

УДК 69.001.5
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-764-776>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛИТОВОГО ШЛАМА ДЛЯ УСТРОЙСТВА МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА

А.А. Лыткин¹, Г.Б. Старков², Е.Я. Вагнер²

¹ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия;

²ООО «Стройсервис»
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены физико-механические свойства белитового (нефелинового) шлама – многотоннажного отхода глиноземного производства. Показана область его применения при строительстве, реконструкции и ремонте дорог и аэродромов.

Материалы и методы. Приведены данные теоретических и лабораторных исследований по использованию молотого нефелинового шлама в качестве вяжущего для укрепления асфальтового гранулята, в том числе при отрицательных температурах, без противоморозных добавок. Определены оптимальные дозировки тонкомолотого шлама для укрепления асфальтового гранулята 10–15%.

Результаты. Результаты экспериментальных исследований подтверждены в ходе производственной проверки при строительстве опытного участка основания из шламогранулобетона. Определено направление дальнейших исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асфальтовый гранулят, белитовый шлам, шламогранулобетон, медленнотвердеющее вяжущее, монолитное основание, зимняя технология.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 16.12.20, принята к публикации 25.12.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: А.А. Лыткин, Г.Б. Старков, Е.Я. Вагнер. Исследование эффективности использования белитового шлама для устройства монолитных слоев дорожных одежд методом холодного ресайклинга. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-764-776>

© Лыткин А.А., Старков Г.Б., Вагнер Е.Я.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-764-776>

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF BELITE SLUDGE FOR THE DEVICE OF MONOLITHIC LAYERS OF ROAD CLOTHES BY THE METHOD OF COLD RECYCLING

Alexander A. Lytkin¹, Gleb B. Starkov², Evgeniy Ya. Wagner²

¹Siberian State Automobile and Highway University,
Automobile and Highway University (SibADI),
Russia, Omsk;

²ООО «Stroyservice»
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The physical and mechanical properties of belite (nepheline) sludge, a large-tonnage waste of alumina production, are given. The scope of its application is shown in the construction, reconstruction and repair of roads and airfields.

Materials and methods. The data of theoretical and laboratory studies on the use of ground nepheline sludge as a binder for strengthening asphalt granulate, including at low temperatures, without antifreeze additives. The optimal dosages of finely ground sludge for strengthening asphalt granulate 10–15% have been determined.

Results. The results of the experimental studies were confirmed during the production check during the construction of the pilot section of the foundation made of sludge granulometric concrete. The direction of further research is determined.

KEYWORDS: asphalt granulate, belite sludge, slurry granuloconcrete, slow-hardening binder, monolithic base, winter technology.

Submitted 16.12.20, revised 25.12.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Alexander A. Lytkin, Gleb B. Starkov, Evgeniy Ya. Wagner. Research of the efficiency of the use of belite sludge for the device of monolithic layers of road clothes by the method of cold recycling. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-764-776>

© Lytkin A.A., Starkov G.B., Wagner E.Y.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Основу дорожной сети России образуют автомобильные дороги с жесткими дорожными одеждами, имеющими асфальтобетонные покрытия. Постоянно возрастающая интенсивность движения на автомобильных дорогах общего пользования, а также значительное повышение нагрузок на ось требует увеличения несущей способности дорожных одежд. Следует отметить, что в настоящее время несколько завышена роль пакета слоев из асфальтобетона в обеспечении несущей способности и долговечности конструктивов автомобильных дорог. В виду стереотипности мышления заказчиков и проектировщиков при составлении проектов предпочтение, как правило, отдается традиционным технологиям ремонта, включающим в себя предварительное фрезерование старого покрытия с последующим устройством слоев из асфальтобетонных смесей. Однако наиболее ответственным конструктивным слоем является в большей мере несущее основание. При этом основания из материалов, укрепленных вяжущими, не только прочны и долговечны, но и экономичны, поскольку открывают возможность использовать взамен дорогостоящих привозных каменных материалов местные грунты, некондиционные каменные материалы и промышленные отходы.

Важнейшей задачей, стоящей перед дорожной отраслью России, является повышение сроков службы жестких дорожных одежд до 24 лет. Для решения этой задачи необходимо повышать качество строительства и содержания автомобильных дорог, а также шире применять новые, более эффективные конструкции, материалы и технологии.

В настоящее время в дорожной отрасли все шире применяются технологии, основанные на последних достижениях науки и техники и отвечающие последним требованиям в обеспечении заданной долговечности автомобильных дорог в условиях возрастания интенсивности и грузонапряженности дорожного движения. Эффективной технологией восстановления слоев оснований и усиления жестких дорожных одежд в сравнении с традиционными методами является «Метод холодной регенерации» (ресайклинг) [1, 2, 3, 4]. Данная технология предусматривает выполнение регенерации старых слоев покрытия или основания с максимальным использованием материала старого асфальтобетона как основного компонента нового. В этом случае

специальные машины – ресайклеры – с помощью холодных фрез измельчают материал существующего покрытия, превращая его в асфальтобетонный гранулят, с последующим перемешиванием его с вяжущим и послойным распределением. При этом различают холодный ресайклинг (ХР) без стабилизации гранулята вяжущими и со стабилизацией цементом, битумом, битумной эмульсией и др.

При ХР достигается значительная экономия кондиционных дорожно-строительных материалов и исключаются затраты на утилизацию материала старого покрытия. Кроме того, разрушение старого покрытия позволяет ликвидировать источник возникновения отраженных трещин на новом покрытии. Укрепление асфальтового гранулята с добавлением или без добавления щебеночной составляющей обеспечивает усиление дорожной одежды за счет получения дополнительного однородного, монолитного слоя основания из асфальтогранулобетона. При сохранении той же толщины основания общий модуль упругости дорожной одежды повышается в 1,5–2 раза, что обеспечивает значительное увеличение ресурса дорожной одежды по критерию упругого прогиба (в виде суммарного числа приложений расчетной нагрузки до наступления состояния отказа) и пропорционально увеличивает срок службы дороги между капитальными ремонтами. С учетом того, что срок службы жестких дорожных одежд с монолитными основаниями также в 1,5–2,0 раза больше, чем с основаниями из дискретных материалов, при высокой интенсивности движения предпочтение следует отдавать ресайклингу со стабилизацией асфальтового гранулята [5, 6].

Перечисленные преимущества делают ХР наиболее привлекательной технологией для восстановления жестких дорожных одежд по критерию «стоимость/эффективность». По некоторым приблизительным оценкам, экономия может составить 20–30%, причем чем выше интенсивность движения по ремонтируемой дороге, тем выше экономический эффект данного метода [3].

