

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2019, №1, Том 6 / 2019, No 1, Vol 6 <https://t-s.today/issue-1-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/18SATS119.pdf>

DOI: 10.15862/18SATS119 (<http://dx.doi.org/10.15862/18SATS119>)

Статья поступила в редакцию 01.04.2019; опубликована 27.05.2019

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кочетков А.В., Щеголева Н.В., Коротковский С.А., Талалай В.В., Васильев Ю.Э., Шашков И.Г. Устройство слоев транспортных сооружений из фосфогипса полугидрата (отхода-побочного продукта производства азотно-фосфорных удобрений) // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, <https://t-s.today/PDF/18SATS119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/18SATS119

For citation:

Kochetkov A.V., Shchegoleva N.V., Korotkovskiy S.A., Talalai V.V., Vasilyev Yu.E., Shashkov I.G. (2019). The device layers and transport facilities of hemihydrate phosphogypsum (waste byproduct of the production of nitrogen-phosphorus fertilizers). *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/18SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/18SATS119

УДК 625.7/.8; 628.567.1

Кочетков Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: soni.81@mail.ru

Щеголева Наталья Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: Shchegoleva123@mail.ru

Коротковский Сергей Алексеевич

ФГБОУ «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия
Начальник отдела
E-mail: korotkovca@mail.ru

Талалай Виктор Вячеславович

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия
Старший преподаватель
E-mail: talalay@bk.ru

Васильев Юрий Эммануилович

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия
Заведующий кафедрой
Доктор технических наук, доцент
E-mail: vashome@yandex.ru

Шашков Игорь Геннадиевич

ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Воронеж, Россия
Старший преподаватель
Кандидат технических наук
E-mail: igoshashkov@yandex.ru

Устройство слоев транспортных сооружений из фосфогипса полугидрата (отхода-побочного продукта производства азотно-фосфорных удобрений)

Аннотация. Реализация предлагаемого инновационного проекта по использованию отходов фосфогипса в дорожном строительстве позволит: решить проблему утилизации и переработки фосфогипса путем его использования в качестве местного побочного материала для строительства земляного полотна и оснований автомобильных дорог; заменить природный гипс на более дешевое сырье для цементной, строительной и дорожной промышленности; снизить стоимость затрат на строительство автомобильных дорог и продлить межремонтные сроки за счет улучшения качественных показателей их свойств.

Дороги с применением фосфогипса выходят дешевле на 30 %, чем дороги с использованием традиционных технологий. На болотистой местности из-за особенностей материала, сочетающих монолитность и легкость, фосфогипс вообще не заменим. Он позволяет делать надежные и долговечные дороги. Конструкция получается до пяти раз прочнее требуемых нормативов. При этом на первой стадии строительства дороги можно делать промежуточного типа, делая основания из фосфогипса, и уже позже укладывая остальные конструктивные слои из щебня и асфальтобетона. При этом покрытие из технического гипса не разрушается, даже при прохождении тяжелой гусеничной техники и при низких температурах.

Ключевые слова: фосфогипс; дигидрат; полугидрат; автомобильная дорога; конструкционный слой; основание; побочный продукт; строительство; полигон

Введение

Для дорожного строительства наиболее целесообразно применение фосфополугидрата сульфата кальция вследствие его способности после уплотнения образовывать прочный монолитный материал.

Устройство монолитных слоев из фосфогипса является эффективным направлением в конструировании дорожных одежд, предусматривающим использование побочного продукта производства взамен кондиционных дорожных каменных материалов. При устройстве слоев основания из фосфогипса поступление атмосферной влаги в земляное полотно с поверхности дорожной одежды практически исключается. Вследствие этого влажность грунта рабочего слоя земляного полотна будет значительно меньше, чем при устройстве оснований из традиционных каменных материалов на дренирующем слое из песка.

