

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-34-45

Граутвайн А.И., *Тимофеев Д.Г.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: daniil_timofeev_99@mail.ru

РАЗРАБОТКА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЦЕМЕНТОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ОСНОВЕ АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Транспортно-эксплуатационное состояние сети автомобильных дорог любой страны является показателем ее экономического развития. За последнее время произошел значительный рост транспортных нагрузок на конструктивные слои дорожной одежды за счет увеличения грузооборота внутри страны. Для сохранения эксплуатационной надежности автомобильных дорог, продления их жизненного цикла необходимы качественные и инновационные материалы, адаптированные к ним технологические режимы производства работ. Одним из эффективных подходов повышения качества автомобильных дорог является устройство основания дорожных одежд с использованием переработанного асфальтобетонного покрытия (RAP: Recycled asphalt pavement) в комплексе с неорганическими вяжущими. В качестве вяжущего в работе был исследован доменный шлак при укреплении асфальтогранулобетонной смеси (АГБС), взамен традиционно используемого портландцемента. Установлено, что образцы асфальтогранулобетона на основе шлака, активированного гидратными двойными сульфатными солями алюминия, превышают прочностные характеристики композита с использованием портландцемента. Активированный шлак при использовании в составе АГБ показывает высокую эффективность по показателю непрямого растяжения при температуре 0 °С, что свидетельствует о высокой трещиностойкости образцов композита. Наибольшую эффективность по комплексу исследуемых показателей демонстрируют составы с использованием активного вещества на основе двойных сульфатных солей алюминия в комплексе с калием. Особенность разрабатываемых составов заключается в том, что активация шлака осуществляется без использования едкой щелочи или других низкомолекулярных растворимых силикатов (традиционно используемых), а за счет введения гидратированных двойных сульфатных солей алюминия. Применение данных химических реагентов способствует созданию щелочной среды (гидроксидов калия, натрия и алюминия) в твердеющем материале с течением времени в процессе их продолжительного контакта со шлаком. Таким образом, не происходит отрицательного влияния щелочи на строительную технику и рабочий персонал.

Ключевые слова: асфальтогранулобетонная смесь (АГБ), конструктивные слои дорожной одежды, портландцемент, активация, доменный шлак.

Введение. Укрепление основания при строительстве автомобильных дорог – эффективный подход к конструированию дорожных одежд, который может предусматривать использование местных материалов, что приводит к снижению затрат при строительстве конструктивных слоев дорожной одежды. Основным интересом представляет укрепление основания дорожной одежды на основе асфальтогранулобетонной смеси (АГБС) неорганическим вяжущим [1–4]. Большая часть исследований и производителей работ по устройству слоев на основе АГБС использует в качестве неорганического вяжущего – цемент, производство которого является энергоемким процессом. Более того, ежегодный рост выбросов углекислого газа в атмосферу при производстве цемента расширяет необходимость применения в строительстве альтернативных видов вяжущих [5–7].

Исследованиями по созданию альтернативного вида вяжущего, способного заменить традиционный портландцемент, ученые различных стран занимаются достаточно давно [7–10].

Известно, что гранулированные доменные шлаки, состоящие из аморфной фазы, обладают гидравлической активностью. Большинство шлаков, находящихся в отвалах металлургических комбинатов, являются отходами и не представляют интереса ввиду высокого содержания малоактивной кристаллической фазы. Более того, особенностью шлаков, как вяжущего материала, является долгий процесс набора прочности. Поэтому существует необходимость в модифицировании шлака с целью повышения его активности и ускорения набора прочности образцов с его использованием в качестве основного неорганического вяжущего в проектные сроки, а именно, в течение 28 суток [9–11].

Анализ литературных данных показывает [12–21], что усилить гидравлическую активность шлаков и ускорить процесс набора прочности шлакового вяжущего возможно путем его затворения растворами щелочей натрия или калия, в частности жидкостекольным связующим. Приво-

дятся рецептуры и исследуются свойства бесклинкерных вяжущих щелочной активации на минеральных тонкодисперсных порошках доменных шлаков.

Использование вяжущего на основе доменного шлака при укреплении асфальтогранулобетонных смесей для дорожного строительства не получило распространения. В первую очередь, это связано с тем, что шлаки имеют невысокую активность, по сравнению с традиционным цементом, а ее увеличение возможно с использованием специальных добавок, оказывающих негативное влияние, как на технологическое оборудование, так и рабочий персонал. Цель работы заключалась в получении образцов асфальтогранулобетона с использованием доменного шлака, прочностные характеристики которого будут аналогичны образцам с применением портландцемента. Задача исследования заключалась в разработке специальных добавок, способствующих

активации малоактивного молотого доменного шлака, который может эффективно использоваться при укреплении асфальтогранулобетонных смесей при холодном ресайклинге асфальтобетонных покрытий.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов были использованы: асфальтогранулят с номинальным максимальным размером зерен 22,4 мм согласно требованиям ОДМ 218.6.1.005-2021 [22], цемент класса ЦЕМ I 42,5Н нормированного состава, по ГОСТ 31108-2020 [23], доменный шлак Новолипецкого металлургического комбината (ПАО "НЛМК"), химические добавки на основе двойных сульфатных солей алюминия и калия или натрия, вода по ГОСТ 23732 [24].

Гранулометрический состав асфальтогранулобетонной смеси представлен на рисунке 1.

