

УДК 691.12

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЯ

А.В. Должонок, А.А. Бакатович

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: andrei92d@gmail.com

Проанализирована возможность использования, образующихся в больших объемах на территории Республики Беларусь отходов растениеводства, как потенциального сырьевого ресурса для получения заполнителя, применяемого в производстве стеновых материалов. В качестве заполнителей использовали дробленую и измельченную ржаную, гречишную, рапсовую солому и костру льна. Определены насыпная и истинная плотности растительных заполнителей. Установлено, что наименьший коэффициент теплопроводности равный $0,049 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ обеспечивает дробленая ржаная солома при насыпной плотности $63 \text{ кг}/\text{м}^3$. Наилучший показатель коэффициента теплопроводности равный $0,075 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ зафиксирован на образцах костросоломенных блоков при плотности $530 \text{ кг}/\text{м}^3$. При этом показатели прочности на сжатие и при изгибе стеновых материалов с заполнителем из дробленой и измельченной гречишной соломы превышают характеристики образцов на основе других растительных заполнителей в 1,1–1,7 раза.

Ключевые слова: *ржаная солома, рапсовая солома, гречишная солома, костра льна, стеновой блок, теплопроводность, прочность, плотность.*

EVALUATION OF THE PERSPECTIVES OF PLANT AGGREGATES FOR WALL BLOCKS BASED ON PHYSICAL PARAMETERS OF RAW MATERIALS

A. Dalzhonak, A. Bakatovich

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: andrei92d@gmail.com

The possible use of plant waste, being produced in large amounts on the territory of Belarus, as potential raw resources for obtaining the aggregate used in building material production was analyzed. Grinded and shredded rye, buckwheat and rape straw, flax boon were grinded and shredded and then were used as the aggregate. Bulk density and true specific gravity of plant aggregates were defined. It was defined, that grinded rye straw has the smallest coefficient of thermal conductivity equal to $0.075 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, at a bulk density of $63 \text{ kg}/\text{m}^3$. The best coefficient of thermal conductivity was set on straw-flax blocks at a density of $530 \text{ kg}/\text{m}^3$ and was equal to $0.075 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Compressive and bending strength coefficients of materials based on grinded and shredded buckwheat straw exceed the properties of samples based on other aggregates 1.1-1.7 times.

Keywords: *rye straw, buckwheat straw, rape straw, flax boon, wall block, thermal conductivity, strength, density.*

Введение. Рациональное использование отходов сельскохозяйственного производства в строительстве относится к актуальным вопросам отрасли, так как большинство растительных отходов не используется должным образом, а в основном сжигается или закапывается. Важным аспектом данного вопроса является применение научно обоснованного комплексного подхода к переработке растительных отходов для получения строительных материалов. С целью экономии средств требуется разработка и совершенствование технологических процессов при производстве строительных материалов на данном сырье. Как показывает практика научных исследований и промышленного производства применяя растительные отходы возможно получить композиционные стеновые материалы с использованием органических и неорганических вяжущих. Стеновые материалы на основе растительного сырья характеризуются малой теплопроводностью, низкой плотностью и относительно высокой прочностью, что подтверждается исследованиями [1].

Основная часть. На сегодняшний день растениеводство, включая выращивание ржи, льна, гречихи и рапса, занимает существенный сегмент в производстве агропромышленного комплекса Республики Беларусь. По данным статистического ежегодника [2] в 2018 году на территории Беларуси посевные площади ржи составили 254 тыс. гектар, льна-долгунца – 50 тыс. гектар, рапса – 350 тыс. гектар, гречихи – 19 тыс. гектар. На диаграмме (рисунок 1) приведено изменение количества засеваемых площадей сельскохозяйственными культурами за 2010-2018 годы.