Нормативную базу применения фосфогипса дорожного полугидрата обеспечивают Методические рекомендации по устройству оснований дорожных одежд с использованием свежего фосфополугидрата сульфата кальция. – Москва: Союздорнии, 1987. (одобрены письмом Главдорстроя от 19 февраля 1987 г. № 5603/89).

В результате хорошей распределяющей способности монолитных слоев из фосфогипса ровность покрытий с такими основаниями существенно лучше, чем на щебеночном или

гравийном основании. Многолетний опыт эксплуатации участков дорог с дорожными одеждами с применением фосфогипса показывает, что слои из фосфогипса работают как прочная монолитная плита при выполнении функций основания и покрытия.

Прочность влажных образцов, отобранных из основания, достигает 10 МПа. Отсутствие выкрашивания на поверхности покрытия из фосфогипса свидетельствует о достаточно высокой его морозостойкости. Это явление можно объяснить особой структурой пор. Вода не заполняет весь объем пор и микрокапилляры выполняют роль резервного объема, куда вытесняется вода в процессе замерзания. Кроме этого, тонкопористая структура и наличие микродобавок оксида фосфора P_2O_5 , который, образуя кристаллогидратные композиции с водой, существенно снижают температуру ее замерзания.

Использование в дорожном строительстве рекомендуется в следующих направлениях: строительство земляного полотна автомобильных дорог; строительство монолитных слоев дорожной одежды; укрепление грунтов и каменных материалов при строительстве дорожной одежды; использование в качестве минерального порошка при приготовлении органоминеральных смесей для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог.

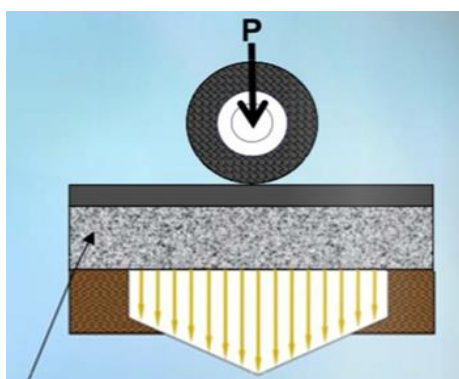
Для дорожного строительства наиболее целесообразно применение фосфополуhydrата сульфата кальция [1–5].

Слои из фосфогипса существенно улучшают водно-тепловой режим земляного полотна. Монолитные слои из фосфогипса имеют меньшую остаточную пористость по сравнению с зернистыми материалами и поэтому не являются аккумуляторами воды, обычно накапливающейся в порах зернистых материалов дорожной одежды в осеннее и весеннее время и значительно снижающей прочность грунта и всей дорожной одежды.

Слои из фосфогипса имеют низкую теплопроводность. Грунт рабочего слоя под проезжей частью в весенний период будет оттаивать позже, чем под обочинами и откосами земляного полотна, что создает благоприятные условия осушения грунта рабочего слоя.

В весенний расчетный период общий модуль упругости дорожной одежды с монолитным основанием или другими слоями из укрепленных грунтов в 1,5–3 раза выше, чем на аналогичных равнопрочных конструкциях со слоями из зернистых материалов. Важно отметить, что давление на грунт земляного полотна на таких участках почти в три раза меньше, чем на участках со слоями из зернистых материалов. Слой из фосфогипса работает как монолитная плита, распределяющая нагрузку на большую грунтовую поверхность и снижающая напряжения в грунте (рисунок 1) [6; 7].

Уменьшение удельного давления на грунт снижает вероятность появления в нем местных пластических деформаций и тем самым обеспечивает длительную сохранность ровности покрытия.



Основание из фосфогипса

Рисунок 1. Напряжения в грунте под дорожной одеждой

Свойства фосфогипсовой плиты позволяют применить принципы унификации конструкций дорожной одежды, что обеспечивает минимум конструктивных слоев, технологических операций, времени и строительной техники. Принципы унификации дорожных конструкций с использованием фосфогипса позволяют учитывать все многообразие воздействий природно-климатических факторов, исключить некоторые из них или минимизировать.

