

ОБЪЕМНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В. И. Братчун, д.т.н., профессор; Д. И. Бородай, к.т.н., доцент; Э. Л. Радюкова;
В. В. Жеванов; Е. Д. Размыслова

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. Проектирование дорожного асфальтобетона методом «Supergave» ведут в несколько этапов: рассчитывают требуемую марку органического вяжущего по расчетным температурам (максимальная и минимальная) дорожно-климатической зоны, по температурам размягчения и хрупкости; в зависимости от количества одноосных нагрузок (ЭООН) определяется техническая категория автомобильной дороги с числом ЭООН от 0,3 до 30 млн. ед. за 20 лет; подбираются минеральные материалы и проектируется минеральный остов асфальтобетона; приготавливают пробы асфальтобетонной смеси при температуре вяжущего, соответствующего

вязкости 0,17 Па·сек в лабораторном смесителе; смесь термостатируют при температуре уплотнения в течении 120 минут; уплотняют образцы при температуре, соответствующей вязкости органического вяжущего 0,28 Па·сек на вращательном уплотнителе (гираторе, который моделирует работу катка); на образцах определяют объемные свойства запроецированного состава дорожного асфальтобетона (содержание воздушных пустот, количество пустот в минеральном заполнителе); корректируют содержание органического вяжущего; подбирают оптимальное содержание органического вяжущего; определяют показатели качества запроецированного асфальтобетона: стойкость к колееобразованию, водостойкость, усталостную долговечность, способность противостоять низкотемпературным деформациям.

Ключевые слова: дорожный асфальтобетон, объемно-функциональное проектирование состава асфальтобетона, нормативные документы.



Братчун
Валерий Иванович



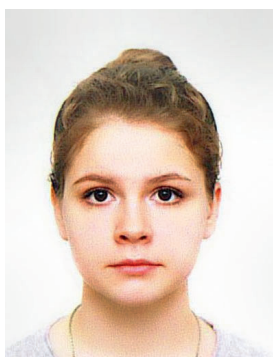
Бородай
Денис Игоревич



Радюкова
Элина Львовна



Жеванов
Василий Вячеславович



Размыслова
Екатерина Дмитриевна

ВВЕДЕНИЕ

Эволюционные этапы методов проектирования составов дорожных асфальтобетонных смесей связаны с ролью асфальтобетонных нежестких дорожных одежд и их влиянием на длительность службы и межремонтные сроки автомобильных дорог.

С 1959 года технические требования к дорожному асфальтобетону в Российской Федерации регламентируются ГОСТ 9128, который был впервые введен в действие в 1960 году, а последующие редакции пересмотрены и утверждены в 1967, 1976, 1984, 1997, 2009 и 2013 годах [1].

Из анализа работ ведущих ученых в области дорожного материаловедения, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог следует, что уровень требований к дорожному асфальтобетону по основным физико-механическим свойствам, начиная с тридцатых годов двадцатого столетия, остался практически на одном уровне [1-5].

В то же время, как отмечается в работе [1], принципиально изменились три составляющих эксплуатационного воздействия на нежесткие дорожные одежды:

- интенсивность движения;
- осевые нагрузки;
- скорость движения.

Характерно, что динамическое воздействие на покрытие нежестких дорожных одежд за 60 лет возросло более, чем на порядок.

Основным методом проектирования дорожных асфальтобетонных смесей является метод СоюздорНИИ, в котором в качестве проектируемых показателей качества асфальтобетона являются, например, значения таких свойств, как пределы прочности при сжатии при 50° С и 0° С, которые условно характеризовали сдвигоустойчивость дорожного асфальтобетона в области высоких положительных температур и низкотемпературную устойчивость в области отрицательных температур. Данные механические свойства не коррелируют с действительным поведением покрытий нежестких дорожных одежд в условиях эксплуатации. В связи с этим экономически развитые страны приняли у себя стандарты, связанные с методом объемно-функционального проектирования по методологии «Supergave» [2-5].

В Российской Федерации внедрен нормативный документ ПНСТ 115-2016. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод объемного проектирования по методологии «Supergave».

