

УДК 691.16: 539.611

Я. И. ПЫРИГ, А. В. ГАЛКИН, В. А. ЗОЛОТАРЕВ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОГЕЗИИ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ НА КОГЕЗИОМЕТРЕ КХД-1

Доказана целесообразность на основе анализа работы когезиометров СоюздорНИИ (Россия), фирмы Du-Pont (США), метода Vialit (EN 3588:2008 и EN 12591-2009) определение когезии на когезиометре ХАДИ, в котором вместо жестких металлических пластин использованы высокопрочные полиэтилентерефталатные пленки по схеме плоскость-плоскость при фиксировании температуры и скорости деформирования 1 с^{-1} по максимальному усилию разрыва слоя битума толщиной 200 мкм. Исследованы и определены: временные параметры хранения образцов между полимерными пластинками ($\tau > 16$ часов = 24 часа); диаметр образцов битума от 12 до 14 мм, что отвечает площадям образцов органических вяжущих от 70 до 100 мм². Данные параметры обеспечивают стабильное значение когезии органических вяжущих. Построены когезионно-пенетрационные и когезионно-температурные зависимости для битумов золь и золь-гель, полученных атмосферно-вакуумной перегонкой и термоокислением. Для Государственного агентства автомобильных дорог Украины разработана и утверждена «Методика определения когезии битумных вяжущих на когезиометре ХНАДУ-Доркачество (КХД-1)».

когезия, когезиометр, битум, битум, модифицированный полимером, температура, скорость деформирования, органические вяжущие, перегонка, термоокисление

ВВЕДЕНИЕ

Существующая в настоящее время система прогнозирования эксплуатационных характеристик асфальтобетона в покрытии основана на учете его прочностных показателей. Поскольку качество асфальтобетонов преимущественным образом определяется свойствами битумных вяжущих, нормативные документы на них должны включать прочностной показатель. В качестве такого показателя целесообразно использовать когезию, характеризующую сопротивление слоев физического тела перемещению друг относительно друга на молекулярном уровне.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ БИТУМОВ

Существуют две схемы определения когезии битумных вяжущих – на сдвиг и на разрыв. Более приемлемой представляется схема определения когезии на одно- или двухплоскостной сдвиг, поскольку она позволяет определить прочностное значение когезии, а не энергетическое как в случае схемы определения когезии на разрыв (рис. 1).

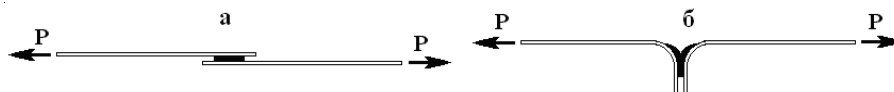


Рисунок 1 – Схемы испытаний по определению когезии: а – на одноплоскостной сдвиг; б – на разрыв (двухплоскостной сдвиг).

В СССР впервые для изучения когезии битумов был использован когезиометр в Союздории [1, 2], когезионная прочность на котором определялась усилием, необходимым для разрыва тонкого слоя битума, находящегося в зазоре между двумя плоскопараллельными металлическими или каменными пластинами. Основным недостатком этого прибора была сложность в обеспечении параллельности подложек-пластин, что могло приводить к снижению точности получаемых результатов и их значительному разбросу. Кроме того, к недостаткам этого прибора может быть отнесено испытание с постоянной скоростью загрузки.

Эти недостатки были устранены в сконструированном в 1985 г. в ХАДИ когезиометре, в котором вместо жестких металлических пластин использовались высокопрочные полиэтилентерефталатные пленки [3]. Когезия на приборе ХАДИ определялась по схеме плоскость – плоскость при фиксированной скорости деформирования равной 1 с^{-1} по максимальному усилию разрыва слоя битума толщиной 200 мкм. Этот прибор до настоящего времени используется на кафедре ТДСМ для определения когезионной прочности битумных вяжущих.