Все задачи конструирования можно к двум основным: обеспечение необходимой прочности одежды за счет основания; сохранению устойчивости дорожной конструкции к воздействию природно-климатических факторов за счет предотвращения увлажнения рабочего слоя земляного полотна и слоев основания.

Такой подход к проектированию в значительной степени снижает необходимость применения сложных многослойных конструкций, включающих узкофункциональные слои (дренирующие, прерывающие прослойки, морозозащитные, теплоизолирующие).

Количество, толщина слоев и их сочетание зависят от конкретных условий и устанавливается расчетом и технико-экономическим обоснованием дорожной конструкции.

Более высокие прочностные свойства слоев из фосфогипса, по сравнению со слоями из зернистых материалов, позволяют применять вместо многослойных конструкций дорожной одежды двухслойные, выдерживающие более высокие нагрузки (рисунок 2).

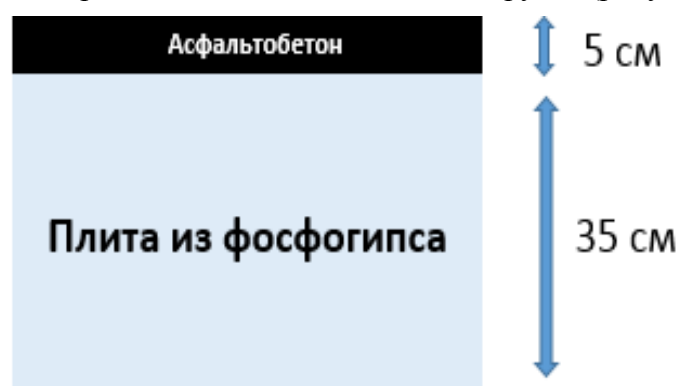


Рисунок 2. Конструкции дорожных одежд

Увеличением допустимой нагрузки на ось в два раза можно повысить грузооборот в 1,5–2 раза. При этом может быть значительно снижена общая толщина дорожной одежды, что позволяет, уменьшить на 45–75 % потребность в дорогостоящих кондиционных минеральных материалов (щебень, песок), снизить стоимость строительства дорожной одежды на 50 %.

Слой монолитного легкого фосфогипса дорожного является эффективной заменой традиционных материалов, обеспечивающих стабильность водно-теплового режима земляного полотна и дорожной одежды, обеспечивает решение ряда проблем, которые не могут решить зернистые материалы, применяемые в качестве компенсирующих слоев в основании дорожной одежды.

Малая плотность и низкая теплопроводность фосфогипсовой плиты позволяет применять этот материал в качестве монолитного теплоизоляционного слоя на слабых грунтах с повышенной пучинистостью и близко залегающими грунтовыми водами на любых дорогах в любой дорожно-климатической зоне.

На основе способности заменять традиционные материалы в дорожной одежде монолитный фосфогипс обладает рядом преимуществ:

- уменьшает расходы на строительство дорожных одежд за счет снижения потребности в кондиционных зернистых материалах;
- снижает или вовсе исключает промерзание грунта под дорожной одеждой, что обеспечивает возможности применения в верхней части земляного полотна местных грунтов, относящихся к пучинистым;
- увеличивает темп строительства дороги за счет уменьшения объемов работ;
- обеспечивает возможность понижения рабочих отметок насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют нормативные ограничения по минимальному возвышению насыпи над уровнем подземных или поверхностных вод, а также над уровнем земли;
- увеличивает межремонтный период даже для дорог, построенных в сложных гидрогеологических и климатических условиях.

Разработка нормативного обеспечения

Авторами по заданию АО «АПАТИТ» (г. Балаково, Саратовской области) разработаны СТО 24406528-01-2016 Рекомендации по устройству расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного (согласован в Федеральном дорожном агентстве, 2016 г.), СТО 24406528-02-2016 Конструкции многослойные дорожных одежд с применением фосфогипса. Правила строительства, реконструкции и ремонта (зарегистрирован в ТК 465 «Строительство», 2017 г.), СТО 24406528-01-2018 Фосфогипс дорожный для строительства дорожных одежд. Технические условия (Изм. № 1, 2018 г.).

