

УДКК 691.16: 539.611

СВЯЗЬ КОГЕЗИИ СО СТАНДАРТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Я.И. Пыриг, с.н.с., к.т.н., А.В. Галкин, с.н.с., к.т.н.,

В.А. Золотарев, проф., д.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрена связь когезии как фундаментального показателя качества битумных вяжущих с показателями, нормируемыми техническими условиями на вязкие нефтяные дорожные битумы, – пенетрацией, температурой размягчения, остаточной пенетрацией. Установлены когезионно-пенетрационные зависимости битумных вяжущих, на основании которых предложено нормирование показателя когезии для битумов разных марок, в соответствии с номенклатурой ДСТУ 4044-2001.

Ключевые слова: битум, когезия, пенетрация, температура размягчения.

ЗВ'ЯЗОК КОГЕЗІЇ ЗІ СТАНДАРТНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ

Я.І. Пиріг, с.т.с., к.т.н., А.В. Галкін, с.н.с., к.т.н., В.О. Золотарьов, проф., д.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто зв'язок когезії як фундаментального показника якості бітумних в'язучих з показниками, нормованими технічними умовами на в'язкі нафтові дорожні бітуми, – пенетрацією, температурою розм'якшеності, залишковою пенетрацією. Встановлено когезійно-пенетраційні залежності бітумних в'язучих, на основі яких запропоновано нормування показника когезії для бітумів різних марок, згідно з номенклатурою ДСТУ 4044-2001.

Ключові слова: бітум, когезія, пенетрація, температура розм'якшеності.

CONNECTION OF COHESION WITH STANDARD QUALITY CHARACTERISTICS OF BITUMEN BINDERS

Ya. Pyrih, Ph. D. (Eng.), Sr. Researcher, A. Galkin, Ph. D. (Eng.), Sr. Researcher,

V. Zolotariov, Prof., D. Sc. (Eng.),

Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The connection of cohesion as a fundamental characteristic of the bituminous binders quality with characteristics regulated by technical requirements for paving grade petroleum road bitumen – penetration, softening point, and residual penetration is considered. Cohesion-penetration dependencies of bituminous binders were established. On their basis it was proposed to normalize the cohesion index for different penetration grade bitumens in accordance with the DSTU 4044-2001 specification.

Key words: bitumen, cohesion, penetration, softening point temperature.

Введение

Когезия битумных вяжущих характеризует сопротивление сдвигу слоев вяжущего на молекулярном уровне. Эта характеристика, наравне с адгезией и вязкостью, является

фундаментальным показателем, дающим объективные представления о механическом поведении органических вяжущих при положительных температурах. Стандартные показатели качества битумных вяжущих должны прогнозировать деформационные и прочнос-

тные показатели качества асфальтобетонов, изготовленных на этих вяжущих. Но, поскольку нормированные стандартами показатели качества вяжущих, такие как пенетрация, температура размягчения, температура хрупкости, ductility, являются условными показателями, зависящими от условий проведения испытания (температуры, скорости деформирования и т.п.), и не воссоздают реальное механическое поведение битумных вяжущих в составе асфальтобетонных слоев дорожной одежды, они не могут быть объективными показателями, которые позволяют прогнозировать свойства асфальтобетонов. Вместе с тем когезия является показателем, на основании которого можно прогнозировать сдвигоустойчивость и колееобразование асфальто- и асфальтополимербетонов.

Анализ публикаций

Исследованиями когезии битумов занимались отечественные ученые (А.С. Колба-новская, Р.Б. Гунн, В.В. Фрязинов, В.А. Золотарев, В.В. Маляр и другие), которыми была установлена физическая сущность показателя и изучены его зависимости от разнообразных факторов (структуры и вязкости битума, температуры, скорости деформирования и прочих) [1–4].

Актуальность применения показателя «когезия» для оценки свойств битумных вяжущих подтверждается работами американских, европейских и российских исследователей, направленными на создание приборов и методов определения когезии [5–8].

В Европейском Союзе в настоящее время действуют три нормативных метода определения когезии битумов и битумов, модифицированных полимерами: определение когезии методом маятника Vialit согласно EN 13588-2008 «Bitumen and bituminous binders. Determination of cohesion of bituminous binders with pendulum test»; косвенное установление когезии как энергии, затраченной на растяжение, при определении ductility согласно EN 13587-2010 «Bitumen and bituminous binders. Determination of the tensile properties of bituminous binders by the tensile test method» и EN 13589-2013 «Bitumen and bituminous binders. Determination of the tensile properties of modified bitumen by the force ductility method». В то же время отсутствие показателя

когезии в общеевропейских технических условиях на дорожный битум (EN 12591-2009 «Bitumen and bituminous binders – Specifications for paving grade bitumens») указывает на несовершенство этих методов, что подтверждается данными европейских ученых [9], и обуславливает необходимость дальнейшего поиска более удачного метода определения когезии.

