

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

**ИННОВАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ
И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ**

*Материалы V Международной
научно-технической конференции
(18 февраля 2021 г., Тверь)*

Тверь 2021

УДК 378.1:[33+31+62+69+004+502+54]
ББК 74.48

Инновации и моделирование в строительном материаловедении и землеустройстве: материалы V Международной научно-технической конференции (18 февраля 2021 г., Тверь) / под ред. В.В. Белова. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2021. 180 с.

Включены научные труды, посвященные возможностям математического моделирования, прогнозирования свойств и проведения автоматизированных расчетов, которые определяют сегодняшние инновационные подходы и методологию развития строительных технологий и процессов подготовки специалистов, работающих в данной сфере.

Предназначены для научных и инженерно-технических работников, научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, а также докторантов, аспирантов, магистрантов и студентов вузов строительного профиля.

Авторы предоставленных к опубликованию докладов несут ответственность за достоверность приведенных в них сведений.

УДК 666.97

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА И ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ БЕТОНОВ

Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В.

© Танг Ван Лам, Булгаков Б.И.,
Александрова О.В., 2021

***Аннотация.** В статье рассмотрена возможность получения во Вьетнаме геополимерных бетонов – современных экологичных материалов, пригодных для изготовления различных строительных изделий и конструкций и позволяющих утилизировать многотоннажные промышленные и сельскохозяйственные отходы в виде топливной золы-уноса и золы рисовой шелухи, а также снизить затраты на производство.*

***Ключевые слова:** строительные материалы, геополимерный бетон, многотоннажные отходы, зола-уноса, зола рисовой шелухи.*

Высокие темпы строительства в развивающихся странах, к которым относится и Вьетнам, увеличивают потребность в строительных материалах, поэтому создание новых материалов с использованием вторичных ресурсов является актуальной задачей.

Тонкодисперсные активные минеральные компоненты, содержащиеся в техногенных отходах, позволяют снизить расход цемента вплоть до полной его замены, а также уплотнить структуру бетона и повысить его коррозионную стойкость. Применение таких сырьевых материалов позволяет улучшить эксплуатационные свойства бетона и избежать расслоения бетонной смеси [1].

Производство портландцемента, являющегося основным вяжущим для получения бетонов, оказывает серьезное негативное воздействие на окружающую среду, поскольку формирует порядка 7 % общего выброса CO_2 в атмосферу [2].

В то же время существует значительное количество техногенных отходов, обладающих цементирующим действием, которые во многих странах мира просто выбрасываются на свалки. Поэтому актуален поиск рациональных путей их утилизации и оценки возможности частичной или полной замены ими портландцемента в составе бетонных смесей. Использование подобных вторичных ресурсов во Вьетнаме для получения бетонов, в частности многотоннажных золы-уноса теплоэлектростанций (ЗУ) и золы рисовой шелухи (ЗРШ), помимо расширения сырьевой базы строительной индустрии и снижения стоимости строительства, позволит решить проблему их эффективной утилизации и будет способствовать охране окружающей среды [3–6]. Одной из успешных попыток создания новых строительных материалов стало появление геополимербетонов, которые полностью исключают использование портландцемента [7].

Одними из важнейших составляющих бесцементного бетона на геополимерном вяжущем являются щелочные жидкости (сочетание NaOH и Na_2SiO_3 или KOH и K_2SiO_3), активирующие его твердение, а также наполнители и заполнители, содержащие аморфный кремнезем (SiO_2) и активный оксид алюминия (Al_2O_3). Это могут быть природные материалы, такие как глина, а также техногенные отходы в виде ЗУ, ЗРШ и доменного шлака.

Из рис. 1 видно, что наиболее активно твердение геополимербетона протекает при тепловой обработке, во время которой происходит активация процесса растворения алюмосиликатной составляющей ЗУ, ЗРШ и доменного шлака. Более высокая температура обеспечивает большее растворение Si и Al и, следовательно, способствует образованию геополимерной цепи. При температуре 70–100 °С структурообразование происходит довольно интенсивно и прочность геополимербетонов составляет до 75–90 % на раннем этапе твердения. Увеличение содержания диоксида кремния приводит к росту соотношения Si/Al , которое ингибирует реакцию поликонденсации [8].

Минеральный состав аморфной составляющей ЗУ и ЗРШ в основном представлен минералом мелилит, состоящим из геленита $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$, акерманита $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$ и мервинита $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$ [7, 8].