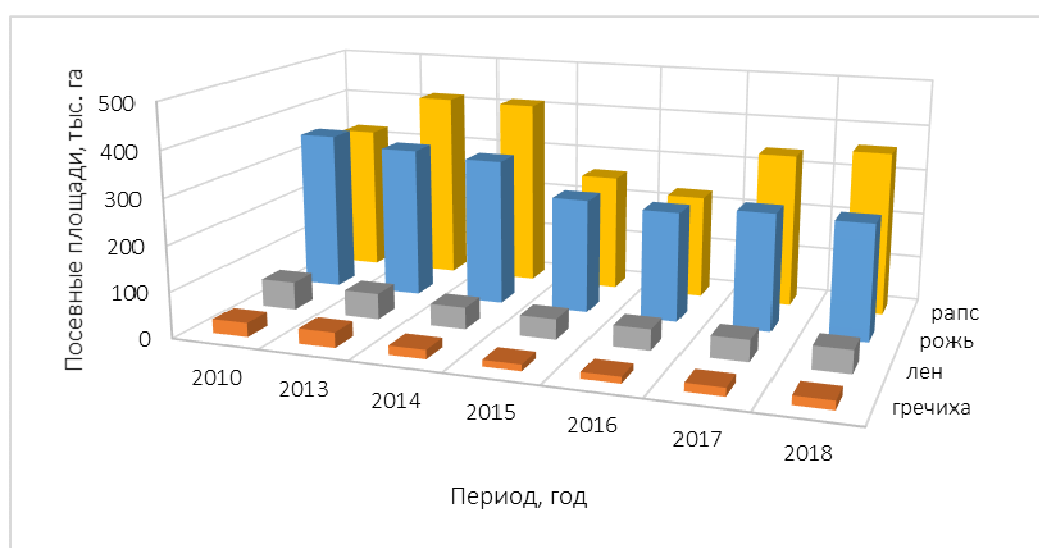


Рисунок 1. – Посевные площади сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь

Основная часть соломы используется для корма скоту, а также в качестве подстилочного слоя на животноводческих фермах. Использование соломы в виде корма, требует предварительной обработки для улучшения питательных качеств, что влечет за собой дополнительные затраты и становится нецелесообразным. Распространенной технологией утилизации ржаной соломы является измельчение и разбрасывание по полю с последующей запашкой для восстановления плодородия земель, что приводит

к засорению почвы сорняками [3]. Многие сельхозпредприятия страны периодически сжигают ржаную солому на полях (рисунок 2), за счет чего увеличивается выброс парниковых газов в атмосферу, ухудшающих экологическую обстановку.



Рисунок 2. – Сожженная солома на поле сельхозпредприятия

На территории Беларуси ежегодно выращивается около 140–150 тыс. т. льна. В Витебской области работает 10 льнозаводов, из 14 находящихся в Республике Беларусь, непосредственно занимающихся выращиванием и первичной переработкой льна [4].

При переработке льняной тресты образуются отходы в виде костры количеством до 32 тыс. т., являющихся источником пожарной опасности при хранении в отвалах на территории заводов. Льняная костра более чем на половину состоит из чистой целлюлозы и поэтому используется для отопления зданий. С целью улучшения тепловой отдачи при сжигании и облегчения транспортировки из костры льна получают топливные брикеты, производимые на 7 заводах в Республике Беларусь. Костробрикеты возможно использовать для обогрева теплиц, животноводческих ферм, жилых домов и промышленных зданий [5]. По причине высокого содержания марганца, калия, фосфора, кальция и других микроэлементов, костру льна используют в качестве удобрения для насыщения почвы питательными веществами.

Несмотря на то, что гречихой засеиваются значительно меньшие площади проблема утилизации соломы также существует. Непосредственное внесение в землю соломы, в качестве органического удобрения, приводит к тому, что азот в почве используется не для питания корневых систем растений, а для процессов разложения органических остатков гречихи. Также гречишная солома во многих хозяйствах остаётся на полях и сжигается, аналогично, как и ржаная солома. В 60-х годах XX века солому гречихи широко использовали в гидролизной промышленности для получения картона. По причине высокого содержания сырой клетчатки и отсутствия достаточного количества протеина использование гречишной соломы в кормовых целях возможно при добавлении полноценного белка и минеральных веществ, что требует дополнительных затрат. Также возможна переработка гречишной соломы на топливные брикеты. В результате прессования они приобретают плотность свыше 1000 кг/м^3 и теплотворную способность до 5000 кКал/кг [6]. Данные показатели возможно сопоставить с показателями теплоотдачи каменного угля.

В последние годы на фоне прогресса в агротехнике и селекции наблюдается рост посевных площадей под рапс, улучшающий агрофизический и фитосанитарный состав почвы [7]. Рапсовую солому используют как топливо для хозяйственных нужд или поставляют на предприятия целлюлозно-бумажной промышленности. Следует отметить, что стебли рапса отличаются от ржаной соломы повышенной грубостью и жесткостью и не находят применения в качестве подстилочного слоя и корма на животноводческих фермах. Теплотворная способность рапсовой соломы находится в пределах 16–17 МДж/кг. Для сравнения теплотворная способность древесины в среднем составляет 17,5–19 МДж/кг [8].