В 2007 г. фирмой Du-Pont (США) был предложен когезиометр типа плоскость-плоскость [4], в котором, в качестве подложек, использовались стеклянные пластины, скорость растяжения которых составляла 0,51 см/мин. В странах ЕС показатель когезии битумных вяжущих, определяют методом маятника (методом Vialit) в соответствии с EN 3588:2008 [5] и EN 12591-2009 [6]. Определение когезии битума по методу Vialit осуществляется по схеме плоскость – плоскость [5]. При этом слой органического вяжущего толщиной 1 мм размещается между двумя металлическими пластинами. Смысл испытания состоит в том, что маятник, падая с фиксированной высоты, ударяет по верхней пластине, отрывая ее от нижней. Показателем когезии служит угол отклонения маятника от вертикали. Величина когезии определяется как энергия отрыва в Дж/см². Получаемые значения когезии, в силу того, что определены при высокой скорости приложения нагрузки, физически менее оправданы, чем значения когезии, определенные на когезиометре при фиксированной скорости сдвига.

Кроме того, европейские нормы на битумы, модифицированные полимерами, рекомендуют еще два метода определения когезии путем растяжения образца вяжущего в модифицированном дуктилометре. Такое разнообразие критериев и методов определения когезии с одной стороны свидетельствует о важности этого показателя битумов, а с другой о неопределенности критериев, используемых в странах ЕС.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Показатель когезии по инициативе кафедры ТДБМ ХНАДУ был заложен в требования первого отечественного стандарта – ДСТУ Б В.2.7-135:2007 «Битумы, модифицированные полимерами». Поскольку на момент создания ДСТУ не существовало стандартного прибора для определения когезии, который бы мог использоваться в производственных условиях, в ДСТУ не были включены количественные показатели когезии. Эта работа должна была быть закончена после «накопления данных», т. е. после разработки стандартного прибора и методики определения когезии битумных вяжущих.

Кафедрой ТДСМ ХНАДУ совместно с Государственным научно-техническим центром инспекции качества и сертификации дорожной продукции «Доркачество» в 2010-2011 гг. был разработан, а ГНТУ «Доркачество» изготовлен когезиометр КХД-1. Государственное агентство автомобильных дорог Украины поручило апробацию прибора Испытательной лаборатории кафедры ТДСМ ХНАДУ. Цель апробации состояла в установлении режимов испытания, проверке чувствительности определяемого на когезиометре показателя когезии к структурному типу и консистенции битумных вяжущих и разработке методики определения когезии битумных вяжущих на когезиометре КХД-1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОГЕЗИИ БИТУМОВ И БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ, НА КОГЕЗИОМЕТРЕ КХД-1

Когезиометр КХД-1, внешний вид которого представлен на рис. 2, состоит из устройства управления, термостатирующей камеры, в которой располагается образец для испытания, отсек с встроенной тензометрической системой, IP-камеры и системы терморегуляции. Устройство управления состоит из блока управления и программного обеспечения, установленного на компьютере.

В ходе выполнения работы были выполнены исследования по проверке влияния условий подготовки образцов битумных вяжущих к испытаниям и их размеров на получаемые значения когезии. Подготовленный к испытаниям образец битума представлял собой цилиндр принятого диаметра и толщины, расположенный между двумя полиэтилентерефталатными лентами. Образцы одной



Рисунок 2 – Когезиометр КХД-1.

партии битума марки БНД 60/90 ($P_{25} = 75,0 \times 0,1$ мм, $T_p = 49,5$ °С, $T_{хр} = -15,5$ °С) Лисичанского НПЗ испытывалась через разные промежутки времени после приготовления. Полученные данные (рис. 3) свидетельствуют о том, что в течение 16 часов после приготовления образцов протекает процесс структурирования битума, выражающийся в значительном изменении значений когезии. После 16 часов выдерживания образцов битума значения когезии стабилизировались и выходили на плато.

