

# Изучение физико-механических свойств асфальтобетонной смеси на основе модифицированного битум-полимерного вяжущего

Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Петров С.М.  
Муллахметов Н.Р., Фаттахов Д.Ф., Галиев А.А., Идрисов М.Р.  
Бадретдинов Р.Ш., Файзрахманов А.Т.

*Казанский государственный технологический университет, г. Казань*  
*Научно-технологический центр «Природные битумы»*

В настоящее время предъявляются повышенные требования к деформативной устойчивости битумных материалов, используемых в дорожном строительстве, связанных с ростом интенсивности движения и повышением грузоподъемности транспортных средств. Регулирование дисперсного состава дорожных битумов введением добавок ПАВ и варьирования технологических параметров при окислении нефтяного гудрона не позволяет получить вяжущий материал с приемлемым уровнем деформационной стойкости к высоким нагрузкам. Одним из способов решения этой проблемы является введение в битум второй дисперсной фазы из полимерного материала /1,2/. Полимерные материалы, обладающие высокими упруго-эластичными свойствами, препятствуют развитию необратимых деформаций в битумной матрице, увеличивая ее механическую прочность.

Использование полимер-битумных композиций (ПБК) имеет многолетнюю историю и началось с применения натурального каучука /2/. Развитие химии полимеров значительно расширило спектр модификаторов, что связано, в первую очередь, с проблемами утилизации полимеров и побочных продуктов их синтеза. Однако, ПБК долго не находили применения из-за их высокой стоимости. Только в последнее десятилетие, вследствие резкого уменьшения межремонтного срока эксплуатации асфальтобетонных покрытий, ПБК стали применяться в практике дорожного строительства /3/.

При получении ПБК необходимо знать, как изменяются свойства композиции в зависимости от количества и типа полимерного материала, вводимого в битум. Полимеры обладают значительно большей молекулярной массой, чем нефтепродукты, и поэтому являются эффективными загустителями последних. При введении в битум даже небольших их количеств полимеры оказывают влияние на параметры, характеризующие качество битума - повышают температуру размягчения и снижают пенетрацию /4/. Анализ литературных данных, проведенный А. Зенке /2-4/, показал, что температура размягчения ПБК увеличивается в среднем на 2 °С на один процент полимерной добавки. При этом однотипные полимеры всегда оказывали одинаковое влияние на консистенцию битума в зависимости от концентрации.

Для полимеров трудно растворимых и диспергируемых в битуме, таких как полиэтилен, на смещение температуры размягчения оказывает влияние степень смешиваемости. Верхнюю границу температуры размягчения ПБК для плохо растворимых термопластов оценивают по интервалу плавления самого полимера. Для практического применения необходимо проводить испытание на смещение консистенции каждую рецептуру.

Было выявлено, что кривая зависимости пенетрации от содержания полимера в композиции всегда имеет более сглаженный ход по сравнению с кривой зависимости температуры размягчения, то есть, рост температуры размягчения композиции превышает увеличение вязкости ПБК. Отмечено, что пенетрация композиции зависит от типа полимера, вводимого в битум. Наименьшее падение пенетрации наблюдаются для ненасыщенных эластомеров, синтезированных из диолефинов, а для насыщенных термопластов, получаемых из моноолефинов - наименьшее. Полимеры, имеющие в своем составе разветвленные цепи, оказывают промежуточное влияние.

Некристаллические многокомпонентные смеси такие, как битум, имеют широкий температурный переход из аморфного состояния переохлажденной расплава в расплавленное жидкое состояние. Имеющие значения для практики границы этого интервала определяются температурой размягчения и стеклования. Это связано с колебаниями температуры между летом и зимой и поэтому необходимо, чтобы дорожные битумы имели как можно более широкий интервал пластичности - разницу между температурами размягчения и стеклования. Анализ влияния полимерных добавок на интервал пластичности показывает, что большая часть ПБК имеет расширенный интервал пластичности /6-9/.

Увеличение интервала пластичности, с одновременным снижением температуры хрупкости наблюдается у ПБК с натуральным и синтетическим каучуком. Из синтетических полимеров, обладающих аналогичным действием, преобладают полимеры с двойными связями при четвертичном углеродном атоме, а также сополимеры бутадиена со стиролом. Введение в битум некоторых сортов полиэтилена и поливинилхлорида сужает интервал пластичности за счет повышения температуры хрупкости композиции /9,10/.

В пределах интервала пластичности битумы проявляют способность вытягиваться в нити. Согласно данным /93,94/, дуктильность ПБК при 4 °С выше, чем у исходного битума. Сильное увеличение растяжимости наблюдается при добавке к битуму полихлоропрена, бутадиенстирольного сополимера. Причем на растяжимость ПБК оказывает значительное влияние степень диспергирования полимера в композиции /11/.

Полимерные материалы обладают высокими механическими свойствами, поэтому введение их в битум приводит к повышению ударной вязкости ПБК. Исследование зависимости растяжение-напряжение /11,12/ показывает изменение кривой текучести битума с увеличением содержания полимера. Испытуемое тело из чистого битума разрывается уже после кратковременной деформации. Длина растяжения битума, модифицированного полимером, увеличивается. Уже в растянутом состоянии образуются сглаженные участки, и даже вторые максимумы напряжений, что говорит о внедрении в битумную матрицу пространственной структуры полимера, которая препятствует разрыву битума. Так как разные полимеры обладают различными механическими характеристиками, прочность композита зависит от типа полимера.

По современным представлениям битум является сложной коллоидно-дисперсной системой. В связи с этим считается, что модифицированные полимераами битумы представляют собой коллоид в коллоиде. С точки зрения Л.И. Гохмана /13/ в смесях битум-полимер обе дисперсные фазы, то есть асфальтосмолистые вещества и добавленные высокомолекулярные полимеры конкурируют между собой за дисперсионную среду. В зависимости от соотношения и химического строения компонентов дисперсной фазы и дисперсионной среды, выше некоторой критической концентрации полимера (критической концентрации структурообразования) образуется пространственная структура из асфальтенов и набухшей полимерной сетки. Эта структура может представлять собой пространственную сетку полимера внутри коагуляционного каркаса асфальтенов, либо пространственную сетку из асфальтенов и полимера. Эти полимерные структуры переносят свои механико-реологические свойства на исходный битум. Однако, при наличии в битуме коагуляционного каркаса из асфальтенов введение полимерного модификатора является малоэффективным. Каркас из асфальтенов действует на сетку полимера как дополнительные сшивки и препятствует развитию эластических деформаций /13,14/.

