

УДК 665.637.87/8; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-3.14>

<https://orcid.org/0000-0001-8508-1863>

<https://orcid.org/0000-0001-8764-6979>

<https://orcid.org/0000-0001-5323-0916>

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРОБИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО



С.К. БУКАНОВА,
докторант, магистр,
sauleshik81@mail.ru



А.С. БУКАНОВА,
кандидат технических наук,
профессор,
bukanova66@mail.ru



Ф.Б. КАЙРЛИЕВА,
кандидат технических наук,
ассоциированный
профессор,
kairlieva.fazi@mail.ru

НАО «АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМ. С. УТЕБАЕВА»
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, ул. М. Баймуханова, 45а

В условиях необходимости повышения долговечности дорожных покрытий и обеспечения соответствия требованиям современных стандартов, особое внимание уделено модификации битумов с целью улучшения их эксплуатационных характеристик.

В данной работе для разработки нефтяных битумов использована экономически нерентабельная для переработки высокосмолистая нефть месторождения Каражанбас в качестве добавки к гудрону смеси нефтей Мартыши + Мангыстау. В качестве модифицирующего и пластифицирующего агента использован техногенный модификатор – элементная сера (отход Тенгизского нефтегазоперерабатывающего комплекса).

Практическая значимость определяется возможностью рациональной утилизации побочных продуктов нефтепереработки и получением высококачественного дорожного вяжущего, что способствует развитию экологически и экономически обоснованных технологий в дорожном строительстве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *высокосмолистая нефть месторождения Каражанбас, смеси нефтей Мартыши + Мангыстау, вакуумный остаток, окисление, нефтяной битум, элементная сера, модификатор, структурообразователь, пластификатор, технологические параметры, асфальтены, смолы, индукционные моменты, серобитумное вяжущее.*

КҮКІРТТІ-БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

С.К. БУКАНОВА, докторант, магистр, sauleshik81@mail.ru

А.С. БУКАНОВА, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, bukanova66@mail.ru

Ф.Б. КАЙРЛИЕВА, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, kairlieva.fazi@mail.ru

«САФИ ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ,
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау, М. Баймұханов көшесі, 45-а

Жол жабындарының беріктігін арттыру және заманауи стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз ету қажеттілігі жағдайында олардың пайдалану сипаттамаларын жақсарту мақсатында битумды модификациялауға ерекше назар аударылады.

Бұл жұмыста мұнай битумын игеру үшін өңдеуге экономикалық тиімсіз Қаражанбас кен орнының жоғары шайырлы мұнайы Мартыши+Маңғыстау мұнайлары қоспасының гудронына қоспа ретінде пайдаланылды. Модификациялаушы және пластификатор ретінде жасанды модификатор, элементтік күкірт (Теңіз мұнай-газ өңдеу кешенінің қалдықтары) пайдаланылды.

Тәжірибелік маңыздылығы мұнай өңдеудің жанама өнімдерін ұтымды пайдалану және жол құрылысында экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді технологияларды дамытуға ықпал ететін жоғары сапалы жол байланыстырғыш зат алу мүмкіндігімен анықталады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: Қаражанбас кен орнының жоғары шайырлы мұнайы, Мартыши+Маңғыстау мұнайларының қоспалары, вакуумдық қалдық, тотығу, мұнай битумы, элементтік күкірт, модификатор, құрылым түзуші, пластификатор, технологиялық параметрлер, асфальтендер, шайырлар, индукциялық моменттер, күкірт-битум байланыстырғышы.

TECHNOLOGY OF SULPHUR-BITUMEN BINDER PRODUCTION

S.K. BUKANOVA, Doctoral student, Master's degree; sauleshik81@mail.ru

A.S. BUKANOVA, Ph. Sci, Professor; bukanova66@mail.ru

F.B. KAIRLIYEVA, Ph. Sci, Associate Professor; kairlieva.fazi@mail.ru

ATYRAU UNIVERSITY OF OIL AND GAS NAMED AFTER SAFI UTEBAEV,
Baimukhanov str 45a, Atyrau, 060027, Republic Kazakhstan

In the context of the need to increase the durability of road surfaces and ensure compliance with the requirements of modern standards, special attention is paid to the modification of bitumens in order to improve their performance.