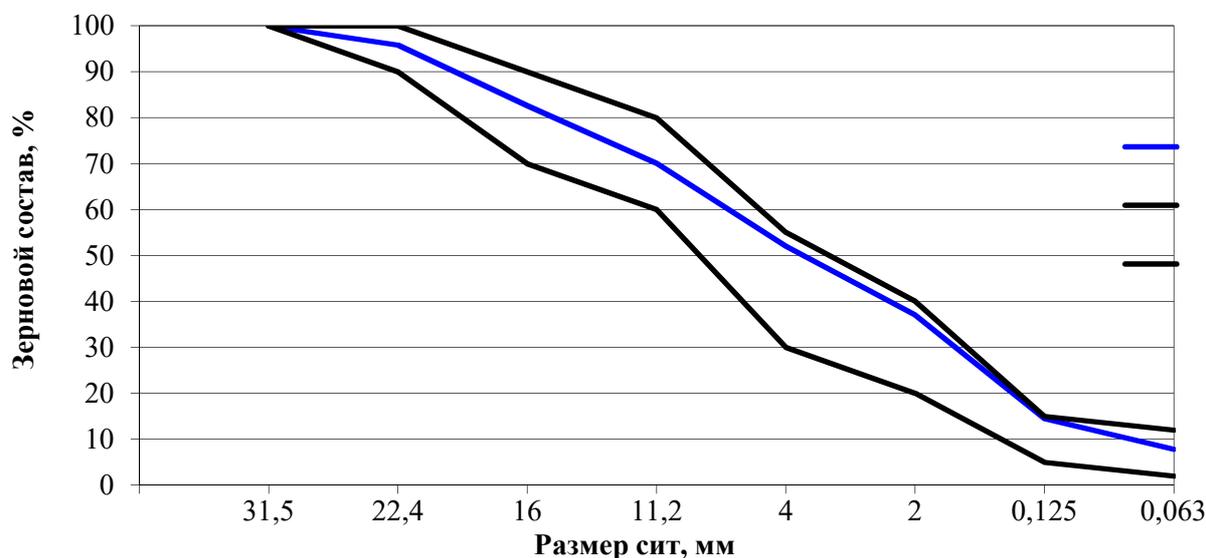


Рис. 1. Гранулометрический состав асфальтогранулята
а) полные проходы, %, б) границы требований ОДМ 218.6.1.005-2021

Химический состав молотого гранулированного шлака представлен в таблице 1, фазовый состав – в таблице 2.

Химический состав определяли на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation (Thermo Fisher Scientific); рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре

ДРОН-3 с использованием Си-излучения в интервале углов отражения ($2\theta^\circ$) $4-56^\circ$. Вяжущая активность исходного шлака по прочности в возрасте 28 суток, определяемая по ГОСТ 30744 [25], составляла: на изгиб – 5,2 МПа; сжатие – 9,8 МПа. Физико-механические характеристики цемента производства АО «Себряковцемент» I 42,5 представлены в табл. 3.

Таблица 1

Химический состав молотого шлака ПАО «НЛМК»

Химический состав, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MnO	TiO ₂	R ₂ O	Cl ⁻	Сумма
Требования ГОСТ Р 56592-2015	не норм.	не норм.	не норм.	не норм.	не норм.	не более 3,5, %	не норм.	не норм.	не норм.	не более 0,1, %	не норм.
Граншлак ПАО "НЛМК"	37,46	6,29	0,91	41,67	9,62	1,74	0,35	0,38	0,82	0,093	99,33

Таблица 2

Фазовый состав молотого шлака ПАО «НЛМК»

Фазовый состав, %	Массовая доля аморфной фазы (BFS_ amorphous) (%)	Кварц (Quartz) (%)	Кальцит (Calcite) (%)	Мервинит (Merwinite) (%)	Мелилит (Melilite) (%)	Бредигит (Bredigite) (%)
Граншлак ПАО «НЛМК»	43,63	0,72	28,71	16,34	2	8,6

Таблица 3

Физико-механические характеристики ЦЕМ I 42,5

Наименование показателя	Требования по ГОСТ 31108-2020	Фактические результаты
Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 2 сут. 28 сут.	не менее 10 42,5–62,5	11,2 44,8
Начало схватывания, мин	не ранее 60	68

При проведении экспериментальных работ были исследованы образцы АГБ типа М (АГБС-М) с использованием доменного шлака, модифицированного различными химически активными веществами, составы которого приведены в таблице 4. Процесс модификации шлака заключался в совместном измельчении гранулированного

шлака со специальными добавками в определенных концентрациях. В качестве контроля были приготовлены образцы АГБ с использованием цемента ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108-2020 [23]. Количество вяжущего составило 3,6 % от массы минеральной части АГБ. Влажность смеси в процессе формирования составляла 2 %.

Таблица 4

Составы модифицированного шлака

Номер состава	1	2	5	8
Количество используемого активного вещества от массы шлака	Шлак без добавок	6 % гидратированной двойной сульфатной соли алюминия и калия	6 % гидратированной двойной сульфатной соли алюминия и натрия	6 % гидратированной двойной сульфатной соли алюминия и калия/натрия (соотношение: 50/50)

Исследование физико-механических характеристик образцов АГБ проводили согласно методике, изложенной в ГОСТ 12801-98 [26], через 7 и 28 сут набора прочности по следующим показателям: водостойкости, водонасыщению, пределам прочности водонасыщенных образцов, а также при сжатии при температуре 20 и 50 °С.

В работе проводили определение pH контактной среды в процессе набора прочности исследуемых неорганических вяжущих: портландцемента, а также активированного и неактивированного шлака. Методика заключалась в изготовлении образцов исследуемых вяжущих с размером грани 2 см. Образцы каждого состава через определенный интервал времени набора прочности (3, 5, 10, 14, 20, 28 суток) помещали в дистиллированную воду объемом 50 мл (высота воды над образцом составляла 1,5–2 см). Время выдерживания образца составляло 24 часа. Далее проводили определение pH воды, в которой находился образец. Определение pH основано на методе

прямой потенциометрии – измерении потенциала индикаторного электрода, погруженного в исследуемый раствор (воду).

Основная часть. Прочность конструктивных слоев автомобильной дороги является важным показателем, так как влияет на ее несущую способность и долговечность. Поэтому при устройстве конструктивных слоев дорожной одежды автомобильной дороги необходимо обеспечивать высокие физико-механические характеристики используемых материалов в основании.

Изготовление образцов АГБ проводили по методике ГОСТ 12801-98 [27] и выдерживали в камере нормального твердения в течение необходимого периода. Физико-механические характеристики исследуемых составов на 7 и 28 суток представлены в таблице 5.

