



**RS Global**  
Journals

**Scholarly Publisher**  
**RS Global Sp. z O.O.**  
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773  
Tel: +48 226 0 227 03  
Email: editorial\_office@rsglobal.pl

---

<b>JOURNAL</b>	World Science
<b>p-ISSN</b>	2413-1032
<b>e-ISSN</b>	2414-6404
<b>PUBLISHER</b>	RS Global Sp. z O.O., Poland
<b>ARTICLE TITLE</b>	ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FLY ASH ON THE TECHNOLOGICAL AGING OF BITUMEN IN THE ASPHALT BINDER SYSTEM
<b>AUTHOR(S)</b>	V.I Kaskiv, O.V. Sokolov, V.V. Mozghovyi
<b>ARTICLE INFO</b>	V.I Kaskiv, O.V. Sokolov, V.V. Mozghovyi. (2024) Assessment of the Impact of Fly Ash on the Technological Aging of Bitumen in the Asphalt Binder System. <i>World Science</i> . 1(83). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30032024/8109
<b>DOI</b>	<a href="https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8109">https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8109</a>
<b>RECEIVED</b>	12 February 2024
<b>ACCEPTED</b>	19 March 2024
<b>PUBLISHED</b>	21 March 2024
<b>LICENSE</b>	 This work is licensed under a <b>Creative Commons Attribution 4.0 International License</b> .

---

© The author(s) 2024. This publication is an open access article.

# ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FLY ASH ON THE TECHNOLOGICAL AGING OF BITUMEN IN THE ASPHALT BINDER SYSTEM

**V.I. Kaskiv**

*PhD in Technics, Deputy Director for Research State Enterprise "National Institute for Infrastructure Development", Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-8074-6798*

**O.V. Sokolov**

*Head of the Laboratory of Bituminous Binders, Department of Bituminous Binders and Asphalt Concrete, National Institute of Infrastructure Development, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-4694-9647*

**V.V. Mozghovyi**

*Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Road Construction Materials and Chemistry National Transport University, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-1032-8048*

**DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30032024/8109](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8109)**

---

## ARTICLE INFO

**Received:** 12 February 2024

**Accepted:** 19 March 2024

**Published:** 21 March 2024

## KEYWORDS

Asphalt Concrete, Asphalt Binder, Fly Ash, Environmental Protection, Mineral Powder, Technological Aging.

## ABSTRACT

In Ukraine, about 30% of all electricity is generated from the combustion of solid fuels such as coal, oil shale, and peat. In our country, there are about 15 operating thermal power plants that generate about 5-6 million tons of ash and slag waste per year. Thus, the fuel and energy sector waste generated in the furnaces of thermal power plants is a huge accumulation of ash in the form of dusty residues and lumpy sludge, as well as various ash and slag mixtures. These products of high-temperature treatment (1200 °C - 1700 °C) of the mineral part of the fuel are widely used in many countries of the world, and given the global trend towards an increase in the share of the secondary market for waste, we should predict an increase in the rate of their processing in Ukraine. In Ukrainian practice, asphalt concrete is mainly used as a mineral powder obtained by grinding carbonate rocks in accordance with DSTU B V.2.7-119 and DSTU B V.2.7-121. At the same time, millions of tons of dusty waste - fly ash - are generated at Ukrainian power generating enterprises as a result of coal combustion. This material meets the requirements of DSTU B V.2.7-121 and can be used for the production of asphalt mixtures. However, it has not been sufficiently studied how fly ash affects the technological aging of bitumen. The aim of this study is to evaluate the effect of fly ash aggregates on the technological aging of bitumen in the asphalt binder system in comparison with traditional mineral powders of various origins. It was found that fly ash is close to the performance of limestone aggregate and can be used as an asphalt filler in asphalt concrete. As a result of the laboratory studies and analysis of the results of the impact of technological aging on the asphalt binder, we can state that the aging index of asphalt binder with fly ash is intermediate between limestone mineral powder and granite dust and is close to that of asphalt binder with limestone mineral powder. This may indicate that the use of fly ash as a mineral powder in asphalt mixtures will not negatively affect their technological aging. Other studies of the

physical and mechanical properties of asphalt concrete with fly ash performed by the authors allow us to conclude that fly ash, as a material, is suitable for use as an aggregate for asphalt concrete mixtures.

---

**Citation:** V.I Kaskiv, O.V. Sokolov, V.V. Mozghoyi. (2024) Assessment of the Impact of Fly Ash on the Technological Aging of Bitumen in the Asphalt Binder System. *World Science*. 1(83). doi: 10.31435/rsglobal\_ws/30032024/8109

---

**Copyright:** © 2024 V.I Kaskiv, O.V. Sokolov, V.V. Mozghoyi. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

---

## 1. Вступ.

Відомо, що негативні наслідки старіння бітуму, головним чином, обумовлені його окисленням, що викликано високими температурами і дією кисню, за яких відбувається об'єднання бітуму з мінеральними матеріалами, умовами навколишнього середовища, в яких працює бітум у дорожньому шарі, впливами зумовленими транспортними навантаженнями тощо. Під старінням розуміється вся сукупність незворотних змін структури, фізичних і механічних властивостей бітуму, що спостерігаються при зберіганні, технологічних процесах виготовлення асфальтобетонної суміші та експлуатації. Як правило, хімічні перетворення в бітумах призводять до утворення високомолекулярних конденсованих молекул. Окислення є домінуючою причиною старіння бітумів [1]. Від складу бітуму і, насамперед від наявності легкоокислюючих груп і зв'язків у молекулах залежить його схильність до старіння [2].

Дослідження [1, 3–5] показали, що незворотні зміни властивостей асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів у процесі старіння обумовлені як зовнішніми чинниками (кисень, температура, ультрафіолетове та радіаційне випромінювання, вода), так і внутрішніми чинниками (структурно-реологічний тип та консистенція бітуму) хіміко-мінералогічний склад мінеральних компонентів асфальтобетону (тип гранулометрії, ступінь ущільнення асфальтобетону).