In this work, economically unprofitable for processing high-resin oil of the Karazhanbas field is used for the development of oil bitumen, as an additive to the tar of the mixture of oils Martyshi + Mangystau. A technogenic modifier is used as a modifying and plasticising agent - elemental sulphur (waste of the Tengiz oil and gas processing complex).

The practical significance is determined by the possibility of rational utilisation of oil refining by-products and obtaining a high-quality road binder, which contributes to the development of environmentally and economically sound technologies in road construction.

KEY WORDS: highly resinous oil of Karazhanbas field, Martyshi + Mangistau oil mixtures, the vacuum residue, oxidation, oil bitumen, elemental sulfur, modifier, the structure forming, plasticizer, technological parameters, asphaltenes, resins, induction moments, sulfur bitumen binder.

Введение. Современное дорожное строительство предъявляет высокие требования к дорожно-строительным материалам, особенно вяжущим, и в частности к битумам для асфальтобетона. В Республике Казахстан это особенно актуально в связи с вводом в эксплуатацию новых автомобильных дорог по программе «Нұрлы жол» и требованиями по снижению затрат на ежегодный ремонт дорожного покрытия. В этой ситуации достаточно остро встают вопросы производства высококачественного дорожного битума, обеспечивающего значительное повышение долговечности битумно-бетонных покрытий – это во-первых, а во-вторых, необходимость резкого увеличения объемов дорожного строительства в республике обусловлена развитием транзитного потенциала страны, нарастанием грузоперевозок, осуществляемых автотранспортными средствами, расширением числа европейских и азиатских государств, участвующих в этом процессе.

Интенсивность развития транзита в Казахстане и, как следствие, увеличение поступлений средств от него в государственный бюджет имеет прямую зависимость от технического состояния дорог и созданной инфраструктуры.

Основным процессом производства битумов в странах СНГ является окисление – продувка гудронов воздухом при температурах 230 – 300°C и продолжительности 12 часов. Процесс окисления останется основным, по крайней мере, в ближайшей перспективе, так как углубление переработки нефти, способствующее переходу на получение битумов, прежде всего дорожных, в процессе глубокой вакуумной перегонки происходит медленно. Следует отметить, что действующему в СНГ стандарту лучше соответствуют битумы процесса окисления [1]. Основными факторами, определяющими свойства окисленных битумов, являются групповой состав исходного сырья и технологические параметры окисления, а также способ изменения качественных показателей окисленных битумов за счет введения модификаторов и структурообразователей в исходное сырье [2,3]. Невысокая пластичность окисленных битумов, полученных только из гудрона, обусловлена повышенным содержанием асфальтенов, образующих достаточно жесткую структурную сетку, поэтому структурирование битума осуществляется в большей мере за счет смол, чем за счет асфальтенов [4].

Главными причинами преждевременного разрушения дорожных покрытий является качество и физико-механические свойства применяемых вяжущих. Выпускаемые нефтеперерабатывающими заводами дорожные битумы по своим эксплуатационным свойствам не соответствуют в полной мере возросшим требованиям к вяжущим материалам, так как характеризуются недостаточной устойчивостью к процессам окислительного старения, обладают невысокими значениями показателя растяжимости (до и после старения), плохо сцепляются с минеральными материалами кислого характера, что приводит к выщелачиванию отдельных частиц дорожного покрытия под действием нагрузок [5].

Одним из основных способов увеличения срока службы битумно-бетонных покрытий является изменение структуры и свойств органических связующих веществ, используемых для их приготовления [6, 7].

Наиболее распространенными методами являются модификации наполнителями, поверхностно-активными веществами и полимерными добавками или отходами

их производства, в том числе растительного происхождения, например, лигносульфонатами [8-10].

Известно, что битумы, полученные из гудронов высокопарафинистых нефтей, по многим технологическим параметрам не соответствуют требованиям на дорожное вяжущее.

Материалы и методы исследования. В данной работе для разработки нефтяных битумов использованы: гудрон смеси нефтей Мартыши + Мангыстау с температурой размягчения 24°C, обессоленная и обезвоженная высокосмолистая нефть (ВСН) месторождения Каражанбас, модификатор – элементная сера Тенгизского нефтегазоконденсатного завода и дополнительный структурообразователь – индукционные моменты.