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проектировании асфальтобетонных смесей на основе методологии «Supergave» отдельное внимание, кроме выбора качественных минеральных материалов, необходимо уделять выбору битумного вяжущего. Характеристики битумного вяжущего должны соответствовать требованиям ПНСТ 85.

В частности, чтобы правильно выбрать марку органического вяжущего при проектировании состава асфальтобетонной смеси необходимо знать географическое положение района строительства автодороги, а также статистические данные за максимально возможный период по максимальным и минимальным суточным температурам воздуха в данном районе (рекомендуется использовать данные за двадцатилетний период наблюдений используются статистические климатические данные). Так, максимальная температура покрытия нежесткой дорожной одежды определяется по формуле (1):

$$T_{max} = (T_b - 0,006118 \cdot \Gamma^2 + 0,2289 \cdot \Gamma + 42,2) \cdot 0,9545 - 17,8 \quad (1)$$

где T_{max} – максимальная расчетная температура покрытия на глубине 20 мм; T_b – средняя из абсолютно максимальных температур воздуха за семи-суточный период, °С; Γ – географическая широта местонахождения с учетом данных [6, 7]. Такой расчет, например, для Донецкой Народной Республики показывает, что T_{max} равняется

$$T_{max} = (40 - 0,006118 \cdot 40^2 + 0,2289 \cdot 40 + 42,2) \cdot 0,9545 - 17,8 = 59,9^\circ \text{С}$$

Именно предложенный подход позволяет уточнить и рассчитать максимальные температуры для

каждого дорожно-климатического района Российской Федерации. Именно для данной температуры может быть назначен предел прочности при сжатии $R_{T_{max}} = 1,8$ МПа для асфальтобетонов марок Ia, Ib. Подобранный подход реализован в Казахстане [8].

В существующих стандартах фактически не дифференцируется минимальная температура асфальтобетона в покрытии. По системе «Supergave» она определяется по формуле (2):

$$T_{min} = 0,859 \cdot T_b + 1,7 \quad (2)$$

В соответствии с принципом, который положен в критерий трещиностойкости асфальтобетона [9], минимальный предел прочности при сжатии асфальтобетона при этой температуре должен быть меньше 11 МПа.

Таким образом, предел прочности при сжатии асфальтобетонов целесообразно назначать для асфальтобетонов марок Ia и Ib (таблица 1).

Таблица 1.

Температуры, соответствующие требованиям, °С	Нормы предела прочности асфальтобетонов марок, МПа	
	Ia	Ib
T_{min}	не более 11	не более 11
20° С	не менее 3,0	не менее 2,8
T_{max}	не менее 1,8	не менее 1,6

Что касается выбора органического вяжущего, который должен обеспечивать сдвигоустойчивость асфальтобетона, то температура размягчения его должна быть на 2° С выше, чем максимальная температура покрытия на глубине 20 мм (1), а для низкотемпературной устойчивости на минус 2° С ниже, чем расчетное значение, найденное по формуле (2). Так, для обеспечения сдвигоустойчивости покрытия нежесткой дорожной одежды следует использовать битумополимерное вяжущее. В то же время согласно ГОСТ 52056-2003 самое вязкое БПВ40 имеет температуру размягчения не ниже 56° С.

Следовательно, для того, чтобы обеспечить сдвигоустойчивость асфальтополимербетона при 62° С, концентрация дивинилстирольного каучука (ДСТ-30) должна быть не 1,5 % мас., а как это показано в работах Гохмана Л. И. [9] – 3 % мас.

При проектировании оптимального состава асфальтополимербетонной смеси по результатам испытаний исходных минеральных материалов в зависимости от требуемого номинального максимального размера заполнителя проектируется зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси, который должен соответствовать требованиям ПНСТ 114 и данным, приведенным в таблице 2.

При подборе плотных и прочных составов асфальтобетонных смесей необходимо в соответствии с ПНСТ 115 запроецировать три различных granulометрических состава таким образом, чтобы один состав прошел около верхней границы требований, второй – около нижней границы требований, а третий состав должен проходить между ними. ОДМ 218.4.036-2017 «Методические рекомендации по приготовлению асфальтобетонных смесей, их укладке,

Таблица 2.