Старіння починається в процесі виробництва асфальтобетонної суміші та продовжується при термостатуванні, транспортуванні до місця укладання суміші в конструктивні шари нежорстких дорожніх одягів та в умовах експлуатації. Зниження показників асфальтобетону відбувається за рахунок зміни структури бітуму, а отже, і його властивостей на покритті з'являються деформації у вигляді тріщин. Процеси, які відбуваються на молекулярному рівні в бітумі, призводять до макроскопічних змін в асфальтобетоні, що виражаються у підвищенні крихкості, зниженні пластичності тощо. Багаторічні спостереження у процесі експлуатації дорожніх покриттів, а також лабораторні дослідження [5] показали, що однією з основних причин виникнення деформацій на автомобільних дорогах з часом є атмосферні чинники. Відомо, якщо величина внутрішнього напруження, що виникає в покритті під дією автомобільного руху, не перевищує існуючу міцність покриття, вона не зменшує довговічність асфальтобетону, а сприяє навіть додатковому зміцненню, що виражається в перші роки експлуатації його доущільненням. На властивості асфальтобетону значно впливає спільна дія навантажень і температури, залежно, від яких асфальтобетон може перебувати у різних реологічних станах. Процесами, що викликають незворотні зміни складу та властивостей бітумів є:

- випаровування легких складових (масла), що відбувається в поверхневому шарі бітуму незначної товщини і залежить від в'язкості бітуму і температури;
- окисполімеризація компонентів бітуму, що відбувається головним чином на зовнішній поверхні в'язучого, що піддається безпосередньої дії світла або ультрафіолетових променів;

- поліконденсація, що відбувається під впливом кисню, і є основним процесом, що змінює склад і структуру бітуму при старінні [6].

В асфальтобетоні процеси старіння бітумів відбуваються за тим самим механізмом, як і у вільному бітумі, хоча є деякі особливості, обумовлені присутністю мінеральних матеріалів. Дослідники у своїх роботах [1, 4–6] зазначають, що адсорбційні шари порівняно з вільним бітумом мають одну важливу перевагу: молекули бітуму в адсорбованих шарах мають набагато меншу рухливість, ніж у вільному бітумі, що знижує їхню реакційну здатність. Це спостерігається в тому, що суміш бітуму з мінеральним наповнювачем при підвищеному вмісті мінерального порошку (наприклад, при виробництві литих асфальтобетонних сумішей) перемішують при високих температурах (215 – 230) °С, при цьому не спостерігається значного окислення бітумів, що обумовлено тим, що у таких сумішах органічне в'язуче в основному знаходиться в адсорбційно-сольватному стані на поверхні мінерального порошку, питома поверхня якого набагато вища, ніж у звичайних бітумомінеральних композиціях. Продовженням індукційного періоду ланцюгових реакцій, що відбуваються в бітумі, можна досягти збільшення строку служби асфальтобетонного покриття [6]. Це вирішується підбором мінеральних матеріалів, що уповільнюють процеси окислення, та введенням у бітум інгібіторів.

## 2. Результати досліджень та обговорення.

У попередніх дослідженнях [15, 16] було встановлено, що фізико-механічні показники асфальтобетону із золою винесення практично не відрізняються від показників асфальтобетону зі стандартним наповнювачем, а водо- та морозостійкість в деяких випадках є вищою. Оскільки більшість дослідників [6 – 8] вважають, що кислі мінеральні матеріали прискорюють процеси старіння бітуму, тому доцільно вивчення старіння асфальтов'язучого із золою винесення.

Старіння бітуму проводили згідно з EN 12607-1 [9] методом RTFOT, так як стандартна методика випробування бітумів на старіння (ГОСТ 18180 [10]), яку використовували раніше, не відтворює реальної картини старіння в'язучого, тому що на поверхні випробуваних зразків утворюється полімерна оксидна плівка, яка перешкоджає доступу кисню повітря в об'єм в'язучого. Відбуваються тільки процеси полімеризації в поверхневому шарі, як це має місце в асфальтобетонному покритті при його експлуатації. При цьому чим більша схильність в'язучого до старіння, тим швидше утворюється захисна плівка і тим менш адекватний кінцевий результат. Більш точні результати дозволяє отримати метод RTFOT, за яким схильність в'язучих до старіння оцінюють в країнах Європи. На відміну від [10] прогрівання в'язучих виконується в скляних стаканах із постійним перемішуванням, що забезпечує оновлення поверхні в'язучого та контакт з повітрям, яке безперервно подається в термошафу. Таким чином можна зазначити, що метод RTFOT більш точно моделює старіння бітуму в процесі приготування асфальтобетонної суміші [4].

Індекс старіння визначали як відношення динамічної в'язкості асфальтов'язучого після процедури старіння до динамічної в'язкості не зістареного асфальтов'язучого.

Динамічну в'язкість визначали як відношення прикладеного напруження зсуву до швидкості зсуву відповідно до EN 13302 [11].

Загально визнано, що для в'язкопружних систем, якими є бітуми в області температур розм'якшення і вище, фундаментальною їх реологічною характеристикою є динамічна в'язкість.

Динамічну в'язкість всіх досліджуваних об'єктів визначали за температури їх розм'якшеності та температурах 70 °С, 90 °С, 135 °С, 165 °С та 180 °С.

Результати випробування вихідних матеріалів наведено в таблиці 1 та таблицях 2.

Таблиця 1. Результати випробування бітуму марки БНД 70/100.

