

It is not economically viable to purify biogas with more than 95% of methane, as more than 11 732 kJ of energy is needed for each additional cubic meter of extracted carbon dioxide. For normal operation of a gas-balloon car driven on biogas, it is enough to reach 93% of methane by volume. This degree of biogas purification does not require expensive methods of chemical purification. Biogas purification to the required concentrations can be carried out with the use of physical absorption processes.

Biogas technologies will help to solve the environmental problems urgent for the Republic of Belarus: to reduce greenhouse gas emissions, as the second source of greenhouse gas emission is agriculture.

Biogas plants are modern, environmentally safe sources of energy that have become widely distributed around the world. The Republic of Belarus has a significant potential for development of biogas technologies, and comprehensive application of methods to improve their efficiency along with production of domestic equipment can make biogas plants operation economically more profitable. Therefore, the biogas plant is the unique source of energy production beneficial to the environment.

REFERENCES

1. *Огурцов, А.П.* Энергия и энергосбережение / Огурцов А.П. – Днепропетровск: Системные технологии, 2010. – 865 с.
2. *Кундас, С.П.* Оценка потенциала производства биогаза в Республике Беларусь / С.П. Кундас // Энергоэффективность: научно-практический журнал. Выпуск № 4 / под ред. Л.В. Шенец; учредитель Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Департамент по энергоэффективности, Инвестиционно-консультационное республиканское унитарное предприятие «Белинвестэнергосбережение». – Минск, 2013. – С. 32–36.
3. *Осадчий, Г.Б.* Биогазовые установки и их модернизация / Г.Б. Осадчий // Энергия: экономика, техника, экология = Energy: научно-популярный и общественно-политический иллюстрированный журнал. Выпуск № 3 / под ред. О.Н. Фаворский; учредитель Российская академия наук, Объединенный институт высоких температур, Российская академия наук. – М., 2015. – С. 57–68.
4. *Жило И.А.* Использование биогаза как энергоносителя / Collection of Materials 15-th Intern. Conference on the Mining Industry, Building and Power Engineering Problems “Socio-economic and environmental problems of the mining industry, building and energetics”, 29–30 Oct. 2019, Minsk – Tula – Donetsk, vol. 3, pp. 253–258.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КАРБОНИЗИРОВАННОГО ТРОСТНИКОВОГО ВОЛОКНА В РАСТВОРНЫХ КИРПИЧАХ EXPERIMENTAL RESEARCH ON APPLICATION OF CARBONIZED REED FIBER IN BUILDING LIME-SAND BRICKS

Ван Сяньпэн, С. Н. Ковшар, С. Н. Леонович
Xianpeng Wang, S. N. Kovshar, S. N. Leonovich

Белорусский национальный технический университет, БНТУ
г. Минск, Республика Беларусь

Belarusian National Technical University, BNTU
Minsk, Republic of Belarus

В настоящее время возрастает необходимость сокращения использования неорганических материалов в строительстве, так как они вызывают значительное загрязнение окружающей среды. Для решения проблемы срока службы муниципальных дорожных плит в Беларуси в данной работе предлагается использование уникального для территории Республики Беларусь натурального камышового волокна в качестве добавки к бетонным проницаемым плитам, которое не только повышает морозо- и коррозионную стойкость бетонных проницаемых плит, но и является очень хорошим экологичным строительным материалом. Автор разрабатывает концепцию экспериментальной схемы, соответствующие экспериментальные методы, предлагает несколько осуществимых решений, проверяет осуществимость этих решений методом исследования литературного обзора и вносит осуществимые предложения по решению проблемы срока службы муниципальных дорог.

Nowadays there is an increasing need to reduce the use of inorganic materials in construction, as they cause a lot of environmental pollution. In order to solve the problem of the service life of municipal road tiles in Belarus, this paper proposes the use of a natural reed fiber, unique to the territory of the Republic of Belarus, as an additive to concrete permeable tiles, which not only enhances the frost and corrosion resistance of concrete permeable tiles, but is also a very good green building material. By conceiving the experimental framework and designing the relevant experimental methods, the author proposes several feasible solutions, and verifies the feasibility of these

solutions through the literature survey research method, and makes feasible suggestions for solving the service life of municipal roads.