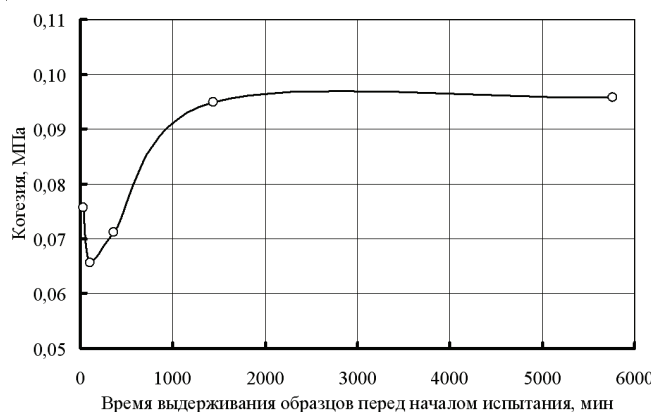


Рисунок 3 – Влияние времени хранения образцов до начала испытания на когезию битума.

Можно предположить, что время стабилизации значений когезии зависит от марки вяжущего, его структурного типа, происхождения и др. Для устранения влияния этого фактора на результаты испытаний определение когезии вяжущего выполняли после выдерживания образцов на воздухе при комнатной температуре в течение 24 часов, что заведомо больше, чем период структурирования.

Вторым фактором влияния на значение когезии битума является площадь образцов, что может быть связано с недостаточной жесткостью подложек. При изменении площади образца с 38 до 207 мм², т. е. почти в 5,5 раза, значение когезии битума изменилось в 1,33 раза в сторону уменьшения. Для минимизации этой погрешности диаметр образцов был ограничен диапазоном от 12 до 14 мм. Это отвечает диапазону площадей образцов от 70 до 110 мм², в котором когезия битума отличается не более чем на 5–8 %.

Когезия битумов существенно зависит от группового химического состава битума [1, 7], причем степень чувствительности ее к изменениям состава битумов существенно выше, чем чувствительность стандартного показателя – глубины проникания иглы, определяемой при 25 °С. Подтверждением этого являются результаты определения значений когезии, полученные для битумов разных марок и структурных типов. Они были получены в результате исследования окисленных битумов Лисичанского НПЗ марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 и БНД 130/200 и дистилляционных битумов

Нунас фирмы Akzo Nobel (Швеция) марок 40/70, 70/100, 100/150 и 160/220. Свойства битумов и полученные результаты приведены в табл. 1 и на рис. 4. Когезию вяжущих определяли при температуре 25 °С, что позволило непосредственно сопоставлять полученные данные по когезии и пенетрации.

Таблица 1 – Свойства окисленных и дистилляционных битумов

Показатели	Дистилляционные битумы				Окисленные битумы			
	НБ1	НБ2	НБ3	НБ4	ЛБ1	ЛБ2	ЛБ3	ЛБ4
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	52	79	118	182	50	75	105	172
Пенетрация при 0 °С, 0,1 мм	12	22	39	51	18	24	33	51
Температура размягчения, °С	48,3	44,7	40,8	37,3	53,8	49,5	47,0	42,6
Температура хрупкости, °С	-9	-10	-13	-15	-14	-15,5	-18	-20
Температура вспышки, °С	296	285	276	271	286	283	281	262
Дуктильность при 25 °С, см	>100	>100	>100	>100	74	>100	>100	>100
Индекс пенетрации	-1,54	-1,55	-1,74	-1,70	-0,29	-0,32	-0,01	0,36
Когезия при 25 °С, МПа	0,209	0,083	0,049	0,040	0,248	0,146	0,116	0,075

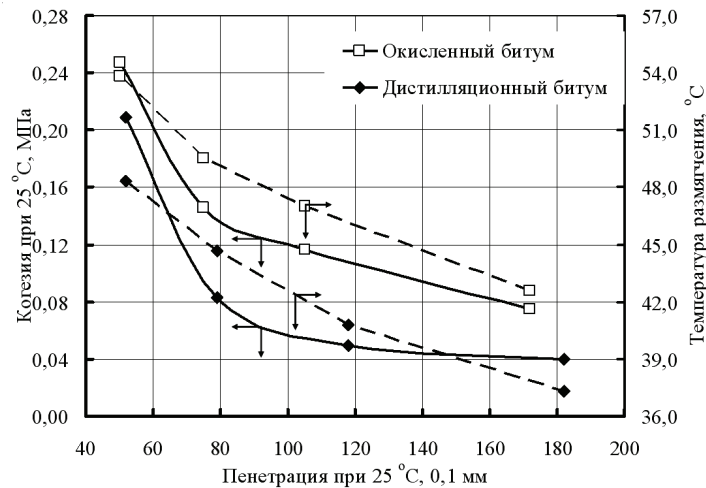


Рисунок 4 – Пенетрационные зависимости битумов.

