

Р. Р. Ахметзянов (асп.), А. Ф. Кемалов (д.т.н., проф., зав. каф.)

ИНТЕНСИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНО-БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ НЕОКИСЛЕННОГО ОСТАТОЧНОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ

Казанский федеральный университет
кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов
420008, г. Казань, ул. Кремлевская 4/5; e-mail: ra315281@gmail.com

R. R. Akhmetzyanov, A. F. Kemalov

INTENSIVE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF POLYMER-BITUMEN BINDER BASED ON NON- OXIDIZED RESIDUAL PETROLEUM RAW MATERIALS

Kazan Federal University
4/5, Kremlyovskaya Str., 420008, Kazan, Russia; e-mail: ra315281@gmail.com

Проблема массового производства полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) на фоне дальнейшего развития дорожного строительства остается весьма актуальной прикладной задачей. Незначительные объемы производства ПБВ, и как следствие, низкий уровень их потребления в России негативно сказываются на качестве и долговечности асфальтобетонного покрытия. За сравнительно небольшой период эксплуатации дорожного покрытия образуется значительное количество различного рода дефектов. Известно, что в мировой практике производство ПБВ предусматривает использование в качестве исходного вяжущего неокисленный битум. В России в силу ряда объективных и субъективных причин неокисленный битум как товарный продукт не производится. В этой связи в данной статье обсуждаются вопросы получения ПБВ, соответствующих ГОСТ Р 52056-2003, с использованием в качестве исходного вяжущего продукта вакуумной перегонки мазута - гудрона. В качестве полимерного модификатора был использован блоксополимер типа СБС марки СБС 330 Л. В ходе исследований выявлены закономерности изменения физико-механических характеристик ПБВ в зависимости от содержания полимера в составе вяжущего. Было обнаружено, что с увеличением содержания полимера в составе ПБВ температура размягчения и эластичность при 25 °С увеличиваются, глубина проникания иглы при 25 °С уменьшается, незначительно снижается температура хрупкости, растяжимость при 25 °С и глубина проникания иглы при 0 °С носят экстремальный характер. Получены образцы ПБВ, соответствующие по физико-механическим характеристикам требованиям ГОСТ Р 52056-2003 на марки ПБВ 60, ПБВ 90 и ПБВ 130.

Ключевые слова: гудрон; нефтяной остаток; полимер; полимерно-битумное вяжущее; СБС.

The problem of mass production of polymer modified bitumens (PMB) against the background of further development of road construction remains a very relevant applied task. The small volumes of PMB production and, as a consequence, the low level of their consumption in Russia have a negative impact on the quality and durability of asphalt concrete pavement. For a relatively short period of operation of the road surface, a significant number of various kinds of defects are formed. For a relatively short period of operation of the road surface, a significant number of various kinds of defects are formed. It is known that in world practice the production of PMB involves the use of unoxidized bitumen as the initial binder. In Russia, due to a number of objective and subjective reasons, non-oxidized bitumen is not produced as a marketable product. In this regard, this article discusses the issues of obtaining PMBs that comply with GOST R 52056-2003, using vacuum residue, a vacuum distillation product of fuel oil, as the initial binder. Block copolymer of the SBS type, grade SBS 330 L, was used as a polymer modifier. Patterns of changes in the physical and mechanical characteristics of PMB were revealed depending on the polymer content in the binder during the research. It was found that with an increase in the polymer content in the PMB composition the softening temperature and elasticity at 25 °C increase, the needle penetration depth at 25 °C decreases, the brittleness temperature decreases slightly, the extensibility at 25 °C and the needle penetration depth at 0 °C are extreme. PMB samples were obtained that meet the requirements of GOST R 52056-2003 for PMB 60, PMB 90 and PMB 130 grades in terms of physical and mechanical characteristics.

Key words: polymer; polymer-modified bitumen; SBS; tar; vacuum residue.

Дата поступления 12.07.24

Применение асфальтобетонных покрытий в строительстве автомобильных дорог получило наибольшее распространение по причине их высоких эксплуатационных характеристик при относительно умеренной стоимости.

Однако в связи с увеличением грузонапряженности и интенсивности дорожного движения происходит преждевременное разрушение дорожного покрытия, в результате чего срок службы и межремонтный интервал дорожного покрытия снижается¹. Одной из главных причин существования данной проблемы заключается в качестве применяемых технологий и материалов. Отечественные дорожные битумы марок БНД не всегда отвечают современным требованиям дорожного строительства², несмотря на непрерывное ужесточение требований к дорожным битумам.

Данное обстоятельство сформировало актуальную задачу по дальнейшему совершенствованию технологии производства вяжущих, характеристики которых превосходили бы свойства производимых на то время дорожных битумов. Одним из эффективных способов повышения качества вяжущих является производство битумов, модифицированных полимерами. Такие битумы по сравнению с традиционными дорожными битумами обладают более высокой сдвигоустойчивостью при положительных температурах, трещиностойкостью, усталостной прочностью и стойкостью к старению³. Из всех видов полимеров блоксополимер типа СБС в дорожном строительстве получил наибольшее распространение. Высокая популярность данного полимера обусловлена несколькими причинами:

- наиболее высокие значения физико-механических показателей по сравнению с другими полимерами. Улучшение свойств происходит одновременно в нескольких направлениях.

- высокое совмещение с нефтяным битумом. Растворение протекает легко при умеренно высоких температурах⁴.

Поэтому вполне закономерно, что в 2003 году был разработан отечественный стандарт (ГОСТ Р 52056-2003) на полимерно-битумное вяжущее (ПБВ), производимый исключительно с участием данного вида полимера.

