розтяжність за 25 °С, см	>150	>150	135,0	65,5	>150	21,3
	Індекс пенетрації за Тр	-0,55	-0,74	-0,39	-0,26	0,09	0,89
	Індекс пенетрації за Т ₈₀₀	-1,33	-2,07	-1,12	0,01	0,50	0,54
	Зчеплюваність зі склом, %	22,1	12,8	20,1	18,5	35,5	6,5

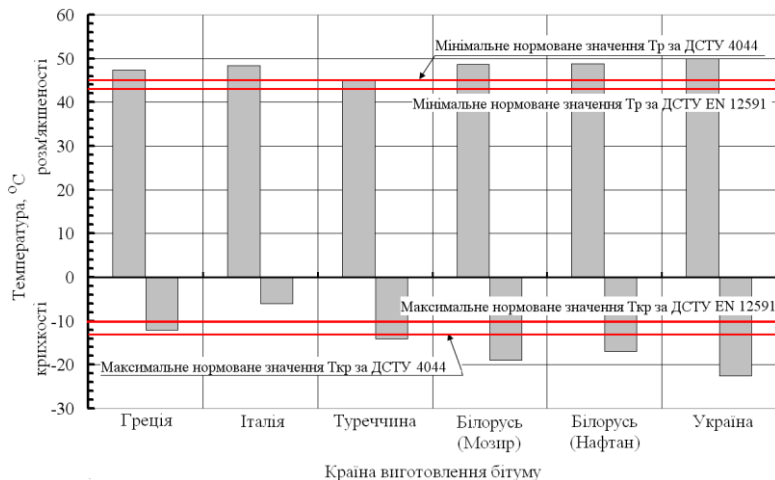


Рис. 1. Відповідність значень температур розм'якшеності та крихкості вимогам ДСТУ 4044 та ДСТУ EN 12591

Згідно розрахованих за температурою розм'якшеності значень індексів пенетрації, бітуми, виготовлені в країнах Європи, відносяться до типу «золь-гель» з наближенням до типу «золь», на відміну від бітумів, виготовлених в Білорусі та Україні, які належать до типу «золь-гель» з наближенням до типу «гель» (особливо бітум, виготовлений в ПАТ «Укртатнафта»). Для бітумів структурно-реологічного типу «золь», порівняно з бітумами типу «гель», характерними є більш низькі температури розм'якшеності, більш високі значення температур крихкості, інтенсивна зміна показників якості зі зміною температури, а також значна дуктильність (табл. 1, рис. 1) [3 – 4].

При встановленні структурно-реологічного типу в'язучих за значенням індексу пенетрації, розрахованим за температурою T_{800} (що є більш обґрунтованим та точним [10]), спостерігається значне зменшення індексу пенетрації та відповідно цьому перехід бітумів до структурного типу «золь». При цьому за значенням IP_{T800} бітуми, виготовлені в Греції та Італії, не відповідають вимогам загальноєвропейського стандарту, який обмежує нижню межу індексу пенетрації значенням мінус 1,5 (рис. 2). Ще більш істотно змінюється тип бітумів після їх старіння як за методом TFOT, так і RTFOT. При цьому структурний тип бітумів, виготовлених в країнах Європи, ще більше наближується до типу «золь», а бітумів, виготовлених в Україні та в Білорусі – до типу «гель». Це може бути пояснено як різницею в сировині, що використовується для виробництва бітуму, так і технологією його виготовлення (шляхом дистиляції – у країнах Європи, та шляхом окислення – у країнах колишнього СРСР).

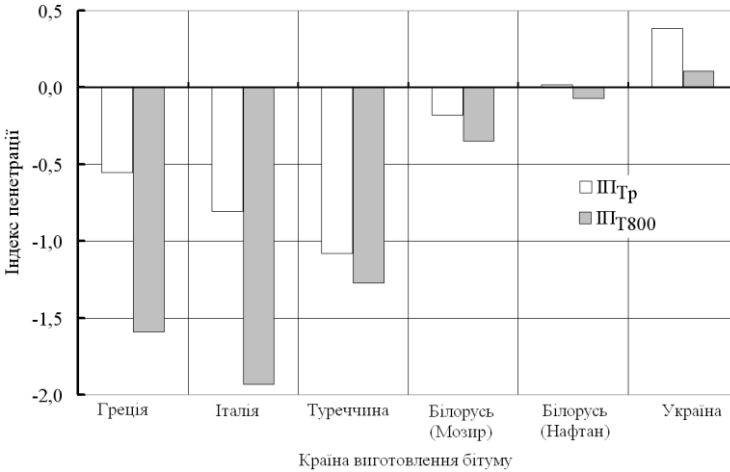


Рис. 2. Індеси пенетрації, визначені за температури розм'якшеності та еквіпенетраційній температури

За рахунок того, що європейські бітуми відносяться до структурно-реологічного типу «золь», вони характеризуються високою температурною чутливістю, тобто значною зміною властивостей зі зміною температури (рис. 3), що певним чином позначиться й на фізико-механічних показниках та температурній чутливості асфальтобетонів, виготовлених на цих в'язучих.

