

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), 188 – 195

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.120>

УДК 625.7/8:691.16

М. Ж. Журинов¹, Б. Б. Телтаев², С. О. Росси³, Е. Д. Амирбаев², А. О. Ельшибаев²

¹“Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского”, Алматы, Казахстан;

²“Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт”, Алматы, Казахстан;

³Университет Калабрии, Ренде, Италия.

E-mail: nanrk.mzh@mail.ru, ao_kazdornii@mail.ru, cesare.oliviero@unical.it

СТАНДАРТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМОВ

Аннотация. В статье определены и проанализированы основные стандартные показатели (пенетрация при 25 °С, растяжимость при 25 °С, температура размягчения, температура хрупкости) битумов марок БНД 100-130, БНД 130-200 и 21 модифицированного битума. Чистые битумы марок БНД 100-130 и БНД 130-200 произведены в Павлодарском нефтехимическом заводе и удовлетворяют требованиям стандарта СТ РК 1373-2013.

В качестве модификаторов были приняты полимеры Elvaloy 4170, Elvaloy AM, Kraton, Calprene 501, Butonal NS 198, SBS (L30-01A), KUMHO, резиновая крошка и полифосфорная кислота. Модификация битумов была осуществлена в лаборатории Казахстанского дорожного научно-исследовательского института (КаздорНИИ). Полученные модифицированные битумы удовлетворяют требованиям стандарта СТ РК 2534-2014.

Стандартные показатели чистых и модифицированных битумов были определены в лаборатории КаздорНИИ по стандартам: пенетрация при 25 °С - СТ РК 1226-2003; растяжимость при 25 °С - СТ РК 1374-2005; температура размягчения - СТ РК 1227-2003; температура хрупкости - СТ РК 1229-2003.

Установлено, что при добавке к битумам все примененные полимеры и полифосфорная кислота понижают пенетрацию, тем самым изменяют марку битумов. После модификации 43% полимербитумов переходят на следующую марку, 43% изменяют марку на 2 единицы и 14 % имеют марку более вязкую на 3 единицы.

Все рассмотренные полимеры и полифосфорная кислота повышают температуру размягчения, тем самым улучшают высокотемпературную устойчивость битумов. Определено, что при модификации битумов марок БНД 100-130 и БНД 130-200 повышение температуры хрупкости составляет 32-45 % и 28-93 % соответственно.

Большинство (71 %) полимеров и полифосфорная кислота повышают температуру хрупкости (понижают низкотемпературную устойчивость). В четырех случаях из двадцати одного (19 %) модификация практически не изменяет температуру хрупкости. Только в двух случаях (10 %) модификации битума марки БНД 130-200 получен положительный эффект – понижение температуры хрупкости.

Только в трех случаях (14 %) модификации отмечено повышение растяжимости битумов. В четырех случаях (19 %) исходная растяжимость остается неизменной. В остальных случаях (67 %) растяжимость битумов уменьшается от 26 % до 86 %.

Ключевые слова: битумы, полимеры, резиновая крошка, полифосфорная кислота, пенетрация, растяжимость, температура размягчения, температура хрупкости.

1. Введение. В условиях резкоконтинентального климата как в Казахстане для повышения эксплуатационной надежности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог необходимо улучшить высоко- и низкотемпературные характеристики дорожных битумов [1-5]. В настоящее время в мире в дорожном строительстве принято, что одним из общепринятых способов повышения эксплуатационных характеристик дорожных битумов является модификация их разными полимерами, иногда включая полифосфорную кислоту [1-3, 6-15].

В Казахстанском дорожном научно-исследовательском институте (КаздорНИИ) в течение последних 15 лет систематически исследуется вопрос о повышении эксплуатационных характерис-

тик битумов, асфальтобетонов и других дорожных материалов. В частности, были испытаны около 50 битумов разных заводов, модифицированных разными полимерами и полифосфорной кислотой.

В настоящей работе представлены и анализируются основные стандартные показатели (пенетрация при 25 °С, растяжимость при 25 °С, температура размягчения, температура хрупкости) битумов марок БНД 100-130 и БНД 130-200, произведенных Павлодарским нефтехимическим заводом (ПНХЗ), и еще 21 модифицированного битума, полученного путем добавки в указанные исходные чистые битумы 7 полимеров, резиновой крошки и полифосфорной кислоты.