Свойства композиционного материала зависят от количества и размера частиц дисперсной фазы. Так как различные полимеры имеют различную растворимость в нефтяных углеводородах, существенное влияние на свойства ПБК оказывает химический состав битума. Показано /14/, что температура размягчения и жесткость ПБК в зависимости от ароматичности (А) и средней молярной массы битума (М) проходят через максимум. По обе стороны от экстремального значения наблюдается слабое отличие от не модифицированного битума. Исходя из анализа дисперсности смеси, было показано, что при малых значениях

А/М имеет место крупно-дисперсное распределение полимера, склонное к расслаиванию, в результате чего в битумной матрице полимер не образует пространственной структуры. При больших значениях А/М обнаружено молекулярнодисперсное растворение полимера, которое также почти не оказывает влияния на характеристики ПБК. Максимальный эффект модификации, при введении полимера в битум, наблюдается только со сбалансированным отношением ароматичности и мольной массы композиции /5,6,12/.

Исследования влияния природы битумного сырья на совместимость с полимерами /108/ показали, что сырье оказывает преимущественное влияние на свойства ПБК при содержании в ней до 5% полимера. Введение в битум набухающего полимера приводит к уменьшению массовой доли масляного компонента и перераспределению масел, ассоциированных с асфальтенами. Кроме того, отмечено наличие взаимосвязи между пределом совместимости и содержанием в битуме асфальтенов /15/.

Основываясь на физическом характере взаимодействия между компонентами ПБК, в работе было предложено использовать для оценки совместимости битума с полимером их параметры растворимости. Если параметр растворимости полимера отличается от 17.4 МДж/м больше чем на 3 единицы, то наблюдается расслоение смеси. Исходя из этого, наиболее эффективными модификаторами нефтяных битумов являются набухающие в них полимерные материалы. Хотя применение параметра Гильдебрандта для такой сложной системы, как битум, не совсем корректно, тем не менее, эта теория позволяет априори дать оценку совместимости полимера с битумом.

Поводом разработки новой технологии получения модифицированных битумов и асфальтобетонов на их основе послужила накопленная в ГП РосдорНИИ информация, свидетельствующая о том, что многочисленные попытки улучшения отечественных окисленных битумов путём модификации по зарубежным технологиям, не даёт устойчивых результатов, как по качеству, так и по экономической эффективности. Это связано с ограниченностью запасов нефтей, имеющих определенное соотношение компонентов для производства дорожных битумов, по классификации БашНИИ НП содержание асфальтенов, смол и парафинов должно удовлетворять условию  $A+C-2,5П>8$ , таким образом, для производства дорожных битумов используются остатки практически любых перерабатываемых нефтей, что приводит не только к низкому качеству производимых битумов, но и трудностям их модификации /16/.

### **Объекты исследования**



	показателей	«Уфимский» БНД 90/130	с 1 % масс. ПФМ	с 1,5 % масс. ПФМ	с 2 % масс. ПФМ	с 3 % масс. ПФМ	22245-90
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 <sup>0</sup> С	91	73	104,67	83	109	91-130
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °С	44	47	44	47,35	42,4	Не ниже 43
3	Растяжимость, при 25 <sup>0</sup> С, см	100	93,0	98	92,0	97	Не менее 65
4	Сцепление с минеральным наполнителем	Частичное соответствует	Отличное соответствует	Отличное соответствует	Отличное соответствует	Отличное соответствует	-

По результатам испытаний выявлено, что битум марки БНД 90/130 модифицированный данным модификатором серии ПФМ в количестве 2% масс. становится другой марки БНД 60/90, в то время как с 1,5% масс. марка битума не меняется. При этом улучшаются основные свойства, особенно сцепление с каменным материалом (после термостатирования модифицированного битума при температуре 163<sup>0</sup>С в течении 5 часов, сцепление с каменным материалом не меняется). Так же по результатам испытаний выявлено, что с увеличением количества модификатора понижается температура размягчения, увеличивается пенетрация, не меняется сцепление со щебнем, поэтому вводить модификатор в количестве более 2% масс. не рекомендуется.

Асфальтобетонные смеси, приготовленные на основе образцов модифицированного вяжущего по ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон» в зависимости от вида минеральной составляющей являются щебеночными, в зависимости от вязкости используемого битума и температуры при укладке являются горячие, приготавливаемые с использованием вязких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 120<sup>0</sup>С, в зависимости от наибольшего размера минеральных являются мелкозернистыми (до 20 мм), в зависимости от величины остаточной пористости являются плотными (св. 2,5 до 5,0 %), в зависимости от содержания щебня (св. 40 до 50 %) асфальтобетоны относятся к типу Б, в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов относятся к маркам I, II, III.

Минеральная часть асфальтобетонов на основе образцов 1-5 содержит:

Щебень по ГОСТ 8267-93	41%
Песок из о.д. к-р «Миньярский» по ГОСТ 8736-93	23%
Песок Волжский по ГОСТ 8736-93	27%
Минеральный порошок активированный по ГОСТ 16557-78	9%

Таблица 1 - Физико-механические свойства асфальтобетонных смесей на основе фактического и модифицированного битума

№	Наименование показателей	Битумом	Битумом	Битумом	Битумом	Битумом	ГОСТ 9128-97
		«Уфимский» БНД 90/130	с 1 % масс. ПФМ	с 1,5 % масс. ПФМ	с 2 % масс. ПФМ	с 3 % масс. ПФМ	
1	Предел прочности при 50 <sup>0</sup> С, МПа	1	1,4	1,36	1,32	1,15	Не менее 1
2	Средняя плотность смеси	2,47	2,51	2,49	2,48	2,5	Не нормируется
3	Водонасыщение	2,62	1,75	3,35	2,61	3,22	1,5-4,0
4	Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при t=50 <sup>0</sup> С, МПа	0,22	0,27	0,26	0,25	0,24	Не менее 0,35
5	Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе, при t=50 <sup>0</sup> С	3,71	4,7	3,66	2,6	2,4	Не менее 0,35 Не более 6,5

По результатам испытаний выявлено, что с применением ПФМ в количестве 1,5 и 2% масс. основные свойства асфальтобетонов улучшаются (предел прочности при 50<sup>0</sup>С), эффективнее вводить 1,5% масс. С добавлением ПФМ в больших количествах, более 3% масс., свойства асфальтобетонных смесей ухудшаются. Необходимо отметить, что при правильном подборе минеральной части и количества вяжущего, асфальтобетон на основе модифицированных битумов соответствует требованиям ГОСТ 9128-97 «Смеси

асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон» и может применяться для строительства автодорог в нашей климатической зоне.

Благодаря улучшению характеристик вяжущего, особенно адгезии, срок службы асфальтобетонных покрытий, приготовленных с применением в качестве вяжущего битумов, модифицированных трехкомпонентным модификатором, по крайней мере, в 3 раза выше, чем срок службы покрытий с использованием немодифицированных битумов при тех же условиях эксплуатации за счет более высокой трещиностойкости, водостойкости и сдвигоустойчивости получаемого асфальтобетона. Высокие адгезионные свойства модифицированных битумов обеспечивают сокращение образования в процессе эксплуатации такого вида повреждений покрытия, как выкрашивания.

Для обработки результатов исследований необходимо осуществить подбор эмпирических формул, необходимых для математического моделирования процесса, таким образом, чтобы характеристические зависимости, по возможности, проходила ближе к экспериментальным точкам.