Анализ данных, представленных в таблице 5, показал падение физико-механических показателей образцов АГБ типа М на основе портландцемента к 28 суткам набора прочности, по сравнению с прочностью на 7 сутки. Данная тенденция не является исключением и часто отмечается

строительными организациями, производящими продукцию с использованием портландцемента. Явление снижения прочностных характеристик композиционных материалов с использованием портландцемента, а, следовательно, и несущей способности конструкции в целом вызывает обеспокоенность среди подрядных организаций. Стоит отметить, что наиболее часто данная тенденция проявляется в конструкциях и материалах для дорожного строительства, эксплуатация которых находится под воздействием агрессивных сред. Стоит отметить, что при разработке конструктивных слоев дорожных одежд из укрепленных щебеночно-гравийно-песчаных смесей и

грунтов, анализ их химической активности поверхности не проводится, так как не регламентируется нормативными документами. При этом известно, что именно заполнитель часто становится причиной различного рода коррозии цементного камня. Таким образом, цементный камень в составе дорожных композиционных материалов может быть подвержен агрессивному воздействию, как со стороны окружающей среды, так и входящих в его состав компонентов.

При использовании шлакового вяжущего при укреплении АГБС падение прочности образцов не наблюдается.

Таблица 5

Физико-механические показатели образцов АГБ

Наименование показателя	Номер состава				
	К	1	2	5	8
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, R_{20} , МПа	<u>3,8</u>	<u>2,5</u>	<u>2,6</u>	<u>1,6</u>	<u>2,1</u>
	3,2	2,8	3,4	3,1	3,9
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, R_{50} , МПа	–	–	–	–	–
	1,75	1,38	1,85	1,88	1,76
Предел прочности при непрямом растяжении при температуре 0 °С, R_0 , МПа	<u>0,98</u>	<u>0,85</u>	<u>0,58</u>	<u>0,97</u>	<u>0,77</u>
	0,82	1,0	1,69	1,36	1,68
Предел прочности при сжатии образцов в водонасыщенном состоянии, $R_{вод}$, МПа	<u>3,6</u>	<u>2,3</u>	<u>3,1</u>	<u>2,0</u>	<u>2,8</u>
	2,9	2,8	3,3	3,4	3,6
Водостойкость	<u>0,95</u>	<u>0,92</u>	<u>1,19</u>	<u>1,25</u>	<u>1,33</u>
	0,91	1,00	0,97	1,03	0,92
Водонасыщение	<u>8,4</u>	<u>12,5</u>	<u>12,1</u>	<u>10,2</u>	<u>11,7</u>
	9,7	11,1	7,9	7,3	7,9

Примечание: числитель – физико-механические показатели образцов АГБ на 7 сутки; знаменатель – физико-механические показатели образцов АГБ на 28 сутки

Образцы АГБ с использованием шлакового вяжущего через 7 суток набора прочности уступают контрольному составу на основе портландцемента по всем физико-механическим характеристикам. Однако к 28 суткам набора прочности составы АГБ на модифицированном шлаке значительно превышают значения показателей композита с использованием портландцемента по показателям: прочности при непрямом растяжении при температуре 0 °С, при сжатии в водонасыщенном состоянии. Стоит отметить, что образцы АГБ с использованием неактивированного шлака (состав № 1) на 7 и 28 суток набора прочности имеют более низкие показатели по сравнению с контрольным составом по всем характеристикам.

Максимальный прирост предела прочности при сжатии образцов АГБ на 28 суток при температуре 20 °С наблюдается для составов № 2 и 8 и представлен на рисунке 2. Особенностью указанных составов является то, что они включают гидратированную двойную сульфатную соль алюминия и натрия в комплексе с калием.

Стоит отметить, что активированный шлак при использовании в составе АГБ показывает высокую эффективность по показателю непрямого растяжения при температуре 0 °С. Данный показатель является одним из наиболее важных характеристик для конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог. Известно, что материал дорожной конструкции с использованием неорганических вяжущих обладает высокой жесткостью в зимний период, что приводит к появлению сетки трещин в слое, а, следовательно, его излишнему влагонакоплению и снижению морозостойкости.

Максимальное увеличение предела прочности при непрямом растяжении образцов при температуре 0 °С через 28 суток набора прочности наблюдается для составов № 2 и 8 и составляет 106 и 105 % соответственно (рис. 3), где в качестве активатора шлака использовали гидратированную двойную сульфатную соль алюминия, включая калий. Увеличение прочности АГБ в пределах 60 % наблюдается для образцов составов № 5. Стоит отметить, что показатель предела прочности при сжатии образцов АГБ при 50 °С не

показывает высокую эффективность при использовании активированного шлака. Тем не менее, через 28 суток нормального твердения наблюдается рост прочности образцов составов № 2 и №

8 – не более 8 % относительно образцов контрольного состава; для образцов с использованием неактивированного шлака (состав № 1) наблюдается падение показателя в пределах 20 %.