Но следует отметить, что, например, метод укрепления гранулята цементом не лишен недостатков. Во-первых, цемент представляет собой дорогой материал. Во-вторых, вследствие того, что цемент является высокоактивным быстросхватывающимся и быстротвердеющим вяжущим, технологические операции по устройству конструктивных слоев с его применением должны быть выполнены в очень сжатые сроки (не более двух часов

между приготовлением смеси и окончанием её уплотнения). В-третьих, асфальтогранулобетон на основе цемента имеет излишне высокую жесткость, в результате чего в процессе эксплуатации в основании могут образовываться температурные трещины, которые неизбежно отражаются в вышележащих асфальтобетонных слоях. Кроме того, устройство монолитных оснований и покрытий из асфальтогранулобетона с применением вяжущих допускается при температурах воздуха не ниже 10°C [4]. Сезонный характер устройства таких оснований существенно сдерживает темпы ремонта дорог.

Вопрос продления строительного сезона по устройству монолитных конструктивных слоев с использованием технологии холодного ресайклинга является весьма актуальным. Имеется определенный опыт ХР при низких положительных и отрицательных температурах воздуха с применением противоморозных добавок [7]. Но введение добавок сопряжено с дополнительным удорожанием и не гарантирует качественное выполнение работ из-за непредсказуемости изменения температуры воздуха.

В настоящее время детально исследованы и опробованы на практике методы устройства слоев дорожных одежд при отрицательных температурах воздуха из цементобетонных смесей и грунтов, укрепленных цементом [8, 9, 10]. Принцип реализации этих методов заключается в создании благоприятных тепловлажностных условий для набора материалом критической прочности, после достижения которой он может быть заморожен. Это осуществляется путем применения специальных мер: введением в смеси противоморозных добавок, утеплением уложенных слоев теплоизоляционными материалами, электропрогревом и т. д. Указанные методы не нашли достаточно широкого внедрения в дорожной отрасли, так как они энергоемки, низкопроизводительны, значительно удорожают и усложняют работы [10].

В 60-х годах прошлого столетия была предложена технология устройства цементобетонных оснований способом раннего замораживания [11]. Принципиальное отличие этого способа от традиционных заключается в том, что не создаются условия для набора бетоном критической прочности, а смесь укладывается на мерзлый подстилающий слой и замораживается до начала схватывания цемента, то есть до образования в материале жестких кристаллических связей. Однако проверочные

исследования, проведенные НИИЖБ, показали, что в производственных условиях осуществить такую технологию без потерь прочности и морозостойкости бетона невозможно, так как материал не успевает замерзнуть до начала схватывания цемента [12]. Для предотвращения потери прочности бетона необходимо повторное вибрирование смеси после ее оттаивания [13]. Качественное вибрирование бетона выполнить очень сложно, так как оттаивание его происходит тоже медленно и после оттаивания он никогда не бывает по всему сечению слоя в пластическом состоянии. Кроме того, эти мероприятия сопряжены с дополнительными энергозатратами и существенно снижают темпы строительства.

Следовательно, для эффективного использования способа раннего замораживания необходимо значительно удлинить сроки схватывания и твердения материала, чтобы дать ему возможность полностью замерзнуть и оттаивать до потери пластических свойств, то есть до начала кристаллообразования. Осуществить это можно, заменив портландцемент медленнотвердеющими бесклинкерными вяжущими, не имеющими ярко выраженного срока схватывания: сланцевые золы уноса, активированные известью; тонкомолотые фосфорные шлаки, активированные известью или цементной пылью; белитовые шламы [14, 15]. Кроме того, у медленнотвердеющих вяжущих тиксотропная коагуляционная структура сохраняется в течение более длительного времени по сравнению с портландцементом. Это позволяет облегчить соблюдение требуемых технологических параметров при производстве работ в ранние сроки твердения материала. Свежеуложенный слой дорожной одежды из смеси на основе медленнотвердеющего вяжущего будет обладать повышенной ремонтпригодностью в процессе укладки и уплотнения.

Особый интерес для Сибири представляет натуральный белитовый шлам – многотоннажный отход глиноземного производства, который без дополнительной переработки за счет высокого содержания белита (C2S) обладает свойствами грубодисперсного, медленнотвердеющего вяжущего [16].

СВОЙСТВА БЕЛИТОВОГО ШЛАМА

Белитовый шлам образуется при производстве глинозема – оксида алюминия из нефелиновых и бокситовых руд способом спекания. В процессе высокотемпературного обжига руды с известняком на глиноземных предприятиях окись кальция и содержащийся в руде крем-

незем вступают в соединение и образуют в основном частично гидратированный β – двухкальциевый силикат (белит), представляющий собой один из основных компонентов портландцементного клинкера. Из продукта спекания путем гидротермального выщелачивания выделяют глинозем, а белит, практически полностью оставаясь в шламе, в виде пескообразного отхода поступает в отвал [17]. В зависимости от перерабатываемой руды белитовый шлак подразделяют на нефелиновый и бокситовый.

Невостребованные запасы этого отхода на шламоотвалах предприятий алюминиевой промышленности России составляют сотни миллионов тонн. На сегодняшний день только на Ачинском глиноземном комбинате (АО «РУСАЛ Ачинск») общий объем нефелинового шлака составляет 220 млн т при ежегодном поступлении 6–7 млн т в год. При этом использование нефелинового шлака в качестве вторичного материального ресурса не превышает 200–300 тыс. т в год.

На основании заключения ФГУ «ЦЭКА» по определению класса опасности отходов ОАО «РУСАЛ Ачинск» расчетным методом нефелиновый шлак отнесен к 5-му классу опасности (неопасные отходы). 5-й класс опасности

шлама подтвержден также аккредитованной лабораторией АНО «Экспертно-аналитический центр по проблемам окружающей среды «ЭКОТЕРРА». Проведенные исследования показали, что нефелиновый шлак нерадиоактивен, не содержит вредных токсичных соединений, удельная активность естественных радионуклидов, содержащихся в шламе, не превышает гигиенический норматив, установленный для отходов промышленного производства, и, соответственно, равна 66,9 Бк/кг при нормативе 370 Бк/кг [18].