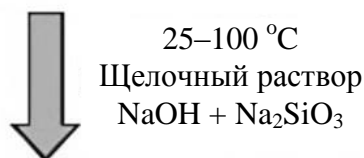
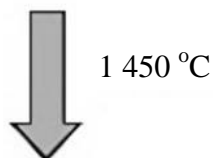
Первым этапом их реакции со щелочами является расщепление составляющих мелилита:

геленит преобразуется в (K, Na, Ca)-орто-сиалат гидрат с выделением гидроксида алюминия (рис. 2);

акерманит – в Ca-ди-силоксонат гидрат (гидросиликат кальция (CSH)) с выделением гидроксида магния (рис. 3).

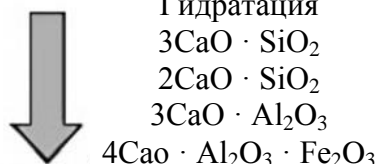
Глина – SiO₂ + Известняк – CaO

Зола-уноса – Al₂O₃
Зола рисовой шелухи – SiO₂



Клинкерная фаза

-Si-O-Al-O-



xCaO · ySiO₂ · zH₂O + Ca(OH)₂

Алюмосиликатная решетка

а

б

Рис. 1. Сравнительная схема традиционного (а) и геополимерного (б) бетонов

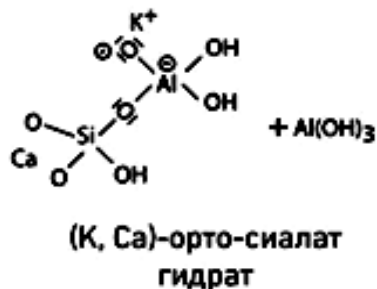
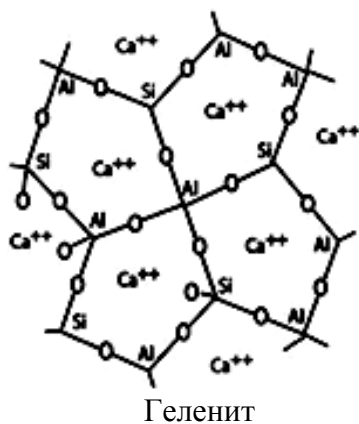


Рис. 2. Первый этап реакции ЗУ и ЗРШ со щелочами, расщепление геленита

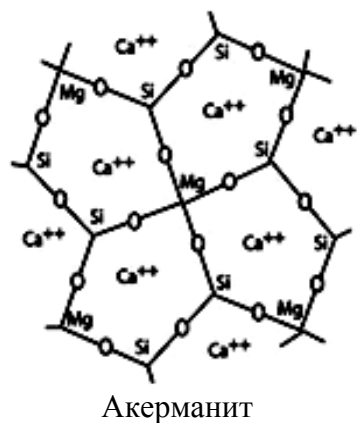


Рис. 3. Первый этап реакции ЗУ и ЗРШ со щелочами, расщепление акерманита

На втором этапе (рис. 4) реакции аморфного мелилита со щелочами одна молекула (К, Са)-орто-сиалат гидрата конденсируется с молекулой Са-ди-силоксонат гидрата (гидросиликата кальция) и формирует квадратичную орто-(сиалат-ди-силоксо) молекулу $[\text{Si-O-Al-Si-O-Si-O}]$, которая представлена типичной для нее единицей $Q_2(1\text{Al})$ [7].