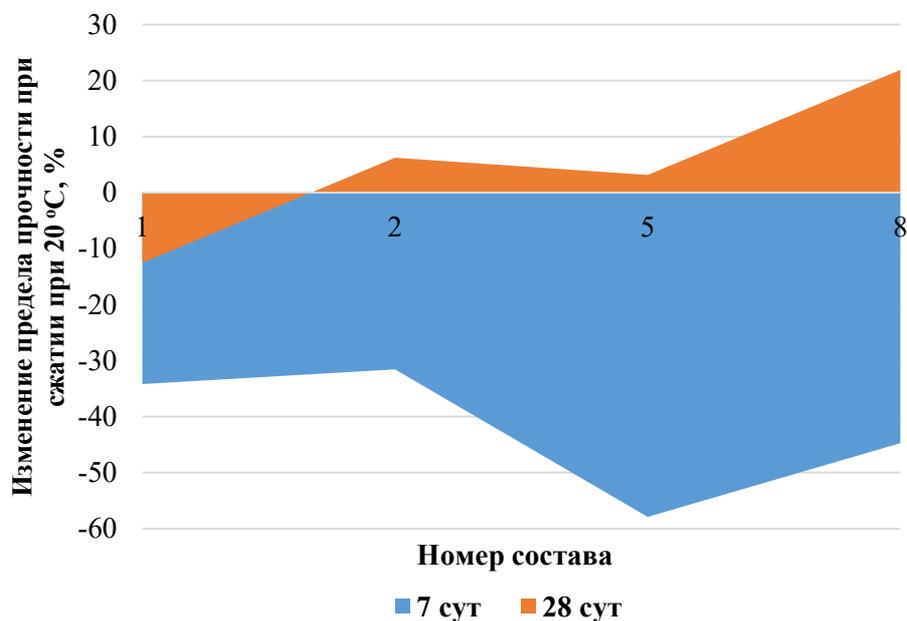


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии при температуре 20 °С

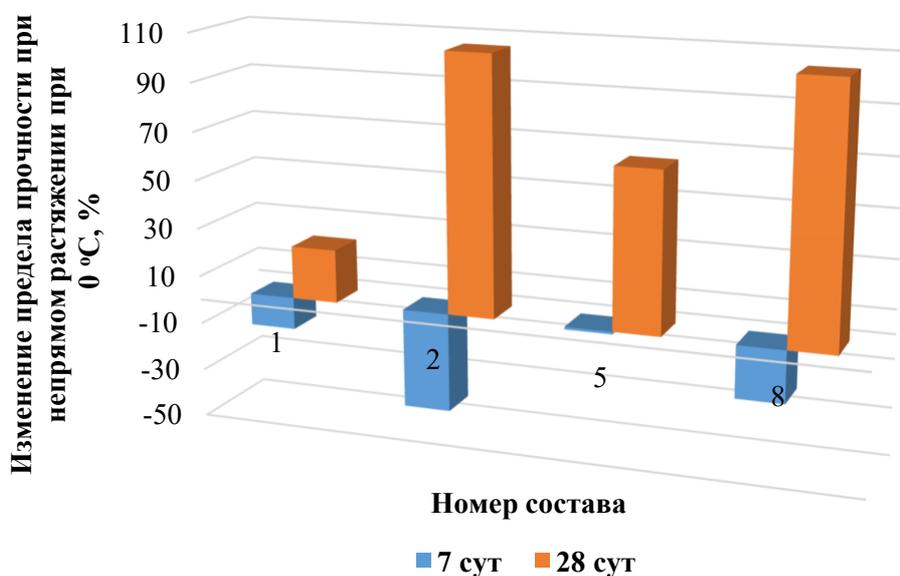


Рис. 3. Изменение предела прочности при непрямом растяжении при температуре 0 °С

Автомобильная дорога подвержена воздействию воды, как одного из наиболее разрушительных факторов внешней среды. В зимний период переувлажнение конструктивных элементов автомобильной дороги приводит к разрушению покрытия и образованию трещин в результате попеременного замораживания-оттаивания материала конструкции. Поэтому показатели:

предел прочности при сжатии образцов в водонасыщенном состоянии, их водостойкость и водонасыщение, способны наглядно показать эффективность применяемых решений. Максимальный прирост прочности при сжатии образцов в водонасыщенном состоянии через 28 суток наблюдается для состава № 8 в пределах 25 % (рис. 4). Образцы АГБ № 2 и № 5 показали рост данного показателя на 14 и 17 % соответственно.

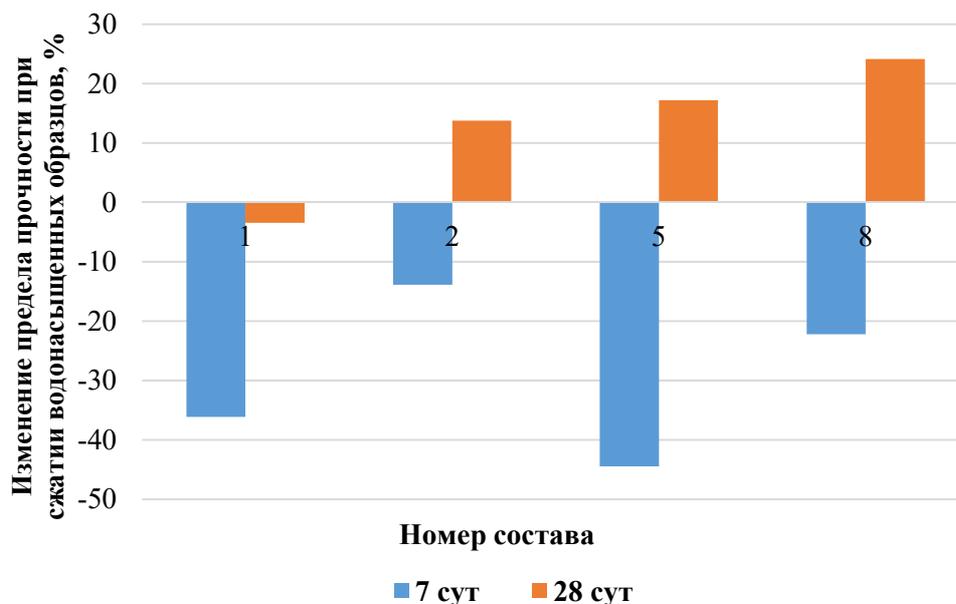


Рис. 4. Изменение предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов

Анализ графика на рисунке 5 показывает уменьшение показателя водонасыщения образцов АГБ с использованием активированного шлака. Так, максимальное падение водонасыщения демонстрируют образцы с модификатором двойной сульфатной соли алюминия в комплексе с натрием (состав № 5). Максимальный рост водостойкости образцов АГБ наблюдается также для состава № 5 и составляет 13 % (рис. 6). Абсолютные показатели водостойкости и водонасыщения образцов АГБ на модифицированном шлаке различных составов аналогичны друг

другу. Так, водонасыщение композитов варьирует в пределах от 7,3 до 7,9 %, а показатель водостойкости изменяется от 0,92 до 1,03. Значения прочности образцов АГБ № 2 и № 8 в водонасыщенном состоянии к 28 суткам близки образцам, испытанным при температуре 20 °С. Это свидетельствует о том, что вода оказывает меньше отрицательного влияния на прочность образцов АГБ, приготовленных с использованием модифицированного шлака двойной сульфатной солью алюминия в комплексе с калием, чем с натрием.

