

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА
В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Магистрант **Д.В. Герасимов**,
канд. техн. наук, доцент **А.А. Игнатъев**,
д-р техн. наук, профессор **В.М. Готовцев**,
д-р хим. наук, профессор **И.В. Голиков**
(Ярославский государственный
технический университет)
Контактная информация: geras930@mail.ru;
alexassis@ya.ru;
gotovtsev_vm@mail.ru;
golikov.i@yandex.ru

В статье представлены результаты исследований, связанных с проблемой утилизации крупнотоннажного отхода производства минеральных удобрений – фосфогипса. Предложено использовать данный материал в производстве асфальтобетонных смесей с получением гранулированного продукта, выдерживающего длительное хранение с сохранением эксплуатационных показателей. Асфальтобетонная гранулированная смесь удовлетворяет требованиям стандартов и позволяет получать качественное дорожное покрытие при ее укладке как в горячем, так и холодном состояниях. Прочность материала обеспечивается формированием упорядоченной структуры материала при гранулировании окатыванием, а водостойкость – модификацией битума полиэтилентерефталатом, являющимся твердым бытовым отходом. Рассмотрены различные варианты использования разработанного продукта.

Ключевые слова: *фосфогипс, гранулирование окатыванием, структура композиционного материала, асфальтобетон, полиэтилентерефталат, прочность, водостойкость.*

Фосфогипс – неизбежный крупнотоннажный отход производства минеральных удобрений, образующийся при переработке апатитового концентрата по серноокислотной технологии. Полная утилизация фосфогипса практически исключена по причине сильноокислой реакции, загрязненности фосфорными фтористыми и другими соединениями. Невозможность использования фосфогипса приводит к вынужденному его накоплению в отвалах, объемы которых, по оценкам экспертов, составляют около 140 млн т с ежегодным увеличением на 14 млн т. Загрязнение окружающей среды комплексом таких соединений вызывает их

накопление в поверхностных и почвенных водах, а также в сельскохозяйственных культурах [1].

В настоящее время проблема переработки фосфогипса в Российской Федерации остается все еще нерешенной. Степень вторичного использования составляет около 2-4 % в год, в то время как в других странах этот показатель в несколько раз выше. Главной причиной, из-за которой тормозится развитие переработки фосфогипса в России, является недостаточная разработанность физико-химической методологии получения сверхпрочных, водо- и морозостойких композиционных материалов на основе фосфогипса [2].

Утилизированные и экологически очищенные формы фосфогипса могут применяться в различных отраслях народного хозяйства: в сельском хозяйстве – для химической мелиорации солонцовых почв; в цементной промышленности – в качестве добавки к цементу; в дорожном строительстве – для устройства дорожных одежд; в химической промышленности – для получения серы и серной кислоты; в качестве наполнителя при производстве бумаги, пластмасс и т.д. Основным потребителем гипсосодержащих отходов потенциально должна быть промышленность строительных материалов – единственная отрасль промышленности, перерабатывающая гипсовое сырье в количестве, соизмеримом с производственным выходом фосфогипсовых отходов.

По своим свойствам фосфогипс близок к природному гипсу. Он может рассматриваться как его потенциальный заменитель. Фосфогипс, получаемый в России при переработке апатитового концентрата, содержит в своем составе более 95 % гипса и, следовательно, по данному параметру он может быть отнесен к гипсовому сырью I сорта (ГОСТ 4013–82). Основное отличие от природного гипса состоит в том, что фосфогипс является продуктом химической реакции и имеет ряд остаточных от реакции ингредиентов, не присущих природному гипсу – фосфор и фтор. Ведущие научные школы и производственные предприятия России уже предложили ряд способов комплексной переработки и использования фосфогипса, но несмотря на это объемы его утилизации, в сравнении с выходом, остаются незначительными.

С учетом накопленных и постоянно пополняющихся запасов продукта наиболее приемлемым, по мнению авторов данной статьи, является его использование в дорожном строительстве. Примеры такого способа утилизации фосфогипса известны. Так, в Балаковском филиале АО «Апатит» на протяжении многих лет материал применяется в качестве основания дорожной одежды. Планируется расширение использования технического гипса в дорожной отрасли, согласно соглашению о сотрудничестве между Саратовским государственным университетом (СГУ) и Балаковским филиалом АО «ФосАгро». Компания «Уралхим»

выступила с инициативой использовать фосфогипс на территории АО «Воскресенские минеральные удобрения» при строительстве дорог в Московской области. Однако исследованиями ученых СГУ установлено, что фосфогипс находится в приемлемом для дорожного строительства состоянии только в течение 6-8 ч после выхода из технологического процесса, что существенно ограничивает сферу использования материала.

