

УДК 625.855.3

*ЧЕРНЫШОВ АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ, докт. геол.-мин. наук, профессор,
aich53@yandex.ru*

*Национальный исследовательский
Томский государственный университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,*

*АЛЕКСЕЕВ АЛЕКСАНДР АВЕРЬЯНОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
alekseev10@yandex.ru*

*МОКШИН ДМИТРИЙ ИЛЬИЧ, ассистент,
mokshin@sibmail.com*

*ГАУСС КСЕНИЯ СЕРГЕЕВНА, ассистент,
gauss.ksyu@mail.ru*

*ТАРБЕЕВА ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА, студентка,
yuliya-angarsk@yandex.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

АСФАЛЬТОВЫЙ БЕТОН ПОВЫШЕННОЙ ВОДО- И МОРОЗОСТОЙКОСТИ

В статье показана возможность увеличения срока эксплуатации асфальтового бетона дорожных покрытий за счет электризации поверхности минерального наполнителя в среде ионизированного воздуха. Представлена схема лабораторной установки по активации минерального наполнителя в среде ионизированного воздуха как одного из составляющих компонентов асфальтового бетона с высокой развитой удельной поверхностью. Электризация поверхности минерального наполнителя приводит к изменению физико-механических свойств битума в зоне контакта с минеральным материалом. Исследована закономерность влияния электризованной поверхности наполнителя на водо- и морозостойкость асфальтовых бетонов.

Ключевые слова: асфальтовый бетон; электризация поверхности минерального наполнителя; прочность при сжатии и изгибе; водостойкость, морозостойкость.

*ALEKSEI I. CHERNYSHOV, DSc, Professor,
aich53@yandex.ru*

*National Research Tomsk State University,
36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia,*

*ALEKSANDR A. ALEKSEEV, PhD, A/Professor,
alekseev10@yandex.ru*

*DMITRII I. MOKSHIN, Instructor,
mokshin@sibmail.com*

*KSENIYA S. GAUSS, Instructor,
gauss.ksyu@mail.ru*

*YULIYA V. TARBEEVA, Student,
yuliya-angarsk@yandex.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

ASPHALT CONCRETE OF INCREASED WATER AND FROST RESISTANCE

The paper presents the possibility of extending the service life of asphalt concrete pavements due to the mineral filler surface electrification by ionized air. The laboratory equipment is presented for activating mineral filler within ionized air as of one of the components of asphalt concrete having a highly developed specific surface. The surface electrification of mineral filler modifies mechanical-and-physical properties of bitumen in the contact area of the mineral material. The effect from the surface electrification on water and frost resistance asphalt concretes is described in this paper.

Keywords: asphalt concrete; surface electrification; compressive strength; flexural strength; water absorption; frost resistance.

Асфальтовый бетон различного вида и состава применяют в промышленном и гражданском строительстве при устройстве защитных покрытий водопропускных сооружений, гидроизоляции сооружений, строительстве автомобильных и сельскохозяйственных дорог.

Их эксплуатационные качества зависят от адгезионного и когезионного взаимодействия контактирующих фаз в структуре «битум – минеральный наполнитель». Известно, что энергетическое состояние поверхности взаимодействующих компонентов смеси и технологическая последовательность их объединения в единый конгломерат во многом определяют срок эксплуатации битумоминеральных композиций.

Для активации поверхности минерального заполнителя используются новые виды технологических процессов. К таким видам можно отнести электрофизические методы активации составляющих битумоминеральных смесей – битума, минерального порошка, песка, щебня. Однако в технологических процессах получения битумоминеральных смесей далеко не полностью реализованы возможности электрофизического метода активации поверхности минерального заполнителя. В частности, зарядка частиц минерального заполнителя в электрическом поле и трибозарядка (вследствие трения) не обеспечивают существенного улучшения показателей качества получаемой битумоминеральной смеси.

Свойства смол и асфальтенов принципиально не зависят от атомного состава, а зависят от энергии взаимодействия атомов в молекулах и молекул между собой (рис. 1). Различный элементный состав смол и асфальтенов из различного сырья придает им отдельные специфические свойства (рис. 2).