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування	Вимоги ДСТУ 4044
1	Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	78	від 70 до 100
2	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	47,5	від 45 до 51
3	Температура крихкості, °С	мінус 23	не вище ніж мінус 13
4	Розтяжність за температури 25 °С, см	95	не менше ніж 60
5	Інтервал пластичності, °С	70	-
6	Зміна маси після прогрівання, % за масою	0,12	не більше ніж 0,9
7	Залишкова пенетрація, %	65	не більше ніж 59
8	Зміна температури розм'якшеності, °С	5,2	не більше ніж 6,0
9	Індекс пенетрації	мінус 0,91	від мінус 2,0 до 1,0

Зразки асфальтов'яжучого підготовлювали згідно з ДСТУ EN 13179-1 [12] який відрізняється від прийнятих в Україні тим, що складники асфальтов'яжучого дозують за об'ємом, а не за масою. Це дає змогу більш точно охарактеризувати структуруючу здатність наповнювачів.

Зміну температури розм'якшеності після прогрівання визначали як різницю температур розм'якшеності, визначених згідно з ДСТУ EN 1427 [13] до та після випробування на прогрівання згідно з ДСТУ EN 12607-1 [9].

Результати випробувань в таблиці 3 показують, що асфальтов'яжуче із золою винесення є більш стійким до старіння ніж з вапняковим наповнювачем, найгіршою стійкістю до старіння виявився гранітний пил. Дані результати засвідчили, що оксиди, які знаходяться в золі винесення та в кварцитному пилу не впливають на погіршення стійкості до старіння бітуму. Згідно з оксидним складом у всіх досліджуваних зол винесення, понад 70 % складають оксиди силіцію та алюмінію. За класифікацією, ці золи відносяться до кислої приховано активної золи [14]. Тобто основними складовими золи винесення ТЕС є  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , які знаходяться у склоподібній фазі. Значна частина  $\text{SiO}_2$  знаходиться у формі кварцу, тоді як  $\text{Al}_2\text{O}_3$  міститься у муліті.

За рейтинговим методом оцінювання результатів наведених в таблиці 3 за еталонний зразок можна взяти асфальтов'яжуче з вапняковим мінеральним наповнювачем, яке має 5 балів. Тобто за результати таблиці 3 асфальтов'яжучі можна розмістити в такому порядку: зола винесення з Бурштинської ТЕС (4 бали), вапняковий наповнювач та зола винесення з Дарницької ТЕС (5 балів), зола винесення з Трипільської ТЕС (6 балів), кварцитний пил (9 балів), гранітний пил (11 балів). Відповідно до таблиці 1 зола винесення з Бурштинської ТЕС є кращою за стійкістю до технологічного старіння.

Таблиця 2. Результати випробування наповнювачів.

Ч. ч.	Найменування показників, одиниця вимірювання	Результати випробування					
		Вапнякового МП	Зола винесення Бурштинської ТЕС	Зола винесення Дарницької ТЕС	Зола винесення Трипільської ТЕС	Кварцитний піл	Гранітний піл
1	Зерновий склад — вміст частинок, відсоток за масою:						
	— дрібніше ніж 0,071 мм	87,6	86,3	85,7	83,1	87,6	80,7
	— дрібніше ніж 0,315 мм	99,7	99,8	99,9	99,9	99,7	90,6
	— дрібніше ніж 1,25 мм	100	100	100	100	100	100
2	Дійсна густина, г/см <sup>3</sup>	2,63	2,61	2,59	2,60	2,94	2,68
3	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	1,85	1,78	1,73	1,78	1,99	1,84
4	Пористість у разі ущільнення 40 МПа, відсоток за об'ємом	29,7	33,2	34,8	31,8	32	34,6
5	Набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, відсоток за об'ємом	0,4	1,2	1,8	1,6	0,1	0,2
6	Бітумоемність, г	49	41,3	45,8	43,8	58,2	69

Таблиця 3. Визначення зміни температури розм'якшеності (структуруючої здатності) після прогріття.

Тип наповнювача	До прогрівання	Після прогрівання	Зміна температури розм'якшеності, °С	Рейтинг стійкості до старіння	Рейтинг структуруючої здатності
Бітум марки 70/100	47,5	52,7	5,2	—	—
Вапняковий МП	59,9	61,4	1,5	4	1
Зола винесення з Бурштинської ТЕС	60,9	61,5	1	1	3
Зола винесення з Дарницької ТЕС	60,4	61,8	1,4	3	2
Зола винесення з Трипільської ТЕС	61,0	62,3	1,3	2	4
Кварцитний піл	62,0	63,5	1,5	4	5
Гранітний піл	61,5	63,6	2,1	5	6

Для визначення достовірності даних результатів були проведені додаткові дослідження впливу технологічного старіння на реологічні властивості асфальтов'язучого, результати наведені в таблиці 4.

Аналіз результатів випробування показав, що під час технологічного старіння має місце зростання динамічної в'язкості асфальтов'язучого. Найбільше зростання динамічної в'язкості асфальтов'язучого відбувається за температури 70 °С, відповідно за цієї температури отримано найвищі індекси старіння за зміною динамічної в'язкості (рисунок 1).

Найменшим індексом старіння характеризується асфальтов'язуче з вапняком та кварцитом, а саме 1,66 та 1,67 відповідно. Найбільшим індексом старіння характеризується асфальтов'язуче з гранітом. Для асфальтов'язучих із золою винесення характерними є проміжні значення індексу старіння, які становлять від 1,85 до 1,94.

З підвищенням температури індекс старіння всіх асфальтов'язучих зменшується (рисунок 2). При цьому для асфальтов'язучого з вапняком зменшення індексу старіння є найнижчим і становить 0,05. Найбільше зменшення індексу старіння є характерним для асфальтов'язучого з кварцитом, гранітом та золою винесення Бурштинської ТЕС і Дарницької ТЕС, а саме на 0,36, 0,35 та 0,34 і 0,36 відповідно. Проміжне зменшення індексу старіння характерне для асфальтов'язучого із золою винесення Трипільської ТЕС, а саме на 0,22.

Із підвищенням температури випробування індекс старіння асфальтов'язучих стає дедалі меншим (рисунок 3 і рисунок 4) і за температури 180 °С в деяких випадках старіння практично не відбувається (рисунок 5). Найменшим індексом старіння характеризується асфальтов'язуче з кварцитом та золою винесення Бурштинської ТЕС (1,02), найбільшим – асфальтов'язуче з гранітом (1,97).