2. Материалы и методы

2.1. Битумы. В настоящей работе для изучения стандартных показателей были приняты 2 чистых и 21 модифицированный битум. Чистые битумы марок БНД 100-130 и БНД 130-200 были произведены в Павлодарском нефтехимическом заводе из нефти Западной Сибири (Россия) методом прямого окисления и удовлетворяют требованиям стандарта СТ РК 1373-2013 «Битумы и битумные вяжущие.

Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия».

2.2. Модификаторы. В качестве модификаторов были приняты полимеры Elvaloy 4170, Elvaloy AM, Kraton, Calprene 501, Butonal NS 198, SBS (L30-01A), KUMHO, резиновая крошка и полифосфорная кислота. Модификация битумов указанными добавками была осуществлена в лаборатории КаздорНИИ. Полученные модифицированные битумы удовлетворяют требованиям стандарта СТ РК 2534-2014 «Битум и битумные вяжущие. Битумы нефтяные модифицированные, дорожные. Технические условия». Более подробную информацию о приготовлении модифицированных битумов можно получить в работах [7,9]. Данные об испытанных битумах и их сокращенные обозначения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные об испытаниях чистых и модифицированных битумах

| № | Марка битума | Название модификатора | Количество модификатора, % | Сокращенное обозначение |
|----|--------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | БНД 100/130 | – | – | PNHZ_100-130 |
| 2 | БНД 100/130 | Elvaloy 4170 | 1,4 | PNHZ_100-130+Elvaloy1 |
| 3 | БНД 100/130 | Elvaloy AM | 2,0 | PNHZ_100-130+Elvaloy2 |
| 4 | БНД 100/130 | Kraton | 4,0 | PNHZ_100-130+Kraton |
| 5 | БНД 100/130 | Calprene 501 | 4,0 | PNHZ_100-130+Calprene |
| 6 | БНД 100/130 | Butonal NS 198 | 3,0 | PNHZ_100-130+Butonal |
| 7 | БНД 100/130 | SBS (L 30-01 A) | 3,0 | PNHZ_100-130+SBS |
| 8 | БНД 100/130 | KUMHO КТР | 3,0 | PNHZ_100-130+KUMHO3 |
| 9 | БНД 100/130 | KUMHO КТР | 6,0 | PNHZ_100-130+KUMHO6 |
| 10 | БНД 100/130 | Резиновая крошка | 10 | PNHZ_100-130+PK10 |
| 11 | БНД 100/130 | Резиновая крошка | 15 | PNHZ_100-130+PK15 |
| 12 | БНД 130/200 | – | – | PNHZ_130-200 |
| 13 | БНД 130/200 | Kraton | 6,0 | PNHZ_130-200+Kraton |
| 14 | БНД 130/200 | Elvaloy 4170 | 1,8 | PNHZ_130-200+Elvaloy 1 |
| 15 | БНД 130/200 | Calprene 501 | 6,0 | PNHZ_130-200+Calprene |
| 16 | БНД 130/200 | Butonal NS 198 | 3,5 | PNHZ_130-200+Butonal |
| 17 | БНД 130/200 | SBS (L 30-01 A) | 5,0 | PNHZ_130-200+SBS |
| 18 | БНД 130/200 | Elvaloy AM | 2,2 | БНД 130/200+Elvaloy 2 |
| 19 | БНД 130/200 | PPA | 1,0 | PNHZ_130-200+PPA |
| 20 | БНД 130/200 | Kraton PPA | 5,5 0,02 | PNHZ_130-200+Kraton+ PPA |
| 21 | БНД 130/200 | Elvaloy 4170 PPA | 1,6 0,02 | PNHZ_130-200+Elvaloy 1+ PPA |
| 22 | БНД 130/200 | Calprene 501 PPA | 5,5 0,02 | PNHZ_130-200+Calprene+ PPA |
| 23 | БНД 130/200 | Butonal NS 198 PPA | 3,0 0,02 | PNHZ_130-200+Butonal+ PPA |