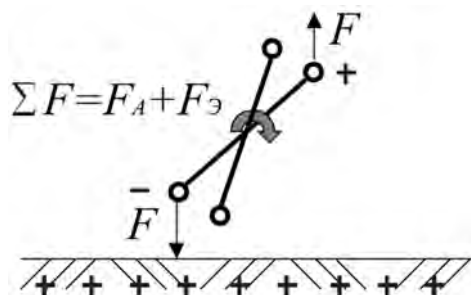


Рис. 1. Поляризация полярных диэлектриков во внешнем электрическом поле поверхности минерального материала

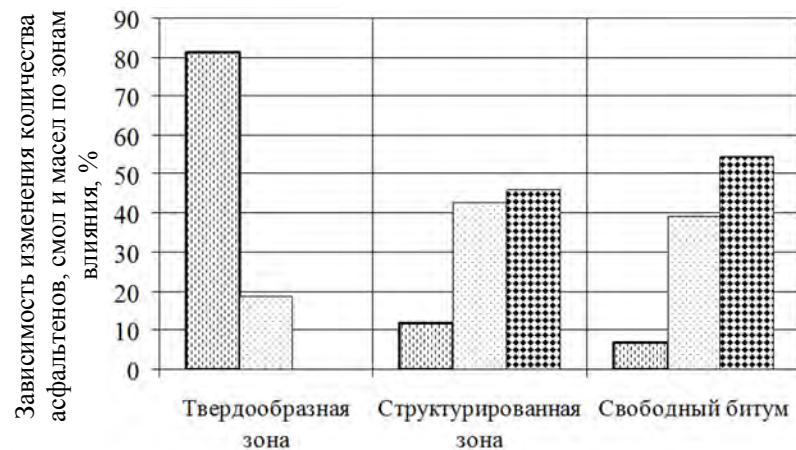


Рис. 2. Зависимость изменения количества асфальтенов, смол и масел по зонам влияния:
 ■ – асфальтены; ■ – смолы; ■ – масла

Активное вмешательство в структурообразование асфальтового бетона может быть достигнуто в результате применения активированных минеральных материалов [1], у которых в процессе активации происходит изменение энергетического состояния поверхности минерального наполнителя под воздействием внешних факторов [2], что позволяет увеличить адгезионное взаимодействие минерального наполнителя с битумом.

Результаты исследований А.В. Руденского, И.В. Королева [3], Б.Г. Печеного [4], Л.Б. Гезенцева, М.И. Волкова, Н.В. Горельшева, И.А. Рыбьева, В.А. Золотарева в области взаимодействия органического вяжущего с минеральными материалами позволяют сделать заключение о том, что изменение энергетического состояния поверхности минерального материала и органических вяжущих путем модификации или активации позволяет: повышать адгезию органического вяжущего к минеральным материалам; улучшать свойства органического вяжущего в тонких слоях, прилегающих к поверхности минерального материала, вследствие этого изменяется соотношение свободного и адсорбированного битума; улучшать структурно-механические свойства асфальтобетона и органоминеральных смесей; расширять ассортимент используемых минеральных заполнителей, особенно высокодисперсной составляющей.

Основным фактором, определяющим процесс адгезионного и когезионного взаимодействия органического вяжущего с минеральными заполнителями, является их энергетическое состояние [5–8]. При этом механические свойства органического вяжущего существенно зависят от структурирующего воздействия поверхности заполнителя [9–10].

Коллоидная структура битума определяется не зарядовыми, а спиновыми дипольными свойствами соединений в его составе. Поэтому структуру битумов определяют химические соединения, представляющие собой свободные радикалы, соединения, обладающие спиновыми дипольными моментами, и соединения, в которых электронные орбитали полностью замкнуты и не дают существенных спиновых дипольных моментов.

Для электризации поверхности минерального порошка в среде ионизированного воздуха была создана экспериментальная установка, в состав которой входят несколько самостоятельных блоков, объединенных в одну систему (рис. 3, 4).