Цель рассмотренной в данной статье работы состоит в представлении новой технологии производства асфальтобетонных смесей, в составе которых в качестве минерального порошка используется фосфогипс. Использование таких смесей позволит получить высокопрочный и долговечный материал дорожного покрытия, потребность в котором с учетом состояния дорожной сети в нашей стране огромна.

Асфальтобетон является дисперсно-наполненным композиционным материалом, дисперсную часть которого составляют минеральные частицы, а в качестве связующего (матрицы) используется битум. Основные положения создания идеальной структуры композиционных материалов были сформулированы в начале прошлого века академиком, разработчиком нового научного направления физико-химической механики П.А. Ребиндером. Он утверждал: *«Самый простой путь повышения прочности любого твердого тела почти до идеального потолка состоит в измельчении его до частиц, по порядку величины соответствующих расстояниям между опасными слабыми местами. Если такие частицы плотно упаковать или склеить тончайшими, а потому тоже высокопрочными после затвердевания, прослойками, полученный материал будет плотным, непроницаемым для жидкостей и газов, макрооднородным, высокопрочным и долговечным»* [3].

Предложенная модель структуры композита в свете современных научных представлений базируется на создании материала, свойства которого в значительной мере обусловлены поверхностными или нано-эффектами. Если прослойки связующего между частицами меньше некоторого порогового значения, измеряемого нанометрами, то свойства материала матрицы кардинально меняются. При этом происходит резкое увеличение прочности связей между дисперсными частицами композиционного материала, что обуславливает изменение эксплуатационных свойств композита. В современных нанотехнологиях достижение подобного эффекта обеспечивается введением в материал наночастиц с особыми поверхностными свойствами. Однако, если следовать рекомендации П.А. Ребиндера, подобный эффект может быть реализован без использования наноматериалов путем создания упорядоченного расположения дисперсных частиц с минимальными зазорами между ними.

Оказалось, что создание такой структуры вполне реально с использованием известного технологического приема – гранулирования окатыванием. Процесс гранулирования осуществляется во вращающемся грануляторе, куда попеременно вводятся порции дисперсного материала (минерального порошка) и связующего. При движении в барабане гранулятора частицы дисперсного материала (минерального порошка) взаимодействуют со смоченной поверхностью образовавшихся гранул. Исход такого взаимодействия определяется соотношением действующих на частицу сил. С одной стороны, это динамические силы, обусловленные движением материала, стремящиеся сорвать частицу с поверхности гранулы. С другой стороны – адгезионные силы, обеспечивающие прилипание частицы к поверхности гранулы. Налипание частицы на поверхность гранулы произойдет только в том случае, когда силы адгезии окажутся больше срывающих динамических сил. Значение адгезионной силы определяется площадью контакта частицы с поверхностью гранулы и толщиной жидкостной прослойки в зоне взаимодействия. При недостаточной площади контакта частица порошка будет сорвана с поверхности гранулы и войдет в ее состав при следующих столкновениях, обеспечивающих необходимые условия прилипания. Рассмотренный механизм позволяет создать упорядоченное расположение частиц порошка в структуре композита при минимальных толщинах прослоек связующего, исключая разрывы матрицы и обеспечивая равномерность распределения связующего в грануле.

Способ производства асфальтобетонной смеси прошел апробацию и защищен патентом РФ [4]. Асфальтобетон из такой смеси обладает показателями прочности, как минимум в два раза превышающими требования ГОСТ, при минимальном водонасыщении материала, обеспечивающем его долговечность. Первые попытки создания гранулированной асфальтобетонной смеси, в которой вместо минерального порошка использован фосфогипс, позволили получить материал, обладающий высокими показателями прочности. Для бинарной смеси *битум-фосфогипс*, в которой содержание битума БНД 60/90 составило 16 % по массе, прочность образца асфальтобетона при 20 °С была равна 5,47 МПа. В соответствии с требованиями ГОСТ 9128-2013 для плотных асфальтобетонных смесей этот показатель составляет 2,5 МПа, т.е. полученный материал имеет более чем двойной запас прочности. Однако при испытаниях на водостойкость выяснилось, что материал не выдерживает воздействия влаги – гранулы смеси рассыпались после нескольких дней выдержки в воде.