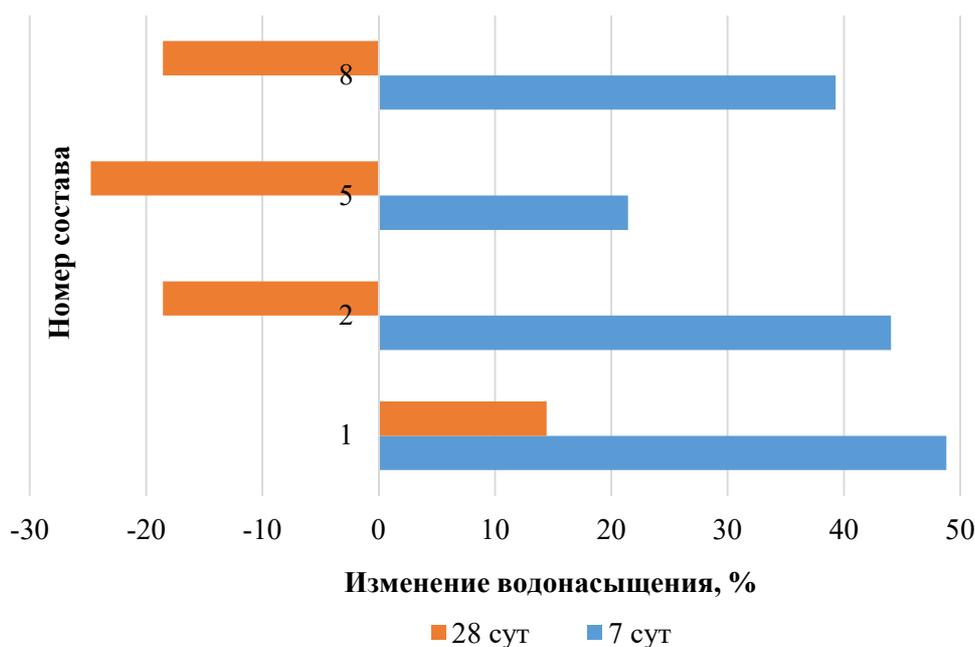


Рис. 5. Изменение показателя водонасыщения

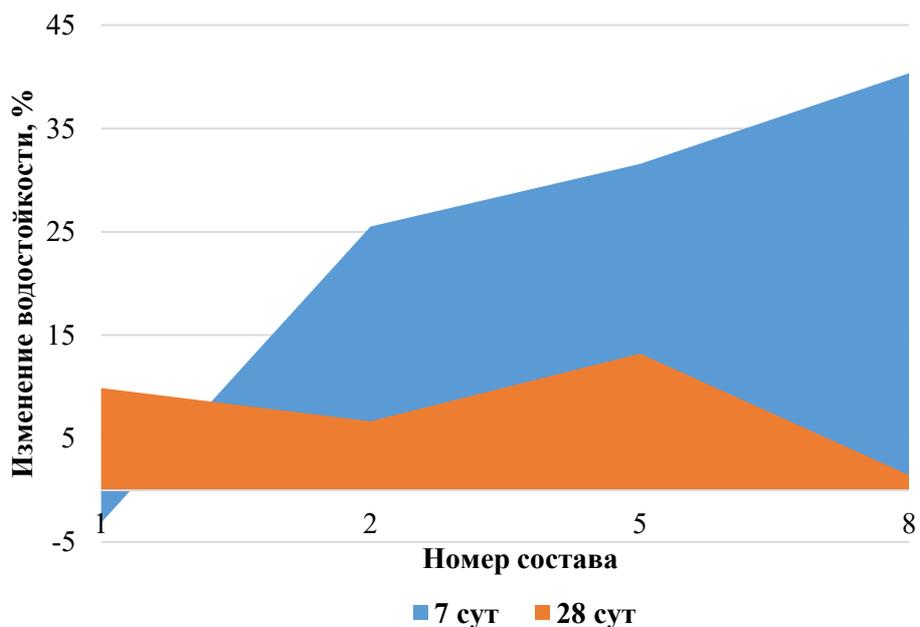


Рис. 6. Изменение показателя водостойкости

Оценка рН среды материала, после затворения модифицированного шлака водой показывает (рис. 7), что используемые химические добавки увеличивают щелочную среду в процессе набора прочности шлакового вяжущего. Из графика видно, что портландцемент имеет максимальную рН контактной среды в течение первых трех суток набора прочности (рН = 11,5), который снижается до значения равного 9 через 10 суток твердения. Вяжущее на основе шлака демонстрирует рост рН водной среды в процессе набора прочности, который увеличивается при введении двойных сульфатных солей алюминия

в комплексе с калием и/или натрием. Особенностью гидролиза двойных сульфатных солей алюминия в комплексе с калием и/или натрием является образование гидроксида алюминия (Al(OH)₃), который представляет собой гелеобразное вещество, обладающее амфотерными свойствами. Гидроксид алюминия замедляет процесс быстрого образования едких щелочей калия и натрия на начальной стадии введения солей в состав шлакового вяжущего. В результате, рН среды шлакового вяжущего в первые 3 суток набора прочности не превышает 9.

