

3. *Леонович, С. Н. Область эффективного применения технологии пост-напряжения при устройстве плитных фундаментов на просадочных грунтах для предотвращения температурных и усадочных трещин / С. Н. Леонович, А. И. Сидорова // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й Международной научно-технической конференции. - Минск : БНТУ, 2018. - Т. 2. – С. 439.*

4. *Леонович, С.Н. Технология устройства облегченных пустотообразователями железобетонных плит перекрытия с предварительным напряжением арматуры в построечных условиях = Technology for Installation of Reinforced Concrete Floor Slabs Lightened by Core Drivers with Preliminary Reinforcement Stress / С. Н. Леонович, И. И. Передков // Наука и техника. – 2015. – №6. – С. 54–62.*

5. *Следящие тест-системы [Электронный ресурс] / ООО «СТС». – 2019. – Режим доступа: <http://www.sts-hydro.ru/about/downloads/drawings-components/>*

6. *Пат. 2379424 Российская Федерация, Е 02 D 27/01. Способ возведения фундаментной плиты рамной конструкции / Цехановский А. Н.; заявитель и патентообладатель Цехановский А. Н.; заявл. 27.05.08, опубл. 20.01.10, – 3с.: ил.*

7. *Бортницкая, А. И. Физико-технические свойства листов цементно-поризованных, армированных стеклотекстурой, и область их применения в строительстве / А. И. Бортницкая // Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов : материалы 68-й студенческой научно-технической конференции, 3 мая 2012 г. / Белорусский национальный технический университет ; ред. Э. И. Батяновский, М. Г. Бортницкая. – Минск : БНТУ, 2012. – С. 9–13.*

УДК 666.972

## **КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА**

**Яглов В.Н., Меженцев А.А., Гиринский В.В.,  
Кречко Н.А., Шагойко Ю.В.**

*Белорусский национальный технический университет*

*Изучена зависимость свойств от состава композиционного вяжущего в системе портландцемент-гранитные отсева. С учетом активности гранитных отсева (более 70 мг/г) установлено, что при содержании в*

*вяжущем немодифицированных гранитных отсевах от 50% и менее предел прочности при сжатии после пропаривания прессованных образцов составил 36-38 МПа, что позволяет рекомендовать эти составы для получения щебня в дорожном строительстве.*

Экономическое развитие Беларуси зависит от состояния транспортной инфраструктуры. В настоящее время резко увеличивается потребность в высокоскоростных автомобильных дорогах. Интенсивность грузоперевозок автомобильным транспортом с каждым годом возрастает, а нагрузка на автомобильных дорогах составляет в среднем от 2000 до 8000 автомобилей в сутки. Значительная часть автомобильных магистралей имеет асфальтобетонное покрытие с низким сроком эксплуатации. Фактический межремонтный срок службы дорог дорожной сети республики составляет 3-4 года [1]. По данным Белавтодора около 20% республиканских дорог не отвечают современным нормативным требованиям.

Перспективными в строительстве автомобильных дорог за рубежом являются покрытия из цементных тяжелых бетонов, обладающие повышенными прочностными характеристиками и долговечностью. При высоких уровнях нагрузки цементобетонные покрытия служат в 2,5-4 раза больше, чем асфальтобетонные. В развитых странах автомобильные дороги с покрытиями из цементных бетонов составляют: в Бельгии 41 %, США 35 %, Германии 31 %, Китае 22 %, а в России только 9 % [2].

Цементобетонные дорожные покрытия обладают следующими преимуществами [3]:

– повышенный срок службы – от 25 до 50 лет (долговечность асфальтобетонных покрытий не превышает 12 лет);

– стоимость 1 км автомобильных дорог с цементобетонным покрытием примерно 26 млн руб., а асфальтобетонных – 25 млн руб. В перспективе цементобетонные дорожные покрытия будут стоить на 25 % дешевле асфальтобетонных за счет длительного срока безремонтной эксплуатации;

– высокий коэффициент сцепления колес с основанием и устойчивость к истиранию;

– высокая прочность на сжатие и изгиб, при малой деформативности, независимо от температуры и влажности среды, что обеспечивает отсутствие колеи при эксплуатации цементобетонных дорог.