Следует отметить и то обстоятельство, что несмотря на положительное влияние данного полимера на качество битумного вяжущего и, как следствие, увеличение срока службы дорожного покрытия, производство ПБВ в России не получило массового распространения, его объем в 2022 году составил 12% от общего объема производства битума в РФ⁵, и, как следствие, это выразилось в низком уровне потребления. Причина данной ситуации кроется, прежде всего, в стоимо-

сти данного материала – на 25–100 % выше стоимости дорожного битума. Проблема усугубляется желанием НПЗ произвести большее количество товарных топлив и масел, обладающих высокой рентабельностью, в связи с чем наблюдается низкий уровень производства битумных материалов.

В связи с этим возникает вопрос об устранении хотя бы одного из этих негативных факторов. Приемлемым и достаточно привлекательным способом производства ПБВ в нефтеперерабатывающих и дорожных организациях является использование в качестве исходного вяжущего гудрона.

Исключение стадии производства битума из технологической цепочки производства ПБВ может благоприятно сказаться на капитальных и эксплуатационных затратах производства ПБВ, поскольку затраты на производство гудрона ниже, чем затраты на производство битума. Кроме того, гудроны обладают высокой пластичностью, что позволяет исключить применение дорогостоящих пластификаторов. Отсутствие необходимости утилизации побочных и токсичных продуктов окисления гудрона, черного соляра и газов окисления положительно скажется на экологичности производства.

Некоторые дорожные организации выбрали путь производства ПБВ на своих предприятиях из дорожного битума, пластификатора и полимера, производимых нефтеперерабатывающими и нефтехимическими компаниями соответственно⁶. Для данных организаций производство ПБВ с использованием гудрона взамен битума станет финансово оправданным решением, поскольку стоимость гудрона на рынке ниже стоимости битума.

В связи с вышеизложенным была поставлена задача проведения исследования по получению ПБВ, соответствующих требованиям ГОСТ Р 52056-2003, на основе гудронов с различными физико-механическими характеристиками и оценка влияния блоксополимера типа СБС на физико-механические характеристики полученных ПБВ.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы образцы – Гудрон-1 и Гудрон-2 производства АО «ТАНЕКО», физико-механические характеристики которых представлены в табл. 1.

Различия в свойствах данных образцов гудронов заключаются в следующем: Гудрон-1 обладает более высокой вязкостью и низкой пластичностью, о чем свидетельствуют более высокие значения условной вязкости при 80 °С, температуры размягчения и более низкое значение глубины проникания иглы при 25 °С, Гудрон-2 обладает более высокими низкотемпературными характе-

Физико-механические характеристики образцов

№	Наименование показателя	Метод испытания	Фактические показатели	
			Гудрон-1	Гудрон-2
1	Условная вязкость при 80 °С, с	ГОСТ 11503-74	451	230
2	Глубина проникания иглы при 25 °С, 0.1 мм	ГОСТ 11501-78	132	236
3	Глубина проникания иглы при 0 °С, 0.1 мм	ГОСТ 11501-78	35	61
4	Температура размягчения по методу «Кольцо и шар», °С	ГОСТ 11506-73	38	31,4
5	Растяжимость при 25 °С, см	ГОСТ 11505-75	42*	40*
6	Растяжимость при 0 °С, см	ГОСТ 11505-75	37	83
7	Температура хрупкости, °С	ГОСТ 11507-78	-19	-28
8	Температура вспышки, °С	ГОСТ 4333-2014	выше 290	выше 270
9	Изменение массы образца после прогрева, % мас.	ГОСТ 18180-72	-0.03	-0.06
10	Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	ГОСТ 18180-72, ГОСТ 11506-73 с дополнением по п.3.3 ГОСТ 22245-90	+5.6	+6.6

* провал нити вследствие высокой пластичности

ристиками, о чем свидетельствуют более высокое значение глубины проникания иглы при 0 °С, растяжимости при 0 °С и более низкое значение температуры хрупкости.

В работе был использован блоксополимер типа СБС линейного строения марки СБС 330 Л производства ПАО «Нижнекамскнефтехим» регламентированный ТУ 20.17.10-214-05766801-2020. Полимер данного производства был выбран исходя из близкого расположения предприятия АО «ТАНЕКО» к производству данного полимера. С учетом результатов предшествующих исследований был выбран полимер линейной структуры по причине более высокой растворимости полимеров линейной структуры в вяжущем⁷ и придания получаемому ПБВ наиболее высоких низкотемпературных свойств⁸.

Методика приготовления образцов ПБВ

В металлическую емкость помещали предварительно нагретый образец гудрона. В заданных количествах в металлическую емкость добавляли полимер в виде гранул. Перемешивание осуществляли при постоянном нагреве смеси с частотой вращения мешалки 300–400 об./мин при температуре 160–180 °С до полного растворения полимера. Однородность полученного ПБВ определялась стеклянной палочкой. Получение ПБВ осуществлялось без применения пластификатора.

Испытания образцов ПБВ проводили методами, включенные в ГОСТ Р 52056-2003.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1–6 представлены физико-механические характеристики образцов ПБВ на основе Гудрона-1 и Гудрона-2 в зависимости от содержания полимера в составе ПБВ.

Представленный на рис. 1 график зависимости глубины проникания иглы (пенетрации) ПБВ на основе гудронов от содержания полимера демонстрирует уменьшение пенетрации при 25 °С с увеличением содержания полимера в составе ПБВ. Данная зависимость имеет параболическую форму тренда, наиболее сильное изменение глубины проникания иглы происходит при малых концентрациях полимера (до 2% мас.), с дальнейшим увеличением содержания полимера изменение протекает не столь интенсивно, а с некоторого момента изменение практически не наблюдается.

