

С. Ефремова
В. Хен
А. Кабланбеков
С. Ермишин
В. Гайшун
А. Жарменов

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛИТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Охрана окружающей среды и экологическое развитие выходят на первый план казахстанской повестки дня. Наряду с вопросами «озеленения» экономики они названы в числе основных семи принципов экономического курса нашего государства, озвученных Президентом Касым-Жомартом Токаевым в Послании 2020 года «Казахстан в новой реальности: время действий» [1]. В Стратегическом плане развития РК до 2025 года также намечено 7 системных реформ и 7 приоритетных политик, в числе которых «Зеленая» экономика и окружающая среда и в направлении «Социальной политики» – повышение доступности и комфорта жилья и жилищной инфраструктуры, рост требований к качеству, экологичности и энергоэффективности зданий, неразрывно связанных с применением новых подходов в строительстве и использовании современных материалов [2].

В ГПИИР РК на 2020-2025 годы [3] указано, что строительные материалы у нас производятся повсеместно во всех регионах, при этом реализация собственных технологий ограничена низким уровнем развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [2]. «Без нее (науки – *прим. автора*) мы не сможем обеспечить прогресс нации», – заявил в своем Послании народу Казахстана 2 сентября 2019 года Касым-Жомарт Токаев, поручая Правительству повысить уровень научных исследований и их применение на практике [4]. Казахстан является страной с энергоемкой экономикой, поэтому сегодня актуальны действия по переходу к устойчивому долгосрочному развитию. Поставлена задача на систематической основе проводить кампанию *Birge – taza Qazaqstan*, призванную укрепить экологические ценности в обществе, культивировать бережное отношение к природе, особенно в условиях необходимости развития агропромышленного комплекса, что неминуемо связано с ростом растительных сельскохозяйственных отходов и их переработкой [1]. Исполнение принятой концепции «зеленой» экономики предусматривает повышение эффективности, снижение затрат на производство, транспортировку и реализацию продукции [2].

Несмотря на активное развитие строительства в республике в основном развито производство цемента и кирпича. Рост выпуска строительных материалов сдерживается рядом проблем: производством продукции низких переделов; высоким износом основных средств; размещением производства стройматериалов в отдельных регионах.

Однако не только отечественный строительный сектор на современном этапе сталкивается с множеством проблем. Они актуальны и на арене международного масштаба. Одной из основных причин сложившейся ситуации специалисты называют урбанизацию [5]. Строительные материалы напрямую влияют на окружающую среду и здоровье людей [6]. На протяжении многих лет на факультете гражданского строительства Brno University of Technology (Чехия) совместно с зарубежными экспертами проводятся исследования по применению в качестве сырьевых ресурсов различных растительных отходов сельского хозяйства для производства альтернативных изоляционных материалов в силу обеспечения устойчивого развития и ограничения использования общепринятых сырьевых источников [7]. В работе [8] показано, что существует реальная возможность получения из натуральных растительных волокон термо- и звукоизоляционных материалов, которые могут конкурировать с традиционными и по физико-механическим характеристикам, и по ценовой политике. Аналогичный подход продемонстрирован и в статье [9], авторы которой изучали поведение микотоксинов вида *Stachybotrys*, нахождение которых внутри помещений вызывает рост раковых клеток у человека. Проводились сравнительные эксперименты с использованием искусственных и натуральных строительных материалов. Как показали исследования, результаты были вполне сопоставимы: 1-11 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ против 5,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ при росте соответственно на искусственных и натуральных материалах.

Установлено, что ламинированные стеновые панели из нановолокон целлюлозы в случае специальной обработки проявляют великолепную огнестойкость [10]. Нанокристаллы целлюлозы рекомендованы для создания композитов полимер-наноцеллюлоза с добавками