Таблиця 4. Результати визначення впливу технологічного старіння на реологічні властивості асфальтов'язучого.

		70 °С	90 °С	135 °С	165 °С	180 °С
Вапняковий МП до прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,25	2	50	150	200
	Динамічна в'язкість Па×с	860	90	3,70	0,86	0,42
Вапняковий МП після прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,08	1	25	100	200
	Динамічна в'язкість Па×с	1425	145	5,10	1,04	0,46
	Індекс старіння	1,66	1,61	1,38	1,21	1,10
Зола-винесення з Бурштинської ТЕС до прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,15	1	30	100	200
	Динамічна в'язкість Па×с	1000	120	4,80	1,23	0,57
Зола-винесення з Бурштинської ТЕС після прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,06	0,6	25	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	1920	189	6,30	1,40	0,58
	Індекс старіння	1,92	1,58	1,31	1,14	1,02
Кварцитний пил до прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,2	0,8	20	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	1350	163	6,40	1,46	0,62
Кварцитний пил після прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,05	0,6	25	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	2250	213	7,10	1,51	0,63
	Індекс старіння	1,67	1,31	1,11	1,03	1,02

Продовження таблиці 4.

Зола-винесення з Дарницької ТЕС до прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,2	0,8	20	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	1275	151	5,80	1,36	0,58
Зола-винесення з Дарницької ТЕС після прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,05	0,6	25	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	2360	225	7,70	1,66	0,65
	Індекс старіння	1,85	1,49	1,33	1,22	1,12
Зола-винесення з Трипільської ТЕС до прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,15	1	30	100	200
	Динамічна в'язкість Па×с	1365	164	6,30	1,53	0,67
Зола-винесення з Трипільської ТЕС після прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,06	0,6	25	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	2650	289	9,30	1,95	0,77
	Індекс старіння	1,94	1,76	1,48	1,27	1,15
Гранітний пил до прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,15	1	30	100	200
	Динамічна в'язкість Па×с	1360	151	6	1,43	0,62
Гранітний пил після прогрівання	Швидкість обертання шпинделя, об/хв	0,06	0,60	25	100	250
	Динамічна в'язкість Па×с	4330	428	13,90	2,96	1,22
	Індекс старіння	3,18	2,83	2,32	2,07	1,97

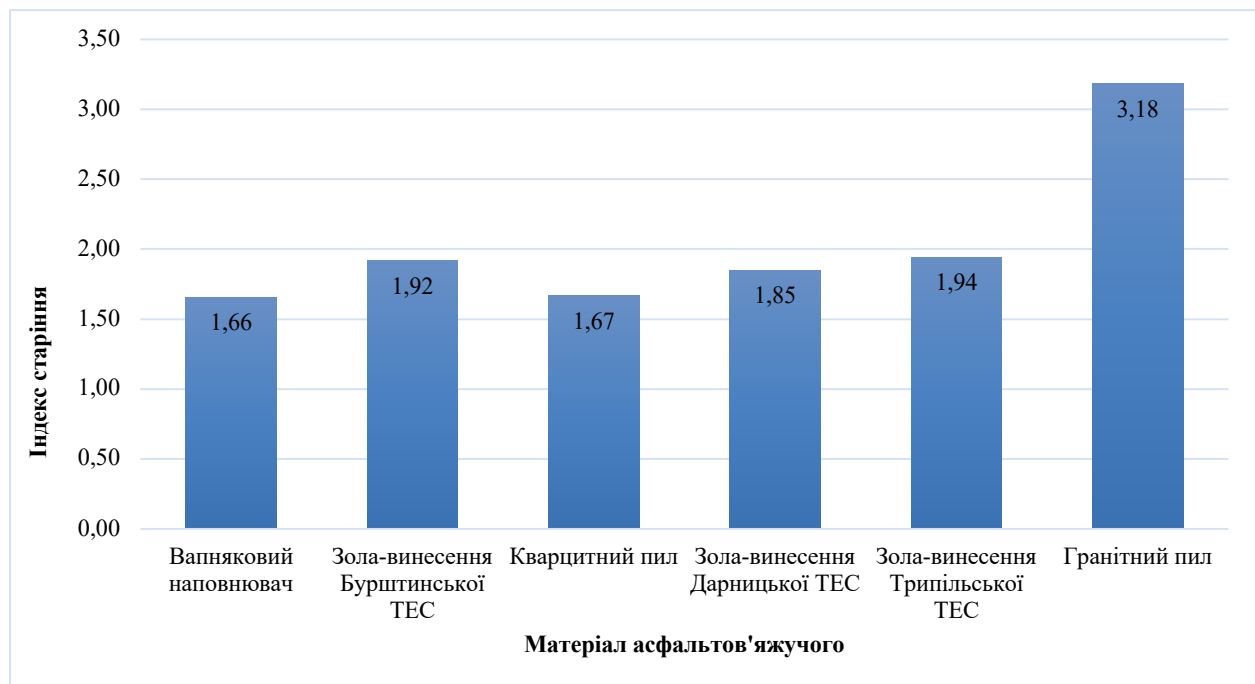


Рисунок 1. Індекс старіння за температури 70 °С залежно від матеріалу асфальтов'язучого.