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, %											
	37,5 мм		25,0 мм		19,0 мм		12,5 мм		9,5 мм		4,75 мм	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
50,0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25,0	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
19,0	-	-	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-
12,5	-	-	-	-	-	90	90	100	100	-	100	-
9,5	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100	95	100
4,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67	-	-
1,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	55
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	13

а также приемке выполненных работ, основанные на методологии «Superpave».

При подборе составов асфальтобетонных смесей рекомендуется огибать зону пластичности. Расположение зоны пластичности зависит от номинального максимального размера заполнителя в проектиру-

емом составе асфальтобетонной смеси, рис. 1. Координаты зоны пластичности для различных видов смесей указаны в таблице 3.

Пример запроектированных пробных составов, например, смеси SP-19 с учетом зоны пластичности приведен на рисунке 1.

Таблица 3.

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, %									
	37,5 мм		25,0 мм		19,0 мм		12,5 мм		9,5 мм	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
4,75	34,7		39,5		-		-		-	
2,36	23,3	28,3	26,8	30,8	34,6	39,1	47,23			
1,18	155	21,5	18,1	24,1	22,3	28,3	25,6	31,6	31,6	37,6
0,6	11,7	15,7	13,6	17,6	16,7	20,7	19,1	23,1	23,5	27,5
0,3	10,0		11,4		13,7		15,5		18,7	

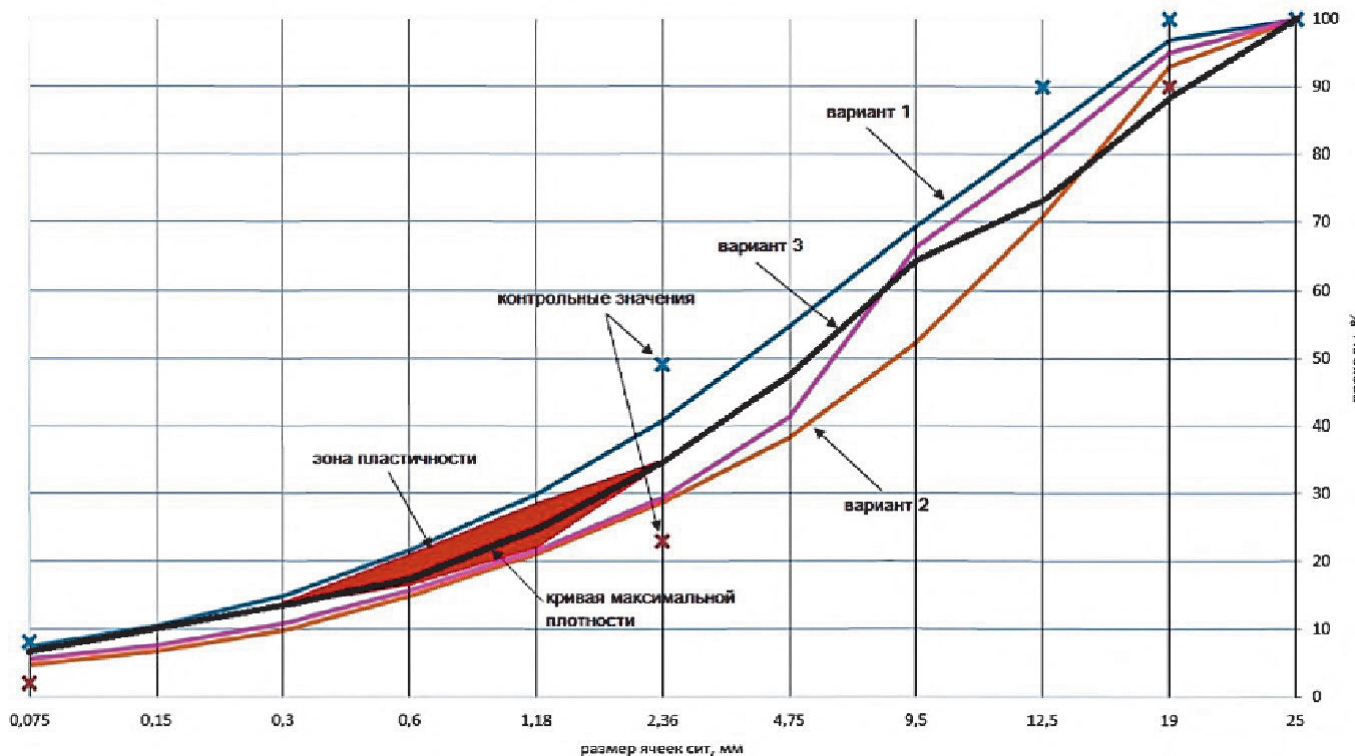


Рис. 1. Варианты зерновых составов смеси с номинальным максимальным размером 19 мм, огибающих зону пластичности