малеинированных полимеров для улучшения совместимости между полимером и наноцеллюлозой [11]. В качестве альтернативных сырьевых источников для производства строительных плит, стеновых панелей, теплоизоляционных материалов апробированы растительные волокна пальмовых деревьев [12-13], биомасса на основе пальмовых шелков, муки и остатков с грибным мицелием в качестве клея [14], биомасса грибов, получаемых из кукурузных початков [15], арахисовая шелуха [16]. Используя данные материалы, можно также получать различные плиты для внутреннего применения. Весьма многочисленны исследования по получению древесно-пластиковых композитов [17-20]. Разработанные и предложенные авторами этих работ подходы позволяют увеличить долговечность новых строительных материалов, эксплуатационную надежность под воздействием внешних факторов окружающей среды и применять, например, для теплоизоляции крыш и наружных стен зданий и сооружений. На свойства строительных плит, получаемых из растительных отходов, большое влияние оказывают параметры технологического процесса, меняя которые можно получать конструкционные материалы различного назначения (для мебели, для строительной промышленности) [21]. Предложен способ подготовки материала на основе биомассы для заполнения стен [22], отвечающий требованиям промышленного развития экологически чистых строительных материалов.

Между тем, несмотря на реально широкие перспективы и возможности использования растительных волокон агроотходов в производстве строительных плит, имеется ряд задач, которые требуют решения. В их числе [11, 15-16, 23-28]:

- выделение летучих органических веществ, альдегидов, терпенов, незначительное количество которых вызывает неблагоприятное влияние на здоровье;
- физические и механические свойства получаемых материалов, обеспечивающие в основном их использование для декорирования, производства мебели, но сдерживающие их применение в строительной промышленности;
- использование большого количества весьма токсичных и повышающих

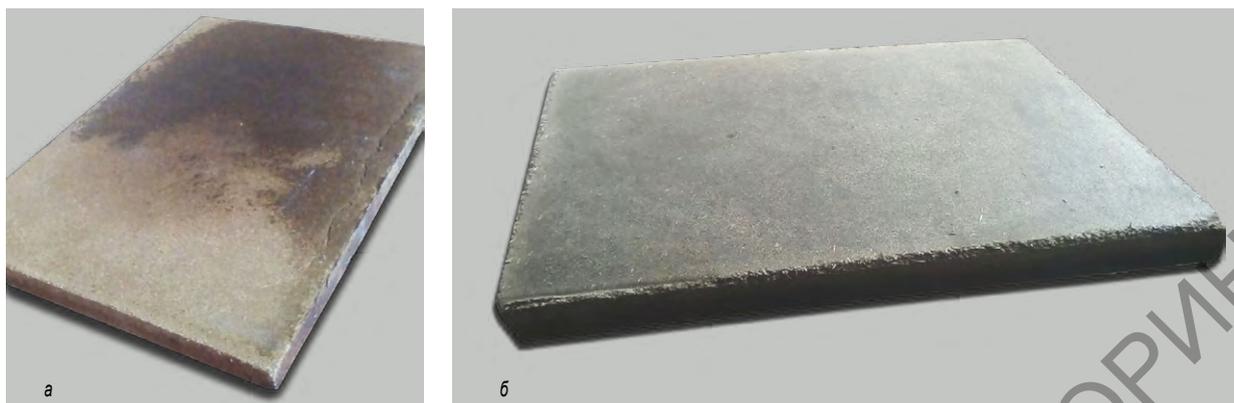


Рис. – Образец 1 (а) и образец 2 (б) строительных плит

горючесть готового изделия с выделением едкого дыма при горении искусственных органических полимеров (формальдегидной, эпоксидной или других смол в качестве связующего, разного вида отвердителей, пластификаторов, клеев), поскольку практически все технологии основаны на прессовании растительной биомассы. Усиление механических свойств, как правило, требует увеличения количества смолистого связующего. Повышение огнестойкости и улучшение других свойств таких, как звукопоглощение, ударопрочность, теплопроводность сопряжено с усложнением состава шихты, то есть увеличением количества ингредиентов, способа их переработки и, соответственно, сказывается на повышении стоимости готового материала.

Работы по устранению имеющихся недостатков проводятся и зарубежными, и местными учеными. Так, создана установка для переработки древесноволокнистого материала паровзрывным гидролизом [29-31]. Однако предложенный авторами способ очень энергоемкий. Из-за высокой скорости обработки растительных волокон в камере гранулирования в данной установке предусмотрено каскадное расположение грануляторов, в которых происходит процесс предварительного гидролиза. Технологическая линия включает 5-6 секций, а каждая секция состоит из 4-5 грануляторов. Уменьшение скорости вращения роликов и фильеры, увеличение технологических отверстий в фильере не позволяют решить проблему уменьшения количества грануляторов в каскаде.