Значительные объемы из утилизируемой части растениеводческих отходов идут на производство топливных брикетов, что обеспечивает дополнительные выбросы CO₂ в атмосферу. Наиболее рациональным способом применения данных отходов может являться производство конструкционных стеновых материалов с высокими теплоизоляционными характеристиками. Возведение зданий из стеновых блоков, содержащих наполнитель из растительного сырья обеспечит экологически чистую среду проживания для человека и снизит выбросы CO₂ в атмосферу.

В ниже приведенных исследованиях рассмотрена потенциальная возможность получения стеновых блоков с повышенными теплоизоляционными свойствами на растительных наполнителях. На начальном этапе определены насыпная плотность, влажность и коэффициент теплопроводности отходов растениеводства. Предварительно солому дробили для получения наполнителя с длиной трубки 20–40 мм. Размеры частиц костры и измельченной гречихи изменяются по длине от 1 мм до 10 мм и по толщине от 0,3 мм до 1,5 мм. Насыпную плотность определяли путем вычисления отношения массы свободно засыпанного материала к объему заполняемой емкости. Теплопроводность наполнителей определяли с помощью прибора ИТП-МГ4. Растительные наполнители исследовали в условиях равновесной влажности материала и в абсолютно сухом состоянии. Равновесную влажность наполнителей определяли после нахождения материала в лаборатории с относительной влажностью воздуха 60±5% и температурой воздуха 20±2°C. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Показатели насыпной плотности и коэффициента теплопроводности наполнителей

№ образца	Заполнитель	Влажность наполнителя, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Дробленая гречишная солома	0	75	0,055
2		7	80	0,061
3	Дробленая ржаная солома	0	63	0,049
4		8	68	0,053
5	Костра льна	0	140	0,054
6		6	148	0,067
7	Измельченная гречиха	0	88	0,051
8		6	93	0,056
9	Дробленая рапсовая солома	0	70	0,064
10		9	76	0,07

Среди исследуемых материалов ржаная солома в абсолютно сухом состоянии обладает меньшей теплопроводностью – 0,049 Вт/(м·°С) и на 11–23% ниже показателей рапсовой и гречишной соломы. Дробленая ржаная солома имеет насыпную плотность 63кг/м³, что на 36–66% меньше значений остальных исследуемых образцов растительных заполнителей. В состоянии равновесной влажности коэффициент теплопроводности дробленой соломы ржи ниже на 5–24% относительно значений соломы гречихи, рапса и костры льна.

Также в ходе работы определена истинная плотность соломы и костры льна. Для определения истинной плотности получали образцы в максимально плотном состоянии. Материал перемалывали до фракции 1–3 мм с помощью измельчителя ЭЛИКОР-1 № 5 (рисунок 3) и высушивали до постоянной массы. Затем формовали образцы в виде плит размерами 250×250×30 мм на основе молотого сырья, для чего материал укладывали в формы и уплотняли с помощью пресса под давлением 23 МПа с фиксированием верхней крышки формы. Через 24 часа образцы извлекали из формы (рисунок 4), измеряли и взвешивали. Значение истинной плотности вычисляли, как отношение массы к объему полученного образца. Коэффициент теплопроводности определяли с использованием прибора ИТП-МГ4. Полученные данные приведены в таблице 2.



Рисунок 3. – Измельчитель ЭЛИКОР-1 № 5

Таблица 2. – Показатели истинной плотности и коэффициента теплопроводности молотого растительного сырья

№ образца	Молотое сырье	Истинная плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Гречишная солома	1060	0,115
2	Ржаная солома	1015	0,106
3	Костра льна	1030	0,11
4	Рапсовая солома	1065	0,122

По результатам проведенных исследований установлено, что коэффициент теплопроводности образца 2 из ржаной соломы составляет 0,106 Вт/(м·°С) при истинной плотности равной 1015 кг/м³, что на 5 % ниже показателя образца 4 из рапсовой соломы.



Рисунок 4. – Образец из молотой ржаной соломы для определения истинной плотности

Приведенные выше результаты исследования показали, что при увеличении истинной плотности заполнителей на основе растительного сырья относительно значений насыпной плотности в 7–16 раз коэффициент теплопроводности увеличился только в 2 раза. Выявленная особенность указывает на высокие теплоизоляционные свойства заполнителей из дробленой и измельченной соломы, а также костры льна и позволяет прогнозировать возможность получения стенового материала с высокими теплоизоляционными характеристиками независимо от состояния микроструктуры заполнителей.