2.3. Стандартные показатели. Основные стандартные показатели битумов были определены в лаборатории КаздорНИИ. Стандартные показатели и стандарты, по которым они определены, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные показатели и стандарты

| Показатель | Стандарт |
|--|---|
| Пенетрация, 25 °С, 100 г, 5 с (0,1 мм) | СТ РК 1226-2003 Битумы нефтяные и вяжущие материалы на основе битума. Метод определения глубины проникания иглы |
| Растяжимость, 25 °С (см) | СТ РК 1374-2005 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения растяжимости |
| Температура размягчения, °С | СТ РК 1227-2003 Битумы и битумные вяжущие. Определение точки размягчения методом кольца и шара |
| Температура хрупкости, °С | СТ РК 1229-2003 Битумы нефтяные и битумные вяжущие. Метод определения температуры хрупкости по Фраусу |

3. Результаты и обсуждение

3.1. Пенетрация. На рисунке 1 представлены значения пенетрации испытанных чистых и модифицированных битумов при температуре 25 °С. Видно, что модификация полимерами существенно снижает пенетрацию битумов. Так как по этому показателю определяется марка битумов, можно сказать, что модификация полимерами изменяет марку битумов. Так, после модификации ни один битум не имеет начальную марку: 9 из них переходят на следующую марку, еще 9 становятся более вязкими на две марки, а 3 из них показывают пенетрацию ниже на 3 марки.

