

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 61–70

Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 61–70

### Научная статья

УДК 631.171, 691.12

Код ВАК 4.3.2

EDN: XCYUCK

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ

Павел Владимирович Гуляев<sup>1</sup>, Геннадий Владимирович Степанчук<sup>2</sup>, Максим Юрьевич Попов<sup>3</sup>✉, Константин Константинович Пупенко<sup>4</sup>, Артем Владимирович Батраченко<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

<sup>1</sup> achgaa.el.mash@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6756-8006>

<sup>2</sup> g-stepanchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3720-5902>

<sup>3</sup> 19maxim95@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-5551-9422>

<sup>4</sup> pupenko.k.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2718-0304>

<sup>5</sup> batrachenko\_00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7851-8020>

**Аннотация.** В технологии выращивания полевых культур получают значительное количество пожнивных остатков или соломы, которые, как правило, измельчаются и вносятся в почву. Цель – обоснование параметров и режимов работы малогабаритной пресс-формы для изготовления конструкционных и теплоизоляционных материалов из пожнивных остатков сельскохозяйственного производства. Методика проведения исследований, описанная в статье, основана на качественном и количественном методах, заключающихся в проведении группы взаимосвязанных экспериментов, направленных на получение технологических параметров и зависимостей, необходимых как для проектирования, изготовления и эксплуатации исследуемой пресс-формы, так и для производства теплоизоляционных материалов с заданными параметрами. В статье представлены результаты шести комплексных экспериментальных исследований, направленных на определение гигроскопичности сухого соломенного сырья; энергетических затрат, необходимых для просушки неспрессованного материала; степени увлажненности спрессованного материала при различной степени прессования; удельных энергетических затрат для сушки спрессованного материала с разной степенью его прессования; времени охлаждения пресс-формы с материалом; горючести готового образца. Проведенные исследования позволяют определить энергетические затраты для изготовления из пожнивных остатков (соломы) конструкционных спрессованных листов (соломитов) и теплоизоляционных сыпучих материалов (эковаты). Установленные зависимости позволяют определять наиболее приемлемые технологические режимы и удельные соответствующие им энергетические затраты. Для изготовления 1 м<sup>2</sup> утеплительного материала толщиной 30 мм потребуются энергетические затраты от 11 до 16 кВт\*ч, что соответствует удельным энергетическим затратам от 3,6 до 4,7 кВт\*ч/кг. Дополнительные исследования приведенные авторами, подтверждают, что полученная по предлагаемым методикам продукция имеет класс горючести НГ 1 или Г1 и может быть использована, в качестве строительного конструкционного и утеплительного материала.

**Ключевые слова:** солома, пресс-форма, пожнивные остатки, теплоизоляционный материал, конструкционный материал, соломиты, эковата, прессование, сушка, электроподогрев.

**Благодарности:** авторы статьи выражают благодарность руководству Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» в г. Зернограде за предоставление материально-технической базы института для проведения научных исследований. Работа финансировалась за счет средств АНО «Агентство инноваций Ростовской области» при выполнении проекта «Разработка пресс-формы для изготовления конструкционных и теплоизоляционных материалов из пожнивных отходов сельскохозяйственного производства» в рамках коммерчески ориентированных научно-технических проектов молодых ученых «УМНИК».

**Для цитирования:** Гуляев П.В., Степанчук Г.В., Попов М.Ю., Пупенко К.К., Батраченко А.В. Результаты исследований параметров и режимов работы пресс-формы для изготовления конструкционных и строительных материалов из пожнивных остатков // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 61–70. EDN: XCYUCK.

### Scientific article

## RESEARCH RESULTS OF THE PARAMETERS AND OPERATING MODES OF THE MOLD FOR MANUFACTURING STRUCTURAL AND BUILDING MATERIALS FROM CROP RESIDUES

Pavel V. Gulyaev<sup>1</sup>, Gennady V. Stepanchuk<sup>2</sup>, Maxim Yu. Popov<sup>3</sup>✉, Konstantin K. Pupenko<sup>4</sup>, Artem V. Batrachenko<sup>5</sup>

<sup>1</sup> achgaa.el.mash@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6756-8006>

© Гуляев П.В., Степанчук Г.В., Попов М.Ю., Пупенко К.К., Батраченко А.В., 2024

<sup>2</sup> g-stepanchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3720-5902>

<sup>3</sup> 19maxim95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5551-9422>

<sup>4</sup> pupenko.k.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2718-0304>

<sup>5</sup> batrachenko\_00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7851-8020>

**Abstract.** In the technology of growing field crops, a significant amount of crop residues or straw is obtained, which, as a rule, are crushed and returned into the soil. The purpose is to substantiate the parameters and operating modes of a small-sized mold for manufacturing structural and thermal insulation materials using crop residues from agricultural production. The research methodology described in the article is based on qualitative and quantitative methods, which consist in conducting a group of interrelated experiments aimed at obtaining technological parameters and dependencies necessary for both the design, manufacture and operation of the mold under study, and for production of thermal insulation materials with specified parameters. The article presents the results of six comprehensive experimental studies aimed at determining the hygroscopicity of dry straw raw materials; the energy costs required to dry the uncompressed material; the degree of moisture content of the compressed material at different degrees of compression; the specific energy costs for drying the pressed material with different degrees of its compression; the cooling time of the mold with the material; the flammability of the finished sample. The conducted studies allow for determining the energy costs for manufacturing structural pressed sheets (solomits) and thermal insulation bulk materials (eco-wool) from crop residues (straw). The established dependencies make it possible to determine the most acceptable technological modes and specific energy costs corresponding to them. To produce 1 m<sup>2</sup> of insulation material with a thickness of 30 mm, it will be required energy costs from 11 to 16 kWh, which corresponds to specific energy costs from 3.6 to 4.7 kWh/kg. The additional studies provided by the authors confirm that the products obtained according to the proposed methods have a combustibility class NCG 1 or C1 and can be used as a building structural and insulation material.

