

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 5, Number 443 (2020), 89 – 96

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.108>

UDK 625.7/8:691.16

**M. Zh. Zhurinov<sup>1</sup>, B. B. Teltayev<sup>2</sup>, A. A. Kalybai<sup>2</sup>, C. O. Rossi<sup>3</sup>, Ye. D. Amirbayev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>JSC “D. V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>JSC “Kazakhstan Highway Research Institute”, Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>University of Calabria, Rende, Italy.

E-mail: nanrk.mzh@mail.ru, ao\_kazdornii@mail.ru, cesare.oliviero@unical.it

## COMPARATIVE ANALYSIS OF LOW TEMPERATURE RESISTANCE FOR NANOCARBON AND OTHER BITUMENS

**Abstract.** A comparative analysis of the low temperature resistance for a nanocarbon bitumen and other 30 neat and modified bitumens has been performed in the work. The stiffness at the temperatures of -24°C, -30°C and -36°C under technical system Superpave has been accepted as an indicator of low temperature resistance of the bitumens. The stiffness of the bitumens has been determined on a bending beam rheometer (standard ASTM D 6648-08). Before testing the bitumens have been subjected to the double artificial aging: short-term aging – under standard AASHTO T 240-13 and long-term aging – under standard ASTM D 6521-08.

The nanocarbon bitumen has been prepared in the laboratory of the Kazakhstan Highway Research Institute (KazdorNII) with the use of a road bitumen of the grade BND 70/100 produced by the Pavlodar petrochemical plant (PNHZ) and a nanocarbon powder (2% by weight) manufactured from a coal rock of the deposit “Saryadyr” “Corporation “ON-Olza” LLP, Akmola region, Kazakhstan). The nanocarbon powder (150-200 nm) has been manufactured by three-stage size reduction of the coal rock: I – a mechanical dispergator (up to 2-3 mm), II – an aerodynamic mill (up to 20 mcm), III – a reactor with a rotating electromagnetic field.

The neat bitumens of the grades BND 50/70, BND 70/100, BND 100/130 have been produced by the plants of Kazakhstan and Russia; they satisfy the requirements of the standard ST RK 1373-2013. The modified bitumens have been prepared in the laboratory of KazdorNII with the use of the neat bitumens, 7 types of the polymers, crumb rubber and polyphosphoric acid and they satisfy the requirements of the standard ST RK 2534-2014.

It has been determined that the nanocarbon bitumen is one of the most resistant at the low temperatures: -24°C, -30°C and -36°C.

**Key words:** bitumens, nanocarbon powder, polymers, bending beam rheometer, stiffness.

**1. Introduction.** It is known that the climate of Kazakhstan is a sharp continental one, and to provide a reliable operation of highways with the asphalt concrete pavements in such climatic conditions it is required to improve both high temperature and low temperature characteristics of the road bitumens [1-5]. One of the widely used methods for the increase of operational characteristics of the road bitumens is their modification with the polymer additives [1-3, 6-8]. The works [9-12] show an efficient alternative method for the essential increase of the low temperature characteristics of the road bitumens – their modification with nanocarbon powder manufactured from the local coal rock. The increase of the low temperature resistance of the nanocarbon bitumen has been explained on the basis of electromagnetic theory [13,14] and quantum physics [15]. The works [16,17] demonstrate the increased standard characteristics of a nanoasphalt concrete of the type B prepared with the use of the nanocarbon bitumen in comparison with the main types of the road asphalt concretes used in the world.

This article is a continuation of our works mentioned above and it contains the results of the comparative analysis for the low temperature resistance of the nanocarbon bitumen and other 30 neat and modified bitumens.

## 2. Materials and methods

**2.1. Bitumens.** 11 neat and 10 modified bitumens which satisfy the requirements of the standards ST RK 1373-2013 and ST RK 2534-2014 have been accepted for the research. Data regarding the tested bitumens and their abbreviations are represented in table 1. More detailed information about bitumens and their modification one can obtain in the works [7,18].