Графики зависимостей температуры размягчения ПБВ от содержания полимера (рис. 2,3) демонстрируют рост температуры размягчения с увеличением содержания полимера. Данная зависимость имеет параболическую форму тренда. При малых концентрациях (до 4 % мас.) полимера в составе вяжущего наблюдается незначительное изменение температуры размягчения ПБВ, однако с увеличением содержания (с 4% мас.) полимера изменение температуры размягчения резко увеличивается.

Важно отметить, что температура размягчения и глубина проникания иглы при 25 °С характеризует теплостойкость и степень твердости вяжущего, соответственно, и косвенно вязкость и пластичность при положительных температурах воздуха⁹. С увеличением содержания полимера в составе ПБВ уменьшается пластичность и увеличивается теплостойкость, твердость и вязкость вяжущего, поскольку при увеличении содержания полимера в ПБВ увеличивается сила трения между слоями жидкости, а при определенной концентрации полимера (около 4 % мас.) возникает и упорочняется пространственная эластичная структура полимера¹⁰, препятствующая деформированию материала.

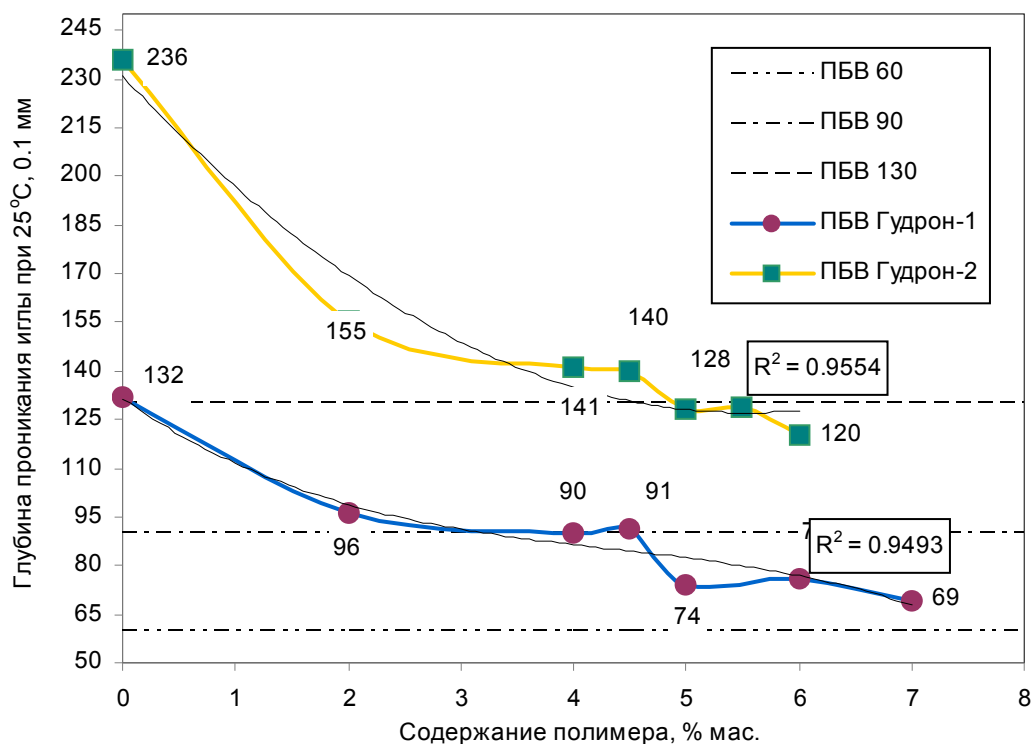


Рис. 1. Зависимость глубины проникновения иглы ПБВ на основе Гудрона-1 и Гудрона-2 при 25 °С от содержания полимера

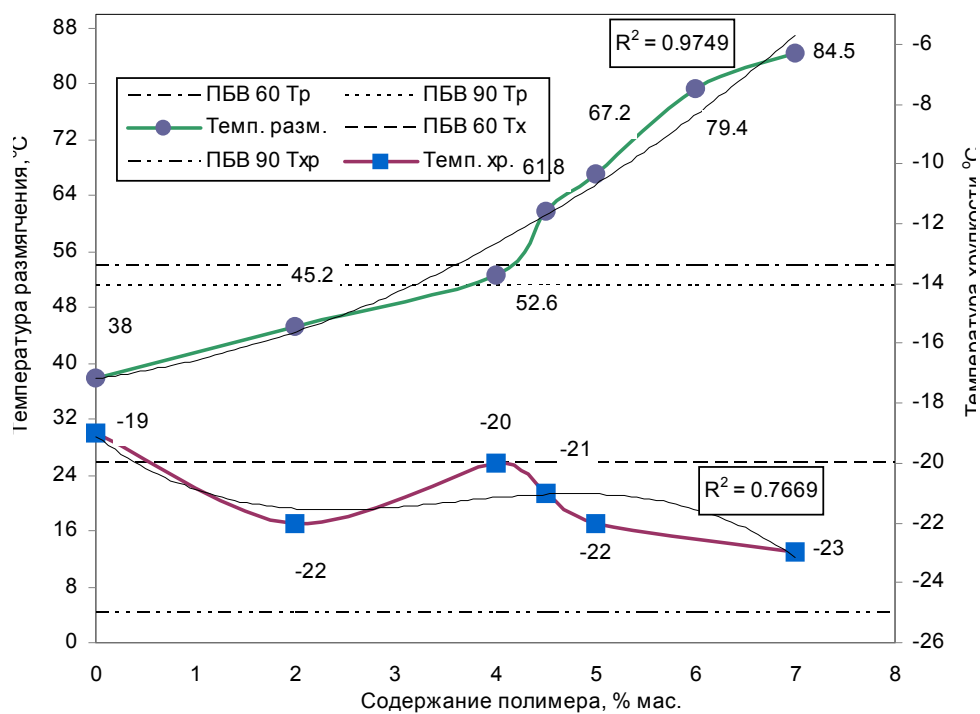


Рис. 2. Зависимость температуры размягчения и температуры хрупкости ПБВ на основе Гудрона-1 от содержания полимера