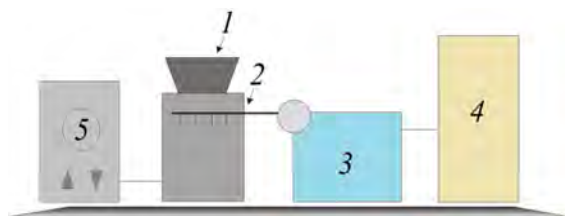


Рис. 3. Принципиальная схема установки по электризации поверхности минерального заполнителя в среде ионизированного воздуха:

1 – бункер для загрузки минерального материала; 2 – камера для создания ионизированного воздуха; 3 – высоковольтный блок; 4 – блок управления; 5 – электрометр ЭД-5М

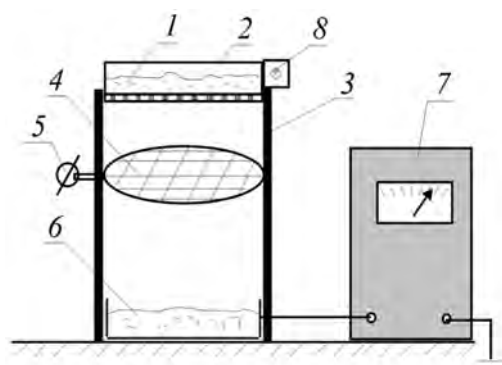


Рис. 4. Зарядная камера поверхности минерального заполнителя в среде ионизированного воздуха:

1 – минеральный заполнитель; 2 – устройство подачи материала в зону активации; 3 – зарядная камера; 4 – электрод для ионизации воздуха; 5 – зажим для подключения высокого напряжения на электрод; 6 – поддон с подзаряженным заполнителем; 7 – электрометр ЭД-5М; 8 – вибратор

Зарядная камера, представленная на рис. 4, состоит из стеклопластикового корпуса (3), на котором закреплен высоковольтный электрод (4), создающий вокруг себя некоторый объем ионизированного воздуха. Минеральный порошок (1) самотеком или с помощью вибратора (8), пролетая сверху вниз в среде ионизированного воздуха, приобретает дополнительный поверхностный заряд, которой фиксируется электрометром ЭД-5М (7).

Согласно работам Н.Ф. Олофинского [11], минеральная частица может приобрести заряд, близкий к максимальному, за время 0,01 с:

$$Q_{\max} = \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) E_0 R^2, \quad (1)$$

где Q_{\max} – максимальный заряд частицы; ε – диэлектрическая проницаемость частицы; R – радиус частицы; E – напряженность электрического поля в зоне нахождения минеральной частицы.

Напряженность электрического поля на поверхности минерального зерна с учетом ее падения с расстоянием выражается формулой

$$U_r = -\frac{d\varphi}{dr} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{(r_2 - r_1)^2}. \quad (2)$$

На рис. 5 представлено изменение прочности при сжатии и изгибе контрольных и активированных асфальтобетонных образцов.

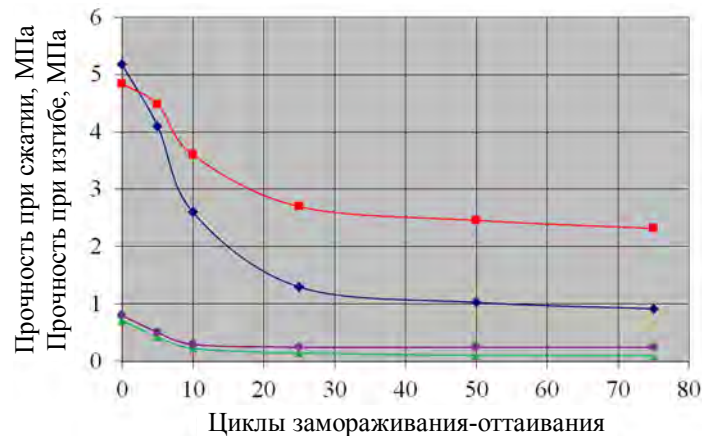


Рис. 5. Изменение прочности при сжатии и изгибе контрольных и активированных асфальтобетонных образцов:

■ – прочность при сжатии, активированные образцы; ◆ – прочность при сжатии, контрольные образцы; ● – прочность при изгибе, активированные образцы; ▲ – прочность при изгибе, контрольные образцы

Результаты воздействия воды на битумоминеральные композиции определялись по истечении 70 сут нахождения образцов в воде при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении.