При проведении математического моделирования получаются алгебраические выражения функций, которые описывают результаты проведения исследований, исключая основные погрешности. За основные эксплуатационные показатели были выбраны некоторые физико-механические свойства водо-битумных эмульсий и выпаренных битумов: адгезия, температура размягчения.

Совокупность этих показателей как – оптимум свойств нам и необходимо определить. Исходя из экспериментальных данных, описанных выше, мы выяснили, что содержание полимера в количестве 1,5% масс. является оптимальным по всем показателям.

Аппроксимация данных лабораторных исследований, проводившаяся в программе STATISTICA 6.0 /16/, подтвердила наши результаты. Построены квадратичные диаграммы, вычислены многоуровневые корреляции с построением графиков по каждому их свойству.

Представим экспериментальные данные в табличной форме, по которым производились построения и вычисления, таблица 3.

Таблица 3 – Данные испытаний в программе статистика

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10
1	0	91	43,95	100	1	2,47	2,62	1	0,22	3,71
2	1	73	47	93	1,4	2,51	1,75	0,96	0,27	4,7
3	1,5	104,67	44	98	1,36	2,49	3,35	0,94	0,26	3,66
4	2	83	47,35	92	1,32	2,48	2,61	0,93	0,25	2,6
5	3	109	42,4	97	1,15	2,5	3,22	0,94	0,24	2,4



где **Var1** – Содержание ПФМ (ДПС-070), % масс.; **Var2** – Глубина проникания иглы в 0,1 мм, при  $t=25^{\circ}\text{C}$ ; **Var3** – Температура размягчения,  $^{\circ}\text{C}$ ; **Var4** – Растяжимость, при  $t=25^{\circ}\text{C}$ , см; **Var5** –  $R_{50}$ ; **Var6** – Средняя плотность смеси; **Var7** – Водонасыщение; **Var8** – Водостойкость; **Var9** – Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге, при  $t=50^{\circ}\text{C}$ ; **Var10** – Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе, при  $t=50^{\circ}\text{C}$ .

Диаграммы представлены на рисунках 6 - 11.

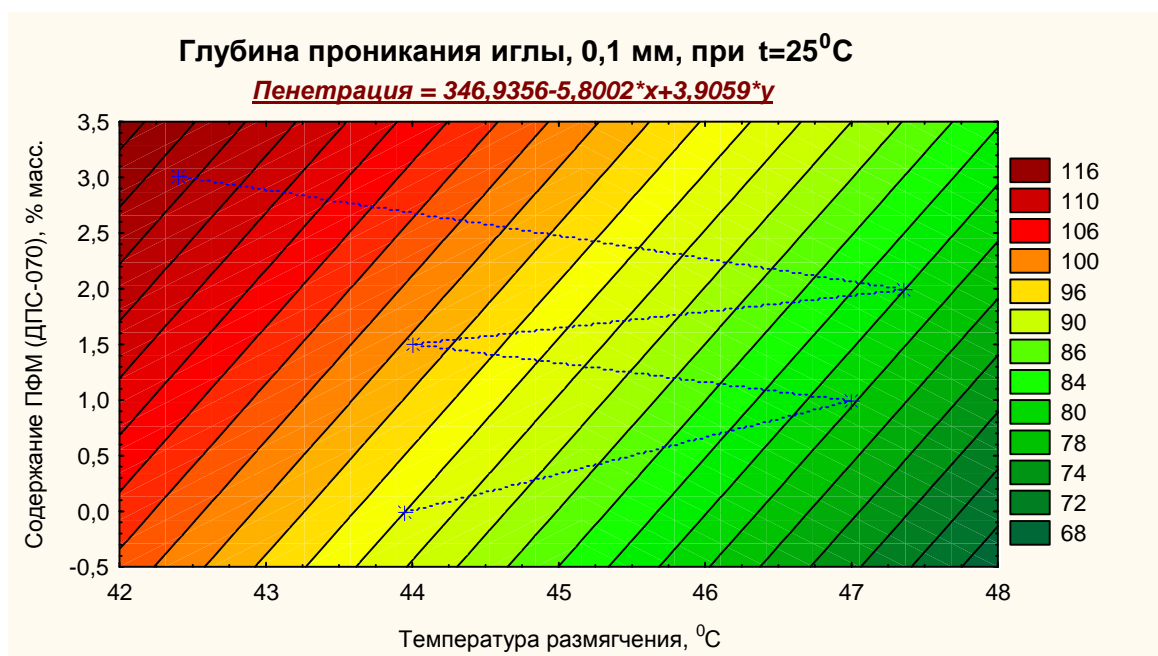


Рисунок 6 – Зависимость пенетрации и температуры размягчения вяжущего от содержания модификатора

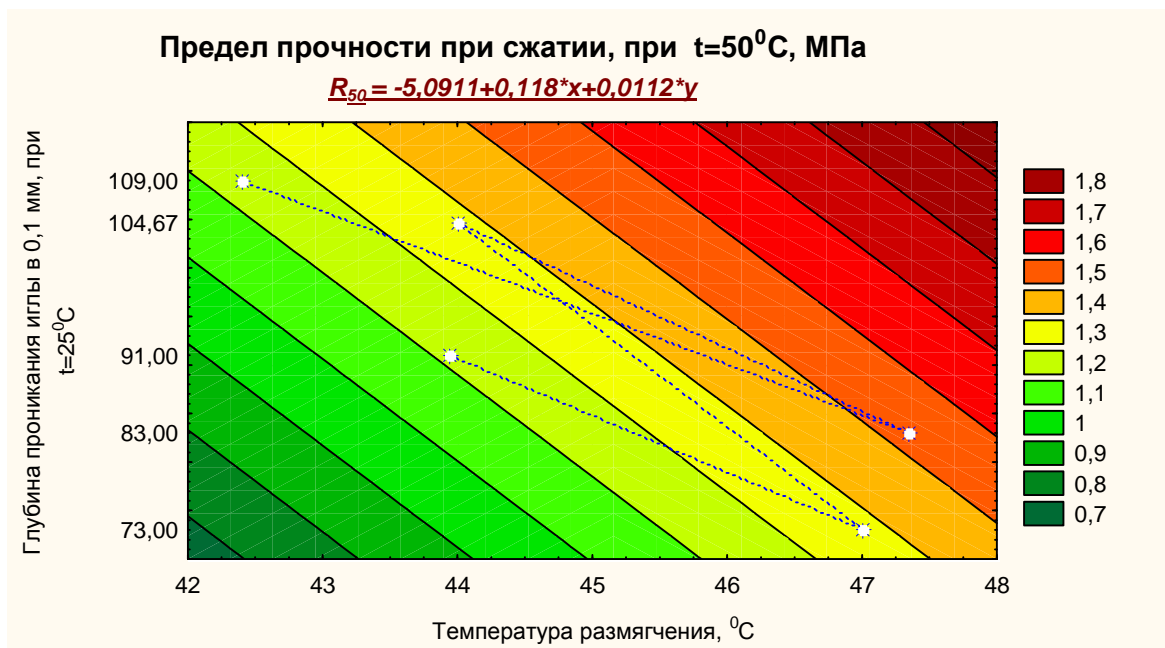


Рисунок 7 – Зависимость предела прочности при сжатии  $R_{50}$  асфальтобетона на основе модифицированного вяжущего от содержания модификатора пенетрации и температуры размягчения