Целью настоящей работы явилось изучение возможности создания на основе растительных отходов строительных плит без применения каких-либо видов синтетических пластических масс.

Сырьевым источником служили отходы производства риса – рисовая шелуха,

характеристики которой даны в [32]. В качестве основы процесса получения строительной плитки был выбран метод паровзрывного гидролиза, обуславливающий эффективное разложение лигноцеллюлозного материала [33-34]. В ходе эксперимента использовали пресс-форму, снабженную ограничителями, которые позволяли варьировать толщину получаемого плитного материала от 0,5 до 2,5 см, для получения плитки размером $25 \times 20 \times 2$ см. Пресс-форму заполняли измельченной рисовой шелухой массой 1400 г, обработанной раствором слабокислой фракции пиролизата рисовой шелухи (рН 5-6) [35] в массовом соотношении 1 : 3 (470 г). Прогрев шихты в пресс-форме осуществляли при 200°C в течение 3-4 минут под давлением 30 атм, которое в ходе процесса возрастало почти до 100 атм. Далее проводили декомпрессию путем открытия пресс-формы со сбросом парогазовой смеси из камеры прессования. При этом достигалось недостаточное уплотнение материала (до 50 % от исходного объема). Поэтому после декомпрессии процесс подпрессовки выполняли в двукратной повторности с прогревом шихты в течение 3 минут. Это позволило добиться заданной толщины строительной плитки (2 см), после чего непосредственно стадию прессования повторяли 12 и для сравнения 20 раз с прогревом в течение 2 минут, чередуя с резкой декомпрессией. Исследование химического состава полученного материала проводили по общепринятой методике [36]. Определение количества целлюлозы выполняли по методу Кюршнера и Хоффера, основанному на применении спиртового раствора азотной кислоты; содержание гемицеллюлозы устанавливали действием 2 %-й соляной кислоты; лигнин определяли термическим гидролизом слабым раствором серной кислоты; экстрактивные вещества – обработкой спиртобензольной смесью;

диоксид кремния – по методу силикатного химического анализа.

Потери шихты в ходе полного экспериментального цикла в зависимости от его продолжительности составили: при 12-стадийном прессовании (образец 1) – 20 %; при 20-стадийном прессовании (образец 2) – 23 %. Соразмерно небольшая была разница и в весе полученных плиток: образец 1 – 1500 г, образец 2 – 1440 г. Плитки имели коричневый цвет, но заметно отличались оттенком: образец 1 был гораздо светлее образца 2 (рис.), что объясняется разным количественным содержанием составляющих компонентов. При анализе химического состава установлено, что содержание целлюлозы в образце 1 было на уровне 36 % (в рисовой шелухе – 33 %). Это в 2,6 раза превышало содержание целлюлозы в образце 2 при практическом отсутствии в них гемицеллюлозы и экстрактивных веществ и наличии 18,7% и 19,5% диоксида кремния, соответственно. Содержание лигнина в образце 1 насчитывало 45 %, а в образце 2 достигало 65 %. Представленные данные свидетельствуют о том, что наращивание числа стадий прессования, то есть продолжительности гидролиза, при прочих равных условиях способствует усилению глубины гидролиза исходного растительного материала с увеличением на выходе количества лигнина, которое в обоих образцах существенно превосходило его содержание в исходной рисовой шелухе (26 %).

Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными работы [33], авторы которой наблюдаемый феномен объясняют образованием псевдолигнина в изучаемом процессе гидротермической обработки лигноцеллюлозного сырья. Синтез псевдолигнина как нерастворимого твердого остатка происходит вследствие разрушения лигноцеллюлозных связей и последующих реакций полимеризации и конден-