Data regarding the tests of the neat and the modified bitumens

Serial №	Name of a plant	Grade of a bitumen	Name of a modifier	Amount of a modifier, %	Abbreviation
1	Pavlodar petrochemical plant (Pavlodar city, Kazakhstan)	BND 70/100	–	–	PNHZ_70-100
2		BND 70/100	nanocarbon	2.0	PNHZ_70-100+ nano
3		BND 100/130	–	–	PNHZ_100-130
4		BND 100/130	Elvaloy 4170	1.4	PNHZ_100-130+ Elvaloy1
5		BND 100/130	Elvaloy AM	2.0	PNHZ_100-130+ Elvaloy2
6		BND 100/130	Kraton	4.0	PNHZ_100-130+ Kraton
7		BND 100/130	Calprene 501	4.0	PNHZ_100-130+ Calprene
8		BND 100/130	Butonal NS 198	3.0	PNHZ_100-130+ Butonal
9		BND 100/130	SBS (L 30-01 A)	3.0	PNHZ_100-130 + SBS
10		BND 100/130	KUMHO KTP	3.0	PNHZ_100-130+ KUMHO3
11		BND 100/130	KUMHO KTP	6.0	PNHZ_100-130+ KUMHO6
12		BND 100/130	Crumb rubber	10	PNHZ_100-130+ PK10
13		BHД 100/130	Crumb rubber	15	PNHZ_100-130+ PK15
14	Caspi Bitum (Aktau city, Kazakhstan)	BND 50/70	–	–	CB_50-70
15		BND 70/100	–	–	CB_70-100
16		BND 100/130	–	–	CB_100-130
17	Asfaltobeton-1 (Almaty city, Kazakhstan)	BND 70/100	–	–	AB1_70-100
18		BND 100/130	–	–	AB1_100-130
19	Omsk petroleum processing plant (Omsk city, Russia)	BND 70/100	–	–	ONPZ_70-100
20	(Ufa city, Bashkortostan, Russia)	BND 50/70	–	–	SU_50-70
21	Gazpromneft-Bitum Kazakhstan (Shymkent city, Kazakhstan)	BND 70/100	–	–	GPN_70-100
22		BND 100/130	–	–	GPN_100-130
23		BND 100/130	Elvaloy 4170	1.4	GPN_100-130+ Elvaloy
24		BND 100/130	Kraton	4.5	GPN_100-130+ Kraton
25		BND 100/130	Calprene 501	4.5	GPN_100-130+ Calprene
26		BND 100/130	Butonal NS 198	3.5	GPN_100-130+ Butonal
27		BND 100/130	SBS (L 30-01 A)	3.0	GPN_100-130+ SBS
28		BND 100/130	Elvaloy 4170 PPA	1.3 0.02	GPN_100-130+ Elvaloy+PPA
29	Gazpromneft-Bitum Kazakhstan (Shymkent city, Kazakhstan)	BND 100/130	Calprene 501 PPA	4.0 0.02	GPN_100-130+ Calprene+PPA
30		BND 100/130	Butonal NS 198 PPA	3.0 0.02	GPN_100-130+ Butonal+PPA
31		BND 100/130	Kraton PPA	4.0 0.02	GPN_100-130+ Kraton+PPA

**2.2. Nanocarbon powder.** A nanocarbon powder (150-200 nm) has been manufactured from a coal rock of the deposit “Saryadyr” (“Corporation “ON-Olza” LLP, Akmola region, Kazakhstan) by three-stage size reduction. More detailed information about manufacturing the nanocarbon powder and nanocarbon bitumen is given in the works [9,12].

**2.3. Bending beam rheometer.** The stiffness determined on a bending beam rheometer (BBR) under the standard ASTM D 5548-08 has been accepted as the characteristics of the low temperature resistance of the bitumens. Before testing the bitumens have been subjected to the double artificial aging: short-term aging – under the standard AASHTO T 240-13 and long-term aging – under the standard ASTM D 6521-08.

**3. Results and discussion.** Figures 1-3 represent the bar graphs for the stiffness values of the bitumens at the temperatures of -24°C, -30°C and -36°C. The stiffness values of the bitumens have been determined on BBR at the load duration of 60 seconds as it is required by the Technical system Superpave [4,5]. As it is known, under the Technical system Superpave the maximum permitted value for the stiffness of the bitumens at the low temperatures should not exceed 300 MPa.