Значения пенетрации при 25 °С ПБВ на основе Гудрона-1 с содержанием полимера до 4.5% мас. соответствуют требованиям ГОСТ Р 52056-2003 на марку ПБВ 90, а с содержанием полимера более 4.5% мас. – требованиям стандарта для марки ПБВ 60. Значения пенетрации при 25 °С ПБВ на основе Гудрона-2 с содержанием полимера до 5% мас. со-

ответствуют требованиям ГОСТ Р 52056-2003 на марку ПБВ 130, а с содержанием полимера более 5% мас. – требованиям стандарта для марки ПБВ 90. Однако ПБВ с пограничными значениями пенетрации не следует рассматривать в качестве перспективных ПБВ. Для удовлетворения требования стандарта на показатель «Температура раз-

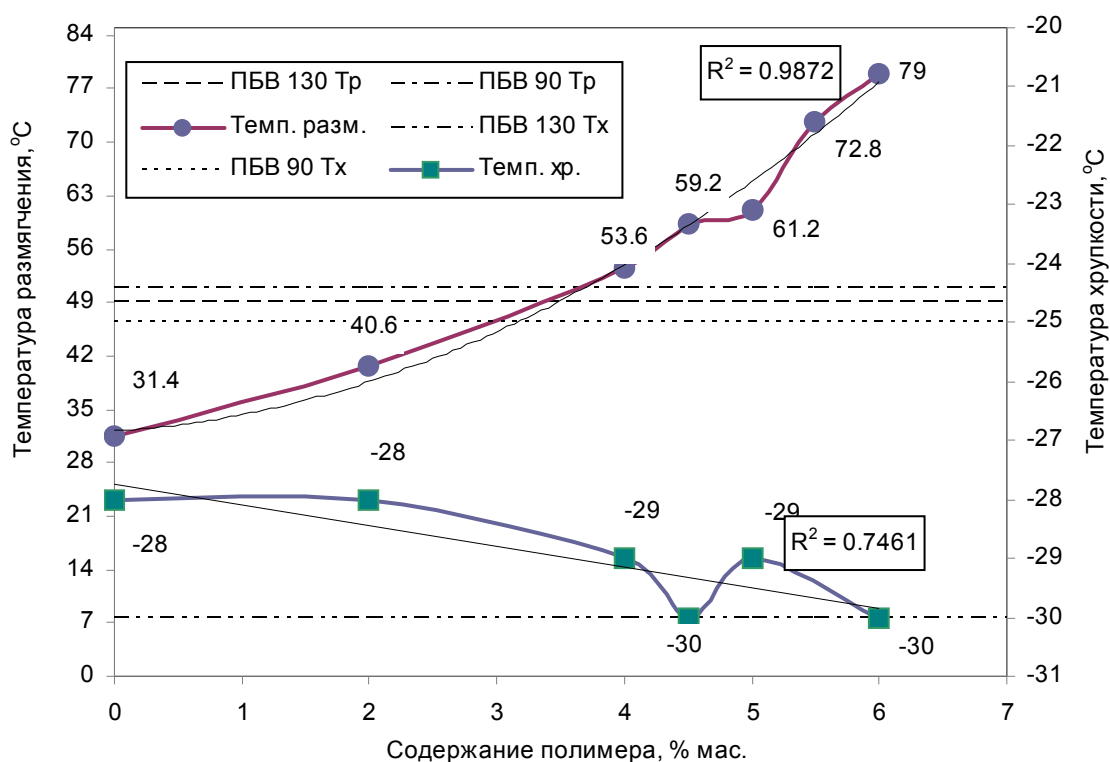


Рис. 3. Зависимости температуры размягчения и температуры хрупкости ПБВ на основе Гудрона-2 от содержания полимера

мягчения» для марок ПБВ 60, 90 и 130 требуется содержание полимера в составе ПБВ на основе обоих образцов гудронов не менее 4% мас.

Графики на рис. 2 и 3 демонстрируют неоднозначный характер изменения данного показателя от содержания полимера в составе ПБВ, коэффициент детерминации полученных математических моделей не превышает 0.77.

Температура хрупкости характеризует трещиностойкость вяжущего, сопротивление вяжущего к хрупкому разрушению при отрицательных температурах¹¹. В присутствии полимера в гудроне этот показатель незначительно улучшился, температура хрупкости снизилась в среднем на 2–3 °C, так как увеличилась способность вяжущего без разрушения деформироваться при отрицательных температурах за счет низкой температуры стеклования данного полимера. Эластичная пространственная структура полимера, образуемая в ПБВ, армирует вяжущее, воспринимает нагрузку на вяжущее и тем самым препятствует его разрушению.

По данному показателю ПБВ на основе Гудрона-1 удовлетворяет требованиям стандарта для марки ПБВ 60, ПБВ на основе Гудрона-2 удовлетворяет требованиям стандарта для марки ПБВ 90, а по некоторым композициям – для марки ПБВ 130.

Графики зависимостей растяжимости ПБВ при 25 °C, представленные на рис. 4 и 5, демонстрируют экстремальный характер изменения рас-

тяжимости в зависимости от содержания полимера в составе ПБВ. Как видно из графиков, растяжимость ПБВ с увеличением содержания полимера вначале растет, достигает максимального значения при некоторой концентрации полимера (2–4% мас.), далее с увеличением концентрации полимера неуклонно снижается.