Ключевые слова: Тростниковое волокно, бетонные кирпичи, зеленые строительные материалы.

Keywords: Reed fiber, concrete bricks, green building materials.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-209-212>

Растущая озабоченность снижением спроса на энергию и воздействия строительной индустрии на окружающую среду высветила возможности, предоставляемые природными материалами. Побочные продукты сельского хозяйства также являются источником поставок неметаллических растительных волокон для строительной промышленности. Конечно, это также возобновляемые органические волокна с хорошими деградационными свойствами, возобновляемыми характеристиками и вносят значительный вклад в снижение выбросов углерода в «зеленых» зданиях. Что же представляют собой побочные продукты сельского хозяйства? Такие как багасса, рисовая шелуха, джутовое волокно, тростник, бальзам, солома и пшеничная солома, скорлупа арахиса, банановые связки, кожура и початки кукурузы, скорлупа кокоса, кенаф, стебли хлопка, волокно финиковой пальмы, дуриан, волокно масличной пальмы, листья ананаса, волокно тигровой лилии, подсолнечник и олива, и благодаря литературным методам исследования мы узнаем, что многие ученые использовали эти отходы для разработки новых устойчивых технологий строительных материалов [1]. Использование волокон из побочных продуктов сельского хозяйства в строительных материалах, похоже, является доминирующим направлением исследований новых материалов сегодня, ученые со всего мира проводят интересные исследования, что делает их перспективными для данного раздела строительных материалов, поскольку они больше соответствуют парадигме циркулярной экономики.

Многие исследования показали, что такие материалы, как волокна скорлупы кокосового ореха, волокна конопли и соломы широко используются в современном строительстве для применения в конструкционном бетоне, в то время как исследований по использованию волокон тростника в конструкционном бетоне было проведено не так много. Большое количество исследовательских работ было посвящено целесообразности применения этих неметаллических волокон в бетоне, и недавние испытания в этой области показали, что неметаллические растительные волокна, используемые в строительстве, имеют хорошие экономические показатели, а также экологические характеристики. Поэтому вполне реально карбонизировать неметаллические волокна и использовать собранный углеродный порошок для замены летучей золы в кирпичах для производства новых экологически чистых кладочных кирпичей.

Одним из наиболее известных продуктов на основе биомассы является известковый пеньковый бетон (ЛНС), пеньковый бетон или конопляный бетон, который в настоящее время используется в новых зданиях для ненесящих целей (в основном в качестве основного материала для блоков стеновой системы, а также для изоляции крыши) и для энергетической модернизации существующих зданий. Использование стружки конопли в качестве заполнителя в бетоне приводит к значительному снижению плотности, от 270 кг/м³ до 850 кг/м³, с последующим снижением значений теплопроводности, от 0,06 Вт/мК до 0,18 Вт/мК. Такое большое изменение плотности отражается на достижении композитного материала различные показатели прочности на сжатие, от 0,10 МПа до почти 4 МПа [2], в то время как теплопроводность (от 0,245 до 0,191 Вт/мК) и механические свойства (прочность на сжатие от 0,848 до 1,509 МПа и прочность на изгиб от 0,483 - 0,829 МПа) имеют определенные общие черты с волокнами конопли [3], и эти композиты обладают хорошими акустическими свойствами, огнестойкостью и стойкостью к воздействию соли и биоразложению.

Тростник – распространенное растение, встречающееся повсеместно на земле, но его потенциальное применение еще не до конца изучено. С другой стороны, Беларусь, как страна 10 000 озер, имеет изобилие камышового волокна, с огромным годовым производством по низким ценам, даже при ручном сборе. Поэтому исследование волокнистого порошка, полученного путем карбонизации камышового волокна и добавления его в газобетонные блоки, является новым строительным источником энергии для снабжения городских, промышленных и сельскохозяйственных зданий, и может соответствовать цели зеленого и устойчивого развития.