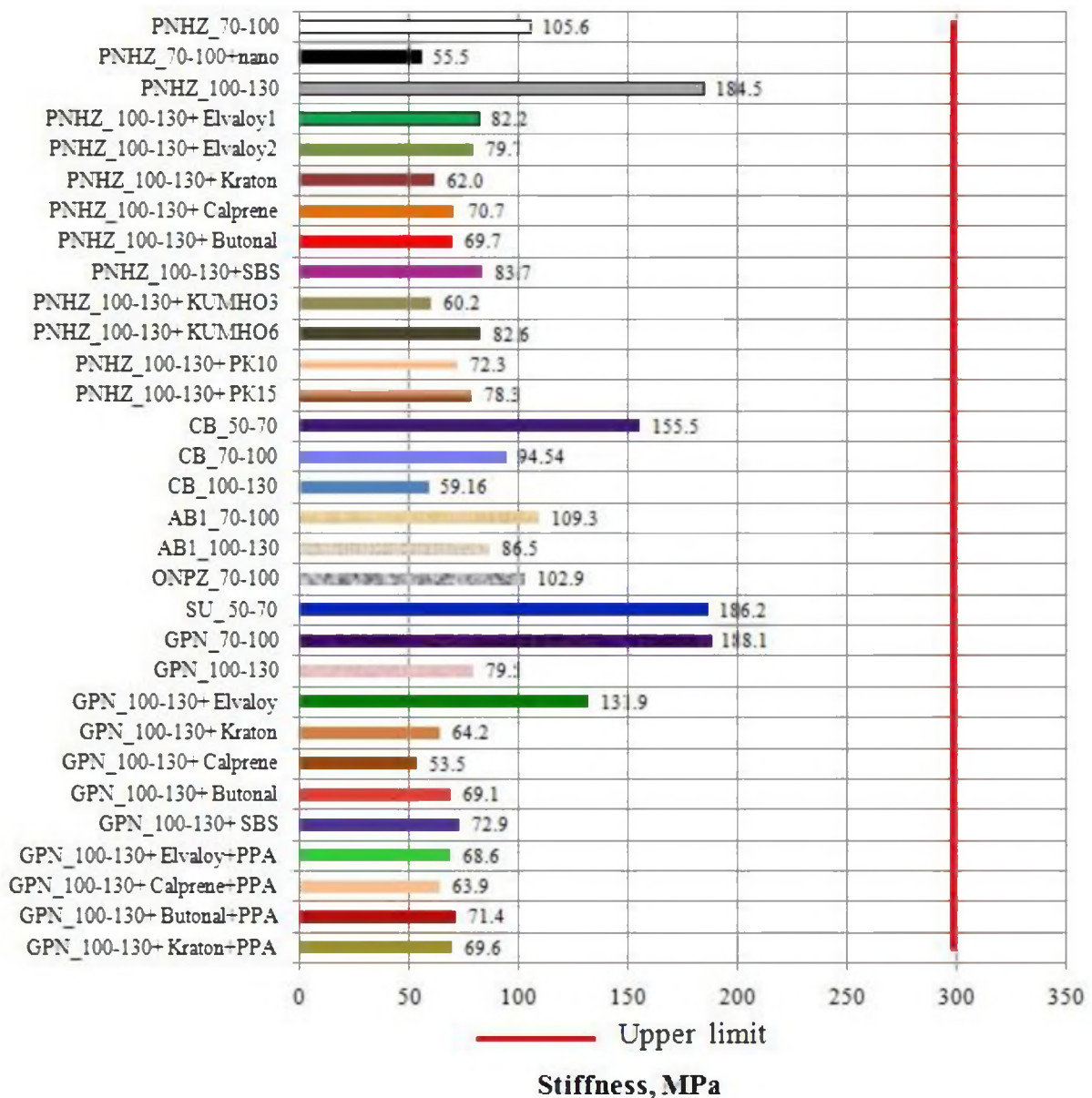


Figure 1 – Stiffness of the bitumens at the temperature of -24°C

All the tested bitumens have the stiffness considerably lower than 300 MPa at the temperature of -24°C (figure 1). The prevailing part of the bitumens has the stiffness lower than 100 MPa. The nanocarbon bitumen (the bitumen of the grade BND 70/100+nanocarbon) is practically the most resistant one.

Three neat bitumens (Ufa bitumen and Aktau bitumen of the grade BND 50/70 and Pavlodar bitumen of the grade 100/130) are not resistant at the temperature of -30°C (figure 2). Other bitumens except for Shymkent neat bitumen of the grade BND 70/100 and Pavlodar bitumen of the grade BND 100/130+Elvaloy 4170 have the stiffness lower than 200 MPa. The nanocarbon bitumen (S=152.8 MPa) is among the most resistant ones.