По фазовому составу нефелиновый шлак представляет в основном смесь силикатов, гидросиликатов (20–30%) и гидроалюминатов кальция (3–5%), гидроферритов, карбонатов. Кроме того, в виде единичных зерен отмечаются нефелин, кварц, полевые шпаты, слюда и стекловидные частицы. Содержание белита в нефелиновом шламе составляет 70–85%. Следовательно, шлак является полимерным материалом, в котором четко фиксируется преобладающее наличие белита полиаморфной формы - β , сцементированного массой гидратов [19].

Физико-механические свойства шлама представлены в таблице 1.

Таблица 1
Физико-механические свойства нефелинового шлака текущего производства

Table 1
Physical and mechanical properties of nepheline sludge of current production

Наименование свойств	Показатели
Модуль крупности	1,2–1,7
Истинная плотность	2,91–3,04 г/см ³
Насыпная плотность во влажном состоянии, кг/м ³	900–1100
Удельная площадь поверхности	300–750 см ² /г
Микропористость	35–60% при размере пор от 10 до 1000 мкм.
Коэффициент теплопроводности при стандартной плотности, Вт/(м·К)	0,57–0,66
Оптимальная влажность, %	23–26
Средняя плотность в уплотненном состоянии при оптимальной влажности под нагрузкой 15 МПа, т/м ³	1,8–1,85
Предел прочности на сжатие, МПа: - сразу после уплотнения под нагрузкой 15 МПа; - через 90 сут; - через 1 г.	1,0–1,2 4,0–6,0 9,0–10,0
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа: - через 90 сут; - через 1 г.	1,6–2,4 2,6–3,0

Приведенные данные свидетельствуют о том, что нефелиновый шлам в рядовом виде (без дополнительного измельчения), уплотненный при оптимальной влажности (22–26%) по показателям прочности, при нормативном сроке твердения для медленноотвердеющих вяжущих 90 сут, соответствует маркам от М40 до М60 [20, 21, 22]. При этом сохраняется тенденция к дальнейшему набору прочности за счет большого резерва негидратированного вяжущего [17, 22].

Исследования показали, что шлам текущего производства обладает рядом уникальных специфических свойств:

- имеет пониженную температуру начала замерзания (минус 2°C) и хорошую уплотняемость в интервале отрицательных температур (минус 3 – минус 7°C), так как в его составе содержится около 2% свободных щелочных соединений;

- сохраняет в конструктивном слое требуемую плотность, влажность и вяжущие свойства после замораживания на стадии формирования коагуляционной структуры;

- длительное время не утрачивает вяжущие свойства при хранении в штабелях на открытом воздухе за счет высокого содержания белила;

- затвердевший шлам способен восстанавливать разрушенную структуру после повторного уплотнения, то есть обладает тиксотропными свойствами;

- длительное время сохраняет удобоукладываемость, без противоморозных добавок, в технологическом процессе по устройству конструктивных слоев при отрицательных температурах воздуха;

- обладает способностью без введения противоморозных добавок в уплотненном состоянии твердеть при отрицательных температурах¹ [21, 23, 24].

На основании многолетних научных исследований и производственного внедрения были разработаны методические рекомендации по строительству конструктивных слоев дорожных и аэродромных одежд из рядового (натурального) белитового шлама и шламоминеральных материалов, в том числе при отрицательных, до минус 20°C температурах воз-

духа^{1,2} [27]. По разработанным рекомендациям с применением белитового шлама построены сотни километров дорог общего пользования I–IV категорий и нефтепромысловых дорог в I, II, III и IV дорожно-климатических зонах, на всех типах местности по условиям увлажнения.

Однако следует отметить, что исследования по использованию рядового и молотого шлама для укрепления асфальтового гранулята при ремонте и строительстве дорог, в том числе при отрицательных температурах, не выполнялись. Исследование возможности использования нефелинового шлама АО «РУСАЛ Ачинск» в качестве вяжущего при укреплении асфальтового гранулята в Восточной и Западной Сибири является актуальной научной и практической задачей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель исследований: изучение эффективности использования нефелинового шлама для укрепления асфальтового гранулята, в том числе при отрицательных температурах воздуха.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные и практические задачи:

1. На основе анализа результатов многолетних исследований по использованию нефелинового шлама АГК дать теоретическое обоснование применения этого материала в качестве вяжущего для укрепления асфальтового гранулята, в том числе в зимний период.

2. Изучить кинетику твердения асфальтового гранулята, укрепленного шламом (шламогранулобетона) при различных температурных режимах, и его физико-механические свойства.

3. Проверить разработанные технические решения в опытном строительстве.

Теоретическими предпосылками к положительному эффекту применения шлама при реализации данной технологии являются: пониженная температура его смерзания; способность не утрачивать гидравлическую активность и твердеть при отрицательных температурах; отсутствие сроков начала и конца схватывания. Кроме того, следует ожи-

¹ Методические рекомендации по укреплению грунтов и других материалов медленноотвердеющими вяжущими при пониженных положительных и отрицательных температурах // Минтрансстрой СССР, 1985. 33 с.

² Методические рекомендации по устройству дорожных оснований и переходных покрытий с применением белитового шлама в нефтегазоносных районах Западной Сибири // Минтрансстрой СССР. 1986. 28 с.

дать повышения вяжущих свойств шлама из-за увеличения его удельной поверхности и углубления процессов гидратации в результате дополнительного разрушения зерен шлама и обновления их активных поверхностей при перемешивании смеси в барабане ресайклера. В пользу положительного эффекта свидетельствует также многолетний положительный опыт внедрения зимней технологии устройства шламоминеральных слоев дорожных одежд^{1,2} [21, 22, 25, 26].

Белитовый шлам отличается от традиционных дорожно-строительных материалов повышенной эффективностью, так как в нем благоприятно сочетаются конструктивные, физико-механические и технологические свойства, что обеспечивает материалу высокую конкурентоспособность при принятии проектных решений.

С учетом специфических, уникальных свойств белитовых шламов в 2018 году в г. Омске на базе дорожно-строительной организации ООО «Стройсервис», совместно с ФГБОУ ВО «СибАДИ» были выполнены исследования по применению нефелинового АО «РУСАЛ Ачинск» в качестве минерального вяжущего при укреплении асфальтового гранулята по технологии холодного ресайклинга. Нефелиновый шлам в количестве 60 т доставлялся из г. Ачинска в г. Омск железнодорожным транспортом.

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью повышения активности шлама было принято решение произвести его помол. Шлам предварительно распределили на площадке с твердым покрытием слоем толщиной 30 см и высушили до воздушно-сухого состояния с помощью разогревателя горячего ремиксера Heizmasine HM 4500. Помол осуществ-

ляли на валковой мельнице по производству минерального порошка М 138.