В настоящее время в Беларуси вопрос строительства автомобильных дорог с высокими эксплуатационными характери-

ками является актуальным. Покрытия автомобильных дорог должны быть морозо- и химически стойкими, а также выдерживать длительные циклические нагружения на сжатие и изгиб. Производство высокофункциональных цементных бетонов с классом по прочности на сжатие В60 и выше в настоящее время не вызывает затруднений [4]. Принято считать, что стойкость покрытий автомобильных дорог из цементных бетонов к кратковременным циклическим воздействиям хорошо согласуется с его прочностью при изгибе. Эти воздействия формируют в цементном камне бетона напряжения, которые вызывают и развивают трещины. Исходя из этого основной задачей при разработке цементных бетонов для строительства автомобильных дорог является увеличение прочности бетона при изгибе ( $R_{изг}$ ) с 4-5 до 6-6,5 МПа, что позволит повысить срок службы дорожно-го покрытия с 20 до 50 лет [5].

Известны различные способы увеличения прочности при изгибе дорожных бетонов – в основном, это микроармирование фиброй. Однако увеличить прочностные характеристики бетона можно также путем модифицирования структуры цементного камня в бетоне химическими или электрофизическими способами [5].

В различных условиях эксплуатации дорожного бетона гидратные новообразования, формирующие структуру цементного камня, а именно гидросиликатный гель и кристаллические соединения (гидроалюминаты кальция, портландит и эттрингит), в различной степени откликаются на воздействия окружающей среды, в том числе и циклические и механические нагружения. Например, гидросиликатный гель способствует концентрации напряжения, что приводит к повышению прочности и долговечности цементных материалов. Кристаллические фазы являются концентраторами напряжения, что способствует образованию трещин и разрушению структуры. Установление закономерностей по влиянию факторов на кристаллизацию цементного геля и разрушение цементного камня при циклических воздействиях является важной задачей в технологии высокофункциональных бетонов. Наиболее перспективным решением данной проблемы является строительство дорожных покрытий жесткого типа с использованием цементобетонных композитов.. Для этого дорожно-строительная отрасль должна обладать необходимой сырьевой базой для производства цементобетонов при устройстве таких покрытий.

Основными предпосылками для получения эффективных дорожных цементобетонов являются снижение водопотребности проектируемых составов, повышение активности вяжущего с одновременным сокращением его расхода, а также уменьшение стоимости получаемого бетона. Следовательно, наиболее целесообразным представляется применение особо жестких бетонных смесей с пониженным расходом цемента по сравнению с традиционными составами, широкое использование техногенных отходов и наполненных вяжущих веществ на их основе [5].

Таким образом, использование отходов камнедробления в качестве мелкого заполнителя и тонкомолотого наполнителя для получения цементобетонных покрытий, предназначенных для строительства автомобильных дорог, позволит обеспечить высокую плотность и качество цементного камня и снизить себестоимость дорожных покрытий.

Согласно приведенным исследованиям причина недостаточного использования техногенного сырья и отсевов камнедробления в технологии композиционных материалов связана, в первую очередь, с повышенным содержанием мелкодисперсных частиц менее 0,16 мм, достигающих в их составах 15-30 % и способствующих увеличению водопотребности смеси, суммарной поверхности заполнителя и ухудшению их сцепления с цементом. Однако отдельными исследованиями сформулированы теоретические основы влияния тонкомолотых наполнителей на цементную матрицу, утверждая, что пылевидные частицы отсевов, играя роль мелкодисперсных минеральных включений, оказывают положительное влияние на свойства цементного камня. При этом основными физико-химическими процессами структурообразования бетона являются: повышение энергии на поверхности тонкодисперсных частиц и использование этой энергии при протекании реакций гидратации; образование дополнительных кристаллизационных центров; полная кристаллизация гидратированного клинкерного вяжущего вещества [5].