Полученные данные свидетельствуют о подобии когезионно-пенетрационных зависимостей температур размягчения от пенетрации, однако эти зависимости имеют разный уровень чувствительности. Показатель когезии более чувствителен к структурным особенностям битумов (в 3–4 раза), нежели температура размягчения. При переходе от ЛБ1 к ЛБ4 для окисленных битумов и от НБ1 к НБ4 для дистилляционных битумов наблюдается практически одинаковое изменение значений пенетрации (в 3,44 раза окисленных и в 3,50 раза дистилляционных битумов), значения температуры размягчения также изменяются почти одинаково (в 1,26 раза окисленных и в 1,29 раза дистилляционных битумов), а значения когезии более интенсивно реагируют на структурные особенности битумов (в 3,29 раза окисленных и в 5,19 раза дистилляционных битумов).

Значительное уменьшение когезии наблюдается в диапазоне пенетрации от 40,0×0,1 до 90,0×0,1мм (рис. 4). Причинами этого могут быть два явления. Первое – завышение значений пенетрации вследствие влияния конической части пенетрационной иглы, длина которой составляет 5,4 мм. Второе – различие структуры битумов, характеризуемое уменьшением коэффициента стандартных свойств с переходом от структурного типа «гель» к типу «золь-гель», а для некоторых вяжущих даже «золь». Это несовпадение между когезией и пенетрацией, являющейся также характеристикой сопротивления сдвигу, может быть связано с несовпадением скоростей деформирования при этих испытаниях из-за различной степени аномалии вязкости битумов разных структурных типов [8]. Дальнейший рост пенетрации вяжущих в меньшей степени сказывается на показателях их когезии, что можно объяснить формированием в битумах обоих технологических типов термодинамически более устойчивой структуры «золь».

Когезионная прочность вяжущих существенно зависит от температуры (рис. 5). При этом степень изменения показателя когезии зависит от марки битумов. При увеличении температуры от 10 до 35 °С значения когезии уменьшается для битумов ЛБ1 ($P_{25} = 50,0 \times 0,1$ мм) и НБ1 ($P_{25} = 52,0 \times 0,1$ мм) в соответственно 14,1 и 32,2 раза, а для битумов ЛБ4 ($P_{25} = 172,0 \times 0,1$ мм) и НБ4 ($P_{25} = 182,0 \times 0,1$ мм) – в 144 и 53,5 раз. Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о возможности определения когезии вяжущих на когезиометре в температурном диапазоне от +5 до +35 °С. Более низкая температура ограничивается из-за малой мощности силового узла прибора, а более высокая температура – чувствительностью тензометрической системы когезиометра КХД-1.

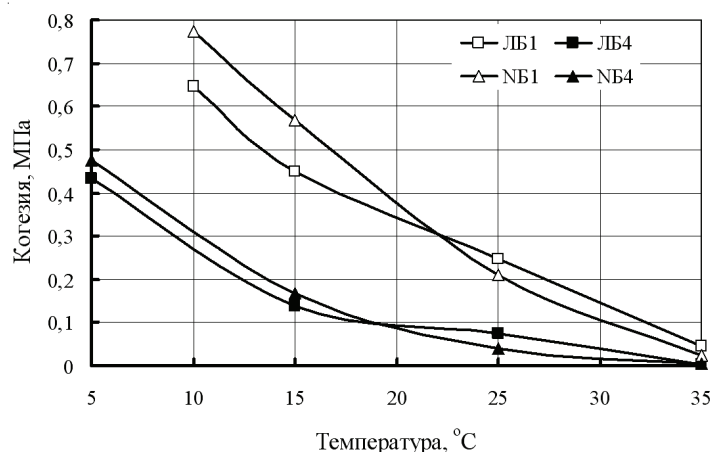


Рисунок 5 – Температурные зависимости когезии битумов разных марок, полученных по разной технологии.