Перед подготовкой асфальтогранулята для изготовления лабораторных образцов из него предварительно отсеивали крупные частицы через сито с отверстиями круглой конфигурации диаметром 40 мм.

Для изучения кинетики твердения шламогранулобетона из асфальтового гранулята, укрепленного молотым шламом, изготавливались цилиндрические образцы диаметром 71,4 мм прессованием под давлением 7 МПа, по стандартной методике в соответствии с методическими рекомендациями Росавтодора [4]. Зерновой состав молотого шлама представлен в таблице 2.

Серии образцов отличались дозировкой молотого шлама 10% и 15% и условиями их хранения.

Образцы хранили при следующих температурных режимах: в нормальных условиях в климатической камере при температуре $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и в естественных условиях (на открытом воздухе) в ящике с песком, для моделирования температурного режима твердения шламогранулобетона в основании дорожной одежды. Образцы, предназначенные для твердения в естественных условиях, выносили на открытый воздух (сразу после изготовления) в середине октября 2018 г.

Испытания образцов осуществляли в возрасте 7, 28, 90, 180 и 360 сут. Перед испытанием образцы высушивали до постоянного веса. Испытывали по 3 образца каждой серии для определения предела прочности на сжатие при температурах 20°C и 50°C .

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты лабораторных исследований представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 2
Зерновой состав молотого шлама

Table 2
Grain composition of ground sludge

Наименование материала	Размер зерен, мм, мельче					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Молотый шлам	97,2	93,3	76,8	48,2	15,7	7,7

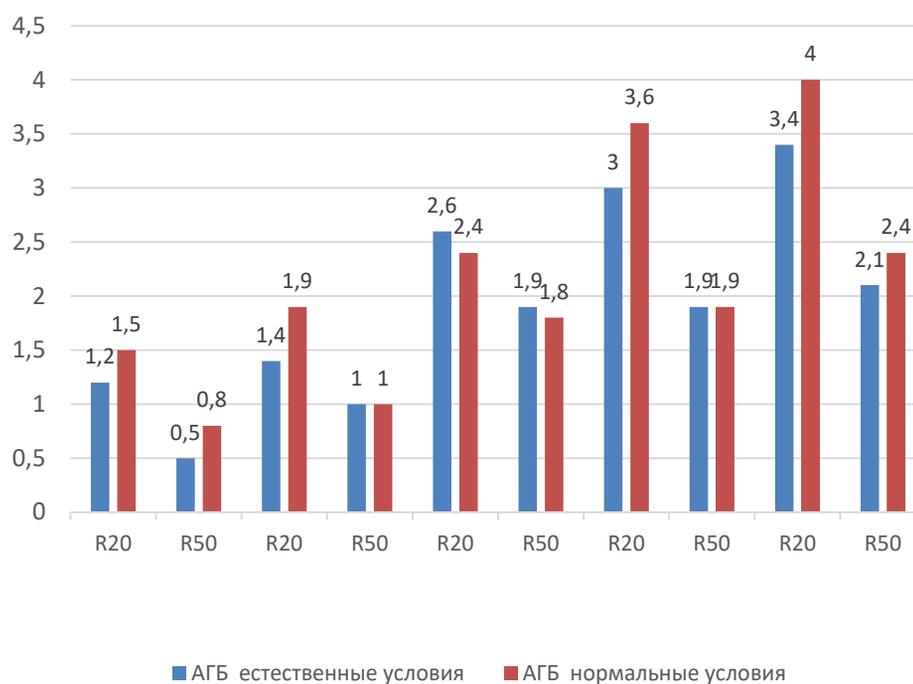


Рисунок 1 – Изменение прочности шламогранулобетона с 10% молотого шлама при температурах 20 °C (R20) и 50 °C (R50) во времени
 Figure 1 – Change in the strength of slurry granulocrete with 10% ground sludge at temperatures of 20 °C (R20) and 50 °C (R50) over time

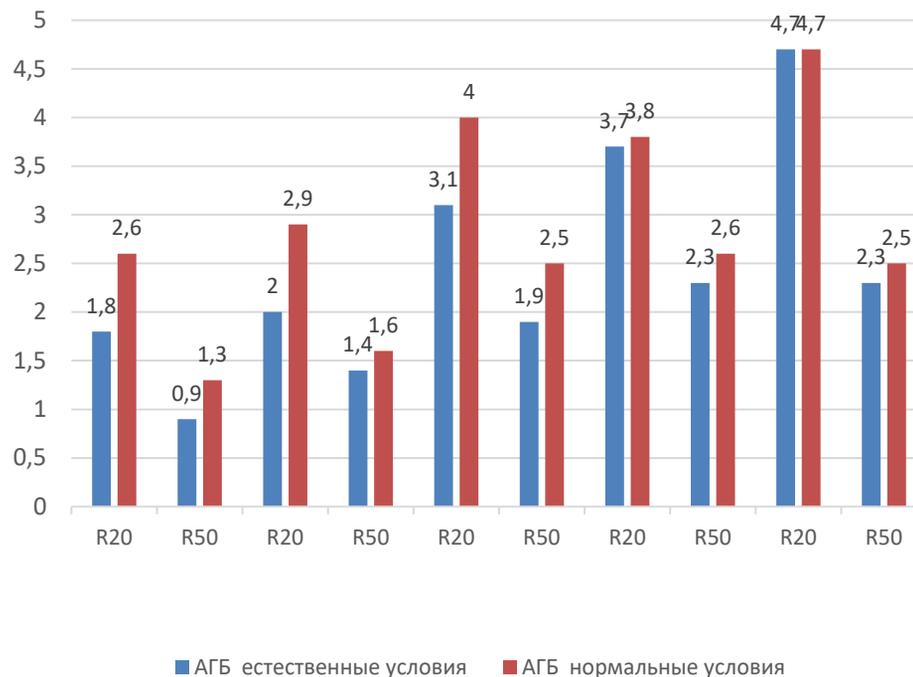


Рисунок 2 – Изменение прочности шламогранулобетона с 15% молотого шлама при температурах 20 °C (R20) и 50 °C (R50) во времени (сутки)
 Figure 2 – Change in the strength of slurry granulocrete with 15% ground sludge at temperatures of 20 °C (R20) and 50 °C (R50) over time (day)

Результаты испытания образцов на сжатие при температуре 20 °С показали, что даже в возрасте 7 сут при хранении как в нормальных, так и в естественных условиях, при дозировке шлама 15%, шламогранулобетон набрал прочность, соответствующую нормативным требованиям $R_{20} = 2,6$ МПа (норматив – не менее 2,0 МПа) [4].