**Keywords:** straw, mold, crop residues, thermal insulation material, structural material, solomit, eco-wool, pressing, drying, electric heating.

**Acknowledgments:** the authors of the article express their gratitude to the management of Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State University in the city of Zernograd for providing the material and technical base of the Institute for scientific research. The work was financed by the funds of the ANO Agency for Innovations of the Rostov Region' during the implementation of the project 'Development of a mold for manufacturing structural and thermal insulation materials using crop waste from agricultural production' within the framework of commercially oriented scientific and technical projects of young scientists 'UMNIK'.

**For citation:** Gulyaev P.V., Stepanchuk G.V., Popov M.Yu., Pupenko K.K., Batrachenko A.V. Research results of the parameters and operating modes of the mold for manufacturing structural and building materials from crop residues. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; (4-52): 61–70. EDN: XCYUCK. (In Russ).

**Введение.** При выращивании полевых культур, таких как пшеница, ячмень, рожь, рис, кукуруза и других, остается значительное количество пожнивных остатков – соломы. Часть этих остатков мульчируется и вносится в почву, тем самым повышается её плодородие и способность к влагоудержанию [1]. В процессе органического разложения соломы в почве бактериями и грибами не вся она превращается в удобрение. Значительная часть органических соединений распадается до атомарного азота, углекислого газа и других газов, выделяющихся в атмосферу, а также влаги, вымывающей часть водорастворимых соединений в почву.

Однако эффективность применения такого ценного продукта, как солома, может быть значительно повышена, если из нее изготавливать экологические теплоизоляционные и конструкционные материалы, которые возможно использовать при строительстве жилых, производственных зданий и сооружений [2].

С давних времен солома использовалась людьми для изготовления и утепления жилищ. Яркими примерами являются саман и глинобитные конструкции. В них огнеупорным, склеивающим и антисептическим составом является глина. В настоящее время в индустриально развитых регионах данные материалы перестали использоваться из-за их недостатков, таких как гигроскопичность, аллергенность, низкая прочность и потеря формы в случае намокания. Это сырье заменено синтетическими теплоизоляционными материалами, такими как пенополистирол, пенополиуретан,

пеноизол, минеральная вата, стекловата, базальтовая вата, целлюлозная эковата и др. [1].

Однако появление современных синтетических клеевых материалов позволяет взглянуть на применение соломы в качестве теплоизоляционных и конструкционных материалов под другим углом [3–4].

Целью исследований являлось обоснование параметров и режимов работы пресс-формы для изготовления конструкционных и теплоизоляционных материалов из пожнивных остатков сельскохозяйственного производства.

Для решения поставленной цели было необходимо провести экспериментальные исследования энергетических и технологических параметров физической модели пресс-формы и характеристик продукции.

**Материалы и методы.** В статье рассмотрены возможности применения пожнивных остатков для производства конструкционных и теплоизоляционных композитов [5; 6]. В разработанных технологических схемах производства предлагается использовать в качестве гидрофобного и антисептического состава следующие клеевые составы: полиуретановую или фенолформальдегидную смолу, специальный клеевой состав, состоящий из водного щелочного раствора силикатов натрия  $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ , калия  $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ , а также нелетучих антисептических и огнеупорных веществ, в качестве которых используется применяется борная кислота и бура [7; 8].

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем. Пожнив-

ные остатки сельскохозяйственного производства (солома, получаемая в результате выращивания злаковых культур), использующиеся в качестве исходного сырья механически измельчались при помощи дробилки до требуемых размеров фракций (до нескольких сантиметров при изготовлении эковаты), или не измельчались при изготовлении соломитовых плит. Затем полученный материал пропитывался специальными водноклеевыми составами, включающими антипиренные и антисептические добавки, представляющие собой смесь водного щелочного раствора в соотношении 82 % воды, 10 % силикатов натрия, 2 % борной кислоты, 1 % буры, 2 % медного купороса и 3 % модифицированного крахмала. При изготовлении эковаты в смесь добавлялись вспомогательные компоненты, представляющие собой измельченную макулатуру (в соотношении 80 % соломенного сырья и 20 % макулатуры). Затем при помощи предлагаемой конструкции пресс-формы из предварительно пропитанного материала путем прессования удалялся избыточный водноклеевой раствор, который возвращался обратно для пропитки следующей партии материала, а материалу придавалась форма плит с различными плотностями, которые достигались разными степенями прессования (от 50 до 650 кг/м<sup>3</sup>). После формирования плиты и максимального отжима влаги и клея, при помощи электрического нагрева, поверхности пресс-формы нагревались до различных температур в соответствии с планом эксперимента (от 50 до 150 °С). В результате нагрева изготавливаемая теплоизоляционная плита (соломитовая плита) просушивалась и склеивалась. После этого пресс-форма остывала и расформовывалась [9; 10].