Когезионная прочность является показателем качества, чувствительным к модификации битумов полимером (БМП). Свойства БМП, полученных модификацией битумов ЛБ3 и НБ3 3, 6 и 9 % линейного полимера SBS 1101, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Свойства битумов, модифицированных полимером

Показатели	БМП на основе битумов					
	НБ3				ЛБ3	
	НБ3	НБП3	НБП6	НБП9	ЛБ3	ЛБП3
Содержание полимера, %	0	3	6	9	0	3
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	118	77	54	45	105	57
Температура размягчения, °С	40,8	49,8	76,7	90,2	47,0	54,1
Температура хрупкости, °С	-13	-16	-14	-35	-18	-16,5
Когезия при 25 °С, МПа	0,049	0,093	0,147	0,243	0,116	0,223

Модификация вяжущих полимером приводит к уменьшению показателя пенетрации, увеличению температуры размягчения, снижению температуры хрупкости, а также повышению когезии вяжущего. Однако степень изменения этих показателей при увеличении количества полимера в вяжущем разная. Так, например, при введении 9 % в битум НБ3 значение пенетрации и температуры размягчения изменились практически одинаково в 2,62 и 2,21 раза соответственно, а когезия выросла почти в 5 раз, что доказывает большую чувствительность показателя когезии к изменению свойств вяжущего.

ВЫВОДЫ

1. Созданный в Украине первый когезиометр КХД-1 позволяет определять когезию битумов и битумополимерных вяжущих с относительно небольшими затратами времени и материальных ресурсов.

2. Получаемые на когезиометре значения когезии позволяют более объективно оценивать качество вяжущих и определять влияние на них разных факторов, что в свою очередь открывает возможность количественного предсказания сдвигостойчивости асфальто- и асфальтополимербетонов.

3. В результате полученных данных была разработана и утверждена в Государственном агентстве автомобильных дорог Украины М 02071168/21476215-703:2012 «Методика определения когезии битумных вяжущих на когезиометре ХНАДУ-Доркачество (КХД-1)».

4. Комплекс выполненных исследований свидетельствует о том, что когезиометр КХД-1 может быть рекомендован для практического использования в исследовательских и производственных лабораториях после осуществления его серийного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
2. Колбановская, А. С. Влияние природы битума и поверхности каменного материала на свойства битума в тонких слоях [Текст] / А. С. Колбановская, Л. И. Ефимова // Автомобильные дороги. – 1962. – № 7. – С. 15–17.
3. Маляр, В. В. Спосіб оцінки когезійної міцності бітуму [Текст] / В. В. Маляр // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1988. – Вип. 43. – С. 49–52.
4. Babcock, Gregg B. Study of Asphalt Binders using Lap Shear Bonds [Текст] / 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. – Volume XLIII. – P. 1–15.
5. EN 13588:2008. Bitumen and bituminous binders – Determination of cohesion of bituminous binders with pendulum test [Текст]. – Replace EN 13588:2004 ; In force from 2008-06-12. – Brussel : BSI, 2008. – 22 p.
6. Les Enrobés Bitumineux. Том 1 [Текст] / Union des syndicats de l'industrie routière française. – Paris : USIRF, 2001. – 229 p.
7. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
8. Виноградов, Г. В. Об особенностях вязкоупругого поведения битумов разных структурно-реологических типов в режимах непрерывного деформирования [Текст] / Г. В. Виноградов, В. А. Золотарев, А. Н. Бодан [и др.] // Коллоидный журнал. – 1978. – № 4. – С. 629–635.