саци низкомолекулярного лигнина и его взаимодействия с присутствующими в реакционной среде органическими веществами [34]. Известно, что уксусная кислота, образующаяся при гидролизе растительного сырья, катализирует процесс гидротермической деструкции полисахаридов, то есть позволяет интенсифицировать процесс паровзрывного гидролиза [33]. С учетом этого в проводимом эксперименте была предусмотрена обработка рисовой шелухи слабокислой фракцией ее пиролизата, содержащей 57,4 % органических кислот, в том числе 50,3 % уксусной кислоты; 18,5 % фенолов; 17,4 % альдегидов и кетонов; 4,5 % эфиров и спиртов. Наличие свободных фенольных гидроксильных групп при прессовании древесного материала способствует, как показано в [37], формированию новых химических связей при протекании поликонденсационных процессов. Поэтому, очевидно, использование пиролизной жидкости в комплексе с увеличением продолжительности паровзрывного гидролиза посредством повышения повторяющихся стадий прессования вызывает синергетический эффект. В результате в составе строительной плитки удается поднять количество твердого лигнинового остатка до 65 %, то есть, по сути, более чем удвоить содержание лигнина по сравнению с исходным сырьем, что связано с возрастанием его молекулярной массы и, безусловно, позволяет улучшить физико-механические характеристики строительных плит [37].

Полученные положительные результаты являются предпосылкой для развития работ в направлении изучения процесса создания строительных плит на основе агроотходов без применения каких-либо видов синтетических пластических масс. Исследования привлекательны тем, что открывают перспективу развития отечественного производства эффективных строительных плит на основе экодружелюбной, эргономичной технологии с максимальным использованием местного техногенного сырья.