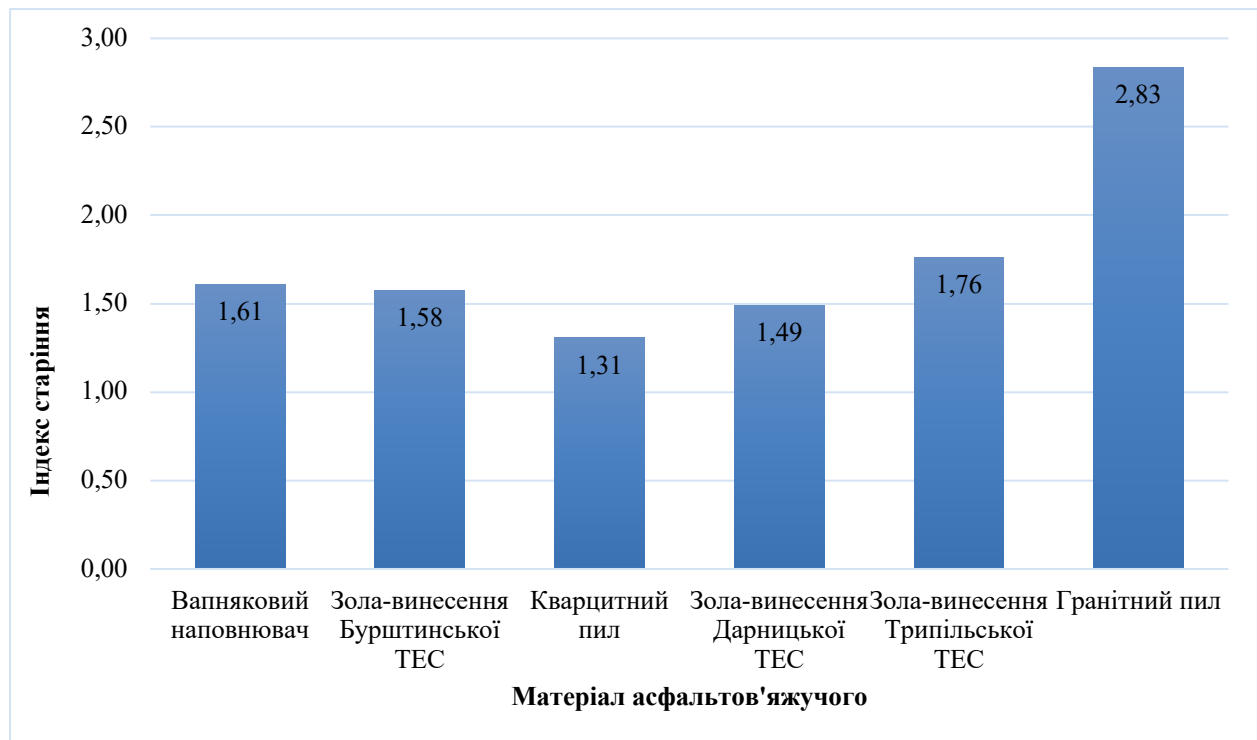


Рисунок 2. Індекс старіння за температури 90 °C залежно від матеріалу асфальтов'язучого.

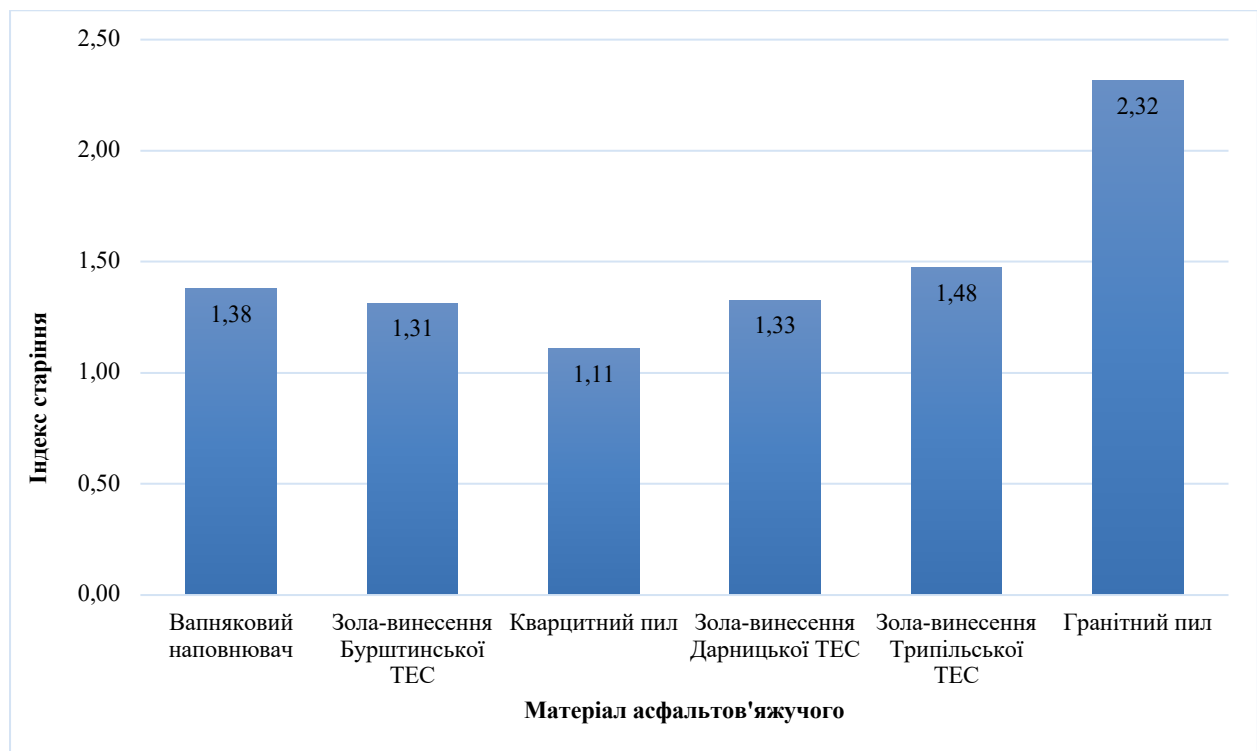


Рисунок 3. Індекс старіння за температури 135 °C залежно від матеріалу асфальтов'язучого.