Толчком для дальнейшего совершенствования материала послужила информация об использовании бытовых пластиковых отходов в производстве асфальтобетона [5]. В результате разработанный иннова-

ционный материал представляет собой смесь асфальтобетона и пластиковых бутылок, пакетов из-под молока и одноразовых стаканчиков в соотношении 80:20. При изготовлении нового оригинального дорожного покрытия пластиковые отходы разогревают до состояния пасты, которая смешивается с традиционными компонентами асфальтобетона. К преимуществам такого способа производства относят повышение прочности и водостойкости асфальтобетона, снижение температуры смешения смеси и себестоимости выпускаемой продукции. Попутно решается экологическая проблема утилизации бытовых пластиковых отходов. Именно благодаря пластику асфальтобетон получает дополнительную прочность и водостойкость.

Проведенные в этом направлении исследования показали, что далеко не каждый вид пластика из бытовых отходов может быть использован в производстве асфальтобетона. Более того, многие пластиковые отходы являются несовместимыми, т.е. не способны к образованию однородной смеси в разогретом состоянии, а значит, получение однородной асфальтобетонной смеси оказывается весьма сомнительным. При использовании фосфогипса в качестве минерального порошка однородность смеси приобретает решающее значение. Для исключения вредного воздействия фосфогипса в составе асфальтобетона на окружающую среду необходимо, чтобы каждая его частица была бы герметично «запакована» в оболочку нейтрального связующего, устойчивого к воздействию влаги. Это оказывается возможным только в случае равномерного распределения пластика в объеме связующего.

Установлено, что наиболее приемлемым для этих целей является полиэтилентерефталат – материал, из которого изготавливают большую часть бытовой пластиковой тары, включая наиболее распространенные пластиковые бутылки. Температура плавления пластика составляет 250 °С, а его введение в битум и нагрев до температуры плавления при перемешивании приводит к образованию однородной жидкой смеси. Исследования структуры смеси показали, что при содержании пластика в смеси до 18 % по массе он образует истинный раствор с битумом. Температура плавления раствора значительно ниже температуры плавления пластика и составляет примерно 120 °С. С увеличением содержания пластика часть его, не перешедшая в раствор, при перемешивании диспергируется с образованием частиц со средним размером порядка 30 мкм. При остывании смеси дисперсные частицы пластика коагулируют, образуя твердый конгломерат, плавающий в расплаве битума.

Полученный результат позволил перейти к определению возможности использования битума, модифицированного полиэтилентерефталатом, для получения асфальтобетонной смеси на основе фосфогипса в качестве минерального порошка. Цель исследования состояла в от-

работке оптимальной рецептуры смеси и технологических параметров процесса гранулирования, позволяющей получить асфальтобетон, не уступающий по свойствам традиционным материалам. Методика проведения эксперимента включала гранулирование фосфогипса с использованием в качестве связующего битума, модифицированного полиэтилентерефталатом. Из гранулированного материала формовались образцы асфальтобетона, а затем проводились их испытания по ГОСТ 12801-98.

Исследовалось влияние на свойства асфальтобетона процентного содержания полиэтилентерефталата в битуме и температуры процесса гранулирования материала. В качестве контрольных параметров, определяющих свойства материала, использовались кратковременное и длительное водонасыщение, прочность материала на сжатие при температуре 20 °С и коэффициент водостойкости после кратковременного и длительного водонасыщения. В связи с тем, что задачей исследования является утилизация фосфогипса, в ходе испытаний установлено значение его максимального содержания в системе *фосфогипс-связующее*, составляющее 84 % порошкообразного материала. Оптимальная температура процесса гранулирования составляет 130-150 °С.

В ходе эксперимента массовое содержание полиэтилентерефталата в битуме изменялось от 0 до 40 %. Увеличение содержания пластика в битуме приводило к росту прочности асфальтобетона и повышению его водостойкости. Так, при нулевом содержании пластика в битуме прочность материала на сжатие при 20 °С составляла $\sigma_{сж} = 5,47$ МПа, а коэффициент водостойкости при кратковременном водонасыщении был равен $K_{кв} = 0,43$. При 40 % содержании пластика значения этих показателей составили $\sigma_{сж} = 10,87$ МПа и $K_{кв} = 1,13$. При длительном водонасыщении значения коэффициента водостойкости снижаются, но находятся в пределах, близких к единице. Так, при содержании пластика, равном 10 %, значение коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении составило $K_{дв} = 0,96$, а при содержании пластика в 40 % $K_{дв} = 1,02$.