В процессе проведенных экспериментальных исследований определялись оптимальные температурные режимы, пресс-формы, необходимое время сушки соломитовой плиты и удельные энергетические затраты при производстве [11–13].

Исследуемая пресс-форма может быть использована не только для изготовления соломитовых плит, но и при изготовлении сыпного теплоизоляционного материала – эковаты. Были проведены экспериментальные исследования по ее производству. Технология схожа с технологией производства соломитовых плит, за исключением того, что при изготовлении эковаты готовая просушенная соломитовая плита дробилась и диспергировалась до состояния ватоподобного сыпучего вещества с размерами фракций от 0,5 до 2 мм. При проведении эксперименталь-

ных исследований определялись необходимые энергетические затраты, оптимальная температура нагрева поверхностей пресс-формы и продолжительность сушки [14; 15].

В процессе исследований определялся важнейший параметр готовой продукции – горючесть по ГОСТ 30244-94 (Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть).

Все исследования проводились на базе научно-исследовательских и учебно-производственных лабораторий кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г. Зерноград.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В статье приведены результаты шести экспериментальных исследований, позволяющие определить ориентировочные энергетические характеристики малогабаритной экспериментальной пресс-формы в различных режимах работы, предназначенной для изготовления теплоизоляционных соломитовых плит, пропитанных специальным клеевым составом в виде водного щелочного раствора силикатов натрия  $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ , борной кислоты (тетрабората натрия), модифицированного крахмала и других добавок. Проведенные исследования направлены на определение степени горючести готового материала, произведенного по предлагаемой технологии.

Определение гигроскопичности сухого соломенного сырья (первый эксперимент).

Задача эксперимента: определение количества влаги, удерживаемой измельченным соломенным сырьём, пропитанным специальным клеевым составом.

Используемые данные для проведения эксперимента:

$M_n$  – масса исходного сухого соломенного сырья, 3 кг;

$W_n$  – начальная влажность соломенного сырья, < 20 %;

$M_k$  – масса конечного пропитанного клеевым составом сырья, 10 кг;

$T_n$  – время полной пропитки и набухания материала – 1 час,

$T_c$  – время полного стекания водо-клеевого состава из сырья, 1 час.

Отжим и прессовка материала отсутствует.

Полученные результаты первого экспериментального исследования позволяют сделать вывод, что сухое измельченное соломенное волокно может впитать в себя в 3,3 раза больше влаги, чем его масса в воздушно-сухом состоянии, и может удерживать влагу после её стекания длительное время.

Определение энергетических затрат, необходимых для просушки неспрессованного материала (второй эксперимент).

Задача эксперимента: определение энергетических затрат и времени просушки обрабатываемого материала в зависимости от температуры нагрева пресс-формы.

Исходные данные для эксперимента:

$M_n$  – масса исходного увлажненного пропитанного клеевым составом сырья, 10 кг;

$M_k$  – масса конечного высохшего пропитанного клеевым составом продукта, 3 кг.

Сушка производилась с помощью электронного нагревателя формы от регулируемого источника переменного напряжения.

Анализ графика, приведенного на рисунке 1,

позволяет сделать вывод, что с увеличением температуры нагрева материала скорость его просушки практически линейно уменьшается. Так, при температуре нагрева материала 50 °С время полной просушки составило полтора суток (или 36 часов), а при температуре нагрева материала до 150 °С время сушки составило всего 3 часа, при этом энергетические затраты в том и в другом режиме сушки достигли около 18кВт\*ч.

Этого количества энергии хватило, чтобы испарить из 10 кг пропитанного исходного материала 7 кг влаги.

Анализ графика, приведенного на рисунке 2, позволяет определить время сушки материала в зависимости от мощности потребляемой пресс-формой. В случае, если процесс производства

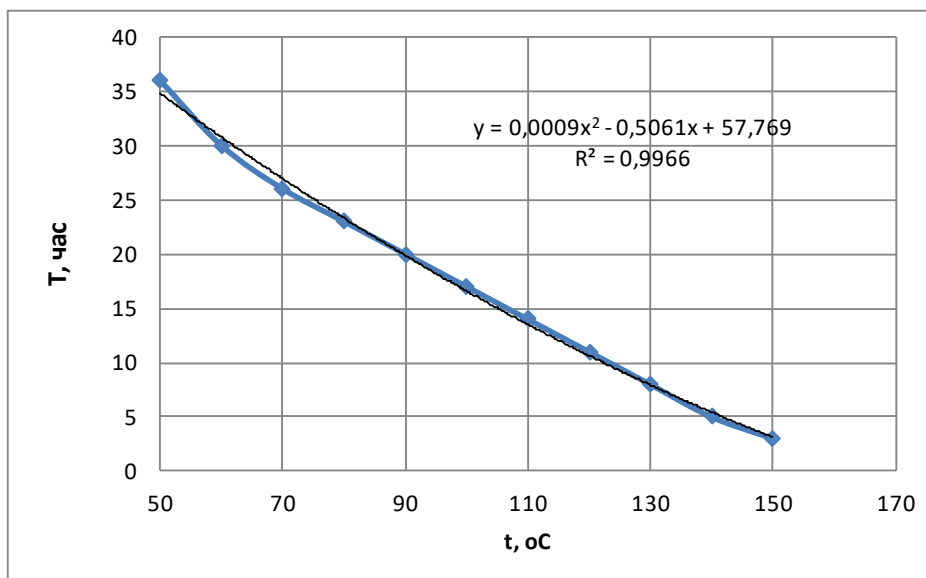


Рисунок 1 – График экспериментальной зависимости времени сушки неспрессованного материала от температуры нагрева