Образцы диаметром 50 мм и высотой 5 мм помещались в стакан с дистиллированной водой, где и выдерживались при заданной температуре. Основной причиной снижения прочности уложенных и уплотненных битумоминеральных композиций является нарушение сплошности пленок битума и снижение адгезионной связи с поверхностью минерального заполнителя.

Поскольку надмолекулярную структуру битума образуют ассоциаты молекул асфальтенов и смол, которые во много раз больше молекул воды, в них при неупорядоченном расположении могут возникать внутримолекулярные и межмолекулярные дыры, которые создают условия проникновения воды под пленку битума. В случае активации поверхности заполнителя эти условия затруднены, что объясняется более «кристаллической» структурой ассоциатов битума, образовавшихся при больших значениях сил электростати-

ческого взаимодействия парамагнитных центров асфальтенов с поверхностью минерального заполнителя.

Асфальтовые бетоны, приготовленные на минеральных заполнителях с электризованной поверхностью при оптимальных технологических режимах, обладают более высокими эксплуатационными качествами, что подтверждено выполненными исследованиями, по сравнению с битумоминеральными композициями, приготовленными по традиционной технологии.

На рис. 6 представлена зависимость водопоглощения контрольных и активированных асфальтобетонных образцов от времени.

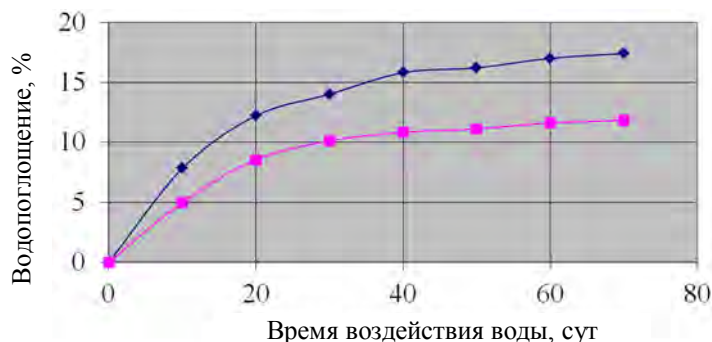


Рис. 6. Водопоглощение контрольных и активированных асфальтобетонных образцов:
◆ – неактивированные; ■ – активированные

Результаты воздействия воды на битумоминеральные композиции определялись по истечении 15 сут нахождения в воде образцов при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении.

Образцы диаметром 50 мм и высотой 5 мм помещались в стакан с дистиллированной водой, где и выдерживались при заданной температуре. Основной причиной снижения прочности уложенных и уплотненных битумоминеральных композиций является нарушение сплошности пленок битума и снижение адгезионной связи с поверхностью минерального заполнителя, поскольку надмолекулярную структуру битума образуют ассоциаты молекул асфальтенов и смол, которые во много раз больше молекул воды, в них при неупорядоченном расположении могут возникать внутримолекулярные и межмолекулярные дыры, которые создают условия проникновения воды под пленку битума. В случае электризации поверхности минерального заполнителя эти условия затруднены, что объясняется повышенной «кристалличностью» структуры ассоциатов битума, образовавшихся при больших значениях сил электростатического взаимодействия парамагнитных центров асфальтенов с поверхностью минерального заполнителя.

Определение коэффициента линейного температурного расширения производилось (рис. 7) путем совместного измерения деформации образца 1, находящегося в морозильной камере 8, с использованием закрепленного на нем датчика деформаций, состоящего из упругих элементов 4 с наклеенными на них тензорезисторами 3, скрепленных кварцевым стержнем 2, и измерения

температуры в морозильной камере. Измерения производились на образцах – балочках размером 4×4×16 см, с шагом изменения температуры $\Delta^{\circ}\text{C} = 10$.