Цель и постановка задачи

Целью данной работы было установление зависимостей между когезией и стандартными показателями качества битумов, нормируемыми действующими техническими условиями ДСТУ 4044-2001, и разработка нормативных требований к показателю когезии битумов.

Экспериментальные данные

На кафедре технологии дорожно-строительных материалов и химии (ТДСМиХ ХНАДУ) с 1985 г. ведутся работы по созданию объективного и простого производственного метода определения когезии битумов и битумов, модифицированных полимерами. В 2010 г. совместно с Государственным научно-техническим центром инспекции качества и сертификации дорожной продукции «Доркачество» сконструирован и изготовлен когезиометр модели КХД [10], который в настоящее время имеет уже 3 модификации.

Литературные [1, 2] и полученные на кафедре ТДСМиХ экспериментальные данные (рис. 1) показывают, что для объективного сопоставления экспериментальных значений когезии они должны быть получены при равной толщине битумного слоя и равной относительной скорости деформирования.

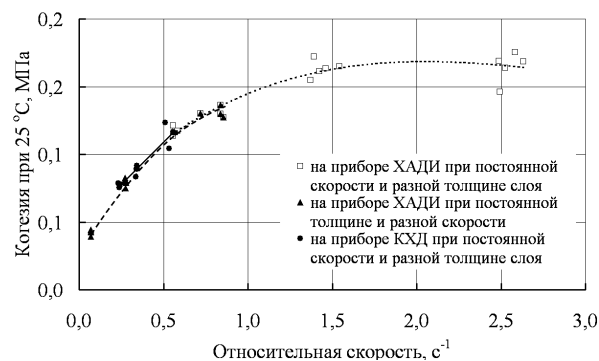


Рис. 1. Сравнительные результаты определения когезии битумов, полученные на разных когезиометрах

Благодаря 30-летней плодотворной работе, проведенной на кафедре ТДСМиХ ХНАДУ, была сформирована база данных вяжущих, содержащая информацию о показателях когезии битумов (разных марок, разных производителей – отечественных и импортных, полученных по разной технологии – окислением, дистилляцией, компаундированием, содержащих различные добавки) и ее связи с пенетрацией, температурой размягчения. Полученная база насчитывает данные о 130 битумах, значения пенетрации которых варьируются от $19 \times 0,1$ мм до $435 \times 0,1$ мм, и 85 битумах, модифицированных полимерами.

Согласно литературным [1–2, 11] и накопленным экспериментальным данным существует возможность сделать вывод о нормировании показателя когезии битумов и битумов, модифицированных полимерами, в зависимости от стандартных показателей качества, прежде всего пенетрации.

Зависимости когезии битумов от пенетрации и температуры размягчения имеют нелинейный характер (рис. 2). Выборочный коэффициент детерминации зависимости логарифма когезии от логарифма пенетрации составляет 99,1 %, а логарифма когезии от логарифма температуры размягчения – 99,3 %, что свидетельствует о сильной тесноте связи между приведенными характеристиками.

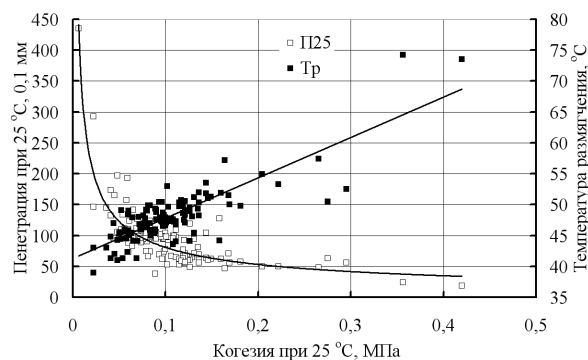


Рис. 2. Зависимость пенетрации и температуры размягчения от когезии битумов

Для установления зависимости когезии битумов, определенной при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости деформирования 1 с^{-1} , от пенетрации и температуры размягчения был проведен регрессионный анализ путем последовательной аппроксимации связи между выбранными показателями следующими видами уравнений: гиперболой первого порядка, гиперболой второго порядка, степенного вида, показав-

тельного вида, экспоненциального вида. Для регрессионного анализа принимались битумы, показатели качества которых отвечали требованиям норм ДСТУ 4044-2001 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия».