Получено 04.12.2012

Я. І. ПИРИГ, А. В. ГАЛКІН, В. О. ЗОЛОТАРЬОВ ВИЗНАЧЕННЯ КОГЕЗІЇ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ НА КОГЕЗІОМЕТРІ КХД-1 Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Доказана доцільність на основі аналізу когезиометрів СоюздорНДІ (Росія), фірми Du-Pont (США), методу Vialit (EN 3588:2008 і EN 12591-2009) визначення когезії на когезиометрі ХАДІ, в якому замість жорстких металевих пластин використані високоміцні поліетилен-терефталатні плівки за схемою площина-площина при фіксованій температурі і швидкості деформування 1 c^{-1} за максимальним зусиллям розриву шару бітуму товщиною 200 мкм. Досліджені і визначені: часові параметри зберігання зразків між полімерними пластинами ($\tau > 16$ годин = 24 години); діаметр зразків бітуму від 12 до 14 мм, що відповідає площам зразків органічних в'язучих від 70 до 110 мм². Ці параметри забезпечують стабільні значення когезії органічних в'язучих. Побудовані когезійно-пенетраційні і когезійно-температурні залежності для бітумів золь і золь-гель, що вироблені атмосферно-вакуумною перегонкою і термоокисленням. Для Державної агенції автомобільних доріг України розроблено та затверджено «Методику визначення когезії бітумних в'язучих на когезиометрі ХНАДУ-Дор'якість (КХД-1)».

когезія, когезиометр, бітум, бітум, модифікований полімером, температура, швидкість деформування, органічні в'язучі, перегонка, термоокислення

YAN PYRIG, ANDREY GALKIN, VIKTOR ZOLOTARYOV DETERMINATION OF COHESION OF BITUMINOUS BINDERS ON COHESIVE METER CHD-1 Kharkov National Automobile Road University

Expedience is well-proven on the basis of analysis of work of cohesive metres of Soyuzdornii (Russia), firm Du-pont (THE USA), method of Vialit (EN 3588:2008 and EN 12591-2009) determination of cohesion on cohesive meters KHADI, in which in place of hard metal-plate extra-strong polyethyleneterephthalate tapes are used on a chart plane-plane at fixing of temperature and speed of deformation of 1 c^{-1} on maximal effort

of break of layer of bitumen the thickness of 200 mkm. Investigational and certain: temporal parameters of storage of standards between polymeric plates ($\tau > 16$ hours = 24 hour); diameter of standards of bitumen from 12 mm to 14 mm, that answers the areas of standards organic astringent from 70 to 100 mm². These parameters provide the stable value of cohesion of organic astringent. Built cohesive – penetration and cohesive are temperature dependences for bitumens zol' and zol'-gel, got an atmospheric-vacuum distillation and thermal-oxidative. For the State agency of highways of Ukraine developed and ratified «Method of determination of cohesion bituminous astringent on cohesive meters KHNADu-dorkachestvo (KKHD-1)» has been developed and proved.

cohesion, cohesive meter, bitumen, bitumen and polymer modified, temperature, speed is deformations, organic astringent, distillation, thermal-oxidative

Пиріг Ян Іванович – кандидат технічних наук, науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: технічні та технологічні властивості в'язучих.

Галкін Андрій Володимирович – молодший науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: фізико-механічні і технологічні характеристики в'язучих, модифікованих полімерами.

Золотарьов Віктор Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: склад, структура, властивості, технологія, реологія та довговічність бітумних в'язучих і бетонів на їх основі

Пыриг Ян Иванович – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: технические и технологические свойства вяжущих.

Галкин Андрей Владимирович – младший научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: физико-механические и технологические характеристики вяжущих, модифицированных полимерами.

Золотарев Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: состав, структура, свойства, технология, реология и долговечность битумных вяжущих и бетонов на их основе.

Yan Pyrig – PhD (Eng.), scientific employee, Road-building Materials Technology Department, Kharkov National Automobile Road University. Scientific interests: the technical and technological properties of the binder.

Andrey Galkin – junior research fellow, Road-building Materials Technology Department, Kharkov National Automobile Road University. Scientific interests: physicommechanical and technical characteristics of polymer modified binders.

Viktor Zolotaryov – DrSc(Eng), Professor, Chief of Road-building Materials Technology Department, Kharkov National Automobile Road University. Scientific interests: consist, structure, properties, technology, rheology and durability bitumen knitting and concrete on their basis.