Поскольку Беларусь расположена в холодном регионе, здесь до 6 месяцев в году длится зима, большое количество снегопадов и низкая температура до -30 °С могут серьезно повредить бетонные проницаемые плитки, уложенные на тротуаре; большинство государственных ведомств на муниципальных дорогах используют промышленную соль для таяния снега, а Cl⁻ промышленной соли может вызвать коррозию бетонных проницаемых плиток в большом количестве, что значительно сокращает срок службы тротуара в муниципальных проектах. Это не только создает проблемы для передвижения людей, но и приводит к определенным экономическим потерям. Корродированное и замерзшее дорожное покрытие показано на рисунке 1 и рисунке 2 ниже.

В связи с этим мы предлагаем экологичный и экологически чистый волокнистый материал для добавления в проницаемые бетонные блоки для решения существующих проблем в муниципальном дорожном строительстве в Республике Беларусь. Для решения проблемы морозостойкости и коррозионной стойкости проницаемых блоков мы выбрали для использования в бетонных проницаемых блоках неметаллическое растительное волокно - камышовое волокно, которое не только недорогое, но и обладает хорошей теплоизоляцией и коррозионной стойкостью, а также высокой морозостойкостью и коррозионной стойкостью, и является экологически чистым, экологически безопасным и возобновляемым строительным материалом.



(Рисунок 1, напольная плитка, проржавевшая от Cl-)



(Рисунок 2, напольная плитка, поврежденная морозом)

Тростниковое волокно – распространенное растение, встречающееся повсеместно на планете, но его потенциальные возможности использования еще не до конца изучены. Беларусь, как страна с Много озер, обладает изобилием тростникового волокна, с огромным годовым производством по низким ценам, даже при ручном сборе. Поэтому авторы предлагают две идеи: одна заключается в карбонизации тростникового волокна и добавлении порошкообразного волокна в проницаемые бетонные блоки, а другая - в добавлении тростникового волокна непосредственно в проницаемые бетонные блоки. Другая идея заключается в добавлении волокон тростника непосредственно в бетонные проницаемые блоки, что используется для обеспечения покрытия городских дорог и уменьшения повреждений от мороза и коррозии, тем самым увеличивая срок службы дорог.

Основными материалами, использованными в экспериментальной деятельности, были порошок карбонизированного камышового волокна, природная известь, цемент и природный речной песок Минского моря, а также крупный заполнитель. Исследования для экспериментальной работы в данной статье были направлены на разработку новой серии бетонных проницаемых блоков для испытаний, используя смесь извести/цемента и карбоната тростника в качестве основного материала для экспериментальных пропорций, или непосредственно используя тростниковое волокно, добавленное к основным пропорциям, и производство двух типов тротуарных проницаемых блоков для сравнения их механических свойств и определения их теплопроводности, теплоизоляции, морозостойкости и влияния NaCl на проницаемость тротуара, соответственно. Были определены теплопроводность, теплоизоляция, морозостойкость, коррозионные свойства NaCl, прочность и вязкость тротуарных проницаемых блоков, срок службы и химическая стойкость.

План испытаний заключался в изготовлении смеси из камышового волокна в качестве добавки, тонера из камышового волокна вместо летучей золы в качестве добавки и камышового волокна и тонера из камышового волокна в качестве добавки. Были изготовлены образцы кирпича 240 мм x 115 мм x 53 мм. По 6 образцов из каждой группы, всего 18 образцов, были проанализированы на механические свойства, морозостойкость, коррозионную стойкость и другие характеристики материала.

Экспериментальные материалы и соотношения: кирпичи из тростникового волокна: тростниковое волокно (длина 40 мм, ширина 3-5 мм, диаметр 0,45 мм, плотность 1,7 г/см³) было добавлено в количестве 2%, 100 кг. заполнитель 1100 кг, водоредуцирующий агент 4,0; стандартное твердение в течение 28 дней и различные испытания.

Тонер из тростникового волокна: тонер из тростникового волокна с 65 % целлюлозы и 35 % лигнина (используется в качестве замены летучей золы). 400 кг цемента R42.5 Polenta, 25 кг натуральной извести с прочностью на сжатие 5,17 МПа, 730 кг мелкого песка с модулем тонкости 0 - 0,5 мм, 1100 кг природного крупного заполнителя с 60 % кремнезема, 20 % глинозема, 10 % оксида кальция, 7 % оксида железа и воздухововлекающим агентом. 1100 кг природного крупного заполнителя, содержащего 60 % оксида кремния, 20 % глинозема, 10 % оксида кальция и 7 % оксида железа, и воздухововлекающий агент. Стандартный уход проводился в течение 28 дней, были проведены различные механические испытания, а также испытания на морозостойкость и коррозионную стойкость.