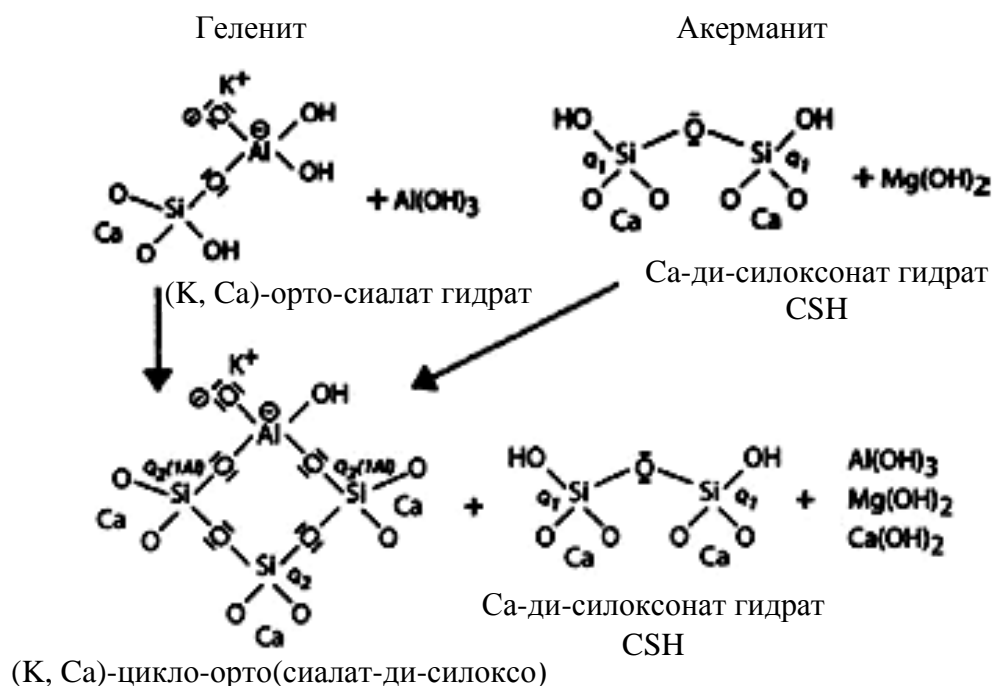


Рис. 4. Второй этап реакции ЗУ и ЗРШ со щелочами

В настоящее время бесцементный геополимерный бетон для Вьетнама представляет собой довольно новый материал, обладающий рядом существенных достоинств: высокой прочностью, коррозионной стойкостью, огне- и кислотоустойчивостью. При этом его производство состоит из двух этапов: вначале получают геополимерный цемент по приведенной выше схеме, затем добавляют инертные материалы. На основе этого принципа был подобран состав на базе геополимерного бетона для набирающей популярность технологии строительной печати домов с использованием 3D-принтеров (рис. 5).



Рис. 5. Элемент стены и примеры слоев геополимерного бетона, напечатанные с помощью 3D-принтера во Вьетнаме

Библиографический список

1. Возможность использования зольных остатков для производства материалов строительного назначения во Вьетнаме / Танг Ван Лам, Б.И. Булгаков, О.В. Александрова, О.А. Ларсен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 06. С. 6–12.

2. Гончарова М.А., Матченко Н.А. Разработка составов геополимерного бетона для конструкционного материала // Научные исследования: от теории к практике: материалы V Международной научно-практической конференции. 2015. № 4 (5). С. 15–18.

3. Калашникова В.А., Жерновский И.В., Кожухова Н.И. Особенности геополимерных вяжущих на основе техногенного алюмосиликатного сырья // Ресурсоэнергoeffективные технологии в строительном комплексе региона: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, 19–21 апреля 2013. Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2013. С. 55–58.

4. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior / Lam Van Tang, B. Bulgakov, O. Aleksandrova, Anh Ngoc Pham, Yu. Bazhenov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. No. 365. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032007> (дата обращения: 15.01.2021).

5. Rößler C., Bui D.D., Ludwig H.M. Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete // Cement and Concrete Composites. 2014. No. 53. P. 270–278.

6. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала / Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Б.И. Булгаков, О.В. Александрова, О.А. Ларсен, А.Ю. Орехова, А.А. Тюрина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 08. С. 19–27.

7. Дудников А.Г., Дудникова М.С., Реджани А. Геополимерный бетон и его применение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. № 1-2. С. 38–45.

8. Кожухова Н.И. Геополимерные вяжущие: природа и перспективы применения // Сборник докладов III Международного семинара-конкурса молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих строительных смесей. СПб.: Алитинформ, 2012. С. 81–86.

POSSIBILITY OF USING RICE ASH AND RICE HULL ASH FOR GEOPOLYMER CONCRETE

Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V.

Abstract. *The article considers the possibility of obtaining geopolymer concretes in Vietnam – modern eco-friendly materials suitable for the manufacture of various construction products and structures, and allowing to dispose of multi-tonnage industrial and agricultural waste in the form of fly ash and rice husk ash, as well as to reduce production costs.*

Keywords: *construction materials, geopolymer concrete, multi-tonnage waste, fly ash, rice husk ash.*

Об авторах:

ТАНГ Ван Лам – кандидат технических наук факультета гражданского строительства, Ханойский горно-геологический университет, Ханой. E-mail: lamvantang@gmail.com

БУЛГАКОВ Борис Игоревич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий вяжущих веществ и бетонов, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва. E-mail: BulgakovBI@mgsu.ru

АЛЕКСАНДРОВА Ольга Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий вяжущих веществ и бетонов, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва. E-mail: AleksandrovaOV@mgsu.ru