На основе результатов проведенного регрессионного анализа установлено, что лучше всего зависимости когезии от пенетрации и когезии от температуры размягчения описываются уравнениями степенного типа. Это подтверждается наиболее высокими значениями индексов детерминации и корреляции и наименьшими погрешностями аппроксимации (индексы детерминации соответственно составляют 0,545 и 0,49, индексы корреляции – 0,738 и 0,7, погрешности аппроксимации – 21,57 % и 22,39 %).

Принимая во внимание высокую чувствительность показателя глубины проникания иглы при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ к особенностям свойств битумов, а также учитывая, что пенетрация и когезия могут быть отнесены к прочностным характеристикам механических свойств битума [11], было принято нормирование когезии битумов по когезионно-пенетрационной зависимости.

Используя результаты статистической обработки зависимостей когезии от пенетрации битумов различных марок, согласно номенклатуре ДСТУ 4044-2001, были установлены следующие ее минимальные значения для марок:

- БНД 40/60 – не менее 0,12 МПа;
- БНД 60/90 – не менее 0,08 МПа;
- БНД 90/130 – не менее 0,06 МПа;
- БНД 130/200 – не менее 0,04 МПа.

Полученные результаты были положены в основу разработки «Изменения № 4» к ДСТУ 4044-2001 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия», выполненной кафедрой ТДСМиХ по заказу Государственного агентства автомобильных дорог Украины.

Рациональность выбора нормирования по маркам показателя когезии, в соответствии с когезионно-пенетрационной зависимостью, подтверждается также зависимостью когезии от показателя пенетрации битума, подвергшегося старению как по применяемому в отечественной практике методу

(ГОСТ 18180-72 [12]), так и по распространенному в мире методу RTFOT [13]. Зависимости когезии от пенетрации битумов до старения и после старения, построенные по данным [14], подтверждают неизменность формы и вида аппроксимационных зависимостей когезии от показателя пенетрации битума (рис. 3).

Когезия коррелирует с показателем глубины проникания иглы битумов как до старения, так и подвергшихся старению. Данные, приведенные на рис. 3, подтверждают более жесткие условия старения по методике RTFOT, что подтверждается меньшими значениями остаточной пенетрации и, соответственно, большим увеличением значений показателей когезии.

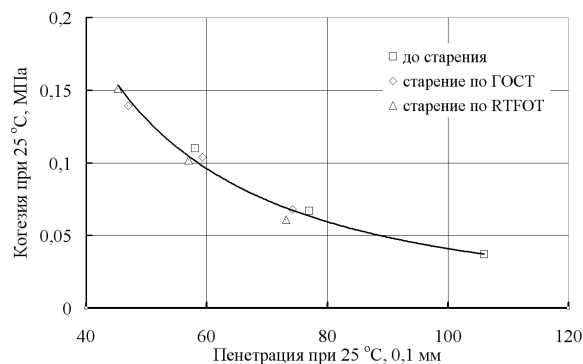


Рис. 3. Когезионно-пенетрационная зависимость битумов производства Мозырьского НПЗ (Республика Беларусь) по [14]

Когезионно-пенетрационные зависимости битумов, при идентичных условиях определения когезии (толщине слоя и скорости деформирования), чувствительны к сырьевой основе и технологии получения битумов. Данные, приведенные на рисунке 4, свидетельствуют о более высоких значениях когезии, при равенности значений пенетрации битумов, полученных путем дистилляции (битумы Nupas шведской фирмы «Akzo Nobel»). Улучшенные битумы ОАО «Мозырьский нефтеперерабатывающий завод» производят путем вакуумной перегонки мазута и последующего непрерывного окисления гудрона кислородом воздуха в аппаратах колонного типа, что близко по технологическим особенностям к производству дистилляционных битумов.

В соответствии с этим когезионно-пенетрационные зависимости битумов Nupas

и ОАО «Мозырьский НПЗ» близки, в то время как когезионно-пенетрационная зависимость битумов ПАО «Укртатнафта» располагается ниже.

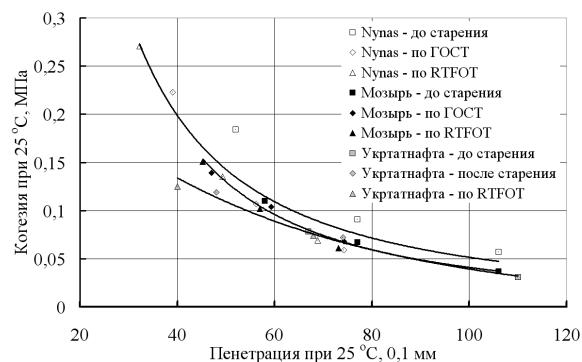


Рис. 4. Когезионно-пенетрационные зависимости битумов разных производителей по [14]

Эти различия проявляются в большей мере для вязких битумов с пенетрацией до $70 - 80 \times 0,1$ мм. При повышении пенетрации, т.е. при переходе битумов от реологического типа «золь-гель» к типу «золь», различия в технологии производства сказываются в меньшей степени, что согласуется с данными о существенном превышении значений когезии битумов типа «золь» по отношению к значениям когезии битумов типа «золь-гель» и тем более «гель», обоснованными в [1].