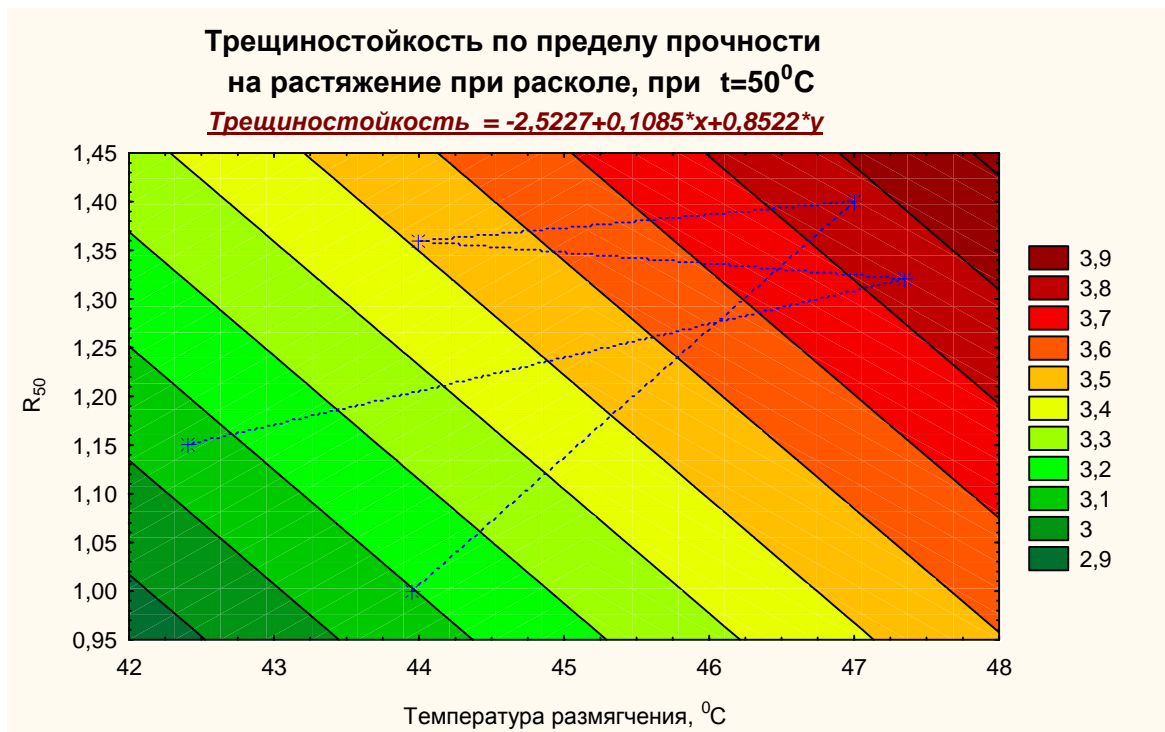


Рисунок 8 – Зависимость трещиностойкости асфальтобетонных покрытий на основе модифицированного вяжущего от предела прочности при сжатии  $R_{50}$  и температуры размягчения

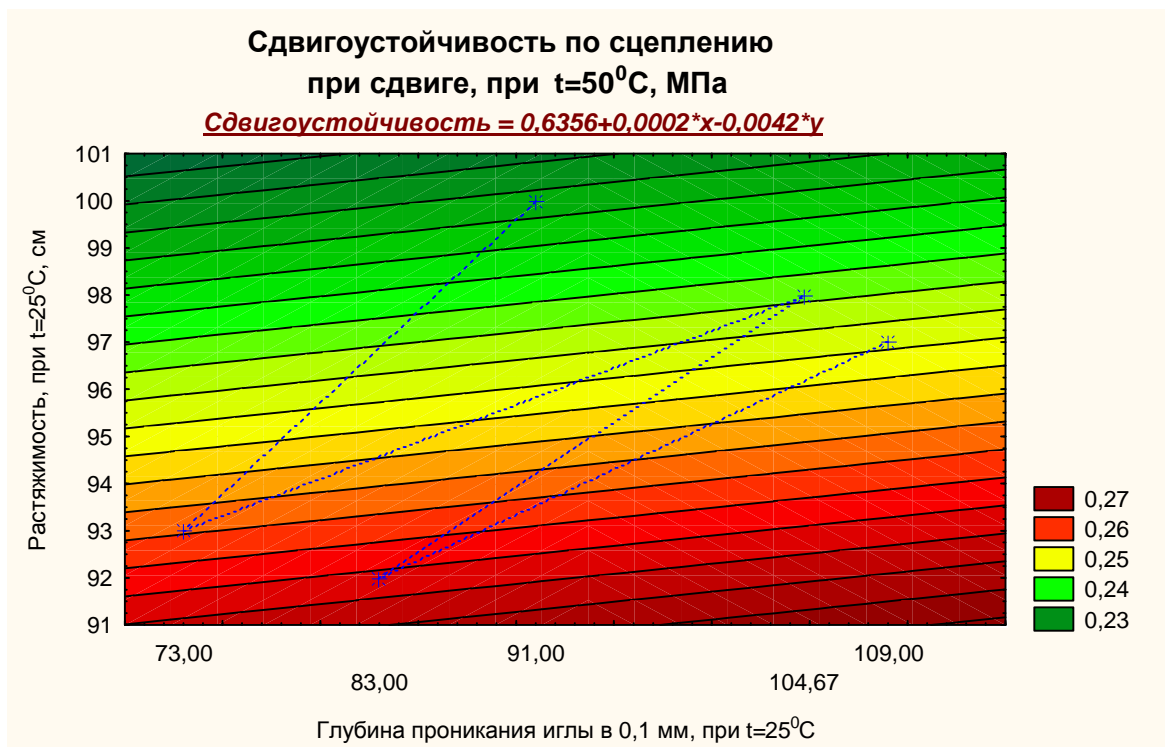


Рисунок 9 – Зависимость сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей на основе модифицированного вяжущего от физико-химических свойств битума