Объектом стандартизации является технология устройства расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

Стандарты устанавливают в соответствии с законодательством Российской Федерации «О техническом регулировании» правила выполнения работ по устройству расчетных слоев дорожных одежд из фосфогипса дорожного при строительстве и ремонте автомобильных дорог, которые оказывают влияние на безопасность строительства, а также требования к изделиям, используемым при выполнении указанных работ, требования по эксплуатации, правила приемки работ, методы испытания и контроля, а также требования безопасности.

Опыт строительства дорог из фосфогипса

Было время, когда технический гипс без проблем ложился в основу конструкций различных автомобильных дорог. В Московской области, например, до сих пор в коттеджных поселках служат автомобильные дороги, построенные с применением этого материала.

В Балаковском филиале АО «Апатит» несколько лет назад были отремонтированы семь километров автомобильной дороги, соединяющей города Балаково и Ершов, построены дороги в селе Кормежка. Еще 10 лет предприятие решило помочь жителям села Быков Отрог – здесь появилась автомобильная дорога общего пользования местного значения, ведущая на местный полигон бытовых отходов. Некоторые автомобильные дороги проложены в заболоченных местностях. Нигде он не потерял исходную форму и состояние первоначально сформированной поверхности.

В рамках авторского сопровождения построены опытные участки автомобильных дорог в Балаковском районе Саратовской области (рисунок 3).



Рисунок 3. Опытный участок дороги на территории Балаковского филиала АО «АПАТИТ» в Балаковском районе Саратовской области

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности расширения практики применения фосфополугидрата сульфата кальция для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

При участии Балаковского филиала АО «Апатит» с применением фосфополугидрата сульфата кальция были отремонтированы семь км автомобильной дороги, соединяющей города Балаково и Ершов, построены дороги в селах Кормежка, Ямбирно, и Быков Отрог. В рамках авторского сопровождения построены участки автомобильных дорог в Балаковском районе Саратовской области (рисунок 4).



Рисунок 4. Строительство участка автомобильной дороги на территории Балаковского филиала АО «АПАТИТ» в Балаковском районе Саратовской области

Планировка слоя из фосфогипса автогрейдером производится за три цикла, применяя челночный способ работы (рабочий ход вперед, холостой – назад на повышенной скорости). За первый цикл (12 проходов) выполняют грубое разравнивание фосфогипса дорожного, при этом по каждому следу осуществляется два прохода.

За второй цикл (три прохода автогрейдера по ширине основания) производят окончательное разравнивание и предварительную планировку фосфогипса с приданием основанию вчерне проектного поперечного профиля с учетом припуска на уплотнение.

За третий цикл (три прохода автогрейдера по ширине основания) выполняют окончательную планировку смеси под проектные отметки, определенные с учетом припуска на уплотнение. Процесс ферментации фосфогипса начинается ориентировочно через три часа после его выхода из реактора. При этом его естественная температура составляет около 40 °С.

После начала ферментации фосфогипса дорожное начинают его уплотнение. Уплотнение слоя фосфогипса производят катком дорожным комбинированным вибрационным самоходным ДМ58 от краев к середине основания с перекрытием следа на 20–30 см.

После завершения уплотнения при необходимости поверхность слоя профилируют автогрейдером. Затем производится окончательное уплотнение слоя основания из фосфогипса за три прохода по одному следу.

Для обеспечения сцепления слоя основания из фосфогипса с последующим слоем по поверхности распределяется и втапливается щебень фракции 20–40.

Выводы

Выявленные патенты и научно-техническая документация показали, что разработки по использованию фосфогипса в дорожном строительстве ведутся давно [1–8].

Однако разработанную ранее нормативно-техническую документацию необходимо привести в соответствии с новыми технологиями и возможностями переработки фосфогипса для безопасного использования его в дорожном строительстве.