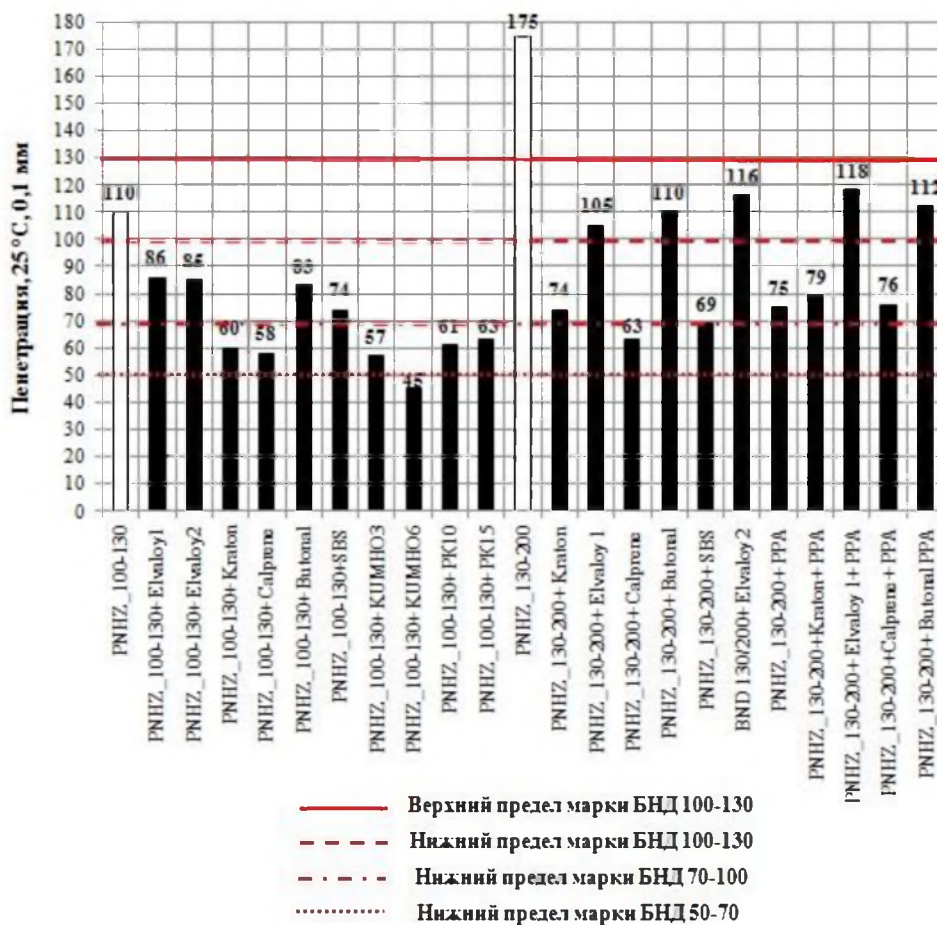


Рисунок 1 – Пенетрация битумов при температуре 25 °С

3.2. Температура размягчения. Как следовало ожидать, модификация полимерами повышает температуру размягчения битумов (рисунок 2). Большинство полимеров повышает температуру размягчения в среднем на 18-20 °С, а некоторые из них (Kraton, Calprene 501, SBS, KUMHO, Calprene 501+PPA) – почти два раза. Оказалось, что добавка в полимербитумы полифосфорной кислоты, как правило, несколько снижает их температуру размягчения. Так как температура размягчения косвенно характеризует устойчивость битумов при высоких температурах, полученные результаты показывают возможность существенного повышения высокотемпературных характеристик дорожных битумов путем модификации их различными полимерами. Это дает основание считать, что асфальтобетоны, приготовленные с использованием полимербитумов, могут быть рекомендованы для применения в жарких климатических условиях.