Свідченням відношення бітумів, що розглядаються в статті, до різних структурних типів є порівняння їх значень розтяжності, визначених за 25 °С. Бітум, виготовлений в ПАТ «Укртатнафта», що за структурно-реологічним типом наближується до типу «гель», характеризується самою низькою дуктильністю, яка є значно меншою мінімального нормованого значення за ДСТУ 4044 (табл. 1). При цьому після випробування на старіння значення розтяжності суттєво зменшуються (з 41 см до 20 см), що свідчить про схильність бітуму цього виробника до старіння. В той же час майже всі європейські бітуми мають розтяжність, яка перевищує 150 см і після випробування на старіння у бітумів, структурний тип яких наближується до типу «золь» (в'язучі, виготовлені в Греції та Італії), значення розтяжності залишаються такими ж високими, як і у вихідних бітумів.

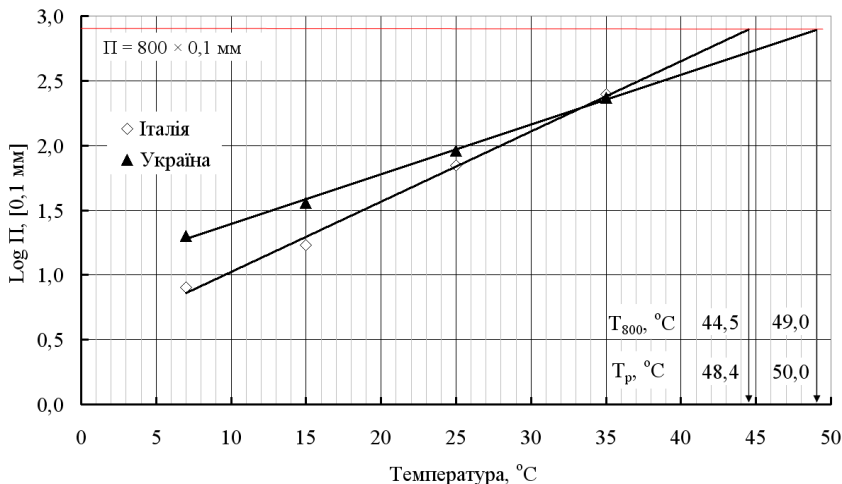


Рис. 3. Температурна чутливість бітумів, досліджуваних в роботі

Одним з найважливіших показників якості нафтових дорожніх бітумів є зчеплюваність з поверхнею кам'яних матеріалів, яка багато в чому визначає водостійкість та довговічність асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг. Для визначення зчеплюваності бітумів, прийнятих в дослідженні, використовувався модифікований метод ДСТУ Б.В.2.7-81 [9] (змінено часові та температурні режими підготовки в'язучих до випробування; сферу застосування методу розширено на модифіковані в'язучі; в якості підкладки застосовано предметні стекла розміром 70×25 мм). Зчеплюваність визначалась шляхом витримування підготовлених зразків у дистильованій воді за температури 75°C протягом 25 хв. Отримані дані наведені в табл. 1 та на рис. 4.

За значенням показника зчеплюваності бітуми виробництва Греції та України не відповідають вимогам ДСТУ 4044. Найменша зчеплюваність спостерігається у бітуму виробництва ПАТ «Укрнафта» (6 % проти мінімально нормованого значення в 18 %), що буде сприяти низькій водостійкості та довговічності асфальтобетонів, виготовлених на цьому в'язучому. Найбільша зчеплюваність у бітумів, виготовлених на нафтопереробних заводах Білорусі (22,9 % у бітуму, виготовленого на ВАТ «Мозирський нафтопереробний завод» та 30,2 % – ВАТ «Нафтан»), що за даними білоруських виробників досягається шляхом комбінованої технологічної схеми виготовлення в'язучих (вакуумна дистиляція сировини, окислення та компаундування продукції).

