

УДК 666.97; 691.32

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО КУБОВИДНОГО ЩЕБНЯ

**А. В. Бусел,**

декан факультета транспортных коммуникаций БНТУ, д-р техн. наук, профессор

**Н. М. Гурбо,**

доцент кафедры БНТУ, канд. техн. наук

**Т. А. Чистова,**

доцент кафедры БНТУ, канд. техн. наук

**С. Н. Соболевская,**

старший преподаватель БНТУ

**А. О. Калыска,**

мл. науч. сотрудник НИИЛ бетонов и строительных материалов БНТУ

В статье изложены результаты опытно-технологических работ по получению активированного кубовидного щебня и его применению в строительстве.

The article describes the results of experimental and technological works in obtaining the activated cube-shaped crushed stone and its use in construction.

В Республике Беларусь добычу и переработку гранита в щебень осуществляют на крупнейшем в Европе предприятии РУПП «Гранит» (г. Микашевичи). Горные породы этого геологического комплекса обладают преимущественно кислотными свойствами, из-за большого количества диоксида кремния (содержание  $\text{SiO}_2 > 65\%$ ) в их составе. Однако химический состав горной породы не полностью характеризует физико-химический потенциал поверхности щебня, которая в результате дробления приобретает высокоактивные реакционно-способные центры. Регулируя их параметры, можно целенаправленно управлять физико-химическими процессами структурообразования в бетонах и улучшать свойства строительных изделий.

Традиционные технологии дробления горных пород обеспечивают получение требуемого гранулометрического состава каменных материалов и в отдельных случаях обеспечивают необ-

ходимую форму частиц (кубовидную). Проблема повышения физико-химической активности минеральной поверхности по отношению к вяжущим материалам в большинстве случаев не решается. Между тем согласно общей теории конгломератных материалов структура бетона определяется расположением зерен заполнителя и энергией связи с цементным камнем. На границе их контакта имеются микротрещины и полости, которые являются концентратами напряжений и способствуют существенному снижению прочности бетона. Преодолеть это негативное давление призвана активационная технология, обеспечивающая прививку к поверхности гранитного щебня ионов поливалентных металлов, вызывающих повышение ее физико-химической активности по отношению к цементному камню [1]. При этом обеспечивается более плотный и прочный контакт, приводящий к увеличению структурной прочности бетона.

Поверхностные свойства определяются наличием кислотных и основных центров Льюисовского (L-центров) и Бренстедовского (B-центров) типов [2, 3]. Входящий в гранит основной минерал — кварц характеризуется отсутствием сильных кислотных центров B- и L-типа, так как существующие на его поверхности группы, в которых кремний находится в четверной координации, не являются донорами и акцепторами электронов. В этом случае все вакантные 3d-орбитали атомов кремния уже использованы для взаимодействия с атомами кислорода в кремнекислородных тетраэдрах. В процессе дробления это равновесие нарушается, на свежесформированной поверхности появляются ионы  $Si^+$  и  $O^-$ , которые способны взаимодействовать с ионами активатора и вступать в реакции замещения [4]. Для активации гранитного щебня был выбран сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  в виде водного раствора. При этом на свежесформированной поверхности щебня закрепляются ионы  $Al^{3+}$  в виде Льюисовских кислотных центров, которые существенно изменяют ее активность по отношению к цементу.

Для внедрения данного решения в практику работы РУПП «Гранит» потребовалось проанализировать производственные условия процесса дробления горных пород и выявить максимально эффективную технологическую операцию по введению активирующей добавки. При этом ставилась задача не нарушать общий технологический цикл получения щебня, поскольку это связано с большими материальными затратами. Необходимо было подобрать эффективное вещество, обеспечивающее не только получение эффекта активации, но и его длительное сохранение в процессе перевозки, хранения и перевалки щебня. Решение этих задач потребовало выполнения ряда опытно-технологических работ и производственных экспериментов, которые доказали практическую приемлемость предложенных технологических решений с учетом максимального использования имеющегося оборудования.

Коротко рассмотрим процесс производства гранитного щебня на данном предприятии. Щебень получают дроблением гранита из глыб, образовавшихся после проведения взрывных работ. Разработку горной породы в карьере ведут экскаваторами, перевозят самосвалами БелАЗ (рис. 1).



Рис. 1. Подвоз дробленой горной породы

Дробление и сортировку щебня осуществляют на заводе, располагаемом вблизи карьера (рис. 2) и работающем в соответствии с технологической схемой, представленной на рис. 3.