About the authors:

TANG Wang Lam – Candidate of Technical Sciences of the Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi. E-mail: lamvantang@gmail.com

BULGAKOV Boris Igorevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Binders and Concretes, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow. E-mail: BulgakovBI@mgsu.ru

ALEXANDROVA Olga Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Binders and Concretes, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow. E-mail: AleksandrovaOV@mgsu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Артемов А.А., Лепехин И.А., Ефимов И.Д.</i> Моделирование как инновационное направление развития землеустройства в России.....	8
<i>Бахтин А.С., Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Биленко Г.Р.</i> Влияние принудительной карбонизации на свойства гипсоизвестковых систем на основе вторичного сырья.....	21
<i>Белов В.В.</i> К вопросу о подготовке инновационных инженеров – менеджеров инноваций.....	30
<i>Белов В.В., Курятников Ю.Ю.</i> Сухие смеси для изготовления ячеистого бетона: современное состояние проблемы, экспериментальные исследования, перспективы производства и применения.....	37
<i>Белов В.В., Смирнов М.А.</i> Использование глинистого сырья в качестве безобжигового вяжущего.....	59
<i>Бурьянов А.Ф., Булдыжова Е.Н., Гальцева Н.А.</i> Модификация структуры ангидритового вяжущего комплексной добавкой.....	65
<i>Горохов Т.И., Ерофеев А.В., Данилов В.М.</i> Влияние величины смещения полюса прямых температур по оси σ на термофлуктуационные константы обобщенного уравнения Журкова....	70
<i>Данилов В.М., Ерофеев А.В., Горохов Т.И.</i> Определение исходных данных для расчета термофлуктуационных констант обобщенного уравнения Журкова для поливинилхлоридных плит составного сечения.....	75
<i>Кузнецов В.А., Ярцев В.П.</i> Разработка программы по расчету теплопотерь и затрат на отопление каркасно-панельных и брусовых сооружений.....	80
<i>Кульков С.А., Канаев О.В.</i> Инженерно-техническое обследование реконструируемого здания отопительной котельной в г. Домодедово...	84
<i>Куляев П.В., Сизов Ю.В.</i> Влияние гранулометрии частиц и активности цемента и добавок на механические характеристики растворов и бетонов.....	91

<i>Нгуен Дык Винь Куанг, Александрова О.В., Булгаков Б.И.</i> Влияние минеральных добавок на физико-механические и эксплуатационные свойства бетона.....	100
<i>Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Петропавловский К.С., Завадько М.Ю.</i> Облегченные гипсовые материалы.....	106
<i>Самченко С.В., Османов А.Б., Абрамов М.А.</i> К вопросу о получении и применении реакционно-порошкового бетона.....	115
<i>Севостьянов А.В., Ерофеев А.В.</i> Утепление стен с внутренней стороны помещения пенополистиролом марки ПСБ-С25.....	122
<i>Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В.</i> Возможность использования золы-уноса и золы рисовой шелухи для получения геополимерных бетонов.....	126
<i>Ткач Е.В., Петропавловский К.С.</i> Влияние механоактивации фосфогипсовой сырьевой смеси на гидратацию и твердение ангидритового вяжущего.....	132
<i>Трофимов В.И., Ясюкович В.А.</i> Учет влияния формы пустотообразователей на напряженное состояние бетона.....	138
<i>Фишер Х.-Б., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Завадько М.Ю.</i> Эффективное применение принудительной карбонизации при получении гипсовых композитов...	145
<i>Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Моторыкин Д.А., Бочарников А.Л.</i> Реологические свойства гипсоцементных формовочных смесей для 3D-технологий малоэтажного строительства.....	151
<i>Чернышева Н.В., Шаталова С.В.</i> Особенности композиционных гипсовых вяжущих для поризованных композитов в технологиях строительной печати.....	158
<i>Шевкина А.В., Гавриленко А.В., Баркая Т.Р., Бровкин А.В.</i> Показатели эффективности применения постнапряжения в монолитных перекрытиях.....	166

Инновации и моделирование в строительном материаловедении и землеустройстве

Материалы V Международной научно-практической конференции
18 февраля 2021 г., Тверь

Редактор Я.А. Петрова
Корректор Е.В. Фомкин

Подписано в печать 22.12.2021

Формат 60×84/16

Физ. печ. л. 11,25

Тираж 50 экз.

Усл. печ. л. 10,46

Заказ № 80

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 9,79

С – 78

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22