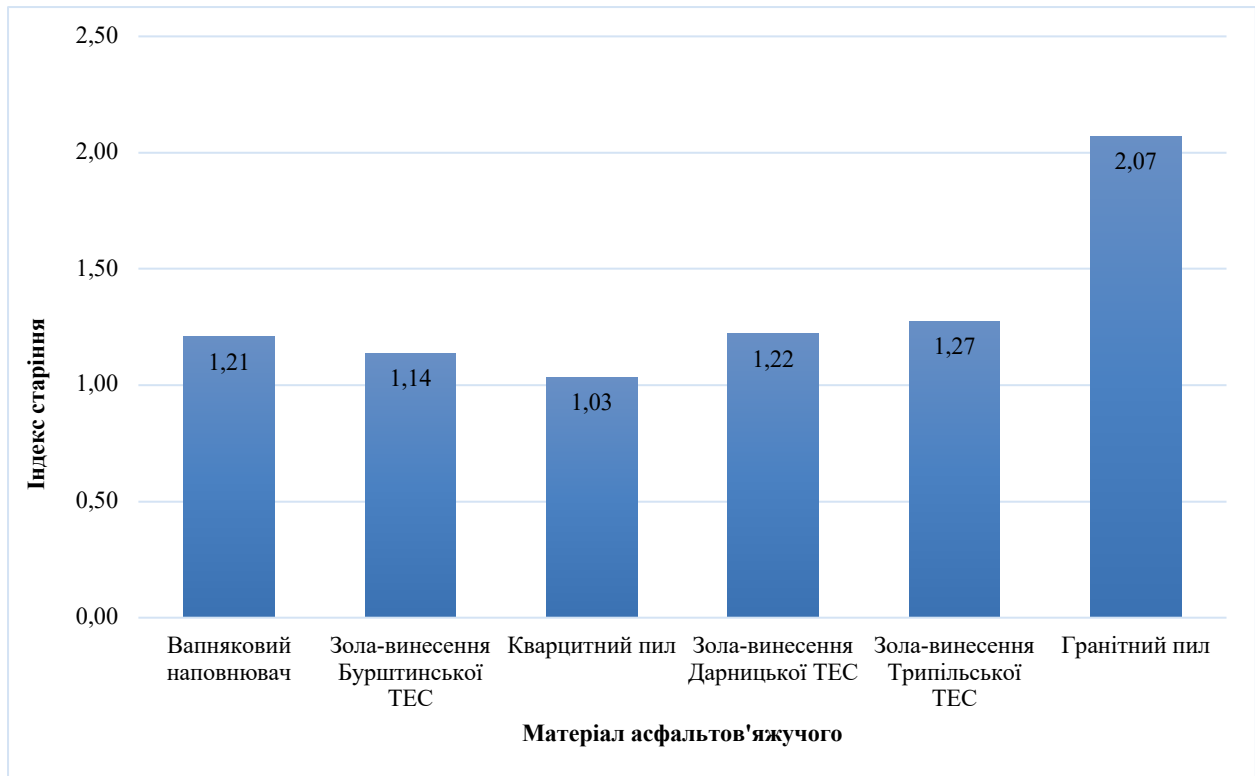


Рисунок 4. Індекс старіння за температури 165 °С залежно від матеріалу асфальтов'язучого.

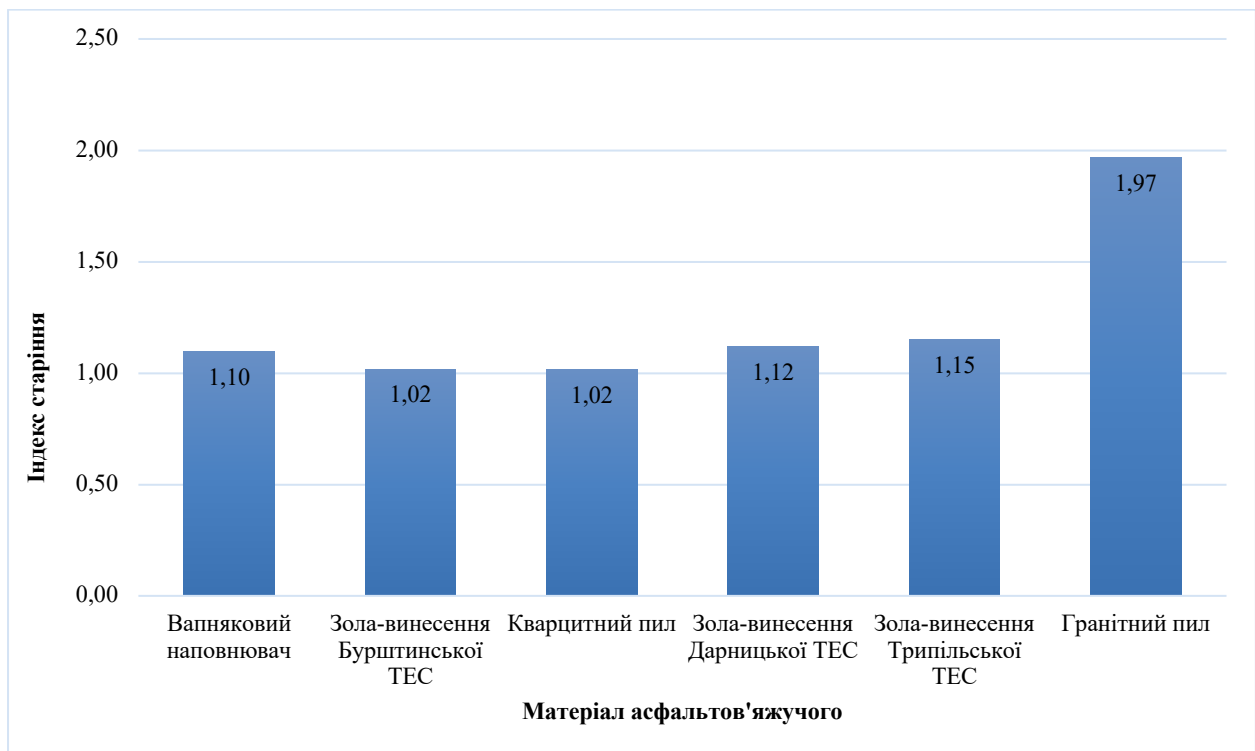


Рисунок 5. Індекс старіння за температури 180 °С залежно від матеріалу асфальтов'язучого.