Рис. 2. Технологическая линия по разделению щебня на фракции

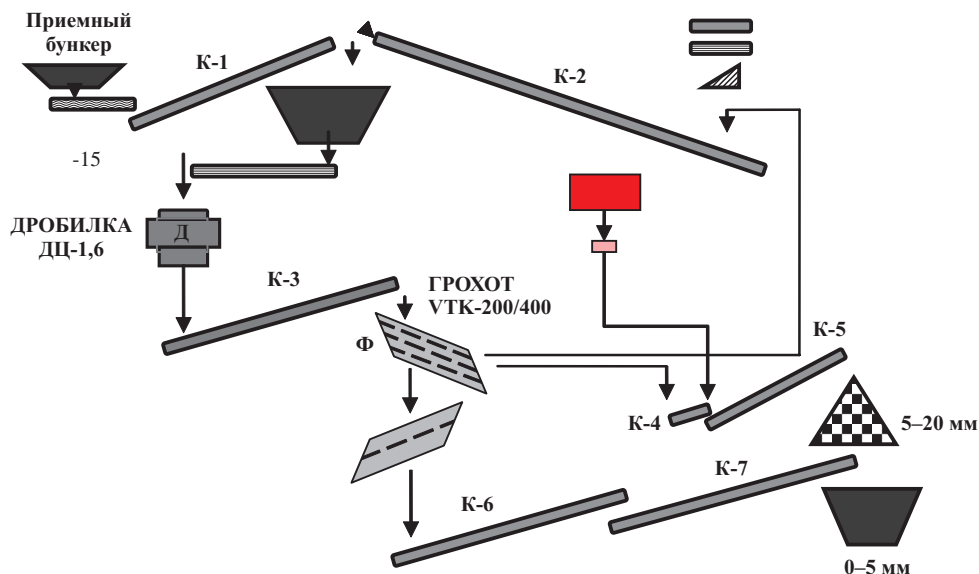


Рис. 3. Технологическая схема производства и активации щебня: Д — дробилка; К — конвейеры; В — емкость для раствора активатора; Н — насос-дозатор; Ф — грохот

Технологические особенности активации щебня заключаются в том, что на конвейере 4 и 5 производят введение активирующей добавки посредством орошения свежеприготовленного щебня раствором активатора. Раствор подается из емкости В насосом-дозатором Н и распыляется с помощью форсунок. Расход раствора активатора по отношению к минеральному материалу (щебню) составляет 18–20 кг/т и регулируется по показаниям жидкостного счетчика. В нашем случае использовалась передвижная установка для подачи активатора, представленная на рис. 4.



Рис. 4. Передвижная установка по активации щебня

При проведении опытно-технологических работ (рис. 5) визуально наблюдалось полное смачивание поверхности щебня активирующим раствором сульфата алюминия (светло-серый цвет щебня — до обработки — становился темно-серым после обработки).

Контроль при производстве активированного гранитного щебня, обеспечивающий необходимое и стабильное качество выпускаемой новой продукции, осуществлялся путем проведения испытаний в соответствии с ГОСТ 8267 и технологическим регламентом предприятия (ТР 001-2012). При этом фиксировались сле-



Рис. 5. Щебень после обработки водным раствором сульфата алюминия



дующие характеристики щебня: зерновой состав; содержание пылевидных и глинистых частиц; содержание зерен слабых пород; прочность и насыпная плотность; морозостойкость; показатель рН водной вытяжки из активированного щебня, характеризующий наличие активатора на его поверхности.

Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Исходя из определенных физико-механических показателей, можно сделать вывод о том, что полученный активированный щебень относится к I группе по ГОСТ 8267-93 и является кубовидным (соответствует первому сорту требований СТБ 1311-2002). По показателю рН водной вытяжки он подтверждает требуемый уровень активации его поверхности.

Полученный в производственных условиях активированный щебень обладает следующими положительными свойствами: во-первых, он имеет форму частиц близкую к кубической, что способствует его лучшей упаковке в структуре бетона. Кроме того, его поверхность имеет особые физико-химические параметры.

Активированный гранитный щебень фракции 5-20 был использован в составе тяжелых бетонов. Для приготовления бетонных смесей применяли портландцемент марки ПЦ 500-ДО ОАО «Красносельскстройматериалы». Расчет

состава бетона выполняли по методу «абсолютных объемов», разработанный профессором Б. Г. Скрамтаевым. На основе проведенных расчетов, а также с учетом планируемого применения указанного бетона для производства изделий на заводах сборного железобетона нами использован следующий состав бетонной смеси (кг/м<sup>3</sup>): цемент — 349,2; песок — 785,3; щебень — 1135,7; вода — 209,5. Удобоукладываемость бетонной смеси составила в среднем 10–12 см.