Далее в соответствии с ПНСТ 115 рассчитывают количество органического вяжущего для каждой из трех смесей (рисунок 1) по формуле (3).

$$V_{bc} = 0.176 - 0.0675 \cdot I_{og}(S_n) \quad (3)$$

где: V_{bc} – эффективный (расчетный) объем вяжущего; S_n – номинальный максимальный размер заполнителя в проектируемой смеси.

В итоге рассчитывают пробное содержание вяжущего в асфальтобетонной смеси P_{bi} , %, для приготовления проектируемых асфальтобетонных смесей по формуле (4).

$$P_{bi} = 100 \cdot \left(\frac{G_b \cdot (V_{be} + V_{ba})}{G_b \cdot (V_{be} + V_{ba}) + W_s} \right) \quad (4)$$

где: P_{bi} – расход вяжущего; ρ_{bc} – плотность вяжущего, г/см³; V_{ba} – объем вяжущего, адсорбированного в минеральный заполнитель; W_s – общая масса минерального материала в 1 см³ смеси.

При приготовлении пробной асфальтобетонной смеси смешивание производят при температуре, при которой вязкость органического вяжущего составляет 0.17 Па·с.

Для каждого образца используют 5 500 г смеси. Количество образцов не менее трех для каждого запроектованного варианта. Составы асфальтобетонных смесей выдерживают в сушильном шкафу при температуре уплотнения в течении 120±5 мин. в соответствии с ПНСТ 111-2016. Такое термостатирование моделирует время выдерживания смеси в накопительном бункере АБЗ, время её транспортирования и выгрузки в бункер асфальтоукладчика.

Уплотнение проб асфальтобетонной смеси осуществляют при температуре, когда вязкость применяемого органического вяжущего равна 0.28 Па·с. Уплотняют на вращательном уплотнителе (гираторе) при числе оборотов N_{np} . После уплотнения определяют объемную плотность в соответствии с ПНСТ 106-2016 и содержание воздушных пустот по ПНСТ 108-2016.

При определении объемных свойств асфальтобетона в заключении вычисляют расчетную плотность минерального заполнителя G_{se} , г/см³, предполагаемое необходимое количество органического вяжущего $P_{ве.расч.}$ и расчетное значение отношения пыль-вяжущее H для каждой запроектованной смеси по формулам 5, 6 и 7.

$$G_{se} = \frac{100 - P_{bi}}{\frac{100}{G_{min}} - \frac{P_{bi}}{G_b}} \quad (5)$$

$$P_{ве.расч.} = -(P_s + G_b) \frac{G_{be} - G_{sb}}{G_{se} \cdot G_{sb}} + P_{bi} + \Delta P_b \quad (6)$$

$$H = \frac{P_{0.075}}{P_{ве.расч.}} \quad (7)$$

где: P_{bi} – первоначальное содержание вяжущего в асфальтобетонной смеси, %; $P_{0.075}$ – количество минеральных зерен в асфальтобетонной смеси мельче 0,075%; P_s – количество минерального материала, доля ед.

Затем сравнивают полученные данные всех запроектованных смесей с требованиями ПНСТ 114-2016, которые приведены в таблице 7 ПНСТ 114-2016.

Например, для дорог с уровнями приложения ЭООН > 3 млн. ед. и для смесей с номинальным максимальным размером заполнителя 9,5 мм значения ПНБ должны быть в пределах от 73 % до 76 %.