Гудрон смеси нефтей Мартыши + Мангыстау 1:1, имеющий следующие характеристики, представлен в *таблице 1*.

Процесс окисления гудрона и высокосмолистой нефти проводили в барботажном реакторе при термостатировании 200 – 210°C и удельном расходе воздуха 1,8 – 2 л/мин·кг.

Таблица 1 – Гудрон смеси нефтей Мартыши + Мангыстау

Параметры	Показатели
Плотность ρ_{204} , кг/м ³	966,5
Молекулярная масса	675
Коксуемость, масс, %	5,8
Содержание, масс, %	
Элементный состав:	
углерод	83,8
водород	13,6
сера	0,3
Компонентный состав:	
масла	67,3
смолы	23,4
асфальтены	8,1

Физико-химические параметры обезвоженной и обессоленной высокосмолистой нефти месторождения Каражанбас и нефти месторождения Каламкас в качестве сравнительного анализа представлены в *таблице 2*.

В процессе окисления реакционная смесь была 2 раза подвергнута индукционной обработке. Процесс окисления исходного сырья был завершен при достижении битумного вяжущего по КиШ 32-35°C. Затем реакционную смесь деконтировали в лабораторный смеситель и дали остыть до 100-120°C. После достижения вышеупомянутой температуры включили обогрев и при интенсивной диспергации внесли расплавленную серу. Термостатирование реакционной смеси колебалось в пределах допустимой нормы работы с элементной серой. Время диспергации зависит от готовности получаемого целевого продукта.

Таблица 2 – Физико-химические характеристики нефтей

Показатели	Месторождения нефтей	
	Каражанбас	Каламкас
Глубина залегания, м	285-290	845-858
Удельный вес, ρ_{204}	0,9418	0,9217
Молекулярная масса	384	285
Содержание, % масс.:		
смола	24,18	12,14
асфальтенов	4,85	1,48
парафина	1,50	3,18
Элементный состав, % масс.:		
С	82,51	84,10
Н	11,79	12,00
N	0,85	0,64
S	2,55	1,62
O	2,30	1,64
Выход фракций, % масс.:		
НК – 200°C	6,00	14,76
200 – 250°C	3,00	5,43
250 – 300°C	6,84	8,36
300 – 350°C	10,11	11,21
350 – 400°C	5,13	6,86
400 – 450°C	12,15	4,38

Результаты и обсуждение. Из данной *таблицы 2* следует, что выбранная Каражанбасская нефть в качестве добавки к гудрону для получения нефтяного битума, в отличие от нефти месторождения Каламкас, отличается повышенной смолистостью смол (24,18 % мас.) и асфальтенов (4,85 % мас.). Асфальтены в свою очередь являются стабилизаторами роста молекулярной массы, и в целом вносят определенную лепту при улучшении технологических параметров получаемого битума [11].

Асфальтены играют структурообразующую роль, существенно повышая вязкость, жесткость и прочность битума. Вместе с тем они значительно повышают температуру размягчения и снижают температуру хрупкости.

Технологические параметры битумного вяжущего представлены в *таблице 3*.

Необходимо отметить немаловажную роль индукционных моментов. В результате создания индукционных моментов увеличивается объем реакционноспособных бициклоароматических и полициклоароматических углеводородов, которые активизируют перераспределение компонентов нефтяной дисперсной системы, увеличивая её степень дисперсности, так как, возрастает поверхность контакта кислорода с соединениями нефтяной дисперсной системы, а наличие таких ароматических углеводородов в сырье – способствует ускорению процесса образования высокомолекулярных соединений, что приводит к повышению молекулярного веса окисляемого сырья, благодаря чему улучшаются технологические характеристики получаемого битума.

Таблица 3 – Результаты испытаний образца нефтяного битума, полученного в условиях лаборатории

Наименование	СТ РК 1373	Битум марки БНД 50/70
Глубина проникания иглы, см при 25°C при 0°C, не менее	51-70 18	105 32
Температура размягчения, °C, не менее	50	51
Растяжимость, см, не менее: при 25°C при 0°C	65 3,5	67 4,2
Температура вспышки, °C, не менее	230	230
Температура хрупкости, °C, не более	-18	-18

Из данных *таблицы 3* следует, что в результате данной работы был получен нефтяной битум со следующими технологическими характеристиками: пенетрацией при 25°C 105 см, температурой размягчения 51°C, дуктильностью при 25°C 67 см, температурой вспышки 230°C, температурой хрупкости минус 18°C, что соответствует СТ РК 1373 марки битума БНД 50/70.