В процессе экспериментов исследовали влияние активирующей добавки на кинетику набора прочности бетона при нормально-влажностном твердении и при пропаривании. Прочностные характеристики бетона в разные сроки твердения (R<sub>1</sub> — 1 сутки, R<sub>7</sub> — 7 суток, R<sub>28</sub> — 28 суток) приведены в табл. 2. Для сравнения использовали бетон аналогичного состава (контрольный) на неактивированном щебне.

Производственная апробация бетонной смеси на активированном щебне в заводских условиях ОП «Стройпрогресс» МАПИД показала, что достигается рост прочности бетона по сравнению с аналогичным типовым составом на неактивированном щебне: на 1-е сутки после пропарки — на 39 %, на 28-е сутки после пропарки — на 30 %. При этом установле-

Таблица 1

Физико-механические показатели полученного щебня фракции 5–20 мм

Наименование показателя	Полученные результаты	Требования ГОСТ 8267-93	Требования СТБ 1311-2002
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,5	не более 1 для 1 группы	не более 0,5 для 1 сорта
Количество зерен лещадной и игловатой формы, % по массе	5	не более 10 для 1 группы	не более 8 для 1 сорта
Количество зерен кубовидной формы, %	68-78	не менее 65 для 1 сорта	не менее 65 для 1 сорта
Морозостойкость щебня	F400	–	не менее F200
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов Аэфф, Бк/кг	86	не более 370	не более 370
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1586	–	–
Полные остатки на ситах, %:			
1,25D	0	до 0,5	–
D	1,15	до 10	–
0,5(d + D)	52,85	30–60	–
d	97,21	90–100	–
рН водной вытяжки	4,0–4,2	4,0–5,0 по ТР 001-2012	

Таблица 2

Динамика твердения и прирост прочности бетона

Вид бетона	Прочность бетона при сжатии, МПа			
	Пропарка		Нормально-влажностное твердение	
	R <sub>1</sub>	R <sub>28</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>28</sub>
Контрольный состав	14,1	21,4	9,16	22,0
На активированном щебне	<u>21,6</u> 53,2	<u>30,0</u> 40,2	<u>18,6</u> 103,1	<u>32,4</u> 47,3

Примечание: в знаменателе приведен прирост прочности бетона на активированном щебне, %.

но, что применение активированного гранитного щебня повышает подвижность бетонной смеси и позволяет отказаться от использования в их составе дорогостоящих пластифицирующих добавок.

В заводских условиях на кассетных установках были изготовлены внутренние стеновые панели (В), БСГТ ПЗ С 16/20 СТБ 1035 (рис. 5).



Рис. 5. Отправка панелей внутренних стен на объекты строительства

Качество поверхности экспериментальных изделий оказалось выше, чем традиционных: уменьшилось (в 2–3 раза) количество пор на единицу площади. Партия железобетонных из-

делий была отправлена для монтажа на объекты крупнопанельного домостроения г. Минска: жилые дома серии 464М на ул. Кижеватова, 1, Шаранговича, 18, Каменная Горка, 4.

Таким образом, подготовлена технологическая основа для серийного производства активированного щебня на производственной базе РУПП «Гранит» и железобетонных изделий в ОП «Стройпрогресс» г. Минска. Данная инновационная разработка защищена евразийским патентом и обладает экспортным потенциалом [5].

**Литература:**

1. Бусел, А. В., Чистова, Т. А., Киселев, В. В. Активация крупного заполнителя — резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона / Технология бетонов. — 2010. — № 11–12. — с. 31–33.
2. Лукаш, Е. А. Повышение эффективности бетонов за счет модифицирования поверхности наполнителей из техногенного сырья КМА: Дис... канд. техн. наук. — Белгород, 2008. — 204 с.
3. Макшин, А. Н. Активация цементного вяжущего в гидродинамическом диспергаторе и свойства бетона на его основе: Дис... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2009. — 152 с.
4. Чистова, Т. А. Получение химически активированных каменных материалов из кислых горных пород и их применение в дорожном строительстве: Дис... канд. техн. наук. — Минск, 2007. — 245 с.
5. Евразийский патент № 007651. Способ активации минеральных материалов /Бюллетень Евразийского патентного ведомства. — 2006. — № 6. — с. 173.