После подбора минеральной части асфальтобетонной смеси определяют оптимальное содержание органического вяжущего, при котором обеспечивается максимальное значение предела прочности при сжатии, заданное значение водостойкости (по влиянию воды на адгезионные свойства органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов). Определяют стойкость к колеобразованию по ПНСТ 181-2016. Испытания выполняют при температуре 60° С при количестве циклов нагружения колеемером, не менее 10 000.

Рекомендованная глубина колеи для асфальтобетонных, предназначенных для устройства верхнего слоя покрытия, не более 4 мм, для нижнего слоя покрытия не более 5 мм, для слоев основания не более 8 мм.

В частности, комплексная модификация дорожного щебеночно-мастичного асфальтобетона терморезактивным термополимером этиленглицидилакрилатом Elvaloy АМ нефтяного дорожного битума БНД 70/100 2 % мас. полимера совместно с 0,2 % полифосфорной кислоты ПФК-105 и поверхностная активация минеральных материалов (щебень, песок, минеральный порошок 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата) позволяет значительно повысить адгезионно-когезионные свойства органического вяжущего в адсорбционно-сольватном слое на поверхности минеральных материалов, в частности, щебеночно-мастичного асфальтобетона, так как когезия определяет прочность модифицированного органического вяжущего и асфальтобетона в целом, и обеспечивает необходимые сопротивления напряжениям, возникающим в покрытии нежесткой дорожной одежды при действии, прежде всего, изгибающей нагрузки от автотранспортных средств [10]. Повышенная адгезия битумополимерного вяжущего к поверхности минеральных материалов щебеночно-мастичного асфальтополимербетона обеспечивает сопротивление напряжениям, возникающим в структурированном слое битумополимерного вяжущего при воздействии кратковременных циклических нагрузок, стремящихся вызвать деформации отрыва битумополимерного вяжущего от минеральных материалов поверхностно-активированных этиленглицидилакрилатом ЩМА.

Модификация нефтяных дорожных битумов термополимером Elvaloy АМ позволяет адсорбционно-сольватным слоям в результате сформированной пространственной сетки из надмолекулярных образований полимера снизить концентрацию напряжений в адсорбционно-сольватных слоях и, следовательно, и в дорожном асфальтополимербетоне. Когезия модифицированного вяжущего возрастает в два раза в сравнении с немодифицированным битумом.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 2, комплексная модификация структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона после двадцати тысяч проходов колеса колеемера Infratest по одному следу глубина колеи у стандартного ЩМА составляет

$h=2,5$ мм, а у комплексно-модифицированного щебеночно-мастичного асфальтополимербетона $h=1,6$ мм (рис. 2, 3).