После 28 сут твердения и при 10% дозировки вяжущего материал достиг нормативного минимума, а при 15% показатели значительно выше – 2,9 МПа. В нормативном для материалов, укрепленных медленнотвердеющими вяжущими в возрасте 90 сут, R_{20} составила 2,4 МПа и 4,0 МПа при дозировках шлама 10% и 15% соответственно. При хранении образцов как в нормальных, так и естественных условиях в течение 180 и 360 сут также наблюдается устойчивый рост прочностных показателей (см. рисунки 1, 2).

Показатели R_{50} в возрасте 7 сут 0,76–1,26 МПа также соответствуют нормативным требованиям (0,8 МПа для дорог I–II и 0,7 МПа для III категорий) и продолжают увеличиваться в процессе времени [4].

Анализ кинетики твердения шламогранулобетона в естественных условиях, в том числе при отрицательных температурах (с октября по апрель), свидетельствует о том, что процессы структурообразования в материале продолжаются и в зимний период. Так, если после 7 сут хранения в естественных условиях (октябрь) R_{20} соответствовало 2,0 МПа, через 90 сут (январь) $R_{20} = 3,0$ МПа, а в апреле через 180 сут твердения $R_{20} = 3,7$ МПа. У контрольных $R_{20} = 4,44$ МПа. За летний период (с апреля по октябрь) процессы структурообразования в материалах образцов, хранящихся в естественных условиях, интенсифицировались и при испытании образцов в октябре в возрасте 360 сут R_{20} составили 4,7 МПа, что соответствовало прочности контрольных образцов $R_{20} = 4,7$ МПа.

Результаты проведенных исследований хорошо согласуются с ранее выполненными работами по изучению процессов структурообразования в шламах и шламоминеральных материалах при отрицательных температурах воздуха [22, 24]. Выполненные в этих работах термографические и электронномикроскопические исследования свидетельствуют, что в зимний период процессы гидратации в шламе не прекращаются, а происходит накопление гелевидных новообразований. Морфология затвердевшей массы в образцах из нефелинового шлама характеризуется наличием иголь-

чатых и тонкопластинчатых гидросиликатов типа тобермарита и других C-S-H. Отмечено, что при твердении в естественных условиях гелевидной фазы значительно больше, чем в образцах, твердевших в нормальных условиях. Кроме того, эти новообразования характеризуются более высокой удельной поверхностью и степенью переплетения. О накоплении гелевидных новообразований свидетельствовали также результаты термографических исследований. Этот факт объясняет интенсивный набор прочности шламогранулобетона с наступлением положительных температур и способность шлама сохранять вяжущие свойства после морозного воздействия.

Следовательно, работы по устройству монолитных оснований (покрытий) из асфальтового гранулята, укрепленного тонкомолотым нефелиновым шламом, можно выполнять без противоморозных добавок, при пониженных температурах воздуха, что способствует значительному продлению строительного сезона. Как отмечалось, устройство монолитных оснований и покрытий из асфальтогранулобетона с применением традиционных вяжущих допускается при температурах воздуха не ниже 10 °С [4].

Следует отметить, что для снижения дозировки шлама при укреплении асфальтового гранулята и повышения эффективности использования шлама, при значительном удалении объектов от шламоотвала (г. Ачинск), целесообразно активировать шлам цементом, известью, минеральным порошком, цементной пылью, гипсом, золой сухого отбора и т.п. [27]. Кроме этого, необходимо повысить тонкость помола шлама с целью повышения его активности за счет увеличения удельной поверхности.

ОПЫТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Строительство опытного участка выполняли в III дорожно-климатической зоне на территории г. Омска (пр. Губкина) силами дорожно-строительной организации ООО «Стройсервис» в сентябре 2018 г.

Опытный участок состоял из двух секций, каждая площадью 300 м². Секции отличались дозировкой шлама в шламогранулобетоне: 10% и 15% (аналогично дозировкам в лабораторных исследованиях). Для выполнения холодного ресайклинга использовался ресайклер WR 4200 в комплексе с суспензатом WM 1000 и ёмкостью для воды 30 м³. Толщина регенерированного слоя составляла 20 см.

После прохода ресайклера смесь уплотняли отрядом катков – грунтовый HAMM 3516 массой 14 т за 8 проходов по одному следу, из них 4 с вибрацией, и пневмоколесный HAMM GRW 280-10 массой 10 т за 6 проходов в статическом режиме. После уплотнения по основанию осуществлялся проезд транспорта с ограничением его скорости до 30 км/час.

Через 3 сут основание из шламогранулобетона перекрыли двумя слоями асфальтобетона общей толщиной 9 см.

В процессе опытного строительства выполнялся входной, операционный и приемочный контроль качества в соответствии с нормативными требованиями [4].

Никаких технологических сложностей, связанных с заменой цемента на тонкомолотый шлам, во время опытного строительства выявлено не было.

В сентябре 2019 г. и октябре 2020 г. опытный участок был детально обследован. Обследование выполняли по стандартной методике [27]. Визуальная и инструментальная оценка состояния асфальтобетонного покрытия показала, что покрытие по показателям ровности отвечает нормативным требованиям.

Ежегодно из каждой секции опытного участка отбирались по 3 керна дорожной одежды. Установлен факт хорошего сцепления между слоем основания и покрытия. Материал сформировался в монолит. Керны из регенерированного слоя испытали в испытательной лаборатории ООО «Стройсервис» по стандартной методике для асфальтогранулобетона в соответствии с требованиями ГОСТ 12801.

Результаты испытания кернов шламогранулобетона из опытного участка представлены в таблице 3.

Анализ данных, представленных в таблице 3, свидетельствует о повышении прочности

шламогранулобетона во времени, что подтверждает правильность выводов по результатам теоретических и лабораторных исследований.

С учетом того, что шлам относится к медленнотвердеющим вяжущим за счет высокого содержания белита (70–85%), следует ожидать дальнейшего набора прочности основания из шламогранулобетона на протяжении многих лет. Это является характерной особенностью медленнотвердеющих вяжущих.