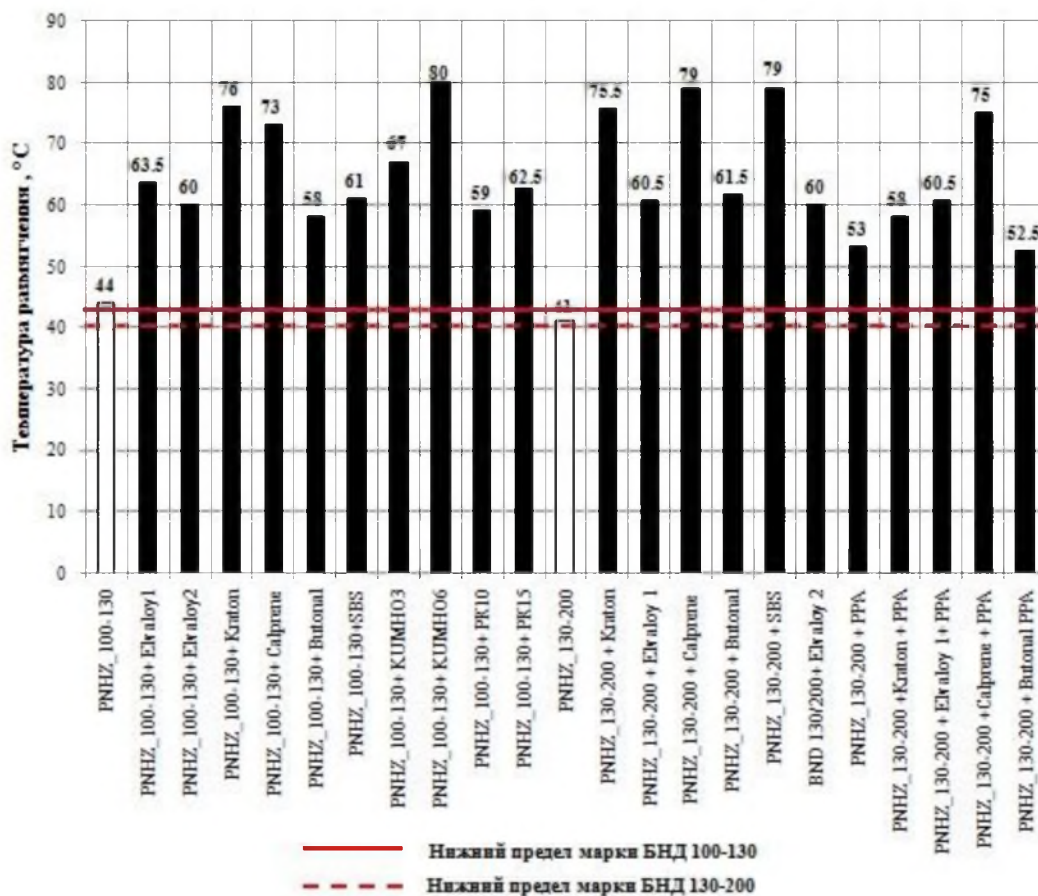


Рисунок 2 – Температура размягчения битумов

3.3. Температура хрупкости. В настоящее время по температуре хрупкости оценивают устойчивость битумов при низких температурах. Естественно считать битум с более низкой температурой хрупкости более приемлемым (предпочтительным) в регионах с холодным климатом. Результаты испытаний показали (рисунок 3), что большинство полимеров и полифосфорная кислота повышают температуру хрупкости (ухудшают низкотемпературную устойчивость) битумов. Добавка полимеров Elvaloy 4170, Kraton в битум марки БНД 100-130 и добавка полимеров Kraton, Calprene 501 в битум марки БНД 130-200 практически не изменили температуру хрупкости. Понижение температуры хрупкости было достигнуто только в двух случаях – при добавке полимеров Elvaloy 4170 (на 3,9 °С) и Butonal NS 198 (на 1,9 °С) в битум марки БНД 130-200. Эти результаты показывают, что для понижения температуры хрупкости битумов при их модификации полимерами необходимо учитывать как вязкость (марку) битума и вид полимера.