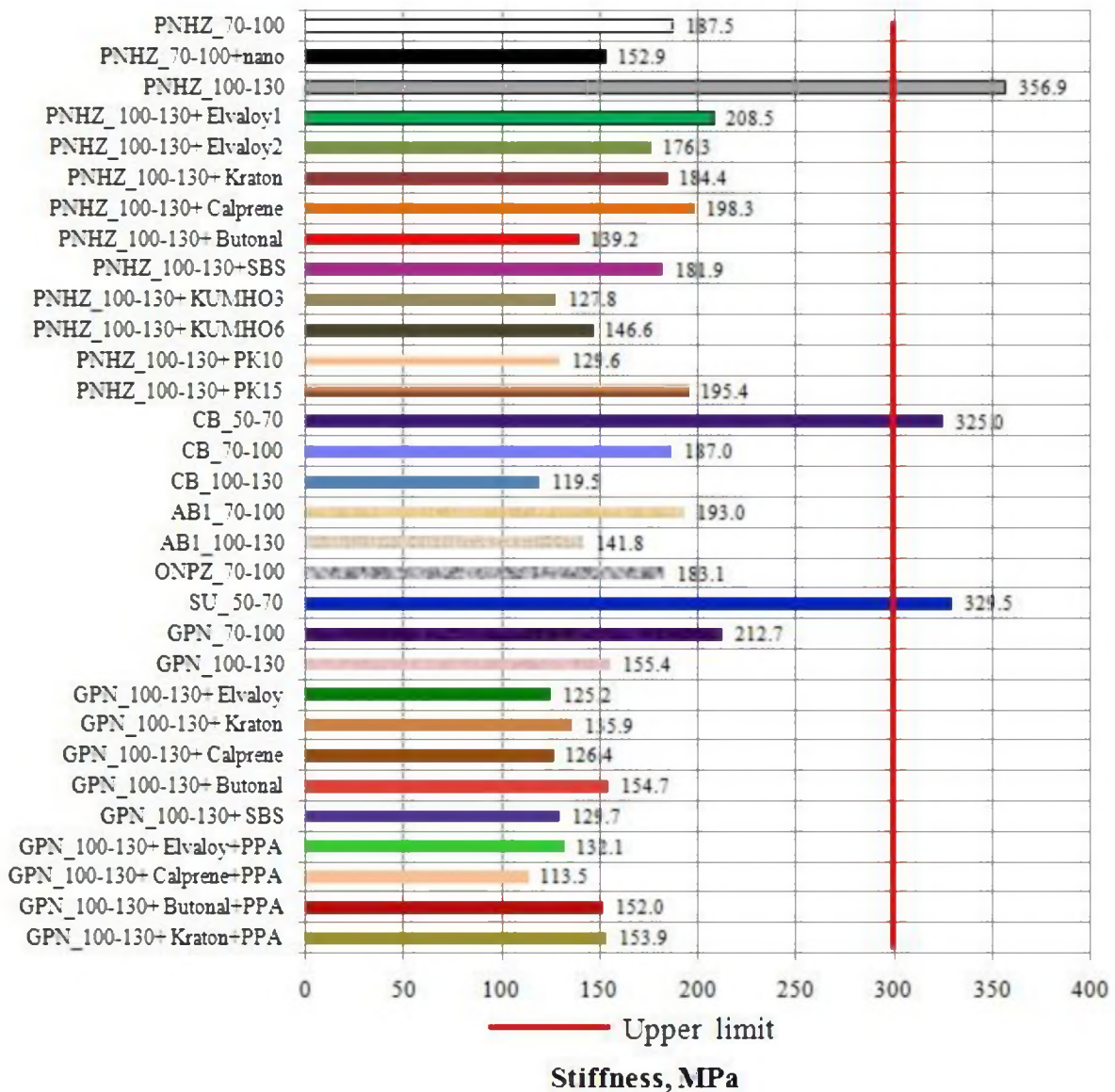


Figure 2 – Stiffness of the bitumens at the temperature of -30°C

21 bitumens from the tested ones do not satisfy the requirements at the temperature of -36°C (figure 3). Not only the neat bitumens, but also some modified bitumens are included into the number. 5 bitumens included into the number (Aktau bitumen, Omsk bitumen and Shymkent bitumen of the grade BND 70/100, Shymkent bitumen of the grade BND 100/130 and the same bitumen modified with the polymer Butonal) have shown the stiffness higher than 400 MPa and 2 more bitumens (the neat bitumens of the grade BND 50/70 of the Ufa plant and Aktau plant) have the stiffness higher than 550 MPa. And at this low temperature the nanocarbon bitumen is one of the most resistant.