Растяжимость при 25 °C косвенно характеризует пластичность вяжущего при положительных температурах и степень структурированности вяжущего¹². Как было указано ранее, низкая растяжимость исходных образцов гудронов связана с их крайне высокой пластичностью (происходит западание нити под собственным весом) вследствие чего невозможно адекватно оценить данный показатель. В связи с этим с увеличением содержания полимера в составе ПБВ их пластичность при положительных температурах снижается, так как увеличивается степень структурированности вяжущего за счет создания и упрочнения пространственной эластичной структуры полимера, которая препятствует деформированию материала, вследствие чего величина предельной деформации падает.

По данному показателю полученные ПБВ на основе исследуемых гудронов удовлетворяют требованиям стандарта для всех существующих марок при различном содержании полимера.

Графики на рис. 4 и 5 демонстрируют повышение эластичности ПБВ с увеличением содержа-

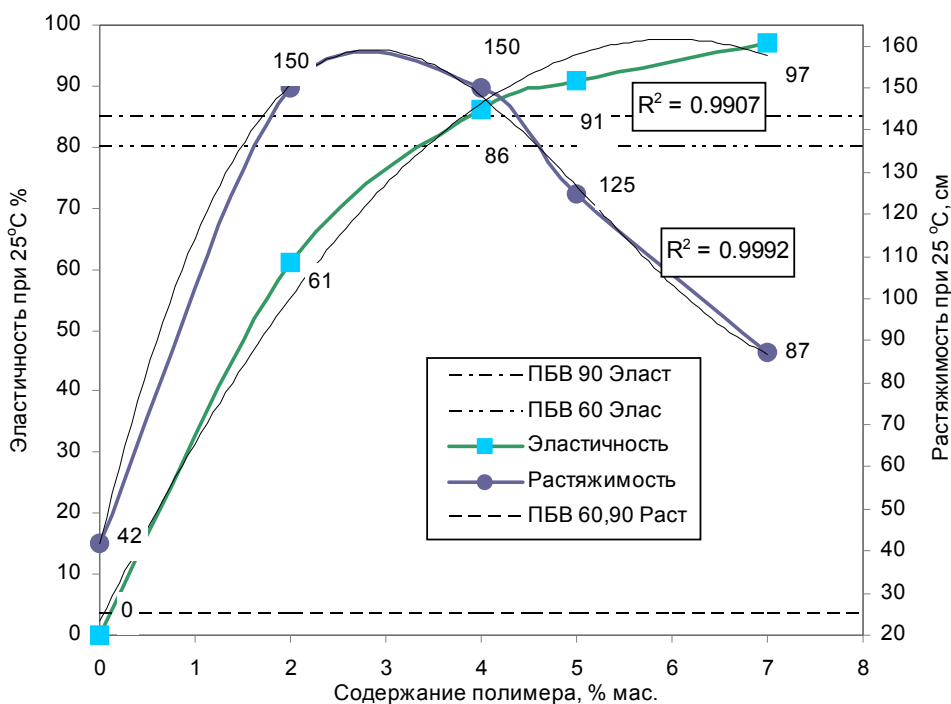


Рис. 4. Зависимость растяжимости и эластичности ПБВ на основе Гудрона-1 при 25 °С от содержания полимера

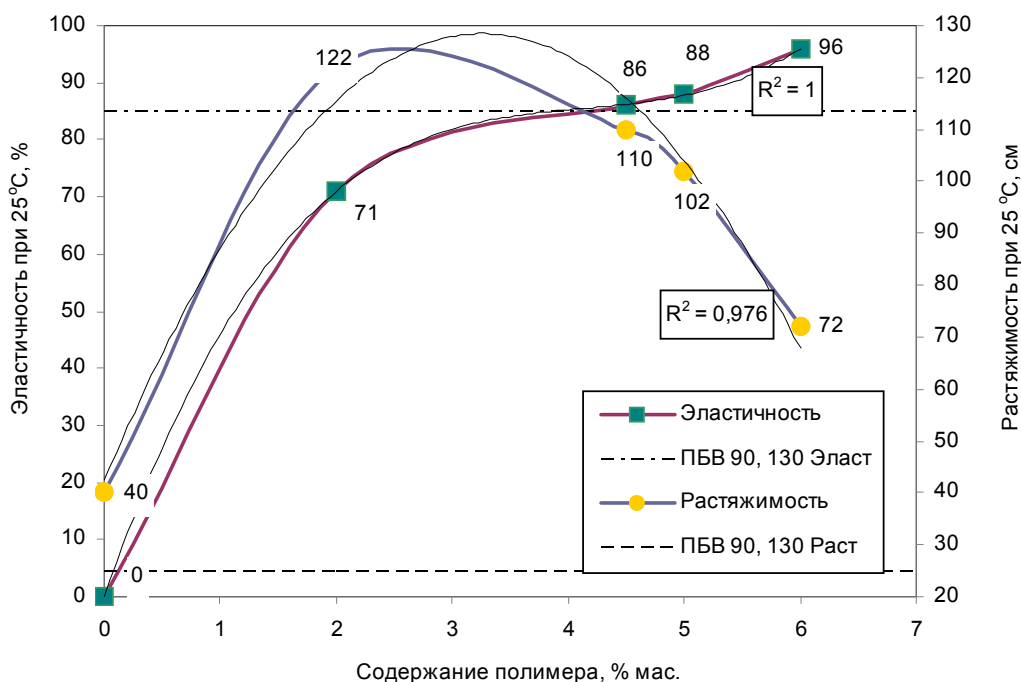


Рис. 5. Зависимость растяжимости и эластичности ПБВ на основе Гудрона-2 при 25 °С от содержания полимера

ния полимера, зависимость имеет параболическую форму тренда. Существенное увеличение эластичности происходит при малых концентрациях полимера в составе вяжущего (до 2% мас.), в дальнейшем степень роста эластичности с увеличением содержания полимера снижается, и при высоких концентрациях полимера (6–7 % мас.) эластичность достигает максимального значения.