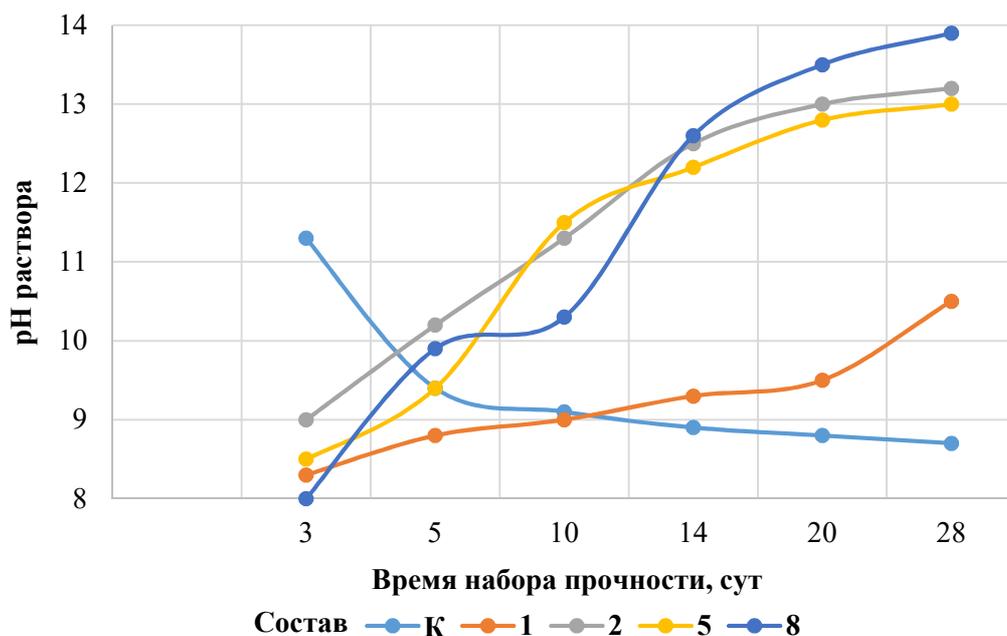


Рис. 7. Изменение рН среды исследуемых неорганических вяжущих в процессе набора прочности

Эффективность применения добавок обусловлена такими процессами как частичное растворение основных минералов шлака (геленита $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$, акерманита $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$, мервинита $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$) с выделением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и последующем – ионов K^+ и Na^+ в водном растворе. Образование новых центров кристаллизации способствуют нарастанию прочности с течением времени, превышающей контрольный состав с использованием высокомарочного цемента. Стоит отметить, что большую роль в повышении реакционной способности шлака в результате роста количества активных центров связано с концентрацией и технологической последовательности введения химических реагентов. Однако, данное объяснение является гипотезой, требующей проведения дальнейших исследований. При этом остается актуальным вопрос необходимости увеличения показателя прочности образцов АГБ в водонасыщенном состоянии к 28 суткам набора прочности с использованием вяжущего на основе модифицированного доменного шлака.

Выводы.

1. Образцы АГБ с использованием шлакового вяжущего через 7 суток набора прочности уступают контрольному составу на основе портландцемента по всем физико-механическим характеристикам. Однако к 28 суткам набора прочности составы АГБ на модифицированном шлаке значительно превышают значения показателей композита с использованием портландцемента по показателям: прочности при непрямом растяжении при температуре 0°C , при сжатии в водонасыщенном состоянии.

2. Образцы АГБ с использованием неактивированного шлака на 7 и 28 сутки набора прочности имеют более низкие показатели по сравнению с контрольным составом по всем характеристикам.

3. Активированный шлак показывает высокую эффективность при использовании в составе АГБ по показателю непрямого растяжения при температуре 0°C , что свидетельствует о высокой трещиностойкости образцов композита.

4. Наибольшую эффективность по комплексу исследуемых показателей демонстрируют составы с использованием активного вещества на основе двойных сульфатных солей алюминия в комплексе с калием.

5. Химические добавки на основе двойных сульфатных солей алюминия в комплексе с калием и/или натрием увеличивают щелочную среду в процессе набора прочности шлакового вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстегнеева В.Н., Степанец В.Г. Ремонт и реконструкция асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга // Молодой ученый. 2017. №38. С. 21–28.

2. Зарапина Л.С., Андрианов К.А., Зубков А.Ф. Влияние свойств материала, получаемого при холодном фрезеровании покрытий нежесткого типа, на деформацию слоя при устройстве дорожной одежды // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. №. 1. С. 85–95. DOI: 10.36622/VSTU.2022.65.1.008.

3. Ярмолинский В.А., Жабкин М.О., Ярмолинская Е.В. Исследование оптимального количества вяжущего при укреплении асфальтогранулобетона // Международный сборник научных трудов. 2020 Выпуск 20. С. 305–313.

4. Кобцев Д.В., Кобушко Е.А. Асфальтогранулят – перспективный материал в дорожном строительстве // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. С. 2125–2131

5. Карпенко С.А. К вопросу практического применения современных материалов и конструкций в дорожном хозяйстве // Современные прикладные исследования. 2019. С. 121–125.

6. Ширяшкина Д.Р. Использование местных строительных материалов и вторичных продуктов производства для укрепления обочин региональных дорог // Материалы XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград, 2021. С. 168–171.

7. Багров И.А., Ягунов А.А., Дудин В.М. Подбор состава асфальтогранулобетонной смеси при ремонте покрытий автомобильных дорог методом холодной регенерации // материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Vydavatel «Osvícení», Научно-издательский центр «Мир науки». Нефтекамск, 2021. С. 25–28.

8. Боровик Н.С., Журавлев Д.В. Регенерация дорожной одежды методом холодного ресайклинга // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. С. 2021–2025.

9. Grilli A., Bocci, M., Tarantino A.M. Experimental investigation on fibre-reinforced cement-treated materials using reclaimed asphalt // Construction and Building Materials. 2013. Pp. 491–496.

10. One L., Tjaronge M.W., Irmawaty R., Hustim M. Effect of portland composite cement and buton granular asphalt on indirect tensile strength of emulsified asphalt cold mix using limestone aggregate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 419(1).