Полученный результат свидетельствует о том, что асфальтобетонная смесь с использованием фосфогипса в качестве минерального порошка обладает набором эксплуатационных показателей, значительно превышающих требования ГОСТ 9128-2013. Таким образом, вопрос о принципиальной возможности использования разработанной технологии на практике можно считать разрешенным. Прежде всего, необходимо определиться в каком качестве будет использоваться новый материал. С учетом особых свойств материала, отличающих его от большинства известных асфальтобетонных смесей, возможны различные вари-

анты его применения. Отличительной особенностью гранулированного продукта является возможность его заготовки «впрок». В охлажденном состоянии гранулы могут храниться очень продолжительное время, не утрачивая эксплуатационных показателей и не проявляя склонности к слеживанию. Это свойство является особенно важным, когда проблема касается утилизации огромных запасов промышленных отходов. Заготовленный продукт может транспортироваться на большие расстояния как традиционный сыпучий материал к месту его непосредственного применения.

По мнению авторов, возможны следующие варианты использования гранулированной асфальтобетонной смеси. Прежде всего, это традиционный вариант, когда гранулированный материал нагревается до температуры 120-130 °С, с дальнейшей его укладкой для устройства слоя дорожной одежды. Нагрев материала возможен в сушильном барабане асфальтосмесительной установки. При этом следует отметить, что в гранулированном продукте битум находится в пленочном состоянии, что предотвращает его выгорание даже под воздействием открытого пламени.

Другим вариантом является использование гранул, как носителей связующего и минерального порошка, при приготовлении типовой асфальтобетонной смеси на стандартном оборудовании асфальтобетонных заводов. При этом в разогретую крупнодисперсную минеральную часть в асфальтосмесителе вводится гранулированная смесь в холодном состоянии, гранулы которой разрушаются при перемешивании и равномерно распределяются в массе материала, формируя асфальтовязующее вещество высокого качества со связующим в пленочном состоянии. Последнее составляет одно из важнейших требований к качеству асфальтобетонной смеси. Из проведенного нами исследования асфальтовой крошки установлено, что значительная часть битума в материале присутствует в виде сгустков связующего с минеральным порошком. Этот факт является причиной преждевременного разрушения дорожной одежды, обусловленного неоднородностью структуры материала.

Гранулированная асфальтобетонная смесь с добавкой фосфогипса со связующим в виде битума, модифицированном полиэтилентерефталатом, содержит 84 % порошкообразной фракции и 16 % связующего. Основную долю в себестоимости такой смеси составляет стоимость битума, содержание которого в разработанном материале существенно выше, чем в традиционных асфальтобетонных смесях. Однако снижение содержания связующего возможно путем создания комбинированных гранул, ядрами которых являются частицы каменного материала, заключенные в оболочку асфальтовязующего вещества. Эксперимент показал, что при содержании материала оболочки в 30 % по массе конеч-

ные свойства продукта практически определяются свойствами материала оболочки. При уплотнении смеси оболочки гранул деформируются, заполняя пространство между ядрами, образуя практически монолитную смесь с минимальным водонасыщением. При этом отпадает необходимость подбора гранулометрического состава минеральной части смеси.

В табл. 1 приведены результаты независимых испытаний, проведенные в лаборатории ГКУ ЯО «Ярославская областная дорожная служба». В ходе испытаний изучали гранулированную асфальтобетонную смесь следующего состава:

- гранитный щебень фракции 5-10 мм – 70 % от массы минеральной части смеси;
- фосфогипс – 30 % от массы минеральной части;
- модифицированный битум – 6 % от массы минеральной части:
 - битум БНД 60/90 – 82 %;
 - полиэтилентерефталат 18 %.