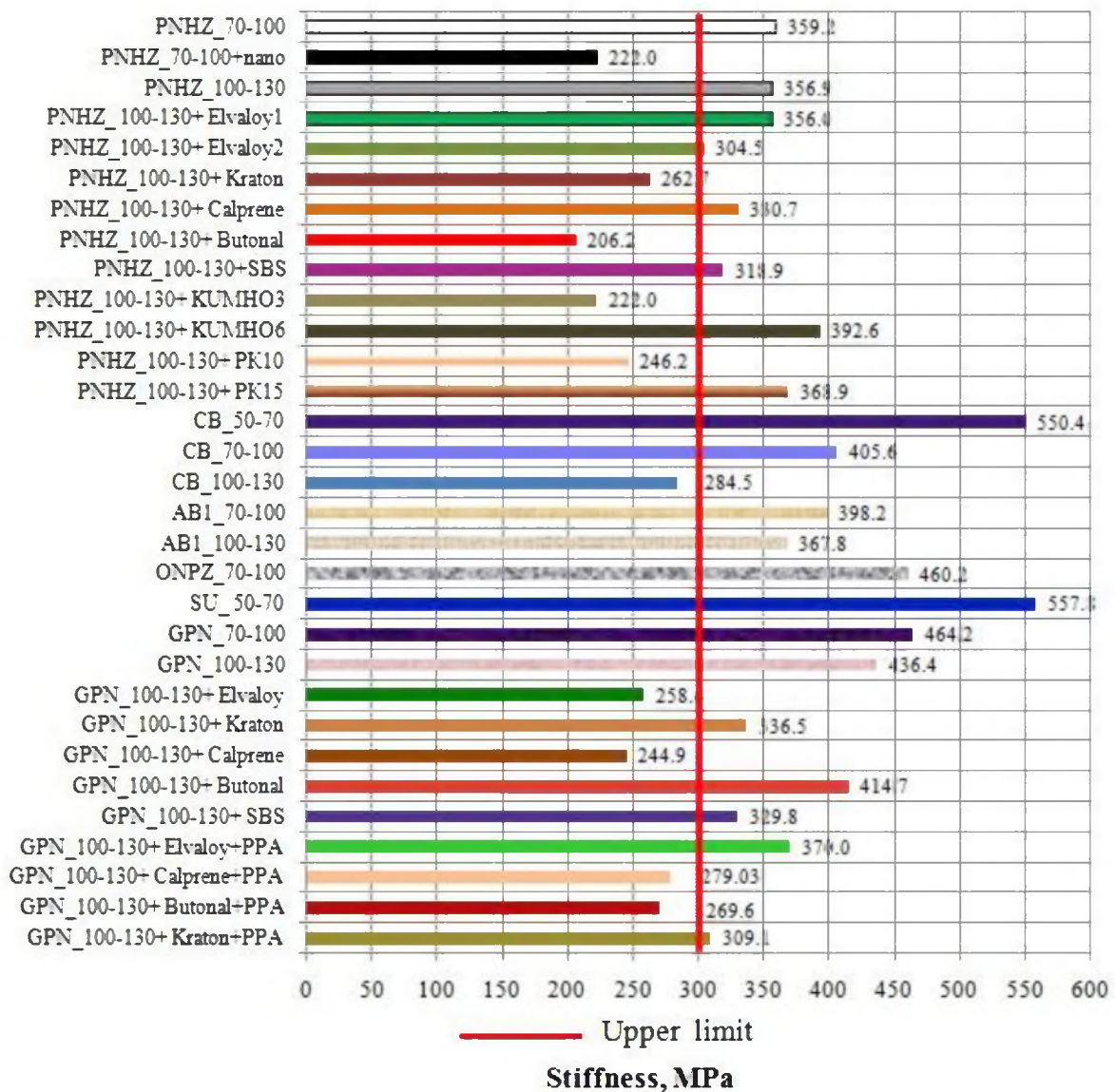


Figure 3 – Stiffness of the bitumens at the temperature of -36 °C

**Conclusion.** The results of the comparative analysis for the stiffness of a nanocarbon bitumen and other 30 neat and modified bitumens at the temperatures of -24°C, -30°C and -36°C have shown that the nanocarbon bitumen is one of the most resistant at all the considered temperatures.