Эластичность при 25 °С характеризует способность вяжущего деформироваться обратимо¹³ и сте-

пень проявления твердообразных свойств при положительных температурах. С увеличением содержания полимера в составе ПБВ способность вяжущего обратимо деформироваться увеличивается, то есть увеличиваются твердообразные свойства вяжущего. Это происходит по причине создания и упрочнения в ПБВ пространственной эластичной структуры полимера, которая способна восстанавливать свою форму после приложения нагрузки.

Для достижения уровня требований стандарта по данному показателю для марок ПБВ 60, 90 и 130 для ПБВ на основе Гудрона-1 и Гудрона-2 требуется содержание полимера в составе ПБВ в количестве не меньше 4% мас.

Представленный на рис. 6 график зависимости глубины проникания иглы ПБВ при 0 °С демонстрирует экстремальный характер изменения данного показателя в зависимости от содержания полимера в составе ПБВ. Глубина проникания иглы при 0 °С с увеличением содержания полимера в составе вяжущего в начальный период незначительно уменьшается, достигает своего минимального значения при определенной концентрации полимера, после чего с увеличением содержания полимера (с 4–5% мас.) значение данного показателя незначительно увеличивается.

Глубина проникновения иглы при 0 °С характеризует твердость, пластичность вяжущего при отрицательных температурах. Чем выше значение этого показателя, тем выше пластичность, деформативность вяжущего при отрицательных температурах и его устойчивость к низкотемпературному растрескиванию¹⁴. Экстремальный характер изменения данного показателя связан с тем, что при малом содержании полимера (до 2%) основное влияние на данный показатель оказывает старение вяжущего, происходящее в период приготовления ПБВ, которое приводит к увеличению твердости и снижению пластичности вяжущего при отрицательных температурах. Начиная с определенной концентрации полимера (5% мас.), влияние полимера становится существенным, и низкотемпературные свойства возрастают, так

как данный полимер, обладает крайне низкой температурой стеклования и высокой способностью деформироваться при отрицательных температурах.

По данному показателю ПБВ на основе Гудрона-1 соответствуют требованиям ГОСТ 52056-2003 для марки ПБВ 60 при различных содержаниях полимера. ПБВ на основе Гудрона-2 соответствуют требованиям стандарта для марок ПБВ 90 и ПБВ 130 при различных содержаниях полимера.

Исходя из результатов проведенных исследований оптимальные рецептуры ПБВ, при которых образцы ПБВ способны удовлетворить требованиям ГОСТ Р 52056-2003 по физико-механическим показателям для различных марок. ПБВ на основе Гудрона-1 с содержанием полимера 5% мас. по определенным выше показателям соответствует требованиям стандарта для марки ПБВ 60. ПБВ на основе Гудрона-2 с содержанием полимера 4.5% мас. соответствует требованиям стандарта для марки ПБВ 130, а ПБВ с содержанием полимера 6% мас. – для марки ПБВ 90. Исходные свойства гудронов оказали влияние на конечные характеристики ПБВ. При более вязком гудроне была получена более вязкая марка ПБВ в сравнении с ПБВ на основе менее вязкого гудрона. Далее были определены остальные физико-механические характеристики ПБВ с целью произвести итоговую оценку на соответствие полученных ПБВ требованиям стандарта.

Комплекс физико-механических характеристик ПБВ, определенных в соответствии с ГОСТ Р 52056-2003, представлен в табл. 2. По остальным показателям, таким как растяжимость при 0 °С, эластичность при 0 °С, изменение температуры

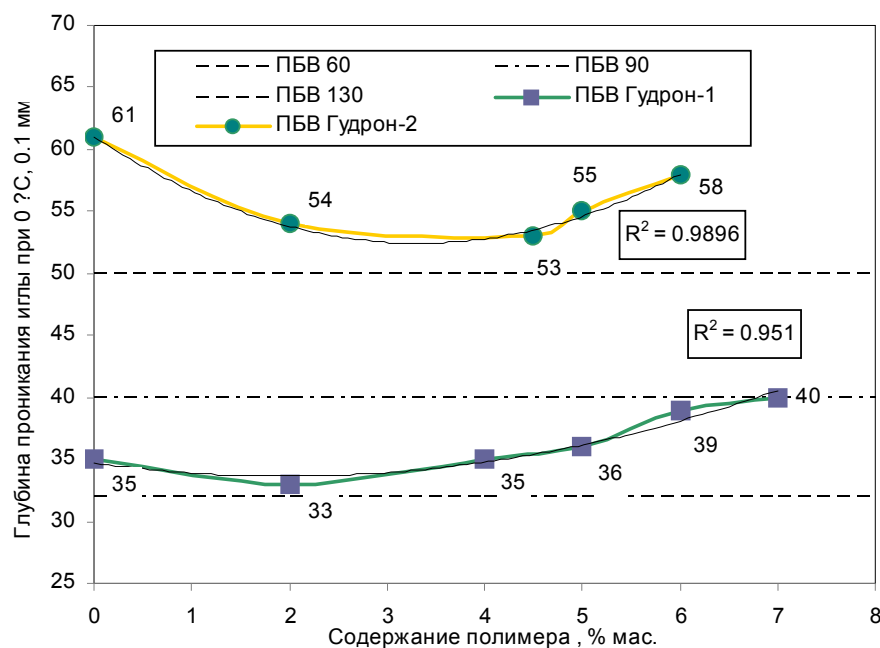


Рис. 6. Зависимость глубины проникания иглы ПБВ на основе Гудрона-1 и Гудрона-2 при 0 °С от содержания полимера