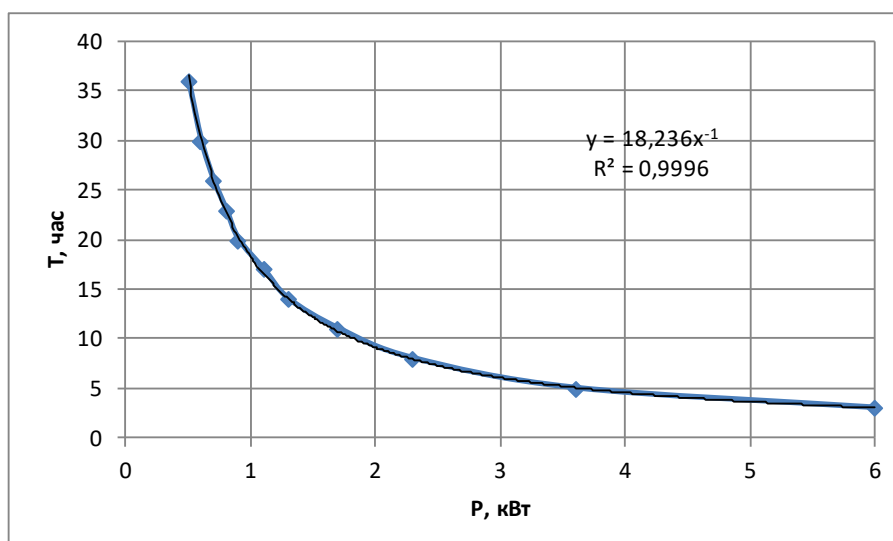


Рисунок 2 – График экспериментальной зависимости времени сушки материала от потребляемой мощности

не ограничен временными рамками и позволяет сушить материал в течение 36 часов, то мощность, потребляемую пресс формой, можно снизить до 0,5 кВт. При этом нагрузка на сеть будет минимальной. Если же необходимо минимальное время сушки (3 часа), то мощность, потребляемая из сети, составит 6 кВт. Если технологический процесс позволяет сушить материал в течение 15...17 часов, то целесообразно поддерживать температуру пресс-формы в пределах 90...110°C, при этом мощность, потребляемая установкой, составит 0,9...1,2 кВт.

Определение степени увлажненности спрессованного материала при разной степени прессования (третий эксперимент).

Задача эксперимента: определение влияния степени холодной прессовки материала на массу водноклеявого состава, впитанного соломой.

Исходные данные для эксперимента:

пропорция водно-клеявого состава 1/10 (1 часть натриевого жидкого стекла по ГОСТ 13078-2021 / 10 частей воды/ 0,1 часть тетрабората натрия);

$M_n$  – масса исходного увлажненного, пропитанного клеевым составом сырья, 10 кг;

$M_k$  – масса конечного, высохшего пропитанного клеевым составом продукта, 3 кг;

Степень прессования материала зависит от плотности готовой продукции и колебалась в диапазоне от 70 до 650 кг/м<sup>3</sup>.

Непрессованная солома –  $\rho = 50$  кг/м<sup>3</sup>.

Максимально спрессованная солома –  $\rho = 650$  кг/м<sup>3</sup>.

Анализ графика (рисунок 3) позволяет сделать вывод, что с увеличением степени прессования материала остаточная масса водноклеявого состава в материале снижается, но не пропорциональ-

но. От начальной степени прессования 70 кг/м<sup>3</sup> до степени прессования соответствующей плотности 200 кг/м<sup>3</sup> можно отжать до 30 % водно-клеявого раствора от его первоначальной массы. Однако дальнейшее прессование от плотности 200 кг/м<sup>3</sup> до 650 кг/м<sup>3</sup> позволяет дополнительно отжать лишь 11 % от начальной массы водно-клеявого состава, а при плотности от 600 кг/м<sup>3</sup> – до 650 кг/м<sup>3</sup>, можно отжать только 0,3 % от массы.

Полученные результаты позволяют предположить, что дальнейшая прессовка без сушки не позволит отжать больше влаги. Тем не менее увеличение степени прессования позволит снизить энергетические затраты на сушку.

Определение удельных энергетических затрат необходимых для сушки спрессованного материала с разной степенью прессования (четвертый эксперимент).

Задача эксперимента: определение удельных энергетических затрат и время сушки обрабатываемого материала в зависимости от температуры нагрева пресс-формы.

Анализ графика, приведенного на рисунке 4, позволяет сделать вывод, что увеличение степени прессования материала приводит к снижению удельных энергетических затрат на просушку, поскольку нет необходимости тратить дополнительную энергию на испарение влаги, которая может быть удалена механически. Однако это снижение не линейно и при увеличении плотности прессования с 50 до 650 кг/м<sup>3</sup> (в 13 раз), сокращение энергопотребления происходит всего в 1,7 раза. Это связано с тем, что уменьшение исходной массы происходит всего в 1,69 раза, а увеличение степени прессования приводит к ухудшению испарения влаги из толщи материала.