М. Ж. Жұрьнов<sup>1</sup>, Б. Б. Телтаев<sup>2</sup>, А. А. Қалыбай<sup>2</sup>, С. О. Росси<sup>3</sup>, Е. Д. Әмірбаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Калабрия университеті, Ренде, Италия,

**НАНОКӨМІРТЕК ЖӘНЕ БАСҚА БИТУМДАРДЫҢ ТӨМЕНГІ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ**

**Аннотация.** Мақалада нанокөміртек битумның және басқа 30 таза және модификацияланған битумның төменгі температуралық орнықтылығына салыстырмалы талдау жасалған. Битумдардың төменгі темпе-

ратуралық орнықтылығының көрсеткіші ретінде Superpave техникалық жүйесі бойынша -24 °С, -30 °С және -36 °С температурадағы қаттылық қабылданды. Битумдардың қаттылығы ASTM D 6648-08 стандарты бойынша иілгіш білікті реометрде (BBR) анықталды. Сынақтан бұрын битумдар екі сатылы жасанды ескіруден (AASHTO T240-13 стандарты бойынша қысқа мерзімде ескіруден және ASTM D 6521-08 стандарты бойынша ұзақмерзімді ескіру) өтті.

Нанокөміртек битум Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институтының (ҚазжолҒЗИ) зертханасында Павлодар мұнай-химия зауыты (ПМХЗ) өндірген МЖБ 70/100 маркалы жол битумын және «Сарыадыр» кен орнының («ОН-Олжа» корпорациясы» ЖШС, Ақмола облысы, Қазақстан) көмір тау жынысынан алынған нанокөміртек ұнтағын пайдалану негізінде дайындалды. Нанокөміртек ұнтағы (150-200 мм) көмір тау жынысын үш сатылы ұнтақтау әдісімен алынды: I механикалық диспергатор (2-3 мм-ге дейін); II аэродинамикалық дүірмен (2-3 мм-ге дейін); III айналма магнит өрісті реактор.

МЖБ 50/70, МЖБ 70/100, МЖБ 100/130 маркалы таза битумдар Қазақстан мен Ресей зауыттарында өндірілді және ҚР СТ 1373-2013 стандартының талаптарын қанағаттандырады. Модификацияланған битумдар ҚазжолҒЗИ зертханасында таза битумдарды, 7 түрлі полимерді, резеңке ұнтақтын және полифосфор қышқылын пайдалану негізінде дайындалды және ҚР СТ 2534-2014 стандартының талаптарын қанағаттандырады.

Мақалада орындалған салыстырмалы талдау нәтижесінде төмендегілер анықталды:

1) -24 °С температурада барлық сынақтан өткен битумдардың қаттылығы 300 МПа-дан әлдеқайда жоғары. Битумдардың көп бөлігінің қаттылығы 100 МПа-дан төмен. Нанокөміртек битум (МЖБ 70/100 маркалы битум+наноұнтақ) практикалық тұрғыдан аса тұрақты екендігі анықталды.

2) -30 °С температурада үш таза битум (МЖБ 50/700 маркалы Уфа және ақтау битумдары және МЖБ 100/130 маркалы Павлодар битумы) тұрақты емес. Шымкенттің МЖБ 70/100 маркалы таза битумы мен Павлодардың Elvaloy 4170 полимері қосылған МЖБ 100/130 маркалы битумынан басқа битумдардың қаттылығы 200 МПа-дан төмен. Нанокөміртек битум (S=152,8 МПа) аса тұрақты битумдардың қатарына жатады.

3) -36 °С температурада сынақтан өткен битумдардың 21-і қойылатын талаптарды қанағаттандырмайды. Олардың қатарында тек таза битумдар ғана емес, модификацияланған битумдар да бар. Олардың 5-еуі (Ақтаудың, Омбының және Шымкенттің МЖБ 70/100 маркалы битумдары, Шымкенттің МЖБ 100/130 маркалы битумы және Butonal полимерімен модификацияланған осы битум) 400 МПа-дан жоғары қаттылық көрсетті және тағы 2-інің (Уфа және Ақтау зауыттарының МЖБ 50/70 маркалы битумдары) қаттылығы 550 МПа-дан жоғары. Осы төменгі температурада да нанокөміртек битумы аса тұрақты битумдардың бірі екендігі айқындалды.

Сонымен, нанокөміртек битумы мен әлемде жол құрылысында пайдаланылатын басқа да 30 таза және модификацияланған битумдардың -24 °С, -30 °С және -36 °С температуралардағы қаттылығын салыстырмалы талдау нанокөміртек битумының барлық қарастырылған температурадағы аса тұрақты битумдардың бірі екендігін көрсетті.