Многолетний опыт использования белитовых шламов в дорожном и аэродромном строительстве показал, что предел прочности на сжатие даже рядового шлама и шламо-минеральных материалов, отобранных с участков эксплуатируемых дорог, составляет 7,5–14,5 МПа. При этом с годами отмечается тенденция к постоянному медленному набору прочности. Например, модуль упругости основания из рядового белитового шлама, построенного в Омской области в зимний период на автомобильной дороге «Подъезд к заводу костной муки», через 33 года эксплуатации увеличился в 2,9 раза [22].

Следовательно, с повышением интенсивности движения с годами будет также расти прочность шламогранулобетона в основании, что при условии качественного состояния покрытия обеспечит долговечность дорожной конструкции в целом.

С целью рационального конструирования дорожных одежд Омским Союздорнии под руководством канд. техн. наук Б. В. Белоусова разработаны «Методические рекомендации по применению в слоях дорожных одежд натуральных белитовых шламов» ОДМ 218.3.043–2015, в которых впервые введено понятие «коэффициент самоупрочнения» [25].

Таблица 3
Физико-механические свойства образцов-кернов шламогранулобетона, отобранных с опытного участка

Table 3
Physico-mechanical properties of samples of cores shlamohranilishcha, selected pilot area

Время отбора и испытания образцов	Прочность образцов-кернов, МПа, при содержании молотого шлама, %	
	10	15
05.09.2019 г.	2,1	2,3
03.10.2020 г.	2,7	3,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлена принципиальная возможность и целесообразность использования тонкомолотого нефелинового шлама АО «РУСАЛ Ачинск» в качестве вяжущего для укрепления асфальтового гранулята по технологии холодный ресайклинг, в том числе при низких, до 0°C, температурах воздуха без введения специальных противоморозных добавок.

Подтверждена способность тонкомолотого нефелинового шлама сохранять активность после замораживания на стадии формирования коагуляционной структуры и установлена способность шламогранулобетона к твердению при отрицательных температурах.

Установлена оптимальная дозировка молотого нефелинового шлама для укрепления асфальтового гранулята 10–15%.

Время на выполнение технологических операций по уплотнению основания и устройству слоя покрытия не регламентируется. После уплотнения по основанию допускается проезд транспортных средств с регулированием движения по всей ширине слоя и ограничением скорости до 30 км/ч, что способствует повышению темпов строительства.

Правильность разработанных технических решений подтверждена путем строительства и обследования опытного участка.

Широкое применение белитового шлама позволит значительно продлить дорожно-строительный сезон, сократить дефицит каменных материалов и традиционных вяжущих, снизить материалоемкость дорожных одежд, повысить их несущую способность и долговечность, а также решить ряд экологических проблем.

Направление дальнейших исследований:

- разработка рациональной схемы поставки нефелинового шлама, в том числе в Омскую область;

- разработка составов безобжиговых медленнотвердеющих вяжущих (двух-трех-компонентных), на основе отходов промышленности и организация их производства;

- разработка технологии холодного ресайклинга асфальтобетонных покрытий с заменой традиционных вяжущих на рядовой белитовый шлак и специально приготовленные медленнотвердеющие шламоминеральные вяжущие, в том числе при отрицательных температурах воздуха;

- разработка технологии строительства оснований из грунтов, укрепленных шламом и шламоминеральными вяжущими, в том числе в зимний период;

- разработка нормативного документа, регламентирующего применение рядового шлама и медленнотвердеющих шламоминеральных вяжущих при восстановлении слоев оснований методом холодной регенерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ARRA. Guidelines for the disposal of waste in a cold state // Association for the processing and disposal of asphalt. 2001. 176 p.

2. Milton L.J., Earland M. Design Guide and Specification for Structural Maintenance of Pavements by Cold Processing In Place // Transport Research Laboratory. 1999. 79 p.

3. Бахрах Г.С. Перспектива развития ремонта дорожных одежд нежесткого типа методом холодной регенерации // 70 лет отраслевой дорожной науке. 1996. С. 77-86.

4. Восстановление асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. Москва, Росавтодор, 2002. 25 с.

5. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд автомобильных дорог. Москва, Транспорт. 1964. 168 с.

6. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. Москва, Транспорт, 1971. 247 с.

7. Руднев Д.Г., Лыткин А.А. Исследование технологии устройства монолитных оснований при низких положительных и отрицательных температурах воздуха методом холодного ресайклинга // Молодой ученый. 2016. №12. С. 370-372. URL: <https://moluch.ru/archive/116/31793/> (дата обращения: 25.03.2020).

8. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. Москва, Стройиздат. 1975. 700 с.

9. Могилевич В.М., Щербакова Р.П., Тюменцева О.В. Дорожные одежды из цементогрунта. Москва, Транспорт. 1973. 213 с.

10. Доклады от СССР XIY Международному конгрессу. Москва, Транспорт. 1973. 180 с.

11. Хигерович М.И., Муштаева Н.Е., Карасев М.С. Устройство бетонного покрытия способом раннего замораживания // Автомобильные дороги. 1969. № 9. С. 4-5.

12. Крылов Б.А., Иванова О.С., Сергеев К.И. [и др.]. Свойства бетона, замороженного в раннем возрасте // Автомобильные дороги. 1972. № 11. С. 14-16.

13. Миронов С.А., Глазырина Е.Г. Влияние раннего замораживания на прочностные и деформативные характеристики бетона // Зимнее бетонирование и тепловая обработка бетона. 1975. 125 с.

14. Белоусов Б.В., Асматулаев Б.А. Твердение шлаковых вяжущих на морозе // Строительство и эксплуатация дорог в условиях Сибири. 1978. С. 102-109.

15. Пополов А.С. Опыт применения гранулированных шлаков в дорожном строительстве Франции // Экспресс-информация. Автомобильные дороги. Зарубежный опыт // ЦНТИ Минавтодора РСФСР. 1984. № 10. С. 1-13.

16. Боженев П.И., Березина С.Т. Промышленное использование шлама глиноземного производства // Труды У Всесоюзного совещания по химии и технологии цемента. 1982.

17. Логинова И.В., Кырчиков А.В. Аппаратурно-технологические схемы в производстве глинозема. Екатеринбург, Урфу, 2011. 233 с.

18. Шепелев И.И., Стыглиц И.С., Еськова Е.Н., Жижаев А.М. Исследование химических и токсичных свойств нефелиновых шламов для использования в сельском хозяйстве // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2. С. 13-18.

19. Шморгуненко Н.С., Корнеев В.И. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. Москва, Металлургия, 1982. 128 с.

20. Проектирование нежестких дорожных одежд: ОДН 218. 046-01. Москва, Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта РФ, 2001. 145 с.