11. Potturi A. Evaluation Of Resilient Modulus Of Cement And Cement-fiber Treated Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) // Conference Series: Earth and Environmental Science 423(1).
12. Нахаев М.Р., Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. №. 1. С. 21–29.
13. Логвина К.А. Активация вяжущих свойств электросталеплавильных шлаков ОАО «Белорусский металлургический завод» // Образование. Наука. Производство. 2018. С. 1569–1573.
14. Голосова А.С., Клименко Н.Н., Делицын Л.М. Влияние вида щелочного активатора на структуру и механические свойства композиций на основе отходов ТЭК // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. №. 4 (214). С. 51–53.
15. Калашников В.И. Активация малоактивных отвальных шлаков для получения композиционных бесклинкерных минеральношлаковых вяжущих // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 2. С. 8.
16. Якубов Д.А. Геосинтез строительных материалов путем щелочной активации гранулированного доменного шлака // Развитие науки и техники механики выбора и реализации приоритетов, 2022. 162 с.
17. Bol'shakov V.I., Scherbak S.A., Eliseeva M.A. Increasing the reactivity of blast-furnace granulated slag // Construction, materials science, mechanical engineering. 2010. №. 59. 34–38 p. (rus)
18. Щербак С.А., Елисеева М.А., Калиниченко Н.В. Характеристика шлаков и их активация // Вестник Преднепровской государственной академии строительства и архитектуры. 2009. №. 11 (140). С. 4–8.
19. Артамонова А.В. Вяжущие вещества на основе шлаков электросталеплавильного производства // Строительные материалы. 2011. №. 5. С. 11–13.
20. Смирнова О.М., Казанская Л.Ф. Гибридные цементы на основе гранулированных доменных шлаков основные направления исследований // Эксперт: теория и практика. 2022. №. 3 (18). С. 59–65. DOI:10.51608/26867818_2022_3_59.
21. Строкова Я.А., Клименко Н.Н. Комплексная щелочно-щелочноземельная активация гранулированного доменного шлака // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. №. 4 (214). С. 130–132.
22. ОДМ 218.6.1.005-2021 «Методических рекомендаций по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации». Взамен «Методических рекомендаций по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации», утвержденных распоряжением Росавтодора № ОС-568-р от 27.06.2002. : введ. 2021-02-17. М.: Изд-во стандартов, 2021. 24 с.
23. ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 01.03.2020. М: СтандарИнформ: Изд-во стандартов, 2020. 15 с.
24. ГОСТ 23732 Вода для для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Введ. 01.10.2012. М: СтандарИнформ: Изд-во стандартов, 2012. 11 с.
25. ГОСТ 30744 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. Введ. 01.03.2002. М: СтандарИнформ: Изд-во стандартов, 2002. 29 с.
26. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. Введ. 01.01.1999. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1999. 37 с.

Информация об авторах

Траутвайн Анна Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: trautvain@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тимофеев Даниил Геннадьевич, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: daniil_timofeev_99@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

Поступила 02.10.2022 г.

© Траутвайн А.И., Тимофеев Д.Г., 2023

Trautvain A.I., *Timofeev D.G.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: daniil_timofeev_99@mail.ru*

DEVELOPMENT OF VARIOUS TYPES OF CEMENTS FOR THE DEVICE OF STRUCTURAL LAYERS OF ROAD PAVEMENT BASED ON ASPHALT GRANULAR CONCRETE MIXTURES

Abstract. *Today, the highway is not just a construction site, but also an important component in the structure of the country's economic development. Recently, transport loads on the structural layer of pavement have increased many times over as a result of an increase in freight turnover on the roads of the automobile network. To maintain the operational reliability of roads and extend their life cycle, high-quality and innovative materials are needed, technological modes of work adapted to them, as well as timely laboratory research, quality control and monitoring of materials being developed. This will improve the physical and mechanical properties of materials used in the construction of pavement structural layers. One effective approach is to reinforce the pavement base using cement based asphalt granular concrete mix (AGC), which involves the recycling of local materials instead of expensive stone materials. In the work, studies are carried out on the effect of a binder based on NLMK PJSC granulated blast-furnace slag, modified with various chemical additives, on the physical and mechanical properties of the asphalt granular concrete mixture. The effectiveness of the developed compositions lies in the fact that the slag becomes more hydraulically reactive not as a result of activation with caustic alkali or other low-modulus soluble silicates, but due to the use of special reagents that do not adversely affect process equipment and workers. Moreover, the annual growth of carbon dioxide emissions into the atmosphere in the production of cement expands the need for the use of alternative types of binders in construction. It has been established that samples of AGBS-K type asphalt-granular concrete mixture based on the developed compositions of an inorganic binder exceed the strength characteristics of composites using cement.*

Keywords: *asphalt granular concrete mix (AGB), structural layers of pavement, Portland cement, activation, granulated blast-furnace slag.*

REFERENCES

1. Evstegneeva V.N., Stepanets V.G. Repair and reconstruction of asphalt concrete pavements by cold recycling [Remont i rekonstrukciya asfal'tobetonnih pokrytij metodom holodnogo resajklinga]. Young scientist. 2017. No. 38. Pp. 21–28. (rus)

2. Zarapina L.S., Andrianov K.A., Zubkov A.F. Influence of the properties of the material obtained by cold milling of non-rigid type coatings on the deformation of the layer during the construction of pavement [Vliyanie svojstv materiala, poluchaemogo pri holodnom frezerovanii pokrytij nezhestkogo tipa, na deformaciyu sloya pri ustrojstve dorozhnoj odezhdy]. Scientific Journal of Construction and Architecture. 2022. No. 1. Pp. 85–95. (rus) DOI:10.36622/VSTU.2022.65.1.008.

3. Yarmolinsky V.A., Zhabkin M.O., Yarmolinskaya E.V. Study of the optimal amount of binder when strengthening asphalt granular concrete [Issledovanie optimal'nogo kolichestva vyazhushchego pri ukreplenii asfal'togranulobetona]. International collection of scientific papers. 2020 Issue 20. Pp. 305–313. (rus)

4. Kobtsev D.V., Kobushko E.A. Asphaltgranulate – a promising material in road construction [Asfal'togranulyat – perspektivnyj material v dorozhnom stroitel'stve]. International Scientific

and Technical Conference of Young Scientists of BSTU V.G. Shukhov. 2017. Pp. 2125–2131. (rus)

5. Karpenko S.A. To the question of the practical application of modern materials and structures in the road sector [K voprosu prakticheskogo primeneniya sovremennyh materialov i konstrukcij v dorozhnom hozyajstve]. Modern applied research. 2019. Pp. 121–125. (rus)

6. Shiryashkina D.R. The use of local building materials and secondary products of production to strengthen the roadsides of regional roads [Ispol'zovanie mestnyh stroitel'nyh materialov i vtorychnyh produktov proizvodstva dlya ukrepleniya obochin regional'nyh dorog]. Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Volgograd, 2021, Pp. 168–171. (rus)

7. Bagrov I.A., Yagunov A.A., Dudin V.M. Selection of the composition of the asphalt granular concrete mixture for the repair of road pavements by the method of cold regeneration [Podbor sostava asfal'togranulobetonnoj smesi pri remonte pokrytij avtomobil'nyh dorog metodom holodnoj regeneracii]. Proceedings of the International (correspondence) scientific and practical conference. Vydavatel "Osviceni", Scientific Publishing Center "World of Science". Neftekamsk, 2021. Pp. 25–28. (rus)

8. Borovik N.S., Zhuravlev D.V. Regeneration of pavement by cold recycling [Regeneraciya

dorozhnoj odezhdy metodom holodnogo resajklinga]. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. Pp. 2021–2025. (rus)

9. Grilli A., Bocci M., Tarantino A.M. Experimental investigation on fibre-reinforced cement-treated materials using reclaimed asphalt. *Construction and Building Materials*. 2013. Pp. 491–496.