Реализация предлагаемого инновационного проекта по использованию отходов фосфогипса (побочного продукта производства азотно-фосфорных удобрений) в дорожном строительстве позволит:

- решить проблему утилизации и переработки фосфогипса путем его использования в качестве местного побочного материала для строительства земляного полотна и оснований автомобильных дорог;
- заменить природный гипс на более дешевое сырье для цементной, строительной и дорожной промышленности;
- снизить стоимость затрат на строительство автомобильных дорог и продлить межремонтные сроки за счет улучшения качественных показателей их свойств.

Дороги с применением фосфогипса выходят дешевле на 30 %, чем дороги с использованием традиционных технологий. На болотистой местности из-за особенностей материала, сочетающих монолитность и легкость, фосфогипс вообще не заменим. Он позволяет делать надежные и долговечные дороги. Конструкция получается до пяти раз прочнее требуемых нормативов. При этом на первой стадии строительства дороги можно делать промежуточного типа, делая основания из фосфогипса, и уже позже укладывая остальные конструктивные слои из щебня и асфальтобетона. При этом покрытие из технического гипса не разрушается, даже при прохождении тяжелой гусеничной техники и при низких температурах.

По теме применения фосфогипса авторами получено два патента¹.

¹ Патент РФ № 2662493. Способ получения битумной эмульсии и битумная эмульсия. Патентообладатель А.В. Кочетков. Оpubл. 26.07.2018. Бюл. № 21.

Патент РК № 33291. Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В., Талалай В.В., Коротковский С.А., Андронов С.Ю., Талалай М.В., Кочетков Д.А. Способ изготовления гранулированного фосфогипса. Оpubл. 23.11.2018. Бюл. № 44.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игленкова, М.Г. Физико-химические закономерности получения композиционных материалов на основе фосфогипса: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук, Саратов. 2013.
2. Кочеткова Р.Г. Усиление вяжущих свойств гипсосодержащих техногенных грунтов. – М.: (МАДИ (ГТУ))
<http://www.rador.ru/activities/totals/2008/program/12131108/04.pdf>.
3. Кочеткова Р.Г. Новые материалы и технологии для строительства дорог и зданий дорожного сервиса. – М.: МАДИ (ГТУ).
<http://www.rador.ru/activities/totals/2008/program/12131108/04.pdf>.
4. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. – СПб: Стройиздат, 2007. – 104 с.
5. Яшин С.О. Технология и свойства модифицированных фосфогипсом битумоминеральных композиций: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Ставрополь. 2013
<http://www.dissercat.com/content/tekhnologiya-i-svoistva-modifitsirovannykh-fosfogipsom-bitumomineralnykh-kompozitsii#ixzz4OB1KpzKX>.
6. Перспективы использования фосфогипса в производстве асфальтобетона / Д.В. Герасимов, А.А. Игнатьев, В.М. Готовцев, И.В. Голиков // Дороги и мосты. 2018, № 40. – С. 304–315.
7. Применение фосфогипса для строительства автомобильной дороги / Коротковский С.А., Талалай В.В., Кочетков А.В., Янковский Л.В. // В сборнике: I Международная научно-техническая конференция «Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций в эксплуатационной среде» 2017. – С. 264–273.
8. Кочетков А.В., Янковский Л.В. Применение фосфогипса для строительства монолитных слоев дорожной одежды / Журнал Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2017, № 4. С. 91–102. DOI 10.15593/24111678/2017.04.07.

