

Бетон из отходов сахарного тростника оказался прочнее обычного и сократил выбросы CO₂ почти на треть



Дата публикации: 11.05.2026

Мировая строительная отрасль оказалась перед серьёзным вызовом: население Земли стремительно растёт, города расширяются, а спрос на цемент, бетон и сталь увеличивается с каждым годом. Однако именно производство строительных материалов сегодня считается одним из крупнейших источников промышленных выбросов углекислого газа. Особенно остро проблема касается цементной промышленности, которая, по оценкам экологов, ответственна примерно за 7% глобальных выбросов CO₂.

Главным виновником считается производство портландцемента — ключевого компонента обычного бетона. Во время изготовления клинкера известняк нагревают до экстремально высоких температур, в результате чего в атмосферу выбрасываются огромные объёмы углекислого газа. На фоне ускоряющейся урбанизации поиск экологически чистых альтернатив традиционному бетону стал одной из важнейших задач современной инженерии.

Исследователи из Hasanuddin University предложили неожиданное решение — использовать отходы сахарного тростника для создания нового типа бетона с пониженным углеродным следом. Речь идёт о золе, которая образуется после сжигания сахарного тростника на сахарных предприятиях. Обычно этот побочный продукт считается отходом и отправляется на свалки, однако учёные обнаружили, что он может стать ценным компонентом геополимерного бетона.

Геополимерный бетон считается одним из самых перспективных материалов будущего. В отличие от традиционного цемента, он использует химические реакции между промышленными отходами и щелочными растворами для формирования прочной структуры. Такой подход позволяет резко снизить выбросы CO₂, но у материала долгое время оставалась серьёзная проблема — повышенная хрупкость и склонность к образованию трещин.

Чтобы решить эту проблему, исследователи добавили в смесь полипропиленовые волокна, выполняющие роль микроскопических армирующих мостиков внутри бетона. Эти волокна помогают перераспределять нагрузку, препятствуют распространению трещин и повышают пластичность материала. В результате бетон становится более устойчивым к растяжению и механическим повреждениям.

Учёные создали несколько экспериментальных смесей с разным содержанием золы сахарного тростника: 0%, 5% и 10%. Все образцы прошли серию испытаний на прочность при сжатии, растяжении и изгибе. Дополнительно структура материала была изучена под электронным микроскопом, чтобы понять, как изменяется внутренняя микроструктура бетона при добавлении аграрных отходов.

Наилучший результат показала смесь с 5% золы сахарного тростника. Её прочность на сжатие оказалась на 41% выше по сравнению со стандартным геополимерным бетоном без добавок. Прочность на растяжение выросла на 29%, а способность материала поглощать энергию разрушения увеличилась более чем наполовину. Это особенно важно для строительных конструкций, испытывающих постоянные нагрузки и вибрации.

Интересно, что увеличение содержания золы до 10% привело к неоднозначному эффекту. Хотя прочность на изгиб немного повысилась, бетон стал более хрупким. Это показывает, что даже экологичные материалы требуют крайне точной настройки состава, поскольку избыток добавок способен ухудшить эксплуатационные свойства.

Не менее важными оказались экологические результаты. Новый материал позволил сократить выбросы углекислого газа примерно на 25–30% по

сравнению с обычным портландцементным бетоном. При этом соотношение прочности к уровню выбросов улучшилось более чем на 50%. Иными словами, бетон стал одновременно более экологичным и более прочным — редкое сочетание для строительной отрасли.

Экономический эффект также оказался значительным. Использование отходов сахарного тростника снижает потребность в дорогом цементе и одновременно уменьшает затраты на утилизацию агропромышленных отходов. В странах, где выращивание сахарного тростника является важной частью экономики, новая технология может стать частью модели замкнутого производства, когда отходы одной отрасли превращаются в сырьё для другой.

Ежегодно в мире перерабатывается более 1,8 миллиарда тонн сахарного тростника, и это означает появление огромного количества золы, пригодной для промышленного использования. Особенно перспективной технология выглядит для развивающихся государств с быстрым ростом городов и инфраструктуры. В Индонезии, например, сейчас реализуется масштабный проект по переносу столицы страны из Джакарты в Нусантару на острове Калимантан. Для таких мегапроектов низкоуглеродные строительные материалы могут сыграть ключевую роль в снижении экологической нагрузки.

Исследование также подчёркивает более широкий тренд в современной науке о материалах. Всё чаще инженеры обращаются к сельскохозяйственным и промышленным отходам как к источнику новых технологий. Уже существуют разработки бетона с использованием золы рисовой шелухи, доменных шлаков, переработанного стекла и даже биоугля. Однако комбинация золы сахарного тростника и полимерных волокон оказалась одной из самых успешных по балансу между стоимостью, прочностью и экологической эффективностью.

Несмотря на впечатляющие результаты, учёные отмечают, что материал ещё предстоит проверить на долговременную устойчивость к влаге, перепадам температур и многолетним нагрузкам. Но уже сейчас исследование показывает, что строительная индустрия постепенно движется к эпохе, когда отходы сельского хозяйства смогут заменить часть традиционных материалов и помочь сократить влияние городского строительства на климат планеты.

Ссылка: «Механические свойства и оценка устойчивости золы сахарного тростника и полипропиленового волокна в геополимерном бетоне класса С на основе золы-уноса» DOI: [10.1016/j.rineng.2025.108724](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108724).