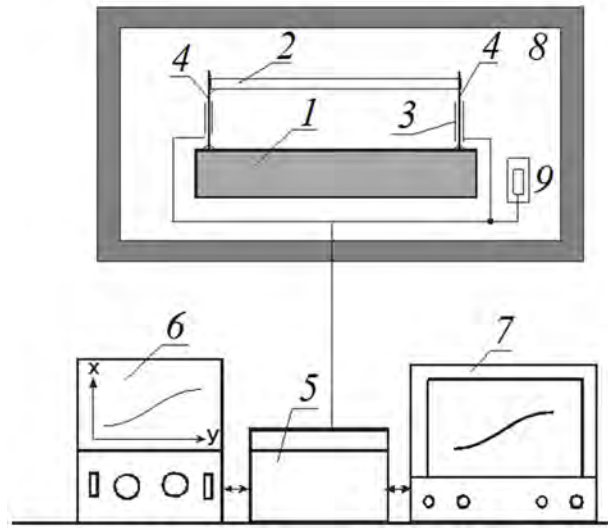


Рис. 7. Схема определения коэффициента линейного температурного расширения:
1 – образец; 2 – кварцевая трубочка; 3 – тензорезисторы; 4 – тензометрические балочки; 5 – принтер; 6 – персональный компьютер; 7 – тензометрическая станция; 8 – морозильная камера

Относительная деформация рассчитывалась по формуле

$$\varepsilon_m = \Delta L / L_0, \quad (3)$$

где ΔL – деформация образца в результате воздействия температуры, м; L_0 – база измерения, м.

По результатам измерений строились графики ε_m от ΔT , и полученные значения аппроксимировались следующей зависимостью:

$$\lambda = f(\varepsilon_m, \Delta T), \quad (4)$$

где ε_m – деформация образца при воздействии температуры (рис. 8); ΔT – приращение температуры; λ – коэффициент линейного температурного расширения, определяемый по формуле

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{L_0} \frac{L_1 - L_2}{T_1 - T_2}, \quad (5)$$

где $\lambda_{1,2}$ – коэффициент теплового расширения асфальтового бетона в интервале температур T_1 и T_2 , $^{\circ}\text{C} = 10$; L_1 и L_2 – длина образца при температурах T_1 и T_2 соответственно, мм; L_0 – длина образца при 20 $^{\circ}\text{C}$, равная 160 мм.

Дополнительная электризация поверхности минерального порошка приводит к смещению температуры хрупкости на 7 $^{\circ}\text{C}$. Анализируя рис. 8, можно отметить увеличение способности сопротивления материала развитию трещин асфальтового бетона в теле реальной конструкции, что особенно актуально для климатических условий Западной Сибири.

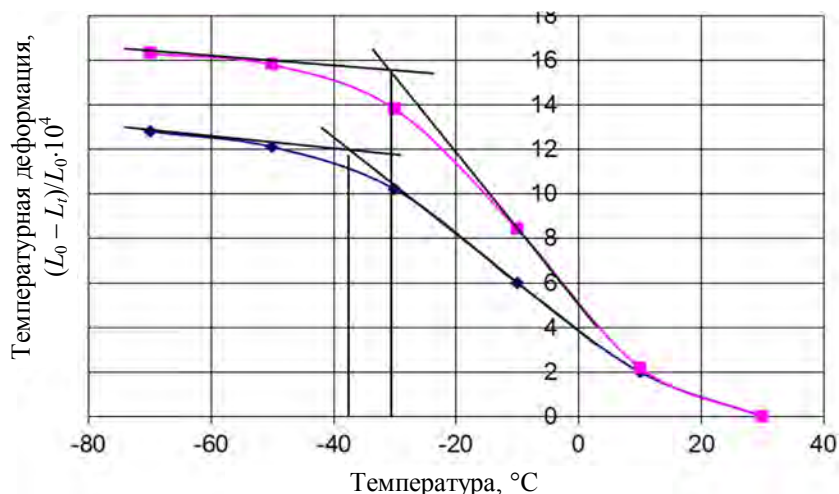


Рис. 8. Зависимость температурной деформации от температуры:
 ◆ – активированные материалы; ■ – неактивированные

Для промышленного применения электризации поверхности минерального порошка необходимо создание узла активации в виде отдельного блока, который легко вписывается в технологическую линию производства любых битумоминеральных композиций (рис. 9).