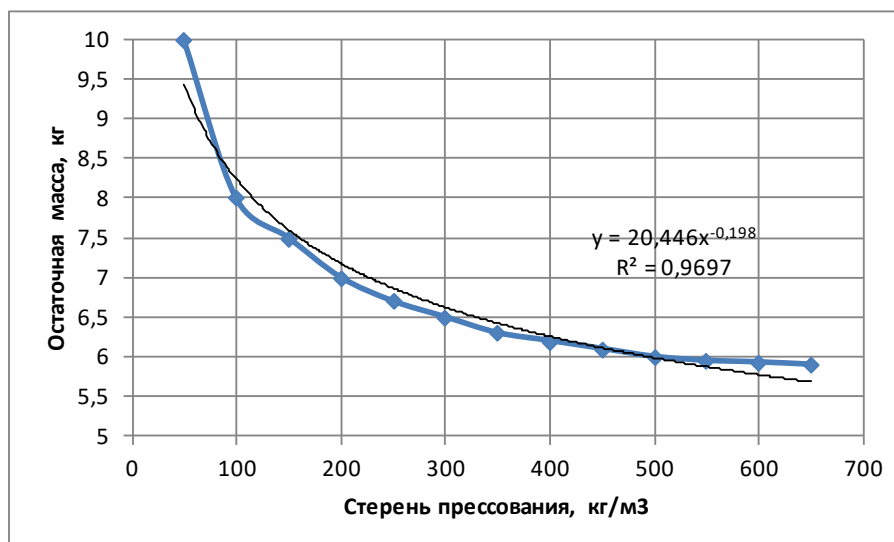


Рисунок 3 – График экспериментальной зависимости остаточной массы пропитанного клеем материала от степени прессования

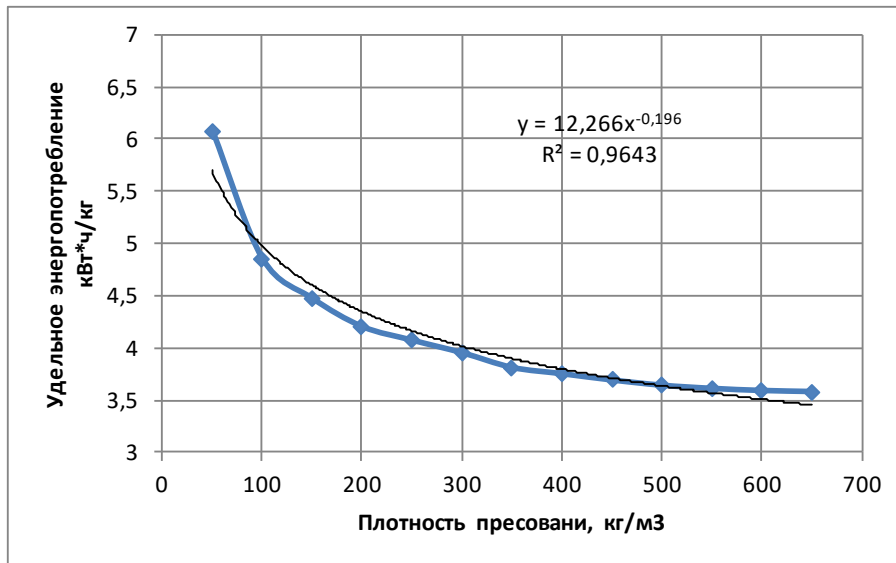


Рисунок 4 – График экспериментальной зависимости удельного энергопотребления пресс-формы от плотности прессования

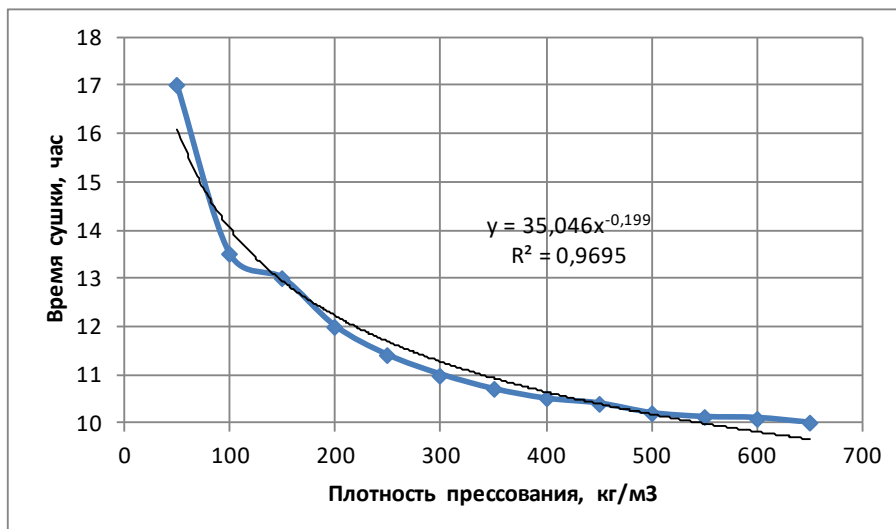


Рисунок 5 – График экспериментальной зависимости времени сушки от плотности прессования при температуре сушки 100 °C

Анализ графика, приведенного на рисунке 5, позволяет сделать вывод, что увеличение степени прессования материала приводит не только к снижению удельных энергетических затрат на просушку, но и к сокращению времени сушки, причем это снижение также пропорционально снижению влажности, то есть в 1,7 раза.

Определение времени охлаждения пресс-формы с материалом (пятый эксперимент).

Задача эксперимента: определение времени естественного охлаждения пресс-формы с материалом до температуры, приемлемой для расформовки и перезаправки.