10. One L., Tjaronge M.W., Irmawaty R., Hus-tim M. Effect of portland composite cement and buton granular asphalt on indirect tensile strength of emulsified asphalt cold mix using limestone aggregate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 419(1).

11. Potturi A. Evaluation Of Resilient Modulus Of Cement And Cement-fiber Treated Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Conference Series: Earth and Environmental Science* 423(1).

12. Nakhaev M.R., Salamanova M.Sh., Ismailova Z.Kh. Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation [Zakonomernosti protekaniya processov formirovaniya struktury i prochnosti besklinskernogo vyazhushchego shchelochnoj aktivacii]. *Building materials and products*, 2020. Vol. 3. No. 1. Pp. 21–29. (rus)

13. Logvina K. A. Activation of binding properties of electric steel-smelting slags of JSC "Belarusian Metallurgical Plant" [Aktivaciya vyazhushchih svojstv elektrastaleplavil'nyh shlakov OAO "Belorusskij metallurgicheskij zavod"]. *Education. The science. Production*. 2018. Pp. 1569–1573. (rus)

14. Golosova A.S., Klimenko N.N., Delitsyn L.M. Influence of the type of alkaline activator on the structure and mechanical properties of compositions based on fuel and energy waste [Vliyanie vida shchelochnogo aktivatora na strukturu i mekhanicheskie svojstva kompozicij na osnove othodov TEK]. *Successes in chemistry and chemical technology*. 2019. Vol. 33. No. 4 (214). Pp. 51–53. (rus)

15. Kalashnikov V.I. Activation of low-active dump slags for obtaining composite clinker-free mineral slag binders [Aktivaciya maloaktivnyh otval'nyh shlakov dlya polucheniya kompozicionnyh besklinskernykh mineral'noshlakovykh vyazhushchih]. *Modern problems of science and education*. 2015. No. 2. Pp. 8. (rus)

16. Yakubov D.A. Geosynthesis of building materials by alkaline activation of granulated blast-furnace slag [Geosintez stroitel'nykh materialov putem shchelochnoj aktivacii granulirovannogo domennogo shlaka]. *Development of science and technology in the mechanics of choice and implementation of priorities*, 2022. 162 p. (rus)

17. Bol'shakov V.I., Scherbak S. A., Eliseeva M. A. Increasing the reactivity of blast-furnace granulated slag. *Construction, materials science, mechanical engineering*. 2010. No. 59. Pp. 34–38. (rus)

18. Shcherbak S.A., Eliseeva M.A., Kalinichenko N.V. Characteristics of slags and their activation [Harakteristika shlakov i ih aktivaciya]. *Bulletin of the Predneprovsk State Academy of Construction and Architecture*. 2009. No. 11 (140). Pp. 4–8. (rus)

19. Artamonova A.V. Binders based on slags of electric steelmaking production [Vyazhushchie veshchestva na osnove shlakov elektrostaleplavil'nogo proizvodstva]. *Building materials*. 2011. No. 5. Pp. 11–13. (rus)

20. Smirnova O.M., Kazanskaya L.F. Hybrid cements based on granulated blast-furnace slags, main areas of research [Gibridnye cementy na osnove granulirovannykh domennykh shlakov osnovnye napravleniya issledovaniy]. *Expert: theory and practice*. 2022. No. 3 (18). Pp. 59–65. (rus) DOI:10.51608/26867818_2022_3_59.

21. Strokova Ya.A., Klimenko N.N. Complex alkaline-alkaline earth activation of granulated blast-furnace slag [Kompleksnaya shchelochno-shchelochnozemel'naya aktivaciya granulirovannogo domennogo shlaka]. *Advances in chemistry and chemical technology*. 2019. Vol. 33. No. 4 (214). Pp. 130–132. (rus)

22. ODM 218.6.1.005-2021 "Methodological recommendations for the restoration of asphalt concrete pavements and bases of roads using cold regeneration methods." - Instead of the "Methodological recommendations for the restoration of asphalt concrete pavements and bases of roads by cold regeneration methods", approved by the order of the Federal Road Traffic Agency No. OS-568-r dated 06.27.2002. : input 2021-02-17. M.: Publishing House of Standards, 2021. 24 p. (rus)

23. GOST 31108-2020 General construction cements. Specifications. Enter. 03.01.2020. M: StandarInform: Publishing house of standards, 2020. 15 p. (rus)

24. GOST 23732 Water for concrete and mortar. Specifications. Enter. 01.10.2012. M: StandarInform: Publishing house of standards, 2012. 11 p. (rus)

25. GOST 30744 Cements. Test methods using polyfractional sand. Enter. 03.01.2002. M: StandarInform: Publishing house of standards, 2002. 29 p. (rus)

26. GOST 12801-98. Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods. Enter. 01.01.1999. M: StandarInform: Publishing house of standards, 1999. 37 p. (rus)

Information about the authors

Trautvain, Anna I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile and Railways. E-mail: trautvain@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Timofeev, Daniil G. Undergraduate of the Department of Automobile and Railways. E-mail: daniil_timofeev_99@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 02.10.2022

Для цитирования:

Траутвайн А.И., Тимофеев Д.Г. Разработка различных видов цементов для устройства конструктивных слоев дорожной одежды на основе асфальтогранулобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 4. С. 34–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-34-45

For citation:

Trautvain A.I., Timofeev D.G. Development of various types of cements for the device of structural layers of road pavement based on asphalt granular concrete mixtures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 4. Pp. 34–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-34-45