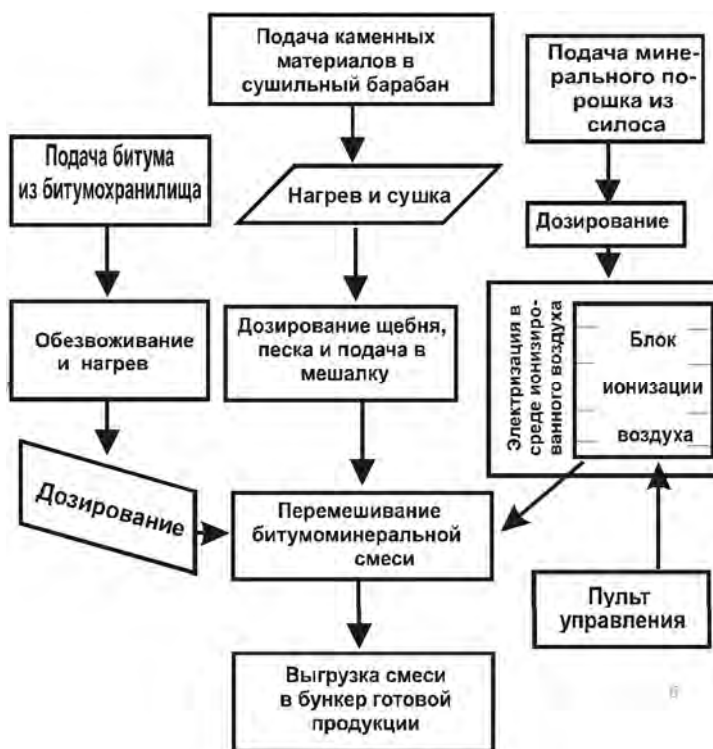


Рис. 9. Технологическая схема процесса приготовления асфальтобетона

Процесс приготовления асфальтовых бетонов с электризованной поверхностью существенно не отличается от традиционной технологии. Дополнительный узел позволяет производить электризацию поверхности минерального порошка ионизированным воздухом в поле коронного разряда, который без существенных материальных и энергетических затрат вписывается в технологическую схему.

Технологическая схема по производству асфальтового бетона, представленная на рис. 9, состоит из узла сушки материалов, смесительного узла и дозирующих устройств. Дополнительный узел активации входит в систему подачи минерального порошка и состоит из бункера хранения минерального порошка, дозирующего устройства, высоковольтного блока, осуществляющего ионизацию воздуха в процессе коронного разряда.

На основании результатов выполненных лабораторных и опытно-промышленных работ было установлено, что повышение морозостойкости асфальтового бетона позволяет уменьшить количество вяжущего в смеси на 5–7 % и повысить эксплуатационную надежность дорожных покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Активация портландцемента* в поле высоковольтного барьерного разряда / А.А. Алексеев, А.М. Гусаков, Д.В. Хонин, А.Н. Кузугашев // *Строительство-2009* : материалы юбилейной Международной научно-практической конференции. – Ростов н/Д : Рост. гос. строит. ун-т., 2009. – С. 152–153.
2. *Алексеев, А.А.* Технология обработки цемента и цементного теста в поле высоковольтного барьерного разряда / А.А. Алексеев, Д.В. Хонин, А.Н. Кузугашев // *Строительство: материалы, конструкции, технологии* : материалы 1 Всероссийской (VII) научно-технической конференции. – Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. – С. 82–87.
3. *Королев, И.В.* Особенности взаимодействия компонентов в битумоцементных системах / И.В. Королев, А.Б. Соломенцев // *Химия и технология топлив и масел*. – 1993. – № 4. – С. 26–28.
4. *Печеный, Б.Г.* Битумы и битумные композиции / Б.Г. Печеный. – М. : Химия, 1990. – 256 с.
5. *Недавний, О.И.* Некоторые аспекты активации минерального заполнителя в среде ионизированного воздуха / О.И. Недавний, В.Н. Сафронов, А.А. Алексеев // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2000. – № 1. – С. 186–193.
6. *Алексеев, А.А.* Влияние электризации поверхности минерального заполнителя в технологии асфальтобетонных смесей / А.А. Алексеев // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2001. – № 2. – С. 100–105.
7. *Алексеев, А.А.* Быстротвердеющие цементные системы / А.А. Алексеев // *Наука и образование в жизни современного общества* : сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 29 ноября 2013 г. : в 18 ч. Ч. 7 / М-во обр. и науки РФ. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 16–17.
8. *Alekseev, A.* Influence of electrified surface of cementitious materials on structure formation of hardened cement paste [Влияние электризации поверхности цементных материалов на формирование структуры цементного камня] / A. Alekseev, A. Gusakov // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – 71.
9. *Чернышов, А.И.* Систематика магматических и метаморфических горных пород : учебно-методический комплекс / А.И. Чернышов ; Том. гос. ун-т, Ин-т дистанционного образования. – Томск : ИДО ТГУ, 2008. – Условия доступа : <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000341287>.
10. *Исследование обогрева межстекольного пространства* для повышения теплотехнических характеристик окон с тройным остеклением / А.И. Гныря, М.И. Низовцев, Е.В. Петров, В.И. Терехов // *Строительные материалы*. – 2000. – № 11. – С. 10–12.