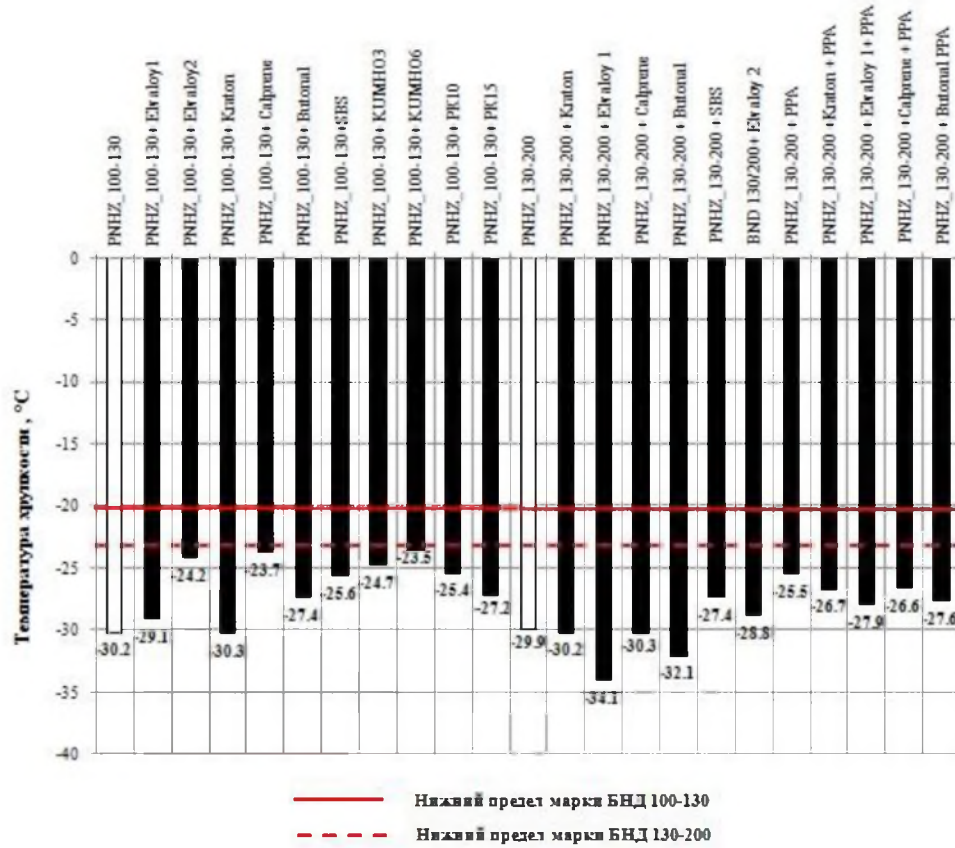


Рисунок 3 – Температура хрупкости битумов

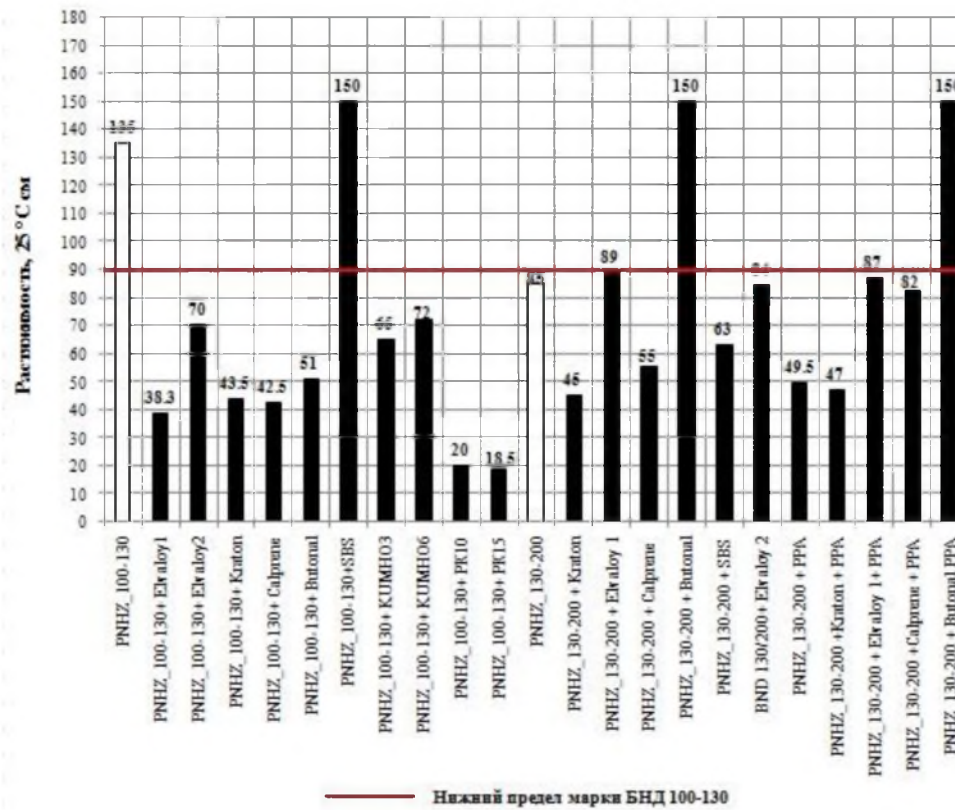


Рисунок 4 – Растяжимость битумов при температуре 25 °C

3.4. Растяжимость. Из рисунка 4 видно, что большинство полимеров и полифосфорная кислота уменьшают растяжимость битумов. Так, при модификации битума марки БНД 100-130 только полимер SBS повысил растяжимость на 11 %. Остальные 9 полимеров уменьшили растяжимость на 47-86 %. В случае модификации битума марки БНД 130-200 установлено, что: имеются полимеры (Elvaloy 4170, Elvaloy AM, Elvaloy + PPA, Calprene 501+ PPA), при добавке которых растяжимость битума остается практически неизменной; полимеры Kraton, Calprene 501, SBS, Kraton+PPA и полифосфорная кислота уменьшают растяжимость на 47 %, 35 %, 26 %, 44 % и 42 % соответственно; только добавка в битум полимера Butonal и полимера Butonal совместно с полифосфорной кислотой повышает растяжимость на 76 %.

Заключение. Анализ результатов определения основных стандартных показателей битумов марок БНД 100-130 и БНД 130-200, модифицированных полимерами и полифосфорной кислотой, выполненный в настоящей работе, показал следующее.

1. При добавке к битумам все примененные полимеры и полифосфорная кислота понижают пенетрацию, тем самым изменяют марку битумов. Установлено, что после модификации 43 % полимербитумов переходят на следующую марку, 43 % изменяют марку на 2 единицы и 14 % имеют марку более вязкую на 3 единицы.

2. Все рассмотренные полимеры и полифосфорная кислота повышают температуру размягчения, тем самым улучшают высокотемпературную устойчивость битумов. Определено, что при модификации битумов марок БНД 100-130 и БНД 130-200 повышение температуры хрупкости составляет 32-45 % и 28-93 % соответственно.

3. Большинство (71 %) полимеров и полифосфорная кислота повышают температуру хрупкости (понижают низкотемпературную устойчивость). В четырех случаях из двадцати одного (19 %) модификация практически не изменяет температуру хрупкости. Только в двух случаях (10 %) модификации битума марки БНД 130-200 получен положительный эффект – понижение температуры хрупкости.