Таблица 1

***Результаты независимых испытаний
гранулированной асфальтобетонной смеси***

<i>Наименование показателей</i>	<i>Ед. изм.</i>	<i>Фактические показатели</i>	<i>Требования ГОСТ 9128 -2013</i>
<i>Плотность</i>	г/см ³	2,45	не нормируется
<i>Водонасыщение</i>	%	1,6	1,0-2,5
<i>Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С</i>	МПа	6,3	2,5
<i>Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С</i>	МПа	3,4	1,0
<i>Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С</i>	МПа	12,5	не более 9,0
<i>Сдвигоустойчивость по:</i> <i>- коэффициенту внутреннего трения;</i> <i>- сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С</i>	МПа	0,76 1,38	не менее 0,88 не менее 0,25
<i>Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин.</i>	МПа	3,9	не менее 3,0 – не более 5,5
<i>Водостойкость</i>	-	1,06	0,95
<i>Водостойкость при длительном водонасыщении</i>	-	0,90	0,90

Результаты исследований показали, что материал удовлетворяет требованиям ГОСТа для плотных асфальтобетонных смесей по большинству показателей. Отметим, что в качестве ядер гранулированного материала возможно использование металлургических шлаков или других отходов производства, что позволило бы еще в большей степени снизить себестоимость материала.

Существует еще одна важная особенность разработанного материала. При проведении экспериментов была сделана попытка использовать гранулированную асфальтобетонную смесь в качестве материала для получения холодного асфальтобетона. Прессование образцов асфальтобетона в этом случае проводилось из гранулированного материала без предварительного подогрева при комнатной температуре. Полученные таким образом образцы показали снижение прочностных показателей материала на 12-15 % при практически неизменных показателях водостойкости. Испытания гранулированного материала в качестве холодной асфальтобетонной смеси для ямочного ремонта показали реальную возможность использования материала в таком качестве.

Отметим еще одно преимущество представленной технологии утилизации фосфогипса. Рассмотренные выше варианты использования промышленного отхода предполагают предварительную химическую, термическую или механическую обработку исходного сырья. Как правило, это энергозатратные процессы, существенно снижающие рентабельность производства. В предлагаемой технологии предварительная подготовка сырья сводится только к сушке фосфогипса, выводимого из технологического процесса. Высокая дисперсность материала со значением удельной поверхности $2500-4500 \text{ см}^2/\text{г}$, а после гашения – более $9000 \text{ см}^2/\text{г}$ [6], позволяет исключить из технологического процесса его дробление и грубый помол. Удельная поверхность минерального порошка МП-1, используемого в производстве асфальтобетона, по паспортным данным, составляет $2500-4500 \text{ см}^2/\text{г}$.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных экспериментальных исследований удалось сформулировать следующие выводы:

1. Разработанная технология производства асфальтобетонной смеси методом гранулирования окатыванием, согласно которой в качестве минерального порошка использован фосфогипс, а в качестве связующего – дорожный битум, модифицированный полиэтилентерефталатом, позволила получить показатели прочности асфальтобетона, превышающие аналогичные показатели по

ГОСТ 9128-2013 более чем в 2 раза, а показатели водостойкости – больше единицы.

2. Гранулированная асфальтобетонная смесь в охлажденном состоянии представляет собой сыпучий материал, не проявляющий склонности к слеживанию, способный длительное время храниться без снижения эксплуатационных показателей. Это позволяет заготавливать материал «впрок» и создает перспективу широкомасштабной переработки промышленного отхода производства.
3. При использовании фосфогипса в производстве гранулированной асфальтобетонной смеси не требуется его предварительная подготовка, а необходима только сушка. Контакт материала с внешней средой исключается путем упаковки каждой частицы фосфогипса в водонепроницаемую оболочку, формируемую в процессе гранулирования окатыванием.
4. Применение гранулированной асфальтобетонной смеси в дорожной одежде возможно как в горячем, так и в холодном состояниях. Рассмотрен вариант использования гранулированного фосфогипса в качестве минерального порошка и связующего в традиционной технологической схеме производства асфальтобетонных смесей.

Проведенное исследование можно расценивать как имеющее перспективное значение с точки зрения возможности решения глобальной проблемы утилизации фосфогипса. Отметим, что представленные результаты получены в лаборатории Ярославского государственного технического университета, технические возможности которой весьма ограничены. Однако практическое внедрение предложенной технологии имеет не только экологический, но и экономический эффект, которая может найти применение не только на предприятиях России, но и в целом ряде крупных промышленно развитых стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Касимов А.М. Утилизация фосфогипса с получением материала для производства гипсовых вяжущих / А.М. Касимов, О.Е. Леонова, В.П. Миняйло // Экология и промышленность. – 2007. – №1. – С. 24-27.*