Заключение и выводы. Большое содержание в нефти Каражанбас высокомолекулярных компонентов (склонных к ассоциативным взаимодействиям и структурообразованию) в тандеме с гудроном смеси нефтей Мартыши + Мангыстау, с добавлением техногенного модификатора – элементной серы и введенных индукционных моментов приводит к снижению времени получения и повышению технологических параметров целевого продукта – серобитумного вяжущего, а также дает возможность рационально утилизировать побочные продукты нефтегазопереработки.

Перспективность производства серобитумов и их применение в дорожном строительстве является актуальной задачей как с экономической, так и с экологической точек зрения. 🌐

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Грудников И.Б. Нефтяные битумы. Процессы и технологии производства. – Уфа: Издательство ГУП ИНХП РБ, 2015. – 288 с. [Grudnikov I.B. Neftnyanye bitумы. Processy i tekhnologii proizvodstva. – Ufa: Izdatel'stvo GUP INHP RB, 2015. – 288 s.]
- 2 Шрубок А.О., Грушова Е.И. Влияние добавок смол пиролиза горючих ископаемых к нефтяному гудрону на структурно-групповой состав окисленного нефтебитума. Труды БГТУ. – 2017. – №2. – С.90-95. [Shrubok A.O., Grushova E.I. Vliyanie dobavok smol piroliza goryuchih iskopaemykh k neftyanomu gudronu na strukturno-gruppovoj sostav okislennogo neftebituma. Trudy BGTU. – 2017. – №2. – S.90–95.]
- 3 Kemalov A.F., Kemalov R.A., Abdrafikova I.M., Fakhretdinov P.S., Valiev D.Z. Polyfunctional modifiers for bitumen and bituminous materials with high performance // Advances in Materials Science and Engineering. – 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7913527>.

- 4 Chang S.H., Robinson P.R. Practical Advances in Petroleum Processing. – New York: Springer, 2006.
- 5 Borris M., Osterlund H., Marsalek J., Viklander M. Contribution of coarse particles from road surfaces to dissolved and particle-bound heavy metal loads in runoff: A laboratory leaching study with synthetic stormwater // Science of The Total Environment. – 2016. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.08.062
- 6 Sulyman M., Sienkiwicz M., Haponiuk J.T. Asphalt Pavement Material Improvement // International Journal Of Environmental Science and Development. – 2014. – №5. – p. 444–454. <https://www.ijesd.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=53&id=861>.
- 7 Andrews K.M., Nanjappa P. Roads and Ecological Infrastructure: Concept and Applications for Small Animals // JHU Press. – 2015. https://scholar.google.com/scholar_lookup?author=K.+M.+Andrews+P.+Nanjappa&journal=Roads+and+Ecological+Infrastructure%3A+Concepts+and+Applications+for+Small+Animals&publication_year=2015.
- 8 He B., Yu J., Gu Y., Zhuang R., Sun Y. Investigation of rheological and chemical properties asphalt binder rejuvenated with waste vegetable oil // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 180. – p. 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.001>
- 9 He B., Yu J., Hu W., Wan X., Wu Z. Preparation and Characterization of Lignosulfonate Intercalated Layered Double Hydroxides and Their Application in Improving Ultraviolet Aging Resistance for Bitumen // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. – 2019. – Vol. 34. – p. 446–452.
- 10 Guo W., Guo X., Chang M., Dai W. Evaluating the Effect of Hydrophobic Nanosilica on the Viscoelasticity Property of Asphalt and Asphalt Mixture // Materials. – 2018. – vol. 11. – 2328. <https://doi.org/10.3390/ma11112328>.
- 11 Fakher S., Ahdya M., Elturki M., Imqam A. Critical review of asphaltene properties and factors impacting its stability in crude oil // Journal of Petrol. Explor. and Production Technology/ – 2019. – vol.10. – p. 1183–1200. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00811-5>.