4. Только в трех случаях (14 %) модификации отмечено повышение растяжимости битумов. В четырех случаях (19 %) исходная растяжимость остается неизменной. В остальных случаях (67 %) растяжимость битумов уменьшается от 26 % до 86 %.

М. Ж. Жұрынов¹, Б. Б. Телтаев², С. О. Росси³, Е. Д. Әмірбаев², А. О. Елшібаев²

¹«Д. В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

²«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

³Калабрия университеті, Ренде, Италия

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМДАРДЫҢ СТАНДАРТТЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ

Аннотация. Жұмыста МЖБ 100-130 және МЖБ 130-200 маркалы таза битумдардың және 21 модификацияланған битумның негізгі стандарттық көрсеткіштері (25°С-тағы пенетрациясы, 25°С-тағы созылғыштығы, жұмсару температурасы, морттық температурасы) анықталып, талданды. МЖБ 100-130 және МЖБ 130-200 таза битумдары Павлодар мұнай-химия зауытында Батыс Сібірдің (Ресей) мұнайынан тіке тотықтыру әдісімен өндірілді және Қазақстанның ҚР СТ 1373-2013 «Битумдар және битумдық тұтқырғыштар. Мұнай жол тұтқыр битумдары. Техникалық шарттар» стандартының талаптарын қанағаттандырады.

Модификаторлар ретінде Elvoloy 4170, Elvoloy AM, Kraton, Calprene 501, Butonal NS 198, SBS (430-01A), KUMHO полимерлері, резенке ұнтағы және полифосфор қышқылы қабылданды. Битумдарды модификациялау Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институтының (ҚазжолҒЗИ) зертханасында жүргізілді. Алынған модификацияланған битумдар Қазақстанның ҚР СТ «Битумдар және битумдық тұтқырғыштар. Модификацияланған мұнай жол битумдары. Техникалық шарттар» стандартының талаптарын қанағаттандырады.

Таза және модификацияланған битумдардың стандарттық көрсеткіштері ҚазжолҒЗИ зертханасында Қазақстанның келесі стандарттары бойынша анықталды: 25 °С-тағы пенетрациясы – ҚР СТ 1226-2003 «Мұнай битумдары және битум негізіндегі тұтқырғыш материалдар. Иненің ену тереңдігін анықтау әдісі»; 25 °С-тағы созылғыштық – ҚР СТ 1374-2005 «Битумдар және битумдық тұтқырғыштар. Созылғыштықты анықтау әдісі»; жұмсару температурасы – ҚР СТ 1227-2003 «Битумдар және битумдық тұтқырғыштар. Сақина және шар әдісімен жұмсару нүктесін анықтау»; морттық температура - ҚР СТ 1229-2003 «Мұнай битумдар және битумдық тұтқырғыштар. Фраас негізінде морттық температураны анықтау әдісі».

Битумға қосқанда барлық полимер мен полифосфор қышқылы пенетрацияны азайтады, яғни битум маркаларын өзгертеді. Модификациядан кейін полимербитумдардың 43 %-ы келесі маркаға өтеді, тағы 43 %-ының маркасы екі сатыға, 14%-ының маркасы үш сатыға төмендейді.

Қарастырылған барлық полимер мен полифосфор қышқылы битумдардың жұмсару температурасын жоғарылатады, яғни жоғары температуралық орнықтылығын жақсартады. МЖБ 100-130 және МЖБ 130-200 маркалы битумдарын модификациялағанда жұмсару температурасының 32-45 %-ға және 28-93 %-ға тиісінше жоғарылайтыны анықталды.

Полимерлердің көбісі (71%) және полифосфор қышқылы битумдардың мортты температурасын жоғарылатады (төменгі температуралық орнықтылығын төмендетеді). Жиырма бір жағдайдың төртеуінде (19 %) модификация морттық температураны өзгертпейді. МЖБ 130-200 маркалы битумды модификациялаудың екі жағдайында (10 %) ғана оң нәтиже алынды – мортты температура төмендеді.