У відповідності з даними, наведеними на рис. 4, після старіння

в'язучих спостерігається значна зміна зчеплюваності (для більшості бітумів вона підвищується, при цьому після старіння за методом TFOT більше ніж після старіння за RTFOT), що пов'язано зі зміною групового складу в'язучих (збільшенням кількості асфальтенів) та підвищенням в'язкості в'язучих. Наведені дані свідчать про необхідність введення в технічні умови до дорожніх бітумів показника зчеплюваності, що буде визначатися після старіння в'язучих. Такий підхід дозволить більш об'єктивно оцінювати властивості бітумів та прогнозувати водостійкість асфальтобетонів.

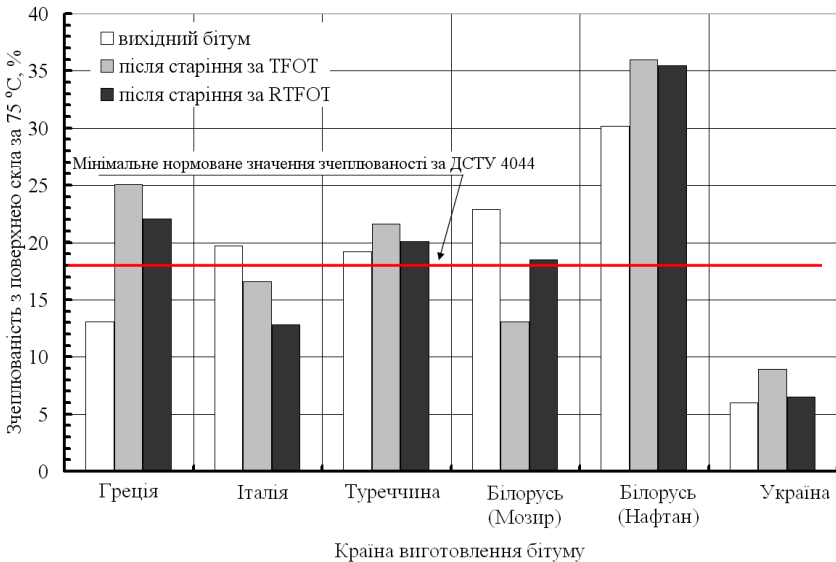


Рис. 4. Зміна зчеплюваності бітумів з поверхнею скла після старіння за різними методами

При визначенні зчеплюваності комплект випробувального устаткування було дообладнано веб-камерою. Це дало можливість відстежувати зміну зчеплюваності бітумів з часом (під час витримання зразків у дистильованій воді через рівні проміжки часу робилися знімки поверхні зразків та визначалась площа підкладки, що залишалась вкритою в'язучим). На основі отриманих даних були побудовані залежності зчеплюваності від часу витримання зразків у воді (рис. 5), які наочно ілюструють суттєву різницю між зчеплюваністю бітуму, виготовленого в ПАТ «Укртатнафта» (значно інтенсивніше зменшення зчеплюваності, яке відбувається протягом перших хвилин випробування) та іншими в'язучими.

З вищевикладеного можна зробити наступні висновки:

1. Всі нафтові дорожні в'язкі бітуми, що використовуються в дорожній галузі України, повинні проходити сертифікацію на відповідність вимогам діючого національного стандарту ДСТУ 4044:2019, який, на відміну від гармонізованого загальноєвропейського стандарту ДСТУ EN 12591, враховує кліматичні та експлуатаційні умови роботи автомобільних доріг України.

2. Значна увага при оцінюванні якості бітумів повинна приділятися визначенню їх температурної чутливості та адгезійних властивостей, оскільки саме ці показники переважним чином визначають довговічність асфальтобетонних покриттів.

3. Для підвищення об'єктивності оцінювання якості бітумів та прогностичності їх роботи в складі асфальтобетону доцільним є введення в технічні умови на дорожній бітум показника зчеплюваності з поверхнею скла, визначеного після старіння.