11. Олофинский, Н.Ф. Электрические методы обогащения / Н.Ф. Олофинский. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1977. – 519 с.

REFERENCES

1. Alekseev A.A., Gusakov A.M., Khonin D.V., Kuzugashev A.N. Aktivatsiya portlandtsementa v pole vysokovol'nogo bar'ernogo razryada [Portland cement activated in high-voltage barrier discharge]. *Proc. Sci. Conf. 'Stroitel'stvo-2009'*. Rostov-on-Don : Rostov State University of Civil Engineering Publ., 2009. Pp. 152–153. (rus)
2. Alekseev A.A., Honin D.V., Kuzugashev A.N. Tehnologija obrabotki cementa i cementnogo testa v pole vysokovol'nogo bar'ernogo razryada [High-voltage barrier discharge technology for cement and cement paste]. *Proc. Sci. Conf. 'Stroitel'stvo-2009'*. Bratsk : Bratsk State University Publ., 2009. Pp. 82–87. (rus)
3. Korolev I.V., Solomentsev A.B. Osobennosti vzaimodeistviya komponentov v bitumomineral'nykh sistemakh [Interaction between bitumen mineral system components]. 1993. No. 4. Pp. 26–28. (rus)
4. Pechenyi B.G. Bitумы i bitumnye kompozitsii [Bitumen and bitumen compositions]. Moscow : Khimiya Publ., 1990. 256 p. (rus)
5. Nedavnyj O.I., Safronov V.N., Alekseev A.A. Nekotorye aspekty aktivatsii mineral'nogo zapolnitelja v srede ionizirovannogo vozduha [Activation of mineral filler under ionized air conditions]. *Vestnik TSUAB*. 2000. No. 1. Pp. 186–193. (rus)
6. Alekseev A.A. Vliyanie elektrizatsii poverkhnosti mineral'nogo zapolnitelya v tekhnologii asfal'tobetonnykh smesei [Mineral surface electrification in asphalt mix technology]. *Vestnik TSUAB*. 2001. No. 2. Pp. 100–105. (rus)
7. Alekseev A.A. Bystrotverdeyushchie tsementnye sistemy [Quick setting cement systems]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'Science and Education in Modern Society'*. Tambov : Biznes-Nauka-Obshchestvo Publ., 2013. Pp. 16–17. (rus)
8. Alekseev A.A., Gusakov A. Influence of electrified surface of cementitious materials on structure formation of hardened cement paste. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2015. No. 71.
9. Chernyshov A.I. Sistematika magmaticheskikh i metamorficheskikh gornyh porod [Magmatic and metamorphic rock classification]. Available at: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000341287>. (rus)
10. Gnyrya A.I., Nizovtsev M.I., Petrov E.V., Terekhov V.I. Issledovanie obogreva mezhstekol'nogo prostranstva dlya povysheniya teplotekhnicheskikh kharakteristik okon s troinym ostekleniem [Interstitial heating for increasing thermal properties of triple glazing]. *Construction Materials*. 2000. No. 11. Pp. 10–12. (rus)
11. Olofinskii N.F. Elektricheskie metody obogashcheniya [Electric methods of enrichment]. Moscow : Nedra Publ., 1977. 519 p. (rus)