Литература

- 1 Казахстан в новой реальности: время действий. Послание Президента Казахстана Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана от 1 сентября 2020 г.
- 2 Стратегический план развития Республики Казахстан до 2025 года. Утвержден Указом Президента Республики Казахстан от 15 февраля 2018 г. № 636.
- 3 Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 годы, утвержденная постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 г. № 1050.
- 4 Конструктивный общественный диалог – основа стабильности и процветания Казахстана. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана от 2 сентября 2019 г.
- 5 Maraveas Ch. Production of sustainable construction materials using agro-wastes // *Materials*. – 2020. – № 13. – С. 262.
- 6 Hussein Z., Ashour T., Khalil M., Bahnasawy A., Ali S., Hollands J. and Korjenic A. Rice straw and flax fiber particleboards as a product of agricultural waste: an evaluation of technical properties // *Applied Sciences*. – 2019. – № 9. – P. 3878.
- 7 Zach J., Reif M., Hroudová J. Study of the properties and hygrothermal behaviour of alternative insulation materials based on natural fibres // *Materials and technology*. – 2016. – № 50 (1). – P. 137-140.
- 8 Santoni A., Bonfiglio P., Fausti P., Marescotti C., Mazzanti V., and Pompoli F. Characterization and vibro-acoustic modeling of wood composite panels // *Materials*. – 2020. – № 13. – P. 1897.
- 9 Jagels A., Stephan F., Ernst S., Lindemann V., Cramer B., Hübner F., Humpf H.-U. Artificial vs natural *Stachybotrys* infestation – Comparison of mycotoxin production on various building materials // *Indoor Air*. – 2020. – P. 1-15.
- 10 Islam Hafez I., Tajvidi M. Laminated wallboard panels made with cellulose nanofibrils as a binder: production and properties // *Materials*. – 2020. – № 13. – P. 1303.
- 11 Patent 2018258259 US. Compatibilizers for polymer-nanocellulose composites. Published 13.09.2018.
- 12 Ferrandez-Garcia M. T., Ferrandez-Garcia A., Garcia-Ortuño T., Ferrandez-Garcia C. E., Ferrandez-Villena M. Influence of particle size on the properties of boards made from *Washingtonia palm* rachis with citric acid // *Sustainability*. – 2020. – № 12. – P. 4841.
- 13 Ferrandez-Villena M., Ferrandez-Garcia C. E., Garcia-Ortuño T., Ferrandez-Garcia A., Ferrandez-Garcia M. T. Properties of cement-bonded particleboards made from Canary Islands palm (*Phoenix canariensis* Ch.) trunks and different amounts of potato starch // *Forests*. – 2020. – № 11. – P. 560.
- 14 Patent 107383388 CN. Biomass material based on palm silks and palm meal and preparation method thereof. Published 24.11.2017.
- 15 Patent 106633994 CN. Fungus-base biomass thermal-insulation material mainly prepared from corn cobs and preparation method thereof. Published 10.05.2017.
- 16 Gatani M. P., Fiorelli J., Medina J. C., Arguello R., Ruiz A., Nascimento M. F., Savastano Jr. H. Technical production viability and properties of particleboard made with peanut husks // *Revista Matéria*. – 2013. – V. 18. – № 2. – P. 1286-1293.
- 17 Jetsu P, Vilki M., Tiihonen I. Utilization of demolition wood and mineral wool wastes in wood-plastic composites // *Detritus*. – 2020. – V. 10. – P. 19-25.
- 18 Källbom S., Lillqvist K., Spoljaric S., Sepälä J., Segerholm K., Rautkari L., Hughes M. Effects of water soaking-drying cycles on thermally modified spruce wood-plastic composites // *Wood and Fiber Science*. – 2020. – 52(1). – P. 2-12.
- 19 Patent 108485178 CN. Anti-bacterial and mould proof wood plastic composite thermal insulation plate and preparation method thereof. Published 04.09.2018.
- 20 Patent 110520464 CN. Bio-composite and bioplastic materials and method. Published 02.11.2019.
- 21 Sala C. M., Robles E., Gumowska A., Wronka A., Kowaluk G. Influence of moisture content on the mechanical properties of selected wood-based composites // *Bioresources*. – 2020. – T. 15. – 1. 3. – P. 5503-5513.
- 22 Patent 106588091 CN. Preparation method of wall filling material. Published 26.04.2017.
- 23 Akinyemi A. B., Afolayan J. O., Oluwatobi E. O. Some properties of composite corn cob and sawdust particle boards // *Construction and Building Materials*. – 2016. – № 127. – P. 436-441.
- 24 Liu D., Dong B., Bai X., Gao W., Gong Y. Manufacturing and process optimization of porous rice straw board // *Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – 322. – 072065.
- 25 Alapieti T., Mikkola R., Pasanen P., Salonen H. The influence of wooden interior materials on indoor environment: a review // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2020. – № 78. – P. 617-634.
- 26 Patent 106280059 CN. Plant fiber foaming wall thermal-insulation material and preparation method thereof. Published 04.01.2017.
- 27 Patent 110423443 CN. Biomass-based high-strength high-toughness flame-retardant board. Published 08.11.2019.
- 28 Patent 110539382 CN. Medium-density fiber board and manufacturing method thereof. Published 06.12.2019.
- 29 Патент 31635 РК. Установка для переработки древесноволокнистого материала паровзрывным гидролизом / Т. Б. Турсунов, В. А. Хен; опубл. 31.10.2016, Бюл. № 4.
- 30 Хен В. А., Хен С. М. Гипотеза о едином процессе происхождения углеводородов, сланцев, кремния и всех полезных ископаемых на земле // *Горный журнал Казахстана*. – 2008. – № 7. – С. 6-10.
- 31 Хен В. А., Хен С. М. Гипотеза о едином процессе происхождения углеводородов, сланцев, кремния и всех полезных ископаемых на земле (продолжение) // *Горный журнал Казахстана*. – 2008. – № 8. – С. 8-11.
- 32 Ефремова С. В. Физико-химические основы и технология термической переработки рисовой шелухи – Алматы, 2011 – 150 с.
- 33 Трофимова Н. Н., Бабкин В. А., Чемерис М. М. Катализируемый паровзрывной гидролиз целлюлозного остатка древесины лиственницы // *Химия растительного сырья*. – 2002. – № 2. – С. 53-56.
- 34 Зиятдинова Д. Ф., Сафин Р. Г., Просвирников Д. Б. Исследование влияния высокотемпературной обработки на свойства продуктов, полученных методом паровзрывного гидролиза лигноцеллюлозного материала // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2011. – Т. 14. – № 12. – С. 58-66.
- 35 Патент 33217 РК. Способ термической переработки рисовой шелухи / А. А. Жарменов, Л. В. Бунчук, С. В. Ефремова, Ю. И. Сухарников, А. А. Ниязов, Э. М. Ли, С. Т. Шалгымбаев; опубл. 26.10.2018, Бюл. № 40.
- 36 Оболенская А. В., Щеголев В. П., Аким Г. Л. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы – М.: Лесная промышленность, 1965. – 412 с.
- 37 Кадималиев Д. А., Ревин В. В., Шутова В. В. Влияние прессования на свойства лигнина древесины сосны, обработанной *Panus tigrinus* // *Химия растительного сырья*. – 2001. – № 3. – С. 111-118.