В результате было установлено (рисунок 6), что при температуре окружающей среды 20 °C пресс-форма будет остывать в течение двух ча-

сов (с температуры 100 °C до температуры 50 °C), что связано с большой теплоаккумулирующей способностью как пресс-формы, так и самого материала. При таком температурном режиме расформовку можно будет производить через 2 часа. Для ускорения времени охлаждения необходимо использовать принудительное охлаждение пресс-формы.

Определение горючести готового образца материала (шестой эксперимент).

Задача эксперимента: определение возможности возгорания готового материала под воздействием источника открытого пламени с температурой не ниже 1500 °C и вероятности поддержания горения после снятия пламени.

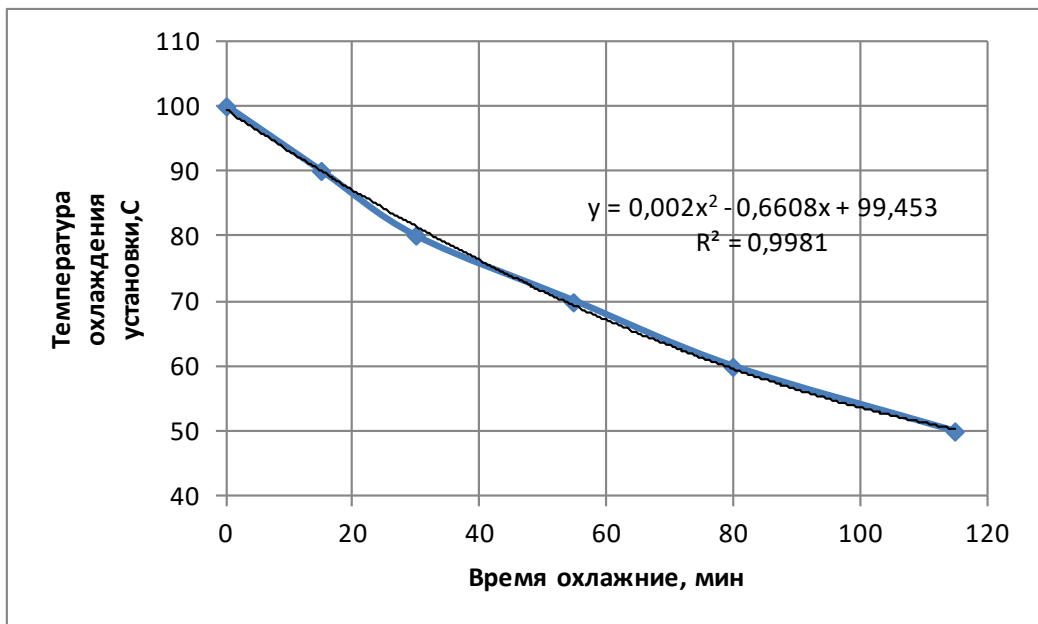


Рисунок 6 – График экспериментальной зависимости времени охлаждения пресс-формы от 100 °С до 50 °С



Рисунок 7 – Испытание на горючесть образца материала

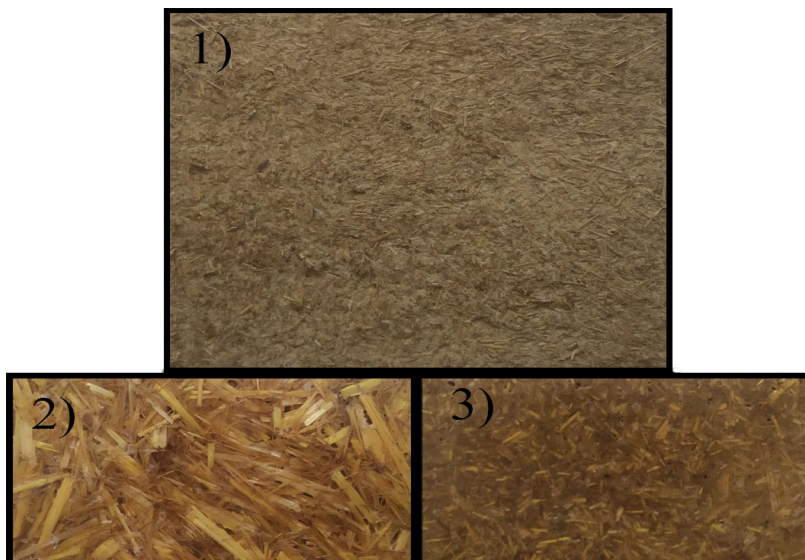


Рисунок 8 – Внешний вид образцов готовых утеплительных листов из соломы

В результате проведенного испытания на горючесть (рисунок 7) было определено, что произведенный по описанной ранее технологии материал является не горючим и соответствует классу НГ2 (практически негорючие), который показал слабое кратковременное горение (до 20 с), а теплота сгорания не превышала 3,0 Мдж/кг, (соломитовые плиты), и классу Г1 (слабогорючие) – эковата. Такие материалы прекращают горение сразу же после исключения источника пламени, сами по себе не горят, а при проведении испытаний теряют не более 65 % своей первоначальной длины и не более 20 % первоначальной массы, при этом температура возникающего дыма не превышает 135 °С (ГОСТ 30244).

На рисунке 8 показаны образцы теплоизоляционных плит, изготовленных из соломы, пропитанных антисептическими и антипиренными составами.