Физико-механические характеристики ПБВ, полученных на основе Гудрона-1 и Гудрона-2

№	Показатель	Требования ГОСТ Р 52056-2003 для марки ПБВ 60	ПБВ (Гудрон-1 – 95% мас. + + СБС – 5% мас.	Требования ГОСТ Р 52056-2003 для марки ПБВ 90	ПБВ (Гудрон-2 – 94% мас. + + СБС – 6% мас.	Требования ГОСТ Р 52056-2003 для марки ПБВ 130	ПБВ (Гудрон-2 – 95.5% мас. + + СБС – 4.5% мас.
1	Глубина проникания иглы при 25 °С, 0.1 мм	60–89	74	90–129	120	130–199	140
2	Глубина проникания иглы при 0 °С, 0.1 мм	не менее 32	36	не менее 40	58	не менее 50	53
3	Растяжимость при 25 °С, см	не менее 25	выше 100	не менее 30	72	не менее 30	выше 100
4	Растяжимость при 0 °С, см	не менее 11	55	не менее 15	выше 100	не менее 20	выше 100
5	Температура размягчения по методу «Кольцо и шар», °С	не менее 54	67.2	не менее 51	79	не менее 49	59.2
6	Температура хрупкости по Фраасу, °С	не выше -20	-22	не выше -25	-30	не выше -30	-30
7	Эластичность при 25 °С, %	не менее 80	91	не менее 85	96	не менее 85	86
8	Эластичность при 0 °С, %	не менее 70	71	не менее 75	80	не менее 75	78
9	Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	не более 5	+3.4	не более 6	+0.6	не более 6	+2.8
10	Температура вспышки, °С	не ниже 230	выше 290	не ниже 220	выше 270	не ниже 220	выше 270
11	Сцепление с мрамором или песком	выдерживает по контрольному образцу №2	выдерживает по контрольному образцу №2 (мрамор)	выдерживает по контрольному образцу №2	выдерживает по контрольному образцу №1 (мрамор)	выдерживает по контрольному образцу №2	выдерживает по контрольному образцу №2 (мрамор)
12	Однородность	однородно	однородно	однородно	однородно	однородно	однородно
13	Изменение массы образца после прогрева, % мас.	-	+0.1	-	+0.09	-	+0.09

размягчения после прогрева, сцепление с мрамором или песком, образцы ПБВ удовлетворяют требованиям стандарта.

Таким образом, в ходе проведенных исследований определена возможность получения ПБВ, соответствующих требованиям ГОСТ Р 52056-2003, с использованием гудрона, нефтяного остатка вакуумной перегонки мазута, в качестве вяжущей основы ПБВ и блоксополимера типа СБС в качестве полимерного модификатора.

Выявлены закономерности изменения физико-механических характеристик ПБВ от содержания полимера в составе вяжущего. Установлено, что с увеличением содержания полимера в составе ПБВ температура размягчения и эластичность при 25 °С увеличиваются, глубина проникания иглы при 25 °С уменьшается, температура хрупкости незначительно уменьшается, растяжимость при 25 °С и глубина проникания иглы при 0 °С имеют экстремальный характер.

Литература

1. Левченко С.И., Пен В.Р., Коляда К.А. Использование модифицированных битумов для повышения качества асфальтобетонных покрытий // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2019. – Т.2. – С.497-499.
2. Ширяев А.О., Обухов А.Г., Высоцкая М.А. и др. Полимерные модификаторы битумных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2017. – №11. – С.48-54.
3. Газизов К.И., Макаров Д.Б. Полимерасфальтобетоны с применением нефтяных дорожных битумов, модифицированных смесевыми термоэластопластиками // Полимеры в строительстве. – 2017. – №1(5). – С.18-25.
4. Ахмадова Х.Х., Хадисова Ж.Т., Махмудова Л.Ш. и др. Основные способы модификации битумов различными добавками // Вестник ГНТУ. Технические науки. – 2019. – Т.15, №3(17). – С.42-56.

References

1. Levchenko S.I., Pen V.R., Kolyada K.A. *Ispol'zovanie modifitsirovannykh bitumov dlya povysheniya kachestva asfal'tobetonnykh pokrytiy* [Use of modified bitumens to improve the quality of asphalt concrete pavements]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and cosmonautics], 2019, vol.2, pp.497-499.
2. Shiryayev A.O., Obukhov A.G., Vysotskaya M.A. i dr. *Polimernye modifikatory bitumnykh vyazhushchikh* [Polymer modifiers of bitumen binders]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova* [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov], 2017, no.11, pp.48-54.
3. Gazizov K.I., Makarov D.B. *Polimerasfal'tobetonny s primeneniem neftyanykh dorozhnykh bitumov, modifitsirovannykh smesevymi termoelastoplastami* [Polymer asphalt concretes using petroleum road bitumen modified with mixed thermoplastic elastomers]. *Polimery v stroitel'stve* [Polymers in construction], 2017, no.1(5), pp.18-25.