2. *Игленкова М.Г. Взаимосвязь физико-химических и эксплуатационных параметров композитов на основе фосфогипса / М.Г. Игленкова, А.А. Родина, В.А. Решетов, С.Б. Ромаденкина // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Химия. Биология. Экология. – 2012. – Т. 12. – Вып. 3. – С. 45-47.*
3. *Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 384 с.*
4. *Способ получения асфальтобетонной смеси: пат. 2182136 Рос. Федерация: МПК C04B26/26 / В.М. Готовцев, А.И. Зайцев, И.В. Галицкий, Д.В. Баскаков; патентообладатель Ярославский гос. технический университет; заявл. 06. 03.2000; опубл. 10.05.2002.*
5. *Лысянников А.В. Переработанный пластик в дорожном строительстве / А.В. Лысянников, Е.А. Третьяков, Н.Н. Лысянникова // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Вып. 7. – С. 105-115.*
6. *Золотухин С.Н. Влияние толщины водных пленок на структуру композиционного строительного материала с использованием фосфогипса / С.Н. Золотухин, О.Б. Кукина, А.А. Абраменко, А.А. Ганеев, Е.А. Соловьева, Е.А. Савенкова // Вестник ВГТУ. – 2017. – Т.13. – №2. – С. 138-143.*

L I T E R A T U R A

1. *Kasimov A.M. Utilizacija fosfogipsa s polucheniem materiala dlja proizvodstva gipsovyh vjazhushhih / A.M. Kasimov, O.E. Leonova, V.P. Minjajlo // Jekologija i promyshlennost'. – 2007. – #1. – S. 24–27.*
2. *Iglenkova M.G. Vzaimosvjaz' fizikohimicheskikh i jekspluatacionnyh parametrov kompozitov na osnove fosfogipsa / M.G. Iglenkova, A.A. Rodina, V.A. Reshetov, S.B. Romadenkina // Izvestija Saratovskogo universiteta. Novaja serija. Ser.: Himija. Biologija. Jekologija. – 2012. – Т. 12. – Вып. 3. – S. 45-47.*
3. *Rebinder P.A. Izbrannye trudy. Poverhnostnye javlenija v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaja mehanika / P.A. Rebinder. – М.: Nauka, 1979. – 384 s.*
4. *Sposob poluchenija asfal'tobetonnoj smesi: pat. 2182136 Ros. Federacija: MPK C04B26/26 / V.M. Gotovcev, A.I. Zajcev, I.V. Galickij, D.V. Baskakov; patentoobladatel' Jaroslavskij gos. tehničeskij universitet; zajavl. 06. 03.2000; opubl. 10.05.2002.*

5. *Lysjannikov A.V. Pererabotannyj plastik v dorozhnom stroitel'stve / A.V. Lysjannikov, E.A. Tret'jakov, N.N. Lysjannikova // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. – 2017. – Vyp. 7. – S. 105-115.*
6. *Zolotuhin S.N. Vlijanie tolshhiny vodnyh plenok na strukturu kompozicionnogo stroitel'nogo materiala s ispol'zovaniem fosfogipsa / S.N. Zolotuhin, O.B. Kukina, A.A. Abramenko, A.A. Gapeev, E.A. Solov'eva, E.A. Savenkova // Vestnik VGTU. – 2017. – T.13. – #2. – S. 138-143.*

**PROSPECTS FOR THE USE OF PHOSPHOGYPSUM
WHEN PRODUCING ASPHALT CONCRETE**

Master's Degree Student **D.V. Gerasimov**,
Ph. D. (Tech.), Associated Professor **A.A. Ignatiev**,
Doctor of Engineering, Professor **V.M. Gotovtsev**,
Doctor of Chemistry, Professor **I.V. Golikov**
(Yaroslavl State Technical University)
Contact information: geras930@mail.ru;
alexassis@ya.ru;
gotovtsev_vm@mail.ru;
golikov.i@yandex.ru

The article dwells upon the research results related to the problem of processing of large-tonnage waste of fertilizer manufacturing – phosphogypsum. It is proposed to use this waste when producing asphalt-concrete mixtures obtaining a long-term storage granulated product while maintaining performance properties. Granulated asphalt concrete mixture meets standards requirements and allows obtaining a qualitative road pavement when placing in both hot and cold conditions. The material strength is achieved by ordered structure formation when granulating by pelletizing, and water resistance – by bitumen modification with polyethylene terephthalate, which is domestic solid waste. Different variants of the developed product use are considered.

Key words: *phosphogypsum, granulation by pelletizing, composite material structure, asphalt concrete, polyethylene terephthalate, strength, water resistance.*

Рецензент: канд. техн. наук А.В. Бобков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 25.09.2018 г.