Структурно-механические и реологические свойства дисперсных систем зависят от целого ряда факторов: размера и формы частиц самой структуры, объемного содержания воды, толщины пленок и водоудерживающей способности дисперсных частиц, их смачиваемости и др. Отходы камнедробления в значительной степени содержат тонкодисперсные частицы с удельной поверхностью 130-150 м<sup>2</sup>/кг, которая обладает неодинаковой сорбцией по отношению к влаге из-за химического и

минералогического составов сырья, из которого образован отсев. Отмечено, что использование пылевидной фракции в бетонах снижает прочность контактной зоны между заполнителем и цементным камнем за счет низких адгезионных связей между ними. В то же время проведены исследования, доказавшие, что частицы пыли не оказывают влияния на прочность бетона, если они механически не связаны с поверхностью заполнителя, а при введении соответствующих химических добавок даже повышают её [5].

К тому же, использование промышленных отходов может обеспечивать производственные предприятия источником дешевого и уже частично подготовленного сырья, способствовать экономии средств, предназначенных для строительства добывающих и перерабатывающих предприятий, и повышению показателей их рентабельности, а также понижению уровня загрязнения окружающей среды и получению значительных площадей сельхозугодий. Обеспечение степени повышения использования промышленных отходов рассматривается как важная задача государственного значения.

Учитывая активность гранитных отсевов, равную 73 мг/г изучены зависимости свойств от составов вяжущих в системе портландцемент (ПЦ) – гранитные отсевы (ГО) (табл. 1).

Таблица 1 – Состав и свойства образцов смеси ПЦ : ГО

Состав смеси ПЦ:ГО,%	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90
R <sub>сж</sub> , МПа	36	37	36	36	37,5	25	20	16	11

В работе использованы цемент ПЦ500ДО Красносельского завода и немодифицированные гранитные отсевы РУПП «Гранит». Из смесей различных составов формовали таблетки диаметром 50 мм и массой 50 г. Давление прессования составляло 25 МПа. Влажность смеси 7%. Образцы подвергали пропариванию при 95°C по режиму 2-5-2, после чего проводили испытание свойств. Водопоглощение пропаренных образцов составило 3,5 – 4,5%.

Установлено, что при содержании в составе вяжущего 50% мас. и менее гранитных немодифицированных отсевов после пропаривания по режиму 1-5-1 предел прочности при сжатии образцов составляет 36-38 МПа. Таким образом, из композиционного вяжущего вышеуказанных составов возможно получение

ние щебня, который может быть использован в дорожном строительстве.

### **Библиографический список**

1. *Якобсон, М.Я. Некоторые проблемы обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций / М.Я. Якобсон // Популярное бетоноведение: сб. тезисов Международной конференции. – СПб., 2007. – С 41–42.*

2. *Носов, В.П. Цементобетон в дорожном строительстве. Состояние. Проблемы, Перспективы / В.П. Носов // Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве : Международный семинар. – М.:, 2002. – С. 5-9.*

3. *Трофимов, Б.Я. Принципы повышения стойкости бетона при морозной и сульфатной агрессии путем модифицирования гидратных соединений : автореф. дис. докт. техн. наук. – Л., 1991. – 50 с.*

4. *Совершенствование технологии изготовления базальтофибробетона с повышенной однородностью / А.И. Кудяков, В.С. Плевков, К.Л. Кудяков, А.В. Невский, А.С. Ушакова // Строительные материалы. – 2015. - № 10. – С. 44–48.*

5. *Хасиев, А.А. Наполненные вяжущие вещества с использованием отходов камнепиления для цементобетонных покрытий / С.А.Ю. Муртазаев, И.А. Керимов, М.С. Сайдумов, А.А. Хасиев // Инновационные технологии в производстве, науке и образовании: сборник трудов II Международной научно-практической конференции, 19-21 октября 2012 г. – Махачкала: Риасофт, 2012. – Ч.2. – С. 248–254.*