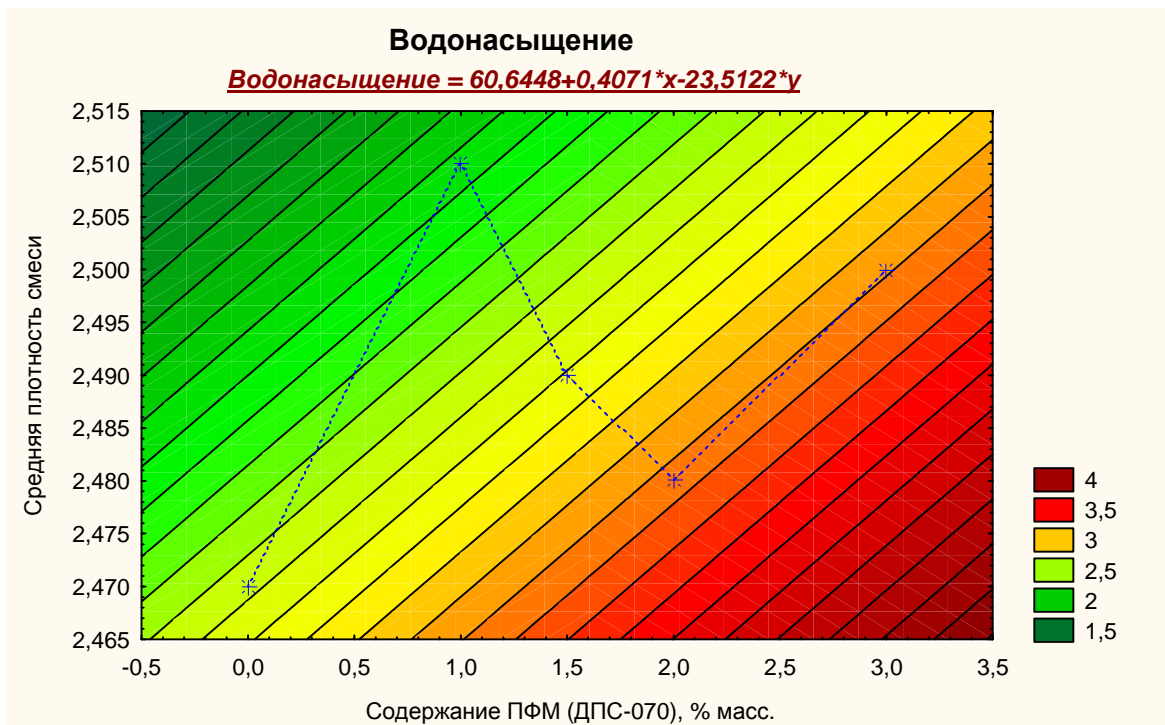


Рисунок 10 – Зависимость водонасыщения асфальтобетонных смесей на основе модифицированного вяжущего от средней плотности смеси и содержания ПФМ в битуме

Далее произведем **вычисления многоуровневых корреляций** с построением графика по одному из указанных выше свойств, рисунок 6, зависимость пенетрации и температуры размягчения вяжущего от содержания модификатора.

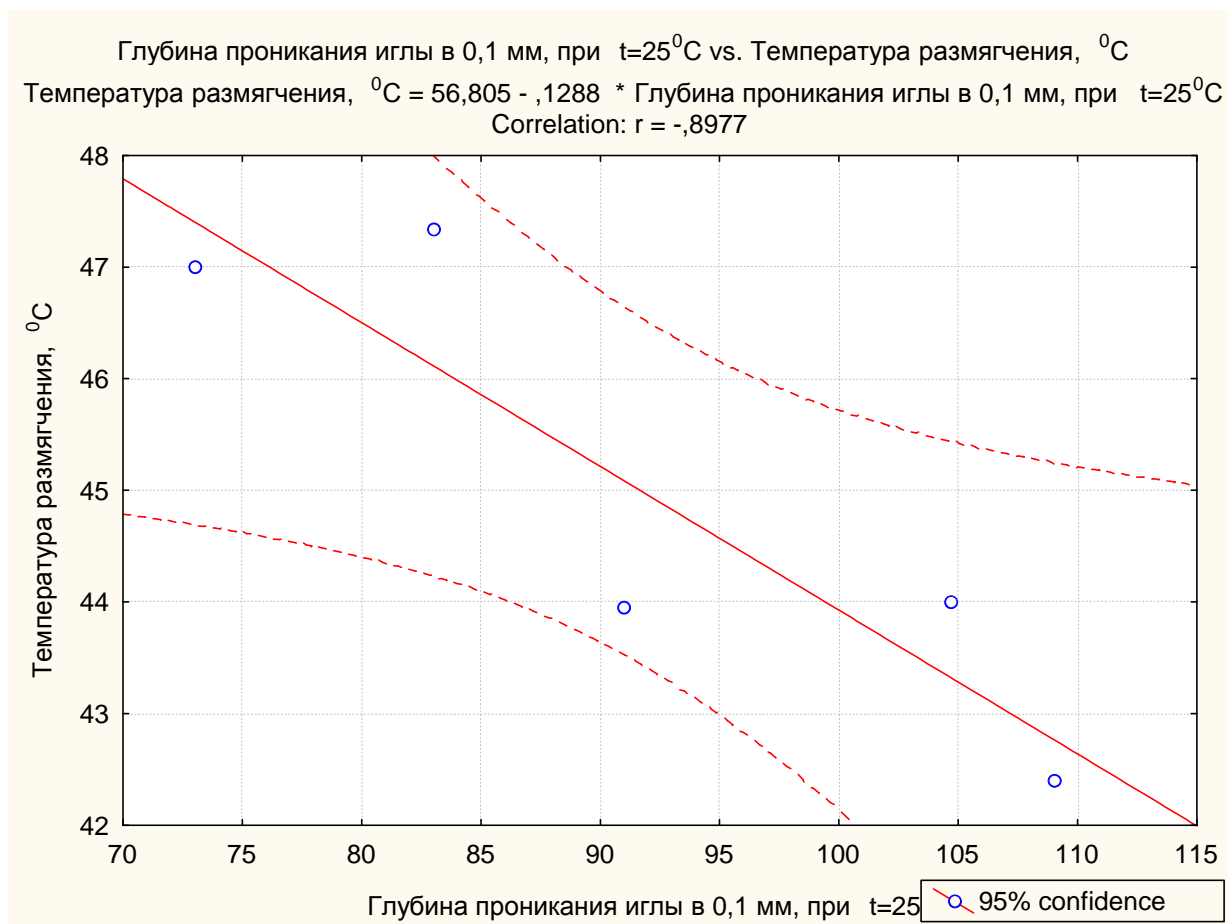


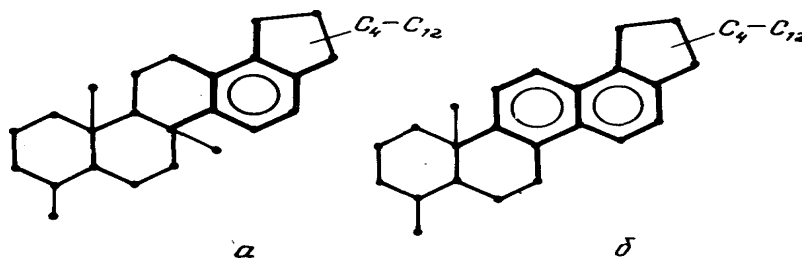
Рисунок 11 – Зависимость пенетрации от температуры размягчения вяжущего

Таким образом, с увеличением глубины проникания иглы температура размягчения снижается что, в общем говорит о разжижении системы

Актуальным остаётся задача, изучения влияние группового химического состава тяжёлого нефтяного остатка на физико-химические свойства полученного битума в динамике окисления. Одним из стандартных методов анализа с целью количественного определения группового химического состава нефтяных остатков, битумов является методика ВНИИ НП, основанная на принципах жидкостной абсорбционной хроматографии, в соответствии с которой мальтены исследуемого продукта разделяются на парафинонафthenовые, моноциклоароматические, бициклоароматические, полициклоароматические углеводороды, образующие суммарную группу масел, бензольные и спиртобензольные смолы /17/. Преимущество методики заключается в возможности установления точной границы между углеводородной частью битума и

смолами, значительном сокращении времени для их разделения и в использовании доступных бензиновых фракций в качестве растворителя.