21. Лыткин А.А. Применение белитового шлама для устройства слоев дорожных одежд при отрицательных температурах. Москва, 1990. 18 с.

22. Белоусов Б.В, Гаврилов А.Н, Афонин А.С. Предложения по конструированию дорожных одежд с повышенным сроком службы // Мир дорог. 2016. 2 с.

23. Лыткин А.А. Влияние повторного уплотнения и транспортных нагрузок на характер твердения белитового шлама в слоях дорожных одежд // Вестник СибАДИ. 2017; 3(55). С. 125-132 DOI: org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-125-132.

24. Lytkin, A.A. Study of the Transport Loads Influence on the Nature of Belite Sludge Hardening in Pavement // Materials Science Forum 992. 2020. 79-85.

25. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. Москва, Минтрансстрой, 1990. 271 с.

26. Бескровный В.М., Дежина Н.С., Лыткин А.А. Устройство щебеночного основания с обработкой нефелиновым шламом // Вопросы производства и применения местных каменных материалов из естественных горных пород и отходов промышленности при строительстве дорожных одежд. 1981. С. 62-68.

27. Бескровный В.М. Применение нефелинового шлама для строительства автомобильных дорог в условиях Сибири. Москва, 1984. 22 с.

REFERENCES

1. ARRA. Guidelines for the disposal of waste in a cold state. *Association for the processing and disposal of asphalt*. 2001. 176 p.

2. Milton L.J., Earland M. Design guide and specification for structural maintenance of road pavements by cold processing in place. *TRL report 386, Transport Research Laboratory*. 1999. 79 p.

3. Bakhrakh G.S. Perspektiva razvitija remonta dorozhnyh odezhd nezhestkogo tipa metodom holodnoj regeneracii [The future development of repair of

road pavement of non-rigid type by a method of cold regeneration]. *70 years of industrial road science: collection of scientific works*. 1996. 77-86. (in Russian)

4. Vosstanovleniju asfal'tobennyh pokrytij i osnovanij avtomobil'nyh dorog sposobami holodnoj regeneracii [The restoration of asfaltobetonyh coatings and bases of highways by way of cold regeneration]. Moscow, Rosavtodor, 2002. 25 p. (01.01 2019). (in Russian)

5. Birulya A. K. Konstruirovanie i raschet nezhestkih dorozhnyh odezhd avtomobil'nyh dorog [Design and calculation of non-rigid road surfaces of highways]. Moscow, Transport, 1964. 168 p. (in Russian)

6. Bezruk V.M. Ukreplenie gruntov v dorozhnom i ajerodromnom stroitel'stve [Strengthening of soils in road and airfield construction]. Moscow, Transport, 1971. 247 p. (in Russian)

7. Rudnev D.G., Lytkin A.A. Issledovanie tehnologii ustrojstva monolitnyh osnovanij pri nizkih polozhitel'nyh i otricatel'nyh temperaturah vozduha metodom holodnogo resajklinga [Investigation of the technology of the device of monolithic bases at low positive and negative air temperatures by the method of cold recycling]. 2016; 12: 370-372. URL: <https://moluch.ru/archive/116/31793> (date of reference: 25.03.2020) (in Russian)

8. Mironov S.A. Teorija i metody zimnego betonirovanija [Theory and methods of winter concreting]. Moscow, Stroyizdat. 1975. 700 p. (in Russian)

9. Mogilevich V.M., Shcherbakova R.P., Tyumentseva O.V. Dorozhnye odezhdy iz cementogrunta [Road clothes made of cement ground]. Moscow, Transport, 1973. 213 p. (in Russian)

10. Doklady ot SSSR HIY Mezhdunarodnomu kongressu [Reports from the USSR to the XIU International Congress]. Moscow, Transport. 1973. 180 p. (in Russian)

11. Higerovich M.I., Mushtayeva N.E., Karasev M.S. Ustrojstvo betonogo pokrytija sposobom rannego zamorazhivaniya [Device of concrete coating by the method of early freezing]. *Avtomobil'nye dorogi*. 1969; 9: 4-5. (in Russian)

12. Krylov B.A., Ivanova O.S., Sergeev K.I. [et al]. Svoystva betona, zamorozhennogo v rannem vozraste [Properties of concrete frozen at an early age]. *Automobile roads*. 1972; 11: 14-16. (in Russian)

13. Mironov S.A., Glazyrina E.G. Vlijanie rannego zamorazhivaniya na prochnostnye i deformativnye harakteristiki betona [Influence of early freezing on strength and deformative characteristics of concrete]. *Winter concreting and heat treatment of concrete*. 1975. 125 p. (in Russian)

14. Belousov B.V., Asmatulaev B.A. Tverdenie shlakovyh vjzhashhih na moroze [Hardening of slag binders in the cold]. *Construction and operation of roads in Siberia: Interdepartmental collection*. 1978. 102-109. (in Russian)

15. Popolov A.S. Opyt primenenija granulirovannyh shlakov v dorozhnom stroitel'stve Francii [Experience of application of granulated slags in road construction in France]. *CSTI of Minavtodor RSFSR*. 1984; 10: 1-13. (in Russian)

16. Bozhenov P.I., Berezina S.T. Promyshlennoe ispol'zovanie shlama glinozemnogo proizvodstva [Industrial use of slime of alumina production]. *Proceedings of the Yall-Union meeting on chemistry and technology of cement*. 1982. (in Russian)

17. Loginova I.V., Kyrchikov A.V. Apparurno-tehnologicheskie shemy v proizvodstve glinozema [Hardware and technological schemes in the production of alumina]. Yekaterinburg, Urfu, 2011. 233 p. (in Russian)

18. Shepelev I.I., Stiglitz I.S., Eskova E.N., Sigaev A.M. Issledovanie himicheskikh i toksichnykh svoystv nefelinovykh shlamov dlja ispol'zovanija v sel'skom hozjajstve [Study of the chemical and toxic properties of nepheline sludge for use in agriculture]. *Vestnik KrasGAU*. 2016; 2: 13-18. (in Russian)

19. Shmorgunenkov N.S., Korneev V.I. Kompleksnaja pererabotka i ispol'zovanie otval'nykh shlamov glinozemnogo proizvodstva [Complex processing and use of dump slurries of alumina production]. Moscow, Metallurgiya, 1982. 128 p. (in Russian)

20. Design of non-rigid road surfaces: ODN 218. 046-01. Moscow, State road management service of the Ministry of transport of the Russian Federation, 2001. 145 p. (in Russian)

