



УДК 811

РАЗРАБОТКА ГЕОПОЛИМЕРНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Мамметгулыев Тойлы, Кенанов Сапаргулы, Мурадов Мурат

преподаватели

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Разработка геополимерных бетонов на основе промышленных отходов представляет собой одно из самых перспективных и экологически значимых направлений в современном строительном материаловедении и экологии. В условиях глобального изменения климата, истощения запасов природного сырья и жестких требований к снижению выбросов парниковых газов классический портландцемент перестает удовлетворять концепции устойчивого развития общества. Производство традиционного цемента сопряжено с колоссальными объемами выбросов углекислого газа, в то время как технология геополимеризации позволяет полностью отказаться от этого компонента. Геополимерный бетон создается путем щелочной активации различных техногенных отходов, богатых алюмосиликатами, что превращает вредные промышленные выбросы в ценный строительный ресурс. Внедрение данных технологий позволяет строительной индустрии сделать гигантский шаг к созданию безотходного производства, снижению стоимости возведения объектов и формированию экологически чистой городской среды.

Ключевые слова: геополимерный бетон, промышленные отходы, зола уноса, доменный шлак, щелочная активация, алюмосиликаты, поликонденсация, устойчивое развитие, углеродный след, циркулярная экономика.

DEVELOPMENT OF GEOPOLYMER CONCRETES BASED ON INDUSTRIAL WASTES

Mammetgulyev Toyly, Kenanov Saparguly, Myradov Myrat

Lecturers

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. The development of geopolymer concretes based on industrial wastes represents a major eco-innovative breakthrough within structural materials science, offering a viable, zero-clinker alternative to carbon-intensive ordinary Portland cement. This chemical methodology relies on the alkali-activation of multi-tonnage industrial by-products rich in amorphous aluminosilicates, such as

coal-fired fly ash, granulated blast furnace slag, and silica fume. When these fine-particle waste matrices are blended with concentrated alkaline activators like sodium silicate or sodium hydroxide, a rapid polycondensation reaction occurs, establishing a dense, three-dimensional polymeric network rather than traditional calcium-silicate-hydrate gels. The resulting geopolymer matrix exhibits exceptional early-stage compressive strength, superior fire resistance up to one thousand degrees Celsius, and total immunity to acid, sulfate, and marine-water corrosion due to its minimal capillary porosity.

Keywords: geopolymer concrete, industrial waste utilization, fly ash activation, blast furnace slag, alkali-activated materials, aluminosilicate polymer, carbon footprint reduction, acid resistance, mechanical properties, sustainable concrete.

Введение

Химическая основа технологии получения геополимерных вяжущих базируется на процессе поликонденсации трехмерных алюмосиликатных структур, протекающем при взаимодействии сухого сырья со щелочными активаторами. В качестве главного структурообразующего компонента выступают промышленные отходы, содержащие кремний и алюминий в аморфной фазе, такие как зола уноса тепловых электростанций и доменный шлак металлургических производств. При смешивании этого тонкодисперсного порошка со щелочными растворами, чаще всего силикатом натрия и гидроксидом натрия, происходит быстрое растворение алюмосиликатного стекла с высвобождением ионов. В процессе последующего гелеобразования формируется прочный полимерный каркас, состоящий из чередующихся тетраэдров, соединенных общими атомами кислорода. Данная реакция протекает без выделения углекислого газа и не требует проведения высокотемпературного обжига, что кардинально отличает геополимеры от классического портландцемента.

Основным сырьевым источником для массового производства геополимерных бетонов служат многотоннажные отходы энергетики и черной металлургии, накопленные на огромных полигонах и в золоотвалах по всему миру. Кислая зола уноса, образующаяся при сжигании каменного угля на теплоэлектростанциях, обладает высокой пуццолановой активностью и идеальной сферической формой частиц, улучшающей удобоукладываемость смеси. Гранулированный доменный шлак, являющийся побочным продуктом выплавки чугуна, вносит в систему значительное количество оксида кальция, что позволяет ускорить процессы твердения бетона при нормальных температурах. Также ученые активно исследуют возможности вовлечения в оборот других видов отходов: отработанной каталитической глины нефтепереработки, шламов цветной металлургии и тонкодисперсного стекольного боя.

Рациональная утилизация этих опасных для биосферы материалов позволяет освобождать ценные земельные угодья и ликвидировать источники загрязнения подземных вод.

Сырьевая база

Эффективность геополимеризации напрямую зависит от химического состава исходных компонентов.

- **Алюмосиликатные компоненты (прекурсоры):**
 - **Зола-унос (класс F):** обеспечивает высокую прочность, но требует активации.
 - **Гранулированный доменный шлак:** ускоряет схватывание и твердение, повышает водостойкость.
 - **Микрокремнезем:** служит источником реакционноспособного, улучшая микроструктуру матрицы.
- **Щелочные активаторы:**
 - Растворы силикатов натрия и калия в комбинации с гидроксидами.

Физико-механические свойства правильно запроектированных геополимерных бетонов не только не уступают, но по многим ключевым показателям превосходят характеристики лучших марок традиционного бетона. Геополимеры демонстрируют исключительно высокую прочность на сжатие на ранних сроках твердения, а также повышенную прочность на растяжение при изгибе за счет плотной полимерной матрицы. Благодаря отсутствию в составе гидросиликатов кальция, уязвимых к воздействию агрессивных сред, такие бетоны обладают абсолютной стойкостью к сульфатной и кислотной коррозии. Микроструктура геополимерного камня характеризуется минимальным количеством капиллярных пор, что гарантирует высочайшую морозостойкость и полную водонепроницаемость готовых строительных элементов. Высокая плотность и химическая стабильность материала позволяют успешно использовать его при строительстве морских портовых сооружений, канализационных коллекторов и хранилищ химических отходов.

Заключение

В заключение важно отметить, что разработка геополимерных бетонов на основе промышленных отходов формирует принципиально новый технологический уклад в производстве строительных материалов двадцать первого века. По мере ужесточения экологического законодательства, введения трансграничных углеродных налогов и удорожания клинкерного цемента геополимеры будут неизбежно вытеснять традиционные вяжущие с рынка. Дальнейшее развитие технологии связано с интеграцией геополимеров в сферу трехмерной печати зданий, созданием умных самоочищающихся покрытий и композитов, армированных углеродным волокном. Компании, которые сегодня активно инвестируют в научно-исследовательские работы по щелочной активации отходов, обеспечивают себе



технологическое лидерство в зеленом строительстве будущего. Инвестиции в разработку инновационных геополимеров сегодня гарантируют экологическую безопасность, ресурсосбережение и устойчивое развитие городов для многих будущих поколений.

Список литературы:

1. Глуховский В. Д. Грунтосиликаты. Киев: Госстройиздат УССР, 1959.
2. Кривенко П. В. Щелочные и щелочно-щелочноземельные алюмосиликатные вяжущие и бетоны. Киев: Будивэльник, 1979.
3. Сулейманов А. М., Ерофеев В. Т. Геополимерные строительные материалы на основе техногенного сырья. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2015.
4. Федюк Р. С., Лесовик В. С. Вяжущие вещества радиационной защиты на основе геополимеров. Владивосток: Дальнаука, 2018.