**Түйін сөздер:** битумдар, нанокөміртек ұнтағы, полимерлер, иілгіш білікті реометр, қаттылық.

**М. Ж. Журинов<sup>1</sup>, Б. Б. Телгаев<sup>2</sup>, А. А. Калыбай<sup>2</sup>, С. О. Росси<sup>3</sup>, Е. Д. Амирбаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>«Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>«Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Университет Калабрии, Ренде, Италия

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОУГЛЕРОДНОГО И ДРУГИХ БИТУМОВ**

**Аннотация.** В настоящей работе выполнен сравнительный анализ низкотемпературной устойчивости наноуглеродного битума и других 30 чистых и модифицированных битумов. В качестве показателя низкотемпературной устойчивости битумов принята жесткость при температурах -24 °С, -30 °С и -36 °С по технической системе Superpave. Жесткость битумов определена на реометре с изгибаемой балкой (стандарт ASTM D 6648-08). Перед испытанием битумы были подвержены двойному искусственному старению: кратковременному - по стандарту AASHTO T 240-13 и длительному - по стандарту ASTM D 6521-08.

Наноуглеродный битум был приготовлен в лаборатории Казахстанского дорожного научно-исследовательского института (КаздорНИИ) с использованием дорожного битума марки БНД 70/100, произведенного Павлодарским нефтехимическим заводом (ПНХЗ), и наноуглеродного порошка (2% по массе), полученной из угольной пароды месторождения «Сарыадыр» (ТОО «Корпорация «ОН-Олжа», Ақмолинская область,

Казахстан). Наноглеродный порошок (150-200 нм) получен путем трехстадийного измельчения угольной пароды: I - механический диспергатор (до 2-3 мм), II - аэродинамическая мельница (до 20 мкм), III - реактор с вращающимся магнитным полем.

Чистые битумы марок БНД 50/70, БНД 70/100, БНД 100/130 были произведены заводами Казахстана и России, удовлетворяют требованиям стандарта СТ РК 1373-2013. Модифицированные битумы были приготовлены в лаборатории КаздорНИИ с использованием чистых битумов, 7 видов полимеров, резиновой крошки и полифосфорной кислоты и удовлетворяют требованиям стандарта СТ РК 2534-2014.

В результате выполненного сравнительного анализа было установлено, что:

1) При температуре  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  все испытанные битумы имеют жесткость, значительно ниже 300 МПа. Преобладающая часть битумов имеет жесткость ниже 100 МПа. Наноглеродный битум (битум марки БНД 70/100+наноглерод) является практически самым устойчивым.

2) При температуре  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  три чистых битума (Уфимский и Актауский битумы марки БНД 50/70 и Павлодарский битум марки БНД 100/130) не устойчивы. Остальные битумы, за исключением Шымкентского чистого битума марки БНД 70/100 и Павлодарского битума марки БНД 100/130+Elvaloy 4170, имеют жесткость ниже 200 МПа. Наноглеродный битум ( $S=152,8$  МПа) относится к числу наиболее устойчивых.

3) При температуре  $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$  21 битум из испытанных не удовлетворяют предъявляемым требованиям. В их числе не только чистые, но и некоторые модифицированные битумы. 5 из них (Актауский, Омский и Шымкентский битумы марки БНД 70/100, Шымкентский битум марки БНД 100/130 и этот же битум, модифицированный полимером Butonal) показали жесткость выше 400 МПа и еще 2 (чистые битумы марки БНД 50/70 Уфимского и Актауского заводов) имеют жесткость выше 550 МПа. И при этой низкой температуре наноглеродный битум является одним из самых устойчивых.

Таким образом, сравнительный анализ жесткости наноглеродного битума и других 30 чистых и модифицированных битумов, применяемых в дорожном строительстве во многих странах мира, при температурах  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$  показали, что наноглеродный битум является одним из наиболее устойчивых при всех рассмотренных низких температурах.

**Ключевые слова:** битумы, наноглеродный порошок, полимеры, реометр с изгибаемой балкой, жесткость.

#### Information about authors:

Zhurinov M.Zh., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician, President of NAS RK, Almaty, Kazakhstan; nanrk.mzh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>

Teltayev B.B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding member of NAS RK, President of JSC "Kazakhstan Highway Research Institute", Almaty, Kazakhstan; bagdatbt@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-8463-9965>

Kalybay A.A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Scientific Consultant of JSC "Kazakhstan Highway Research Institute", Almaty, Kazakhstan; ao\_kazdornii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7646-8991>

Rossi C.O., Professor of Physical Chemistry, President of the spin-off "Chemical" at University of Calabria, Department of Chemistry and Chemical Technologies of University of Calabria, Rende, Italy; <https://orcid.org/0000-0003-4406-7824>

Amirbayev Ye.D., Chief of Road Construction Materials Division of JSC "Kazakhstan Highway Research Institute", Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-8508-8803>

#### REFERENCES

[1] Teltayev B.B., Kaganovich E.V. Bitumen and asphalt concrete requirements improvement for the climatic conditions of the Republic of Kazakhstan // Proceedings of 24<sup>th</sup> World Road Congress. Mexico, 2011 (in Eng.).