21. Lytkin A.A. Primenenie belitovogo shlama dlja ustrojstva sloev dorozhnykh odezhd pri otricatel'nykh temperaturah [Application of Belite sludge for the device of layers of road clothes at negative temperatures]. Moscow, 1990. 18 p. (in Russian)

22. Belousov B.V., Gavrilov A.N., Afonin A.S. Predlozhenija po konstruirovaniju dorozhnykh odezhd s povyshennym srokom sluzhby [Proposals for designing road coverings with an increased service life]. *Mir dorog*. 2016. 2 p. (in Russian)

23. Lytkin A.A. Vlijanie povtornogo uplotnenija i transportnykh nagruzok na harakter tverdenija belitovogo shlama v slojah dorozhnykh odezhd [Influence of repeated compaction and transport loads on the character of hardening of Belite sludge in layers of road clothes]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; (3(55)):125-132. DOI: org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-125-132. (in Russian)

24. Lytkin, A.A. Study of the Transport Loads Influence on the Nature of Belite Sludge Hardening in Pavement. *Materials Science Forum* 992. 2020. 79-85.

25. Izyskanija, proektirovanie i stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog v rajonah rasprostraneniya vechnoj mertzoty. [Surveys, design and construction of highways in

areas of permafrost distribution]. Moscow, Ministry Of Construction, 1990. 271 p. (in Russian)

26. Beskrovny VM., Dezhina N.S., Lytkin A.A. Ustrojstvo shhebenochnogo osnovanija s obrabotkoj nefelinovym shlamom [Device of crushed stone base with treatment with nepheline sludge]. *Questions of production and application of local stone materials from natural rocks and industrial waste in the construction of road clothes*. 1981. 62-68. (in Russian)

27. Beskrovny V.M. Primenenie nefelinovogo shlama dlja stroitel'stva avtomobil'nykh dorog v uslovijah Sibiri [The use of nepheline sludge for the construction of highways in Siberia]. Moscow, 1984. 22 p. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лыткин Александр Александрович (г. Омск, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО СибАДИ, ORCID 0000-0002-5257-0502, Scopus Author ID 57217279492 (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: kaf_sed@sibadi.org).

Старков Глеб Борисович (г. Омск, Россия) – кандидат технических наук, заместитель генерального директора ООО «Стройсервис» (644073 г. Омск, ул. 2-я Солнечная, дом 43, e-mail: info@stroy servis.omsk.su).

Вагнер Евгений Яковлевич (г. Омск, Россия) – заместитель генерального директора ООО «Стройсервис» (644073 г. Омск, ул. 2-я Солнечная, дом 43, e-mail: info@stroy servis.omsk.su).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lytkin Alexander A. (Omsk, Russia) – candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department "Construction and Operation of Roads" of SibADI, ORCID 0000-0002-5257-0502, Scopus Author ID 57217279492 (644080, Omsk, st. Mira 5, e-mail: kaf_sed@sibadi.org).

Starkov Gleb B. (Omsk, Russia) – candidate of Technical Sciences, Deputy General Director of ООО "Stroyservice" (6644073 Omsk, st. 2nd Solnechnaya, 43, e-mail: info@stroy servis.omsk.su).

Wagner Evgeniy Ya. (Omsk, Russia) – deputy general director of "Stroyservice" (644073 Omsk, st. 2nd Solnechnaya, 43, e-mail: info@stroy servis.omsk.su).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению **оригинальные научные статьи** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; **обзорные статьи** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет **ретрагирована** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1 УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (**УДК**) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10-12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте <http://translit.ru>, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 200 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в

рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования.

Рекомендуемое количество ключевых слов – 10–12, количество слов внутри ключевой фразы – не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1–4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

9. Библиографический список (References)

В библиографический список включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать

20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

Аффилиация. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID, ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail.

Приводится на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению.

Формат А4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул Microsoft Equation. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края страницы.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подрисуночной подписью, и отдельными файлами с расширением (JPEG, GIF, BMP). Должны быть пронумерованы (Таблица 1 – Заголовок, Рисунок 1 – Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подрисуночные подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться ссылки на них (на рисунке 1.....).

Рисунки и фотографии должны быть ясными и четкими, с хорошо проработанными деталями с учетом последующего уменьшения. При представлении цветных рисунков автор должен предварительно проверить их качество при использовании черно-белой печати. Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Общий порядок опубликования

Рукописи статей, подготовленные в соответствии с правилами оформления научно-исследовательской публикации и принятыми редакцией журнала международными стандартами, в электронном (через официальный сайт журнала) и бумажном виде предоставляются в редакцию журнала в комплекте:

- с экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати;

- лицензионным договором между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

При регистрации присваивается дата поступления и регистрационный номер статьи. Статьи регистрируются через электронную редакцию. Регистрация осуществляется бесплатно.

Первичная экспертиза на соответствие требованиям и профилю журнала (модерация). Зарегистрированные рукописи статей проходят первичную экспертизу на соответствие требованиям и профилю журнала. Началом для экспертизы рукописи статьи редакцией является дата регистрации статьи. Редакция журнала оставляет за собой право отбора присылаемых материалов. Только прошедшие первичную экспертизу рукописи статей, полностью соответствующие требованиям редакции журнала, соответствующие профилю журнала, получают статус «Принята к рассмотрению». Для них отдельно регистрируется дата приема рукописи статьи к рассмотрению.

Рецензирование. Принятые к рассмотрению рукописи статей направляются на слепое рецензирование для оценки их научного содержания нескольким специалистам соответствующего профиля, членам редакционной коллегии и/или редакционного совета. Экспертиза и рецензирование осуществляются бесплатно.

Решение о принятии к публикации основывается на поступивших рекомендациях рецензентов журнала. Если принято решение «рекомендовать с учетом исправления отмеченных недостатков», то автору направляются рекомендации и вопросы для исправления. Рукопись статьи, скорректированная автором, повторно направляется на рецензирование. Рукописи статей, не рекомендованные к публикации, повторно не рассматриваются. Автору рукописи направляется мотивированный отказ в публикации.

Редакционная подготовка. Рукописи статей, принятые к публикации, проходят редакционную подготовку к публикации – литературное редактирование и сверку данных, корректуру, форматирование, макетирование. Общий срок редакционной подготовки статьи, успешно прошедшей рецензирование, составляет 2 месяца в соответствии с периодичностью и графиком публикации выпусков. Корректур статей авторам не высылаются, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

Публикация. Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.