Kochetkov Andrey Viktorovich

Perm national research polytechnical university, Perm, Russia
E-mail: soni.81@mail.ru

Shchegoleva Natal'ya Vyacheslavovna

Saratov state technical university of Gagarin Yu.A., Saratov, Russia
E-mail: Shchegoleva123@mail.ru

Korotkovskiy Sergey Alekseevich

Saratov national research state university name's N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russia
E-mail: korotkovca@mail.ru

Talalai Victor Vyacheslavovich

Moscow automobile and road state technical university, Moscow, Russia
E-mail: talalay@bk.ru

Vasilyev Yury Emmanuilovich

Moscow automobile and road state technical university, Moscow, Russia
E-mail: vashome@yandex.ru

Shashkov Igor Gennadiyevich

Military and air academy of a name of professor N.E. Zhukovskogo and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russia
E-mail: igoshashkov@yandex.ru

The device layers and transport facilities of hemihydrate phosphogypsum (waste byproduct of the production of nitrogen-phosphorus fertilizers)

Abstract. The implementation of the proposed innovative project on the use of phosphogypsum waste in road construction will: solve the problem of recycling and processing of phosphogypsum by using it as a local by-material for the construction of roadbed and foundations of roads; replace natural gypsum with cheaper raw materials for cement, construction and road industry; reduce the cost of construction of roads and extend the turnaround time by improving the quality of their properties.

Road with the use of phosphogypsum is cheaper by 30 % than roads with traditional technologies. In the swampy area due to the characteristics of the material, combining solidity and lightness, phosphogypsum is not interchangeable at all. It allows you to make reliable and durable roads. The design is obtained up to five times stronger than the required standards. At the same time, at the first stage of construction of the road, it is possible to make an intermediate type, making the bases of phosphogypsum, and later laying the remaining structural layers of crushed stone and asphalt. In this case, the coating of technical gypsum is not destroyed, even with the passage of heavy tracked vehicles and at low temperatures.

Keywords: phosphogypsum; dihydrate; hemihydrate; road; structural layer; a base; a by-product; the construction of the landfill

REFERENCES

1. Iglenkova M.G. (2013). Fiziko-khimicheskie zakonomernosti polucheniya kompozitsionnykh materialov na osnove fosfogipsa. [*Physico-chemical patterns of obtaining composite materials based on phosphogypsum.*] Saratov.
2. Kochetkova R.G. (n.d.). Usilenie vyazhushchikh svoystv gipsosoderzhashchikh tekhnogennykh gruntov. [*Strengthening the binding properties of gypsum-containing man-made soils.*] Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University [online]. Available at: <http://www.rador.ru/activities/totals/2008/program/12131108/04.pdf>.
3. Kochetkova R.G. (n.d.). Novye materialy i tekhnologii dlya stroitel'stva dorog i zdaniy dorozhnogo servisa. [*New materials and technologies for the construction of roads and road service buildings.*] Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University [online]. Available at: <http://www.rador.ru/activities/totals/2008/program/12131108/04.pdf>.
4. Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. (2007). Promyshlennaya pererabotka fosfogipsa. [*Industrial processing of phosphogypsum.*] Saint Petersburg: Stroizdat.
5. Yashin S.O. (2013). Tekhnologiya i svoystva modifitsirovannykh fosfogipsom bitumomineral'nykh kompozitsiy. [*Technology and properties of phosphogypsum-modified bituminous mineral compositions.*] Stavropol. [online]. Available at: <http://www.dissercat.com/content/tekhnologiya-i-svoystva-modifitsirovannykh-fosfogipsom-bitumomineralnykh-kompozitsii#ixzz4OB1KpzKX>.
6. Gerasimov D.V., Ignat'ev A.A., Gotovtsev V.M., Golikov I.V. (2018). Prospects for the use of phosphogypsum in the production of asphalt. *Roads and bridges*, 40, pp. 304–315 (in Russian).
7. Korotkovskiy S.A., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. (2017). Primenenie fosfogipsa dlya stroitel'stva avtomobil'noy dorogi. [*The use of phosphogypsum for the construction of roads.*] pp. 264–273.
8. Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. (2017). The use of phosphogypsum for the construction of monolithic layers of pavement. *Journal of Perm National Research Polytechnic University. Transport. Transport facilities. Ecology*, 4, pp. 91–102 (in Russian). DOI: 10.15593/24111678/2017.04.07.