Учитывая, что до и после старения когезионно-пенетрационные зависимости битумов, описываемые степенным уравнением, совпадают, значение остаточной пенетрации может быть использовано для установления расчетным методом значений когезии битумов, подвергнутых технологическому старению. Это может способствовать прогнозированию сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий.

Выводы

На основе экспериментальных значений когезии битумов, полученных разными производителями из различного сырья и по различной технологии изготовления, пенетрация которых изменялась в интервале от $19 \times 0,1$ мм до $435 \times 0,1$ мм, установлены зависимости когезии от глубины проникания иглы и температуры размягчения, отвечающие уравнениям степенного типа с высокими значениями индексов детерминации и корреляции.

Разработан проект Изменения № 4 к ДСТУ 4044-2001 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия», в который включены минимальные значения когезии битумов для всех марок, согласно номенклатуре ДСТУ 4044-2001.

Экспериментально установлена воспроизводимость когезионно-пенетрационной зависимости битумов до и после старения, как по методу тонкого слоя, так и по методике перетекающей пленки, обдуваемой воздухом (RTFOT).

Литература

1. Колбановская А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.
2. Гун Р.Б. Нефтяные битумы / Р.Б. Гун. – М.: Химия, 1973. – 432 с.
3. Маляр В.В. Спосіб оцінки когезійної міцності бітуму / В.В. Маляр // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1988. – Вип. 43. – С. 49–52.
4. Золотарев В.А. Технологические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Т. 1 / В.А. Золотарев. – С.Пб: Славутич, 2012. – 148 с.
5. Babcock Gregg B. Study of Asphalt Binders using Lap Shear Bonds / Gregg B. Babcock, Robert J. Statz, Diug S. Larson // Proceedings of the 43rd Annual Conference of Canadian Technical Asphalt Association / Canadian Technical Asphalt Association. – Vancouver, Canada. – 1998. – Vol. XLIII. – P. 1–15.
6. Васильев Ю.Э. Разработка системы и методики для численной оценки когезионной и адгезионной прочностей битума / Ю.Э. Васильев, И.В. Субботин, С.М. Шелест, А.Д. Степанищев // Наукoведение. – № 5 (24). – 2014. – С. 1–13.
7. Ahmad N. Asphalt mixture moisture sensitivity evaluation using surface energy parameters / N. Ahmad. – Dissertation (PhD). – University of Nottingham, Nottingham, 2011. – 286 p.
8. Canestrari F. Adhesive and Cohesive Properties of Asphalt-Aggregate Systems Subjected to Moisture Damage / F. Canestrari, F. Cardone, A. Graziani, F.A. Santagata, Hussain U. Bahia // Road Materials and Pavement Design. – 2010. – Vol. 11. – P. 11–32.
9. Eurobitume TF Data Collection. Position Paper on Test Methods used during the Data Collection. – Brussels, Belgium. European Bitumen Association, 2009. – 37 p.
10. Пыриг Я.И. Определение когезии битумных вяжущих на когезиометре КХД-1 / Я.И. Пыриг, А. В. Галкин, В. А. Золотарев // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. – Вип. 1. – С. 71–77.
11. Золотарьов В.О. Глибина проникнення голки як характеристика опору бітуму зсуву / В.О. Золотарьов // Автошляховик України. – 2012. – № 1. – С. 25–29.
12. ГОСТ 18180-72 (СТ СЭВ 4543-84). Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева (с Изменениями № 1, 2, 3). – Введ. 1974-01-01. – М.: Стандартиформ. – 4 с.
13. EN 12607-1:2007 Bitumen and bituminous binders. Determination of resistance to hardening under the influence of heat and air. – Part 1: RTFOT method. – Brussels: European committee for standardization, 2007. – 18 p.
14. Золотарев В.А. Сравнительное исследование окисленных и остаточных битумов в статическом и динамическом режимах старения / В.А. Золотарев, И.В. Копинец // Дороги и мосты. – Вып. 35. – 2016. – С. 215–232.

Рецензент: С.Н. Толмачёв, профессор, д.т.н., ХНАДУ.