Кирпичи со смешанной добавкой из тростникового волокна и тонера из тростникового волокна: тростниковое волокно добавляется в кирпичи с тонером из тростникового волокна. Одновременно кирпичи поднимаются в течение 28 дней и подвергаются различным механическим и механическим испытаниям, а также испытаниям на морозостойкость и коррозионную стойкость.

В экспериментальном проекте использовался тонер из тростникового волокна с 65 % целлюлозы и 35 % лигнина, цемент Polenta с R42,5, природная известь с прочностью на сжатие 5,17 МПа, мелкий песок с модулем тонкости 0–0,5 мм, природный крупный заполнитель с 60 % оксида кремния, 20 % оксида алюминия, 10 % оксида кальция, 7 % оксида железа и воздухововлекающий агент.

Конструкция испытываемого материала приведена в таблице 1.

Таблица 1

Материалы	Ц	Т	Н	В	П	В-В	П
Соотношение объемов (%)	21.74	52.17	4.35	-	4.35	0.51	17.40
Доза на 30 литров (г)	7340	5590	680	4600	1745	-	7800
Плотность (кг/м ³)	1125.23	357.00	520.88	-	1338.04	-	1494.14

Примечание: Ц-Р42.5 цемент, Т-Тонер из тростниковогo волокна, Н-Натуральная известь, В-Вода, П-Природные заполнители, В-в-Воздухововлекающие вещества, п-песок.

Результаты и обсуждение

Литература показала, что добавление золы камышового волокна в бетонные проницаемые блоки и прямое добавление камышового волокна в бетонные проницаемые блоки вполне осуществимо, так как хорошая прочность камышового волокна соответствует изгибающим свойствам бетонных проницаемых блоков. Исследование Rosa Caponetto, Massimo Cuomo ясно показывает, что тростниковое волокно обладает хорошей теплопроводностью и хорошими теплоизоляционными свойствами, и этот вывод является лучшим доказательством хорошей морозостойкости тростникового волокна [4]; D. Badagliacco добавил тростниковое волокно в натуральный водостойкий раствор на основе извести для модификационных испытаний с целью проверки его свойств. Результаты показали, что обычное камышовое волокно может быть использовано для изготовления прочных экологически совместимых сборных кирпичей или тротуарной плитки, и что полученные плитки обладают хорошей прочностью на изгиб и коррозионной стойкостью. Таким образом, данная экспериментальная и практическая идея осуществима и может решить проблему муниципальных дорожных плит в Беларуси, поэтому напольная плитка из камышового волокна или золы камышового волокна отлично подходит в качестве нового материала для применения в экологическом строительстве и для содействия устойчивому развитию в строительной отрасли [5]. Однако практическое применение еще не разработано, и необходимы дальнейшие эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Madurwar, M.V.; Ralegaonkar, R.V.; Mandavgane, S.A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Constr. Build. Mater.* 2013, 38, 872–878.
2. Jami, T.; Karade, S.R.; Singh, L.P. A review of the properties of hemp concrete for green building Applications. *J. Clean. Prod.* 2019, 239, 117852.
3. Caponetto R, Cuomo M, Detommaso M, et al. Performance Assessment of Giant Reed-Based Building Components[J]. *Sustainability*, 2023, 15(3): 2114.
4. Caponetto R, Cuomo M, Detommaso M, et al. Performance Assessment of Giant Reed-Based Building Components[J]. *Sustainability*, 2023, 15(3): 2114. <https://doi.org/10.3390/su15032114>
5. Badagliacco D, Megna B, Valenza A. Induced modification of flexural toughness of natural hydraulic lime based mortars by addition of giant reed fibers[J]. *Case Studies in Construction Materials*, 2020, 13: e00425. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00425>