[2] Teltayev B., Kaganovich E. Thermal resistance of blown bitumens to the conditions of sharp-continental climate // Journal of Applied Sciences. 2012. Vol. 12, N 12. P. 1297-1302 (in Eng.).

[3] Teltayev B., Izmailova G., Amirbayev Ye. Rheological properties of oxidized bitumen with polymer additive // Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 15, N 1. P. 129-137 (in Eng.).

[4] Radovskiy B.S., Teltayev B.B. Viscoelastic properties of asphalt based on penetration and softening point. Almaty: "Bilim" baspasy, 2013. 152 p. (in Russ.).

[5] Radovskiy B.S., Teltayev B.B. Viscoelastic properties of asphalt based on penetration and softening point // Cham: Springer International Publishing AG, 2018. 115 p. (in Eng.).

[6] Rossi C.O., Spadafora A., Teltayev B., Izmailova G., Amirbayev Ye., Bortolotti V. Polymer modified bitumen: Rheological properties and structural characterization // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2015. 480. P. 390-397 (in Eng.).

[7] Teltayev B., Rossi C.O., Izmailova G., Amirbayev Ye., Elschibayev A. Evaluating the effect of asphalt binder modification on the low-temperature cracking resistance of hot mix asphalt // *Case Studies in Construction Materials*. 2019. N 11. P. 1-13 (in Eng.).

[8] Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Rossi C.O. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances // *Applied Sciences*. 2019. 9. P. 1-35. (in Eng.).

[9] Teltayev B.B., Kalybai A.A., Rossi C.O., Amirbayev E.D., Sivokhina E.S. Increasing of low temperature stability of bitumen with the use of nanocarbon powder. Proceedings of X International Symposium “The Physics and Chemistry of Carbon and Nanocarbon Materials”. September 12-14, 2018. Almaty (in Eng.).

[10] Teltayev B.B., Kalybai A.A., Izmailova G.G., Rossi C.O., Amirbayev E.D., Sivokhina E.S. Nanostructured bitumen with nanocarbon // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. 2019. 21. P. 303-310 (in Eng.).

[11] Zhurinov M.Zh., Teltayev B.B., Kalybai A.A. Characteristics of road bitumen modified with nanocarbon nanopowder // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. 5 (437). P. 223-228. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.146> (in Eng.).

[12] Zhurinov M.Zh., Teltayev B.B., Kalybai A.A. Effect of road bitumen modification with nanocarbon powder // *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020. 1 (329). P. 134-138. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1483.17> (in Eng.).

[13] Kalybai A.A., Teltayev B.B., Abzhali A.K. Nanoenergetic materials and low carbon energetic on common resource and technological basis. Proceedings of X International Symposium “The Physics and Carbon and Nanoenergetic Materials”. September 12-14, 2018. Almaty (in Eng.).

[14] Kalybai A.A., Teltayev B.B., Abzhali A.K. Nanoenergetic materials and low carbon energetic: regularities, technology and raw materials // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. 3 (435). P. 189-202. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.85> (in Eng.).

[15] Zhurinov M.Zh., Kalybai A.A., Teltayev B.B., Characteristics and properties of physical and quantum fields of nanocarbon and their applications // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. 5 (437). P. 229-236. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.147> (in Eng.).

[16] Zhurinov M.Zh., Teltayev B.B., Kalybai A.A., Amirbayev E.D. Asphalt concrete with nanocarbon bitumen // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. 3 (441). P. 186-191. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.71> (in Eng.).

[17] Zhurinov M.Zh., Teltayev B.B., Kalybai A.A., Rossi C.O., Amirbayev E.D. Comparative analysis of standard indicators for nanocarbon asphalt concrete and other asphalt concretes // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. 4 (442). P. 120-126. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.92> (in Eng.).

[18] Teltayev B.B., Rossi C.O., Izmailova G.G., Amirbayev E.D. Effect of freeze-thaw cycles on mechanical characteristics of bitumens and stone mastic asphalts // *Applied Sciences*. 2019. 9. P. 1-18 (in Eng.).