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать общий вывод о том, что использование пожнивных остатков (соломы) в качестве конструкционного и утеплительного материала не только возможно, но и целесообразно. Предложенные технологии производства позволяют изготавливать из пожнивных остатков соломитовые теплоизоляционные плиты и сыпной теплоизоляционный материал – эковату. Из результатов проведенных экспериментальных исследований установлено, что для изготовления 1 м<sup>2</sup> утеплительного материала толщиной 30 мм потребуются энергетические затраты от 11 до 16 кВт\*ч, что соответствует удельным энергетическим затратам от 3,6 до 4,7 кВт\*ч/кг. Выявлено, что плотность прессовки материала оказывает значительное влияние на время сушки и на энергетические затраты. Увеличение степени прессования материала приводит к сокращению не только энергетических затрат на просушку, но и времени сушки, причем это снижение пропорционально уменьшению влажности в 1,7 раз. Полученная продукция имеет класс горючести НГ или Г1 и может быть использована в качестве строительного конструкционного и утеплительного материала. Данный материал будет экологичным, поскольку при его нагревании из него не выделяются токсичные пары фенолформальдегида и других растворителей.

#### Список источников

1. Дерево как строительный материал: проблемы и перспективы использования / В.В. Зозуля [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 2. С. 67-71. EDN: YTCESW.

2. Кузьмин А.М. Обоснование технологий и технических средств для производства конструкционных композитов на основе отходов агропромышленного комплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: утв. 17.12.2015. Саранск, 2015. 214 с. EDN: VYCTLM.

3. Разработка теплоизоляционных смесей для прибылей стальных отливок с применением фосфатборатов / И.Е. Илларионов [и др.] // Черные металлы. 2020. № 7. С. 28-33. EDN: YSDZYU.

4. Влияние борной кислоты на физико-механические характеристики теплоизоляционных смесей / И.Е. Илларионов [и др.] // Литейное производство. 2019. № 4. С. 19-21. EDN: ZDBQKD.

5. Cicelsky A., Meir I.A., Peled A. Novel insulating construction blocks of crop residue (straw) and natural binders // MRS Energy & Sustainability. 2024. Vol. 11. No. 1. P. 92-106. DOI: 10.1557/s43581-023-00075-x. EDN: EBJPFO.

6. Experimental investigation on mechanical properties and fire performance of innovative wheat straw-gypsum composites as building sheathing panels / T. Wu [et al.] // Industrial Crops and Products. 2024. Vol. 208. P. 117897. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117897. EDN: MCWVGF.

7. Erkmen J., Yakut R., Hamamcı B., Aytuğ R. Özer Production of insulation material using styrene acrylic resin from animal and agricultural waste part 1. Thermal insulation and water absorption // Energy and Buildings. 2024. Vol. 303. P. 113817. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113817. EDN: RGBQBF.

8. Experimental research on the physical and mechanical properties of rice straw-rice straw ash composite materials / R. Kumar [et al.] // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. 2024. Vol. 18. No. 2. P. 721-731. DOI: 10.1007/s12008-024-01741-1. EDN: NKCHIA.

9. Khalife E., Sabouri M., Kaveh M., Szymanek M. Recent Advances in the Application of Agricultural Waste in Construction // Applied Sciences (Switzerland). 2024. Vol. 14. No. 6. P. 2355. DOI: 10.3390/app14062355. EDN: TASTBQ.

10. Установка для производства формованных изделий из волокнистых материалов: пат. 49536 U1 Рос. Федерация, МПК D21J 7/00. № 2005116278/22 / Мартынов В.Н., Ланьков А.Э., Мартынов С.Н.; заявл. 30.05.2005; опубл. 27.11.2005. EDN: ZXPSCD.

11. Перспективы применения промышленных отходов для повышения долговечности и огнеупорности жаростойких бетонов / С.В. Соколова [и др.] // Строительство и реконструкция. 2023. № 2 (106). С. 123-133. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133. EDN: ANWVDP.



12. Гуляев А.А. Обоснование параметров и режимов работы машины для переработки солоистой части урожая колосовых культур: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. М., 2022. 196 с. EDN: LKPXRM.

13. Изменение влажности продуктов механохимической обработки из растительного сырья при хранении / А.Л. Бычков [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 8. С. 5-9. EDN: WKTZQR.

14. Эффективное использование сухих пенообразователей при изготовлении пеногипсовых теплоизоляционных наноконпозиций / Р.И. Шигапов [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2022. Т. 14. № 4. С. 274-281. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-4-274-281. EDN: JCWFCQ.

15. Влияние борной кислоты на свойства теплоизоляционных смесей / И.Е. Илларионов [и др.] // Литейное производство. 2019. № 1. С. 24-26. EDN: YSGYCL.