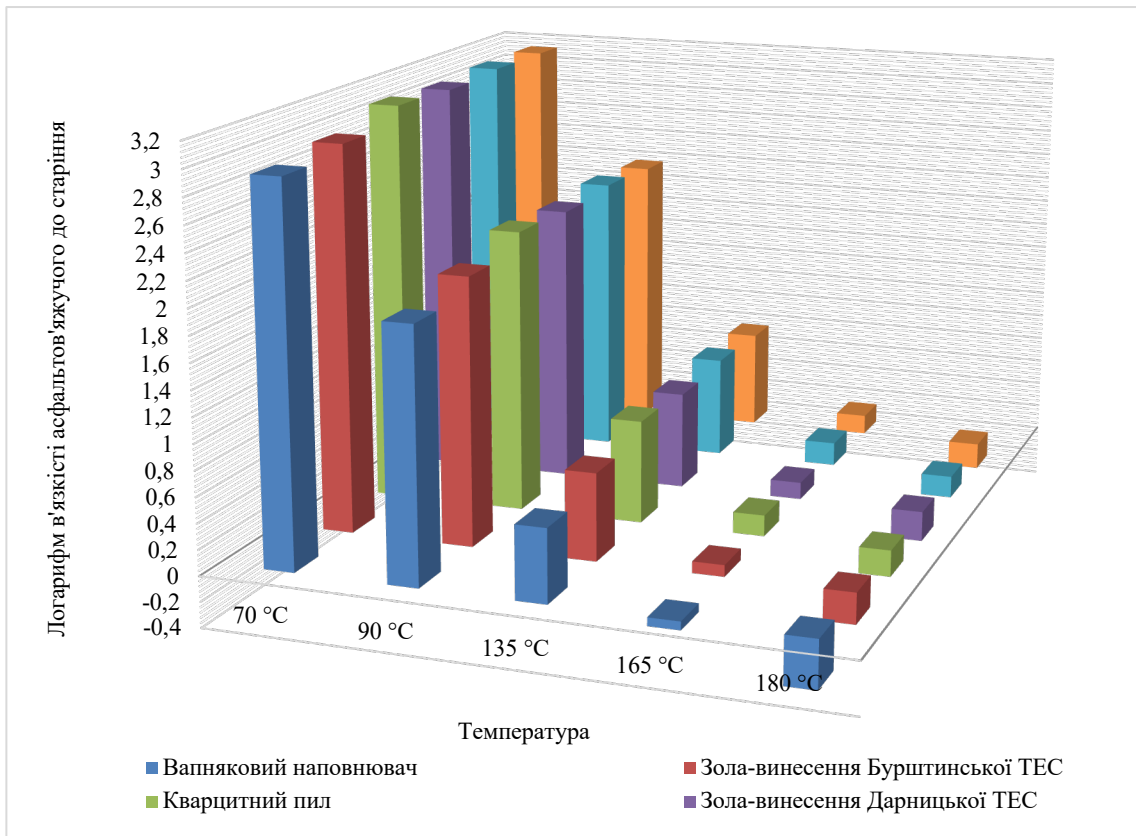


Рисунок 6. Порівняння логарифму в'язкості асфальтов'язучого до старіння.

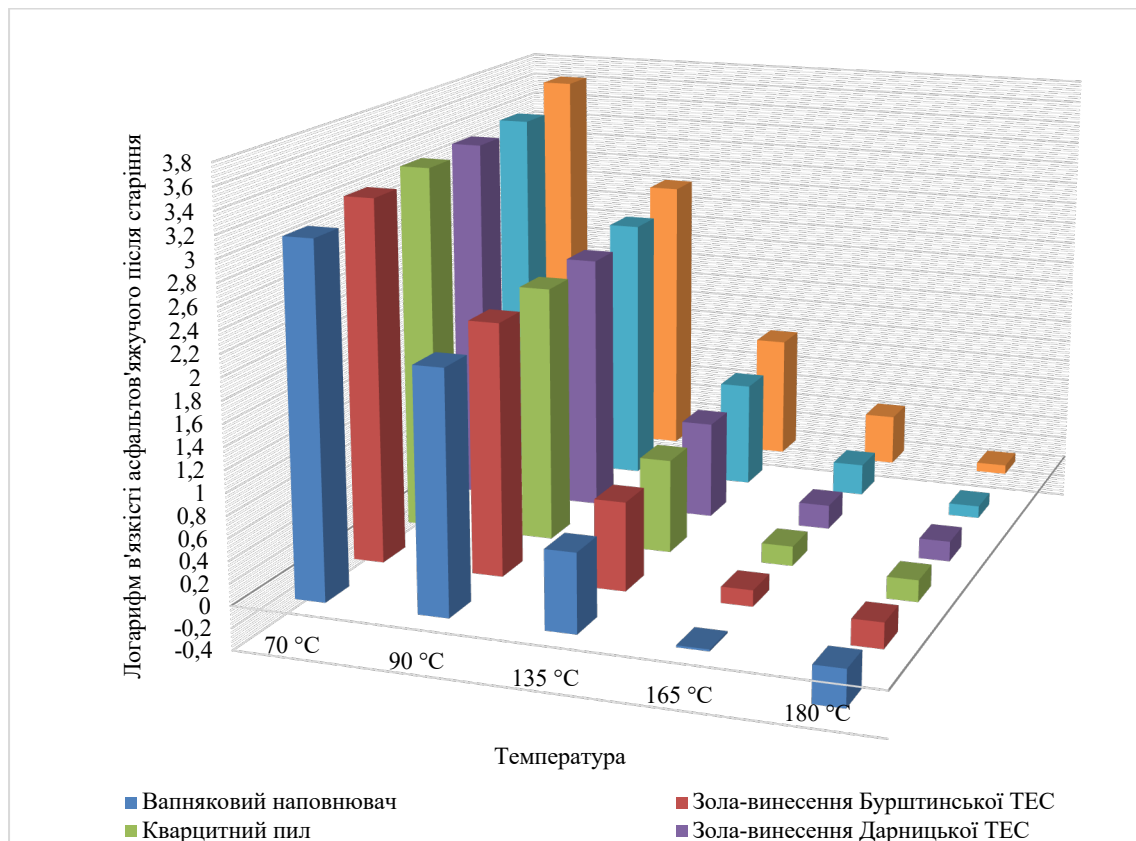


Рисунок 7. Порівняння логарифму в'язкості асфальтов'язучого після старіння.