Благодаря развитию инструментальных методов физико-химического анализа и возможности использовать их для изучения столь сложных смесей природных соединений, как, битумы был разработан интегральный структурный анализ [17], основным достижением которого является доказательство того, что молекулы всех компонентов битума состоят из фрагментов. Моноциклоароматические соединения гудронов (рисунок 12,а) представлены главным образом пяти-кольчатыми конденсированными циклическими системами с 2-4 метильными и одним длинным алкильным заместителем. В циклической части этих соединений имеется одно ароматическое кольцо. Этот компонент ТНО может состоять из одного фрагмента или из двух фрагментов. В этом случае один фрагмент молекулы имеет ароматическое кольцо, а второй полностью насыщенный, то есть не имеет ароматического кольца.



а) фрагмент молекул моноциклоароматических соединений; б) фрагмент бициклоароматических соединений; • - атомы углерода.

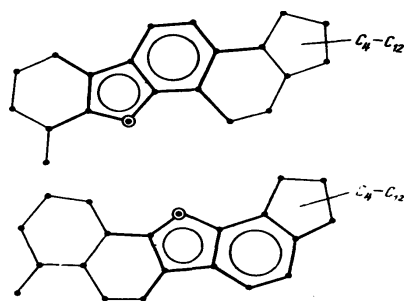
Рисунок 12 – Среднестатистические структурные фрагменты молекул масел

Бициклические ароматические углеводороды ТНО (рисунок 4.1,б) имеют молекулы, похожие на моноциклоароматические, только с двумя ароматическими конденсированными кольцами. Их молекулы также могут состоять из одного или двух фрагментов, при этом один имеет ароматические кольца, а второй нет. Менее вероятно, чтобы каждый из фрагментов содержал по одному ароматическому кольцу.

Содержание смол в исследуемых битумах колеблется от 23,5-25,7 % масс. из них бензольные смолы 7,7-8,2 % масс., доминирующим компонентом смол являются спирто-толуольные смолы 15,8-17,5 % масс.

Толуольные смолы ТНО имеют аналогичное строение молекулы, но в этом компоненте большая часть молекул бифрагментарна, причем каждый фрагмент содержит по два ароматических цикла в пяти-кольчатых конденсированных структурах (рисунок 13). Кроме того, некоторые ароматические циклы содержат атомы серы или азота, которые входят, в каждую молекулу этого компонента.

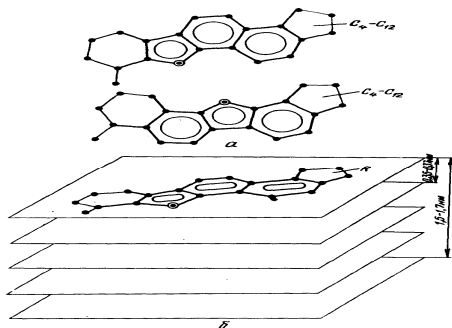
Спирто-толуольные смолы отличаются высоким содержанием гетероатомов. Монофрагментарные молекулы, содержащие в конденсированной, циклической системе один ароматический и один гетероароматический циклы проявляются хроматографически как спирто-толуольные смолы, в особенности, если эта молекула содержит еще и кислородсодержащие функциональные группы.



• - атомы углерода; ■ - атомы серы или азота

Рисунок 13 – Среднестатистические структурные фрагменты молекул толуольных и спирто-толуольных смол

алкильных заместителей и большее число гетероатомов, чем в остальных компонентах гудрона. Слоисто-блочное строение заключается в том, что фрагменты, имеющие три ароматических кольца, а, следовательно, большую плоскую часть молекулы (~1,5 нм), ориентируются параллельно друг другу на расстоянии 0,35-0,37 нм. Частица из пяти слоев имеет псевдосферическую форму диаметром 1,5-1,8 нм. По всей вероятности фрагменты удерживаются друг относительно друга за счет  $\pi$ - $\pi$  взаимодействия ароматических систем.



а) вероятные варианты среднестатистических фрагментов асфальтенов, б) схема образования из фрагментов блочных ассоциатов; • - атомы углерода; ■ - атомы серы или азота. Темным контуром обведена плоская часть фрагментов.

Рисунок 14 – Среднестатистические структурные фрагменты асфальтенов и схема объединения их в ассоциаты

фазы, превышающей коллоидные размеры /19/.

Далее представлены диаграммы группового химического состава битума с некоторыми физико-химическими свойствами, рисунок 15.

Экспериментальные данные в табличной форме, по которым производились построения и вычисления представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные испытаний в программе статистика

	Var1	Var2	Var3	Var4
1	76	18	6	27
2	68,3	22	9,7	34

Согласно современным представлениям /15/ асфальтены - это наиболее сложный компонент, основная часть асфальтенов имеет слоисто-блочное строение частиц (рисунок 14). Такая частица состоит из 4-6 фрагментов, имеющих много общего с фрагментами, составляющими молекулы масел и смол. Отличие состоит в том, что фрагмент из пяти конденсированных колец содержит три ароматических (гетероароматических) цикла, меньшее число

Псевдосферические частицы асфальтенов могут образовываться в среде, где находятся полициклические ароматические соединения типа ароматических масел и смол, которые сольватируют эти частицы, молекулы масел и смол занимают свободные ароматические плоскости по "торцам" частиц асфальтенов и препятствуют их слипанию друг с другом. Если ароматических соединений в системе становится недостаточно, наступает коагуляция асфальтенов в виде твердой

3	58	23,5	18,5	44
4	53	24,1	22,9	55
5	50,5	24,4	25,1	65
6	48,7	24,7	26,6	81
7	42,2	25,7	32,1	102