### References

1. Zozulya V.V. et al. Derevo kak stroitel'nyi material: problemy i perspektivy ispol'zovaniya [Wood as a building material: problems and prospects of use]. *Industrial and civil engineering*. 2018; (2): 67-71. EDN: YTCECW. (In Russ).
2. Kuzmin A.M. Obosnovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv dlya proizvodstva konstruktsionnykh kompozitov na osnove otkhodov agropromyshlennogo kompleksa [Justification of technologies and technical means for the production of structural composites based on waste from the agro-industrial complex]. [Dissertation]. Saransk ; 2015: 214. EDN: VYCTLM. (In Russ).
3. Illarionov I.E. et al. Razrabotka teploizolyatsionnykh smesei dlya pribylei stal'nykh otlivok s primeneniem fosfatboratov [Development of thermal insulation mixtures for steel casting risers using phosphate borates]. *Chernye metally*. 2020; (7): 28-33. EDN: YSDZYU. (In Russ).
4. Illarionov I.E. et al. Vliyanie bornoi kisloty na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki teploizolyatsionnykh smesei [The influence of boric acid on the physical and mechanical characteristics of thermal insulation mixtures]. *Foundry. Technology and equipment*. 2019; (4): 19-21. EDN: ZDBQKD. (In Russ).
5. Cicelsky A., Meir I.A., Peled A. Novel insulating construction blocks of crop residue (straw) and natural binders. *MRS Energy & Sustainability*. 2024; 11(1): 92-106. DOI: 10.1557/s43581-023-00075-x. EDN: EBJPFO.
6. Wu T. et al. Experimental investigation on mechanical properties and fire performance of innovative wheat straw-gypsum composites as building sheathing panels. *Industrial Crops and Products*. 2024; (208): 117897. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117897. EDN: MCWVGF.
7. Erkmen J., Yakut R., Hamamcı B., Aytuğ R. Özer Production of insulation material using styrene acrylic resin from animal and agricultural waste part 1. Thermal insulation and water absorption. *Energy and Buildings*. 2024; (303): 113817. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113817. EDN: RGBQBF.
8. Kumar R. et al. Experimental research on the physical and mechanical properties of rice straw-rice straw ash composite materials. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. 2024; 18(2): 721-731. DOI: 10.1007/s12008-024-01741-1. EDN: NKCHIA.
9. Khalife E., Sabouri M., Kaveh M., Szymanek M. Recent Advances in the Application of Agricultural Waste in Construction. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024; 14(6): 2355. DOI: 10.3390/app14062355. EDN: TASTBQ.
10. Ustanovka dlya proizvodstva formovannykh izdelii iz voloknistykh materialov [Installation for the production of molded products from fibrous materials]: Pat. 49536 U1 Rus. Federation. No 2005116278/22 / Martynov V.N., Lankov A.E., Martynov S.N.; dec. 30 May 2005; publ. 27 November 2005. EDN: ZXPSCD. (In Russ).
11. Sokolova S.V. et al. Perspektivy primeneniya promyshlennykh otkhodov dlya povysheniya dolgovechnosti i ogneupornosti zharostoikikh betonov [Prospects for the use of industrial waste to improve the durability and fire resistance of heat-resistant concrete]. *Building and reconstruction*. 2023; 2(106): 123-133. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133. EDN: ANWVDP. (In Russ).
12. Gulyaev A.A. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty mashiny dlya pererabotki solomistoi chasti urozhaya kolosovykh kul'tur [Justification of the parameters and operating modes of the machine for processing the straw part of the harvest of cereal crops]. [Dissertation]. Moscow; 2022: 196. EDN: LKPXRM. (In Russ).
13. Bychkov A.L. et al. Izmenenie vlazhnosti produktov mekhanokhimicheskoi obrabotki iz rastitel'nogo syr'ya pri khraneni [Changes in the humidity of mechanochemically processed plant materials during storage]. *Storage and Processing of Farm Products*. 2016; (8): 5-9. EDN: WKTZQR. (In Russ).

14. Shigapov R.I. et al. Effektivnoe ispol'zovanie sukhikh penoobrazovatelei pri izgotovlenii penogipsovykh teploizolyatsionnykh nanokompozitsii [Effective use of dry foaming agents in the manufacture of foam gypsum thermal insulation nanocomposites]. *Nanotechnologies in construction: a scientific internet-journal*. 2022; 14(4): 274-281. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-4-274-281. EDN: JCWFCQ. (In Russ).

15. Illarionov I.E. et al. Vliyanie bornoi kisloty na svoistva teploizolyatsionnykh smesei [The influence of boric acid on the properties of thermal insulation mixtures]. *Foundry. Technology and equipment*. 2019; (1): 24-26. EDN: YSGYCL. (In Russ).

#### ВКЛАД АВТОРОВ

Гуляев П.В. – научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, итоговые выводы.

Степанчук Г.В. – написание исходного текста, научное редактирование текста, итоговые выводы.

Попов М.Ю. – сбор материала, обработка материала, написание статьи, итоговые выводы.

Пупенко К.К. – математическая обработка экспериментальных исследований, доработка текста, итоговые выводы.

Батраченко А.В. – участие в проведении экспериментальных исследований, итоговые выводы.

#### AUTHOR CONTRIBUTION

Gulyaev, P.V. – scientific guidance; research concept; development of methodology, final conclusions.

Stepanchuk, G.V. – writing the original text, scientific editing of the text, final conclusions.

Popov, M.Yu. – collecting material, processing material, writing an article, final conclusions.

Pupenko, K.K. – mathematical processing of experimental studies, revision of the text, final conclusions.

Batrachenko, A.V. – participation in experimental research, final conclusions.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

#### Информация об авторах

П.В. Гуляев – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 305831.

Г.В. Степанчук – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 443229.

М.Ю. Попов – кандидат технических наук; AuthorID 1063389.

К.К. Пупенко – AuthorID 988438.

А.В. Батраченко – AuthorID 1266234.

#### Information about the authors

P.V. Gulyaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 305831.

G.V. Stepanchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 443229.

M.Yu. Popov – Candidate of Technical Sciences; AuthorID 1063389.

K.K. Pupenko – AuthorID 988438.

A.V. Batrachenko – AuthorID 1266234.

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 17.12.2024.