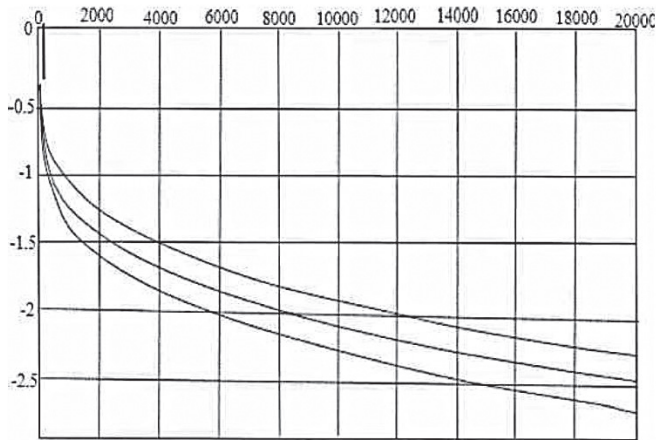


Рис. 2. Стандартный ЩМА

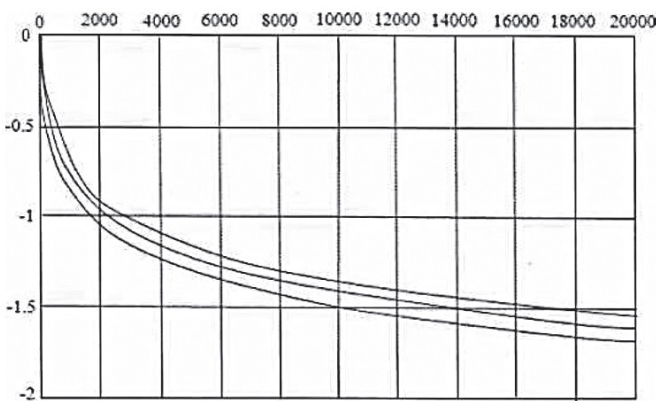


Рис. 3. ЩМА-15 с комплексно-модифицированной структурой

ВЫВОДЫ

Объемно-функциональное проектирование «Supergave» состава дорожного асфальтобетона, композиционного материала с коагуляционным типом контактов, свойства которого определяются, прежде всего, качеством органического вяжущего, рациональным сочетанием типов макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры минерального остова, порового пространства, энергией взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» ведут в несколько этапов: рассчитывают требуемую марку органического вяжущего по расчетным температурам (максимальная и минимальная) эксплуатируемой дорожной одежды, по температурам размягчения и хрупкости; в зависимости от количества одноосных нагрузок (ЭООН) определяется техническая категория автомобильной дороги с числом ЭООН от 0,3 до 30 млн. ед. за 20 лет; подбираются минеральные материалы и проектируется минеральный остов асфальтобетона; готовят пробы асфальтобетонной смеси при температуре вяжущего, соответствующего вязкости 0,17 Па·сек, в лабораторном смесителе; смесь термостатируют при температуре уплотнения в течении

120 минут; уплотняют образцы при температуре, соответствующей вязкости органического вяжущего 0,28 Па·сек на вращательном уплотнителе (гираторе, который моделирует работу катка); на образцах определяют объемные свойства запроектированного состава дорожного асфальтобетона (содержание воздушных пустот, количество пустот в минеральном уплотнителе); корректируют содержание органического вяжущего; подбирают оптимальное содержание органического вяжущего; определяют показатели качества запроектированного асфальтобетона: стойкость к колееобразованию, водостойкость, усталостную долговечность, способность противостоять низкотемпературным деформациям.

Список литературы

1. Быстров, М. В. Новый этап развития нормативной базы на дорожный асфальтобетон / М. В. Быстров // Наука и техника в дорожной отрасли, 2017. – С. 2-5.
2. Горельишев, Н. В. Совершенствование стандартизации асфальтобетона / Н. В. Горельишев, М. В. Быстров // Автомобильные дороги, 1994. № 9. – С. 11-14.
3. Золотарев, В. А. О структуре и содержании стандарта на дорожные асфальтобетоны / В. А. Золотарев // Автомобильные дороги. – 2012, № 7. – С. 68-75.
4. Радовский, Б. С. Методы проектирования состава асфальтобетонных смесей в США / Б. С. Радовский // Дорожная техника, 2006. – С. 68-81.
5. Братчун, В. И. Про удосконалення нормативних вимог до асфальтобетонів / В. И. Братчун, В. О. Золотарев, В. В. Мозговий, В. Л. Беспалов // Збірка праць «Проектування, будівництво і експлуатація дорожніх одягів» Матеріали міжнародної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. – С. 184-188.
6. СНиП 2.01.01 – 82. Строительная климатология и геофизика/Государственный комитет СССР по делам строительства, М.: 1988. – 136с.
7. Братчун, В. И. О термической стабильности дегтебетонов и асфальтобетонов, работающих в покрытиях нежестких дорожных одежд / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов // Современные проблемы строительства. – 2008. – Донецкий ПромстройНИИ проекта. – № 6(11). – С. 199-204.
8. Телтаев, Б. Б. Учёт климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей / Б. Б. Телтаев, Е. В. Калинович, Г. Г. Измайлова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – С. 17-20.
9. Гохман, Л. М. Регулирование процессов структурообразования и свойств дорожных битумов добавками дивинилстирольных термоэластатов / М. М. Гохман / Автореферат кандидата технических наук по специальности 05.23.05-1974. – М.: 24 с.
10. Братчун, В. И. Комплексно-модифицированный дорожно-мастичный асфальтобетон повышенной долговечности / В. И. Братчун, А. М. Саткочева, Е. А. Ромасюк, В. Л. Беспалов, В. В. Жеванов / Строитель Донбасса, – 2022, – № 2. – С. 4-9.