Таблиця 5 Результати визначення рейтингу впливу технологічного старіння на реологічні властивості асфальтов'язучого.

	Температура °C	Вапняковий наповнювач	Зола винесення з Бурштинської ТЕС	Кварцитний пил	Зола- винесення з Дарницької ТЕС	Зола- винесення з Трипільської ТЕС	Гранітний пил
Рейтинг в'язкості до старіння	70	1	2	4	3	5	6
	90	1	2	4	3	5	3
	135	1	2	6	3	5	4
	165	1	2	4	3	6	5
	180	1	2	4	3	6	5
Рейтинг в'язкості після старіння	70	1	2	3	4	5	6
	90	1	2	3	4	5	6
	135	1	2	3	4	5	6
	165	1	2	3	4	5	6
	180	1	2	3	4	5	6
Рейтинг індексу старіння	70	1	4	2	3	5	6
	90	4	3	1	2	5	6
	135	4	2	1	3	5	6
	165	3	2	1	4	5	6
	180	2	1	1	3	4	5
Сума балів	–	24	32	43	50	76	82

Порівняння в'язкості асфальтов'язучого з різними наповнювачами наведені на рисунку 6 та 7.

За допомогою отриманих результатів дослідження впливу технологічного старіння на реологічні властивості асфальтов'язучого, можна визначити рейтинг впливу (таблиця 5) та розмістити в такій послідовності: вапняковий наповнювач (24 бали), зола винесення з Бурштинської ТЕС (32 бали), кварцитний пил (43 бали), зола винесення Дарницької ТЕС (50 балів), зола винесення Трипільської ТЕС (76 балів), гранітний пил (82 бали). Якщо об'єднати рейтинги двох наведених методів оцінювання то дана тенденція не зміниться.

### 3. Висновки.

У результаті виконаних лабораторних досліджень й аналізу результатів впливу технологічного старіння на асфальтов'язучу речовину, можемо зробити висновок, що показники індексу старіння із золою винесення показують проміжні значення між вапняковим мінеральним порошком і гранітним пилом. Ці значення також наближаються до вмісту асфальтов'язучого з використанням вапнякового мінерального порошку.

Помірні значення індексу старіння асфальтов'язучого із золою винесення свідчать про те, що матеріал зберігає свої властивості на прийнятному рівні під час технологічного старіння, що робить його ефективним для використання у конструкціях дорожнього покриття. А виконанні авторами інші дослідження фізико-механічних показників асфальтобетонів із золою винесення дозволяють зробити висновок, що зола винесення, як матеріал, є придатним для використання в якості наповнювача для асфальтобетонних сумішей.

### REFERENCES

1. Золотарев В. А. Перспективы повышения долговечности асфальтобетона / В. А. Золотарев // Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-го тысячелетия: Материалы международной научной конференции. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – С. 58–61.

2. В.И. Братчун, М.К. Пактер, А.А. Стукалов и др. //Технологическое старение дорожного нефтяного битума как двухфакторный процесс / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 31-41.
3. Yang Z., Zhang X., Zhang Z., Zou B., Zhu Z., Lu G. ... Yu H. (2018) Effect of aging on chemical and rheological properties of bitumen. *Polymers*. Vol. 10, 1345 p. DOI:10.3390/polym10121345.
4. Копинець І.В. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного мтаріння бітумів: Дис. на отр. учен. степ. канд. техн. наук. – Київ, 2021. [http://diser.ntu.edu.ua/Копынets\\_aref.pdf](http://diser.ntu.edu.ua/Копынets_aref.pdf).
5. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон / Г.К. Сюньи. – Киев: Госстройиздат УССР, 1962. – 264 с..
6. Колбановская А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – 1973. – 261 с.
7. Руденская И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства: Монография / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – 2010. – 526 с.
8. Морозов А.И. Повышение качества щебня из попутно-добываемых пород КМА и органоминеральных материалов на его основе: автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. к.т.н.: 05.23.05 / А.И. Морозов. – Харьков, 1987. – 24 с.
9. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT (EN 12607-1:2014, IDT).
10. ГОСТ 18180-72 Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева (СТ СЭВ 4543-84).
11. ДСТУ EN 13302:2019 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення динамічної в'язкості бітумного в'язучого з використанням ротаційного віскозиметра (EN 13302:2018, IDT).
12. ДСТУ EN 13179-1:2021 Методи випробування мінеральних наповнювачів для бітумомінеральних сумішей. Частина 1. Метод дельта кільця та кулі (EN 13179-1:2013, IDT).
13. ДСТУ EN 1427:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури розм'якшеності за методом кільця і кулі (EN 1427:2015, IDT).
14. Каськів В. І., Соколов О. В. Теоретичне обґрунтування використання золи-винесення як наповнювача в асфальтобетоні. *Дороги і мости*. 2023. Вип. 28. С. 92–98. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.092>.
15. Каськів В. І., Соколов О. В. Дослідження впливу наповнювачів різного походження на властивості асфальтобетонів. *Дороги і мости*. 2023. Вип. 27. С. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.068>
16. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Дослідження золи-винесення електрогенеруючих підприємств з метою її використання як альтернативи вапняковому мінеральному порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 24. С. 40–47. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.040>