где

**Var1** – Масла, % масс.; **Var2** – Смолы, % масс.; **Var3** – Асфальтены, % масс.;

**Var4** – Температура размягчения, °С.

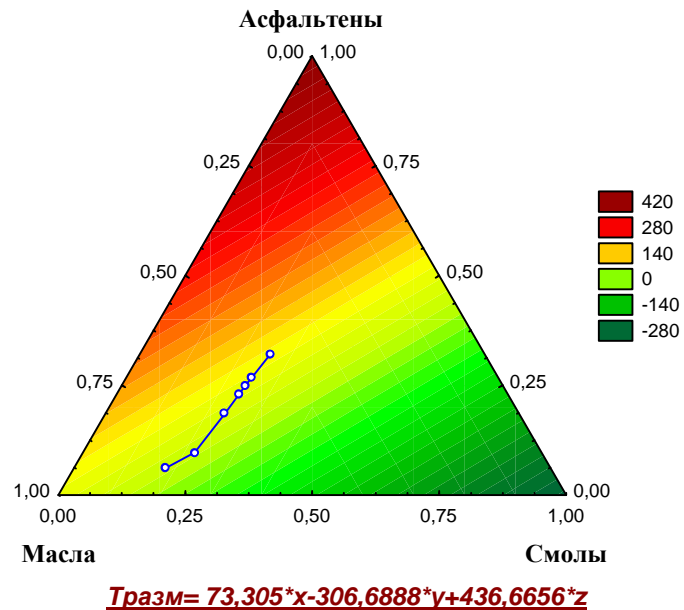


Рисунок 15 – Зависимость температуры размягчения вязущего от химического группового состава

Далее произведем **вычисления многоуровневых корреляций** с построением графика зависимости температуры размягчения вязущего от химического группового состава, рисунок 15.

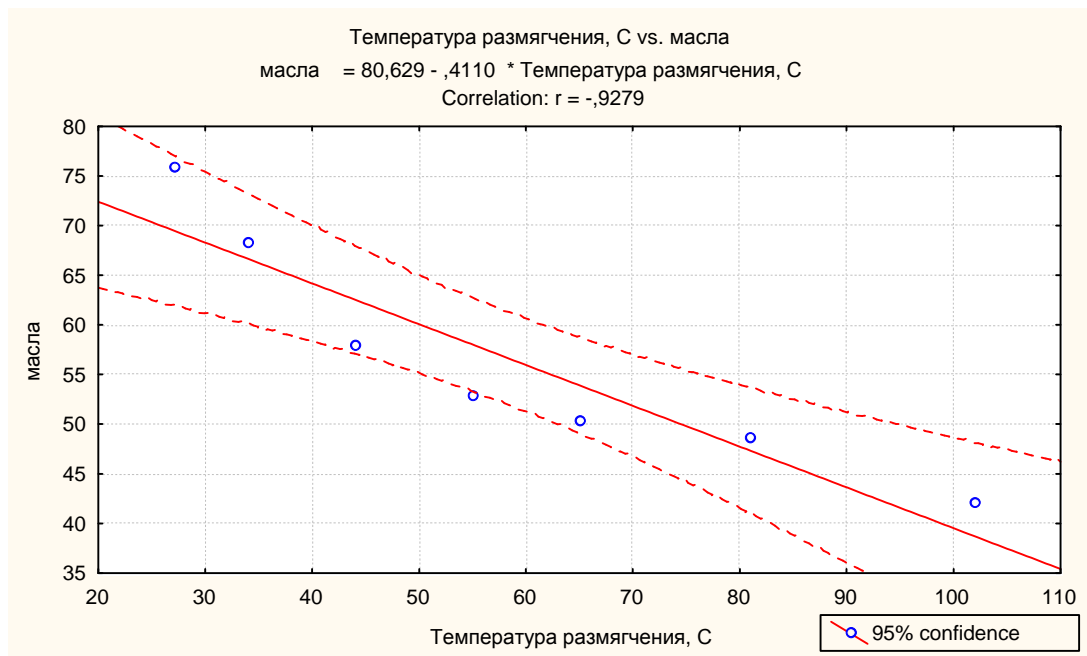


Рисунок 16 – Зависимость температуры размягчения вяжущего от содержания масла, %масс.

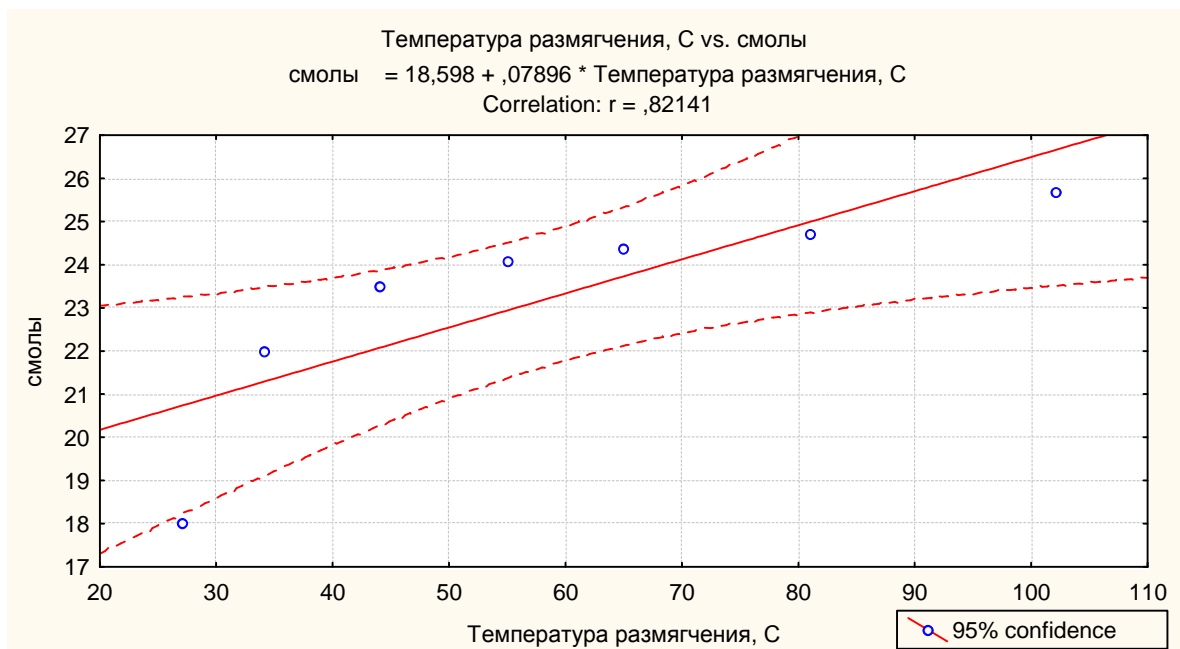


Рисунок 17 – Зависимость температуры размягчения вяжущего от содержания смол, %масс.