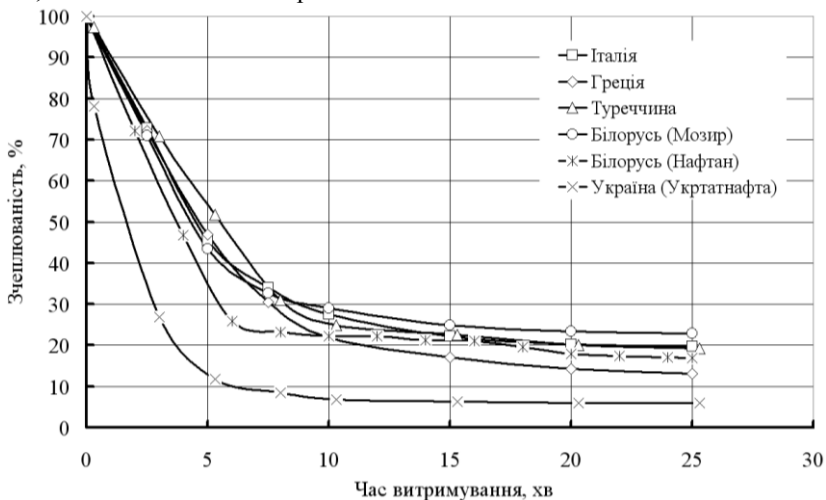


Рис. 5. Динаміка зміни зчеплюваності з часом витримування зразків у воді

References

1. Ymport by`tumov obnovy`l rekord v sentyabre. URL: <https://www.pbnh.com.ua/uk/news/ymport-byumov-obnovyl-rekord-v-sentyabre> (data zvernennya: 18.10.2020).
2. Ymport by`tuma v y`yule obnovy`l rekord. URL: <http://www.nefterynok.info/novosti/import-bituma-v-iyule-bet-ocherednoy-rekord> (data zvernennya: 18.10.2020).
3. Kolbanovskaya A. S., My`xajlov V. V. Dorozhnye bitумы. Moskva: Transport, 1973. 264 s.
4. Gun R. B. Neftyanye by`tumi. Moskva: Ху`му`ya, 1973. 432 s.

5. Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 206-ATB / M. N. Partl et al. Springer Science & Business Media, 2012. 453 p.

6. DSTU 4044:2019. Bitumy` naftovi dorozhni v'yazki. Texnichni umovy`. [Chy`nny`j vid 2020-05-01]. Vy`d. oficz. Ky`yiv: Derzhstandart Ukrainy`, 2019. 15 s.

7. DSTU EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT). Bitum ta bitumni v'yazhuchi. Texnichni vy`mogy` do dorozhnix bitumiv. [Chy`nny`j vid 2010-10-01]. Vy`d. oficz. Ky`yiv: UkrNDNCz, 2017. 30 s.

8. DSTU 8859:2019. Bitum ta bitumni v'yazhuchi. Metod vy`znachennya ekvipenetracijnoyi temperatury` ta indeksu penetraciyi [Chy`nny`j z 2020-01-07]. Vy`d. oficz. Ky`yiv: UkrNDNCz. 2019. 15 s.

9. DSTU B.V.2.7-81-98. Budivel`ni materialy`. Bitumy` naftovi dorozhni v'yazki. Metod vy`znachennya pokazny`ka zcheplyennya z poverxneyu skla ta kam'yany`x materialiv [Chy`nny`j vid 1999-03-01]. Vy`d. oficz. Ky`yiv: Derzhavny`j komitet budivny`czta, arxitektury` ta zhy`tlovoyi polity`ky` Ukrainy`, 1999. 5 s.

10. Pyry`g Y. Y`. O pokazatele temperaturnoj chuvstvyl`nosty` by`tumov. Vestny`k Xar`kovskogo nacy`onal`nogo avtomoby`lno-dorozhnogo uny`versy`teta. 2015. №. 69. S. 128–133.

Список використаної літератури

1. Импорт битумов обновил рекорд в сентябре. URL: <https://www.pbnh.com.ua/uk/news/ymport-byumov-obnovyl-rekord-v-sentyabre> (дата звернення: 18.10.2020).

2. Импорт битума в июле обновил рекорд. URL: <http://www.nefterynok.info/novosti/import-bituma-v-iyule-bet-ocherednoy-rekord> (дата звернення: 18.10.2020).

3. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. Москва: Транспорт, 1973. 264 с.

4. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. Москва: Химия, 1973. 432 с.

5. Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 206-ATB / M. N. Partl et al. Springer Science & Business Media, 2012. 453 p.

6. DSTU 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2019. 15 с.

7. DSTU EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів. [Чинний від 2010-10-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 30 с.

8. DSTU 8859:2019. Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення еквіпенетраційної температури та індексу пенетрації [Чинний з 2020-01-07]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2019. 15 с.

9. DSTU B.V.2.7-81-98. Будівельні матеріали. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла та кам'яних матеріалів [Чинний від 1999-03-01]. Вид. офіц. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. 5 с.

10. Пыриг Я. И. О показателе температурной чувствительности битумов. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2015. №. 69. С. 128–133.