5. Электронный ресурс <https://www.bitum-consult.ru/tpost/ag0iym7y21-obzor-rinka-pbv-na-3-marta-2023-goda> (дата обращения: 29.01.24).
6. Хафизов Э.Р., Фомин А.Ю. Применение полимерасфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах Республики Татарстан // Известия КГАСУ. – 2015. – №4(34). – С.312-316.
7. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н. и др. Битум-полимерные вяжущие строительного назначения // Полимеры в строительстве. – 2014. – №2(2). – С.27-35.
8. Лесик Е.И., Косицына С.С., Сафин В.А. и др. Полимерно-битумные вяжущие, модифицированные вторичными полиолефинами и продуктами их термоллиза // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – №2(48). – С.139-145.
9. Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р. и др. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. – М: Информавтодор, 2002. – 112 с.
10. Беляев П.С., Полушкин Д.Л., Макеев П.В. и др. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонного покрытия с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник ТГТУ. – 2016. – Т.22, №2. – С.264-271.
11. Галдина В.Д. Трещиностойкость асфальтобетонов на битумах различной структуры и происхождения // Вестник ТГАСУ. – 2010. – №1(26). – С.209-217.
12. Сибгатуллина Р.И., Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. и др. Изучение свойств нефтяных дорожных битумов, модифицированных резиновой крошкой // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т.20, №1. – С.76-79.
13. Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А. Современные инновационные технологии создания полифункциональных модификаторов (ПФМ) для производства битумов и битумных материалов с высокими эксплуатационными свойствами // Экспозиция нефть и газ. – 2009. – №3. – С.31-34.
14. Углова Е. В., Еременко Е.А., Сикачева Н.В. и др. Исследование влияния адгезионных присадок на физико-химические свойства дорожных битумов // Транспортные сооружения. – 2019. – Т.6, №1. – 4 с.
4. Akhmadova Kh.Kh., Khadisova Zh.T., Makhmudova L.Sh. i dr. *Osnovnye sposoby modifikatsii bitumov razlichnymi dobavkami* [The main methods of modifying bitumen with various additives]. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of GSPTU. Technical sciences], 2019, vol.15, no.3(17), pp.42-56.
5. <https://www.bitum-consult.ru/tpost/ag0iym7y21-obzor-rinka-pbv-na-3-marta-2023-goda>.
6. Khafizov Eh.R., Fomin A.Yu. *Primenenie polimerasfal'tobetonnnykh pokrytii na avtomobil'nykh dorogakh Respubliki Tatarstan* [Application of polymer asphalt concrete pavements on highways of the Republic of Tatarstan]. *Izvestiya KGASU* [Izvestiya KSUACE], 2015, no.4(34), pp.312-316.
7. Ayupov D.A., Murafa A.V., Khakimullin Yu.N. et al. *Bitum-polimernye vyazhushchie stroitel'nogo naznacheniya* [Bitumen-polymer binders for construction purposes]. *Polimery v stroitel'stve* [Polymers in construction], 2014, no.2(2), pp.27-35.
8. Lesik E.I., Kositsyna S.S., Safin V.A. i dr. *Polimerno-bitumnye vyazhushchie, modifitsirovannye vtorichnymi poliolefinami i produktami ikh termoliza* [Polymer-bitumen binders modified with secondary polyolefins and products of their thermolysis]. *Yuzhno-sibirskii nauchnyi vestnik* [South Siberian Scientific Bulletin], 2023, no.2(48), pp.139-145.
9. Gokhman L.M., Gurarii E.M., Davydova A.R. i dr. *Polimerno-bitumnye vyazhushchie materialy na osnove SBS dlya dorozhnogo stroitel'stva* [Polymer-bitumen binders based on SBS for road construction]. Moscow, Informavtodor Publ., 2002, 112 p.
10. Belyaev P.S., Polushkin D.L., Makeev P.V. i dr. *Modifikatsiya neftyanykh dorozhnykh bitumov polimernymi materialami dlya polucheniya asfal'tobetonogo pokrytiya s povyshennymi ehkspluatatsionnymi kharakteristikami* [Modification of petroleum road bitumens with polymer materials to obtain asphalt concrete pavement with improved performance characteristics]. *Vestnik TGTU* [Bulletin of TSTU], 2016, vol.22, no.2, pp.264-271.
11. Galdina V.D. *Treshhinostoykost' asfal'tobetonov na bitumakh razlichnoy struktury i proishozhdeniya* [Crack resistance of asphalt concrete on bitumens of different structure and origin]. *Vestnik TGASU* [Bulletin of TSUACE], 2010, no.1(26), pp.209-217.
12. Sibgatullina R.I., Abdullin A.I., Emel'yanycheva E.A. i dr. *Izuchenie svoystv neftyanykh dorozhnykh bitumov, modifitsirovannykh rezinovoy kroshekoy* [Study of the properties of petroleum road bitumen modified with rubber crumb]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2017, vol.20, no.1, pp.76-79.
13. Kemalov A.F., Kemalov R.A. *Sovremennye innovatsionnye tekhnologii sozdaniya polifunktsional'nykh modifikatorov (PFM) dlya proizvodstva bitumov i bitumnykh materialov s vysokimi ehkspluatatsionnymi svoystvami* [Modern innovative technologies for the creation of polyfunctional modifiers (PFM) for the production of bitumen and bitumen materials with high performance properties]. *Ehkspozitsiya nef't i gaz* [Oil and Gas Expo], 2009, no.3, pp.31-34.
14. Uglova E. V., Eremenko E.A., Sikacheva N.V. i dr. *Issledovanie vliyaniya adgezionnykh prisadok na fiziko-khimicheskie svoystva dorozhnykh bitumov* [Study of the influence of adhesion additives on the physicochemical properties of road bitumen]. *Transportnye sooruzheniya* [Transport structures], 2019, vol.6, no.1, 4 p.