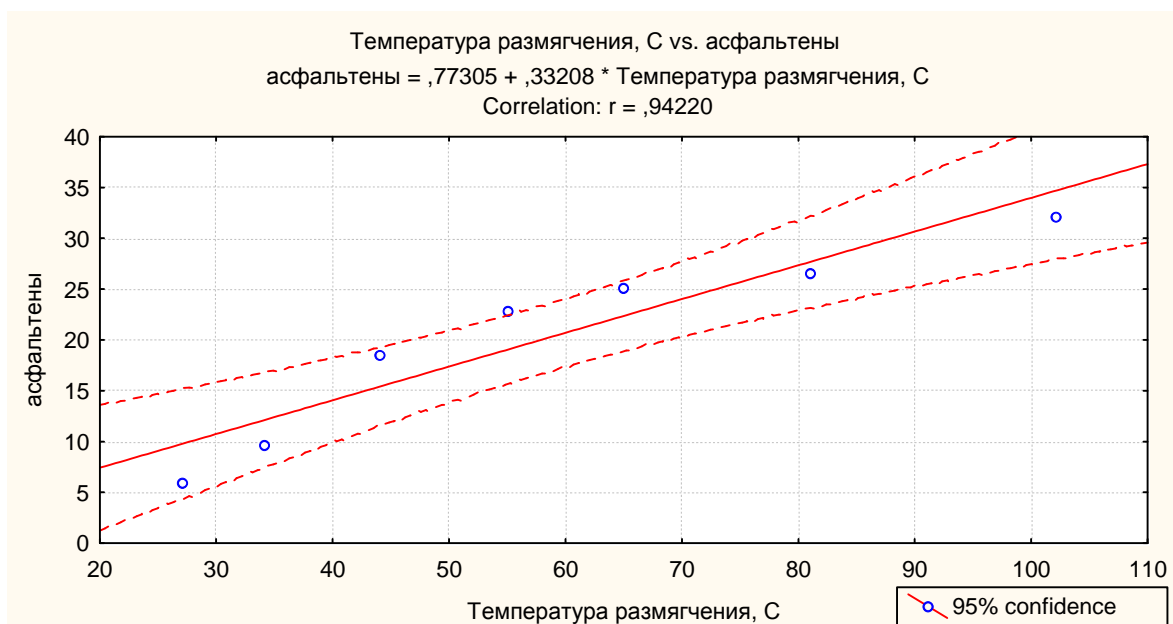


Рисунок 18 – Зависимость температуры размягчения вяжущего от содержания асфальтенов, % масс.

Эксплуатационные свойства вяжущих определяются концентрацией дисперсной фазы (асфальтенов), компонентным составом дисперсионной среды (мальтенов) и степенью их ароматичности. Наиболее простая зависимость прослеживается между температурой размягчения и составом битумов, рисунок 16- 18. В первом приближении можно считать, что температура размягчения повышается с повышением концентрации асфальтенов в битуме рисунок 18. В зависимости от концентрации асфальтенов битумы образуют соответственно золь, золь-гель или гель-структуру. Для разрушения этих структур требуется разная энергия, поэтому битумы с большим содержанием асфальтенов, имеющие гель-структуру, имеют более высокую температуру размягчения (например, битумы марки БНИ V).

В целом, по проведенным исследованиям можем сделать вывод о тесной взаимосвязи группового химического состава битумов с их эксплуатационными характеристиками. Сравнивая физико-химические свойства исследуемых битумов с требованиями соответствующей нормативной документации, предполагается улучшение низкотемпературных и адгезионно-прочностных свойств. Это связано с большим количеством парафиновых углеводородов, наличие которых ярко выражено в составе.

Таким образом, изучение группового химического состава битумов и их эксплуатационных характеристик, дает нам сведения об их качестве. На основе этих данных разработан модификатор для устранения недостатков и комплексного улучшения свойств битумных вяжущих для асфальтобетонных смесей, таблица 1.

Исходя из экспериментально полученных данных и их анализа в пакете программы “STATISTICA” были определены оптимальные концентрации модификатора в вяжущих для асфальтобетонных смесей по физико-химическим и физико-механическим свойствам. Все результаты явились значимыми из проведенного анализа расчетов по программе “STATISTICA”.

Испытания показали, что физико-механические свойства асфальтобетонов на их основе значительно превышают по качеству свойства асфальтобетонов на основе исходных битумов. При правильном подборе минеральной части и количества вяжущего, асфальтобетон на основе модифицированных битумов соответствует требованиям ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон» и может применяться для строительства автодорог в нашей климатической зоне. Так же был изучен групповой химический состав исходного вяжущего с целью выявления свойств, не удовлетворяющих требованиям нормативной документации, а также, выбора подхода модифицирования, компонентов модификатора и условий смешения.

Исходя из результатов работы, был разработан универсальный полифункциональный модификатор к вяжущим для дорожного покрытия и может быть использован в дорожном и аэродромном строительстве.

### **Список использованных источников**

1 Получение композиционных материалов на основе битума и совершенствование битумного производства в России [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://inozemtsev.euro.ru/Litobzor\\_bitum.html](http://inozemtsev.euro.ru/Litobzor_bitum.html), свободный.

2 Разработка технологий получения универсальных полифункциональных добавок для битумов и битумных материалов / А. Ф. Кемалов [и др.] // Тез. докл. 6 научн. техн. конф. Томск, 2006 г. – Томск: ТИХН, 2006. – С. 16 – 17.

3 Полякова С. В. Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве / С. В. Полякова // Стройпрофиль. – 2001. – №10. – С. 12 – 13.

4 Смирнов Н. А. Новая жизнь «выжатых» битумов / Н. А. Смирнов // Дороги России XXI века. – 2002. – №6. – С. 70 – 78.

5 Гезенцвой Л.Б. Дорожный асфальтобетон. – 2-е изд-е, перераб. и доп. / Л.Б. Гезенцвой, Н.А. Горелышева. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.

6 Печеный, Б.Г. Битумы и битумные композиции / Б.Г. Печеный. – М.: Химия, 1990. – 257 с.

7 Маргайлик Е. И. Модифицированные дорожные вяжущие, применяемые во Франции / Е. И. Маргайлик // Строительство и недвижимость. – 2005. – №3. – С. 18 – 21.

- 8 Худякова Т. С. Особенности структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами / Т. С. Худякова, А. Ф. Масюк, В. В. Калинин // Дорожная техника. – 2003. - №5. – С. 43 – 51.
- 9 Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов / И.Б. Грудников. – М.: Химия, 1983. – 192 с.
- 10 Полякова С. В. Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве / С. В. Полякова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – №1. – С. 15 – 18.
- 11 Гун Р.Б. Нефтяные битумы / Р. Б. Гун. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
- 12 Колбановская, А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.
- 13 Бернштейн А. В. Физико-химическая механика дисперсных структур / А. В. Бернштейн, Е. М. Нашиванко, М. И. Кучма. – М.: Наука, 1966. – 150 с.
- 14 Кемалов Р.А. Модифицированные специальные битумы и лакокрасочные материалы на их основе: дис. ... канд. тех. наук / Р.А. Кемалов.- Казань, 2003.-192 с.
- 15 Ахметов, С.А. Физико-химическая технология глубокой переработки нефти и газа/ С.А. Ахметов. – Уфа: Изд-во ЦГНТУ, 1997. – 304с.
- 16 <http://www.statsoft.ru>
17. Руденская, И.М. Нефтяные битумы / И.М. Руденская. – М.: Росвузиздат, 1963. – 42 с.