Модификациялаудың тек үш жағдайында (14 %) ғана битум созылғыштығының артатыны анықталды. Төрт жағдайда (19 %) бастапқы созылғыштық өзгермейді. Қалған жағдайларда (67 %) битумдардың созылғыштығы 26 %-дан 86 %-ға дейін төмендейді.

Түйін сөздер: битумдар, полимерлер, резеңке ұнтағы, полифосфор қышқылы, пенетрация, созылғыштық, жұмсару температурасы, мортты температура.

M. Zh. Zhurinov¹, B. B. Teltayev², C. O. Rossi³, E. D. Amirbayev², A. O. Elshibayev²

¹D. V. Sokolskiy Fuel, Catalysis and Electrochemistry Institute, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan;

³University of Calabria, Rende, Italy

STANDARD INDICATORS OF MODIFIED BITUMENS

Abstract. The main standard indicators (penetration at 25 °C, ductility at 25 °C, softening point, Fraas point) have been determined and analyzed in this work for bitumens of the grades BND 100-130, BND 130-200 and 21 modified bitumens. The neat bitumens of the grades BND 100-130 and BND 130-200 have been produced at Pavlodar petrochemical plant from the oil of Western Siberia (Russia) by method of direct oxidation and they satisfy the requirements of the standard of Kazakhstan ST RK 1373-2013 “Bitumens and bituminous binders. Oil road viscous bitumens. Technical specifications”.

The polymers Elvaloy 4170, Elvaloy AM, Kraton, Calprene 501, Butonal NS 198, SBS (L30-01A), KUMHO, crumb rubber and polyphosphoric acid have been accepted as modifiers. The modification of the bitumens has been performed in the laboratory of Kazakhstan Highway Research Institute (KazdorNII). The manufactured modified bitumens satisfy the requirements of the standard of Kazakhstan ST RK 2534-2014 “Bitumens and bituminous binders. Oil modified road bitumens. Technical specifications”.

The standard indicators of the neat and modified bitumens have been determined in the laboratory of KazdorNII according to the following standards of Kazakhstan; penetration at 25 °C - ST RK 1226-2003 “Oil bitumens and binder materials based on bitumen. Method for determination of needle penetration depth”; ductility at 25 °C - ST RK 1374-2005 “Bitumens and bituminous binders. Method for determination of ductility”; softening point - ST RK 1227-2003 “Bitumens and bituminous binders. Determination of softening point by ring and ball method”; Fraas point - ST RK 1229-2003 “Oil bitumens and bituminous binders. Method for determination of Fraas point”.

It is found out that all the applied polymers and polyphosphoric acid when adding them to the bitumens decrease the penetration thereby changing the grade of the bitumens. After modification 43 % of the polymer bitumens convert to the next grade, 43 % change their grade for 2 units and 14 % have the grade more viscous for 3 units.

All the considered polymers and polyphosphoric acid increase the softening point thereby improving the high temperature resistance of the bitumens. It is determined that at modification of the bitumens of the grades BND 100-130 and BND 130-200 the increase of the Fraas point is 32-45 % and 28-93 % respectively.

Most (71 %) of the polymers and polyphosphoric acid increase the Fraas point (decrease the low temperature resistance). In four cases out of twenty-one (19 %) the modification does not practically vary the Fraas point. The positive effect has been obtained only in two cases (10 %) for the modification of the bitumen of the grade BND 130-200 - the decrease of the Fraas point.

The increase of the ductility for the bitumens has been recorded only in three cases (14 %) for their modification. In four cases (19 %) the initial ductility remains constant. In other cases (67 %) the ductility of the bitumens is decreased from 26 % to 86 %.

Key words: bitumens, polymers, crumb rubber, polyphosphoric acid, penetration, ductility, softening point, Fraas point.

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>

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; cesare.oliviero@unical.it; <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>

Elshibayev A.O., Chief of Road Structures and New Technologies Division of JSC “Kazakhstan Highway Research Institute”, Almaty, Kazakhstan; ao_kazdornii@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6197-8905>

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 24th 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., Elshibayev 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., 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.).
- [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 (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 (in Eng.).
- [13] 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 (in Eng.).
- [14] 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 (in Eng.).
- [15] 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 (in Eng.).