После определения основных общефизических характеристик заполнителей из соломы и костры, исследовали физико-механические характеристики стеновых материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства. Дробленую ржаную, гречишную и рапсовую солому вводили как крупный заполнитель, а костру льна и измельченную солому гречихи – в качестве мелкого заполнителя. Количество дробленой соломы в общем расходе заполнителя составляло 0,55 массовых долей. Использовали дробленую солому с длиной трубок 20–40 мм. Максимальная фракция костры льна составляла не более 15 мм. Длина частиц измельченной соломы гречихи находилась в пределах 5–10 мм. Вяжущим компонентом являлся портландцемент ПЦ 500 – Д0. В качестве добавки, нейтрализующей действие сахаров, вводили гидратную известь. Плотность для всех образцов составляла 530 кг/м^3 , а давление формования – 1,8–1,9 МПа. Основные физико-механические характеристики стеновых материалов приведены в таблице 3.

По результатам исследований установлено, что при одинаковой плотности с заменой части рапсовой соломы кострой льна происходит повышение прочности на сжатие и прочности на изгиб на 13–17% в сравнении со стеновым материалом на основе дробленой рапсовой соломы (состав 1). Для состава 4 относительно показателей состава 3 прочность на сжатие возросла на 19%, а прочность при изгибе – на 12%. Прочность на сжатие и прочность на изгиб образцов, содержащих костросоломенную смесь, увеличилась на 16% и 13% в сравнении со стеновыми материалами на основе дробленой ржаной соломы (состав 5).

Таблица 3. – Основные физико-механические характеристики стеновых материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства

№ состава	Заполнитель	Физико-механические характеристики		
		Прочность на сжатие, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Дробленая рапсовая солома	1,5	1,2	0,112
2	Дробленая рапсовая солома и костра льна	1,7	1,4	0,106
3	Дробленая гречишная солома	2,1	1,7	0,1
4	Гречишная смесь (дробленая и измельченная гречишная солома)	2,5	1,9	0,092
5	Дробленая ржаная солома	1,9	1,6	0,085
6	Костросоломенная смесь (дробленая ржаная солома и костра льна)	2,2	1,8	0,075

Коэффициент теплопроводности композита на основе рапсовой соломы и костры льна составил 0,106 Вт/(м·°С), что на 0,006 Вт/(м·°С) ниже в сравнении со стеновыми материалами из дробленой рапсовой соломы (состав 1). Показатель теплопроводности состава 4 с применением гречишной смеси ниже на 8%, в сравнении с материалом из дробленой гречишной соломы. Коэффициент теплопроводности образцов, содержащих дробленую ржаную солому (состав 5), равен 0,085 Вт/(м·°С), что на 13% выше показателя стеновых материалов на основе костросоломенной смеси (состав 6).

В ходе анализа полученных результатов установлено, что стеновой материал из гречишной смеси на цементном вяжущем с добавлением извести (состав 4) имеет максимальные показатели по прочности на сжатие равной 2,5 МПа и прочности при изгибе соответствующей 1,9 МПа. Стеновой материал на основе костросоломенной смеси обеспечивает наиболее низкий коэффициент теплопроводности равный 0,075 Вт/(м·°С).

Эффект от введения мелкого заполнителя в виде костры льна и измельченной гречи обусловлен формированием из крупного и мелкого заполнителя двух взаимопроникающих структурных систем образующих прочную структуру «каркас в каркасе». Костра льна и измельченная гречиха заполняет пустотное пространство, образуемое в каркасе из дробленой соломы и формирует второй каркас, препятствующий перемещению воздушных потоков в пустотах композита и тем самым уменьшает теплопроводность материала.

Также при применении только дробленого заполнителя при формировании происходит смятие всех трубок, а при введении мелкого заполнителя часть трубок диаметром менее 3 мм остается целой, что позволяет формировать более прочный каркас из заполнителя. Кроме того, мелкий заполнитель обеспечивает более высокую адгезию с цементным камнем за счет рельефной и шероховатой поверхности костры льна и измельченной соломы. Также можно предположить, что на прочность и теплопроводность блоков оказывает влияние микроструктура заполнителей. Все выше перечисленные

факторы, обеспечивают повышение прочности на сжатие и коэффициент теплопроводности составов 4, 6, содержащих смеси из мелкого и крупного заполнителей.

Заключение. При истинной плотности соломы и костры льна равной 1015–1065 кг/м³ показатели теплопроводности имеют низкие значения в пределах 0,106–0,122 Вт/(м·°С), что подтверждает высокую теплоизолирующую способность растительного сырья.

Среди исследуемых растительных заполнителей наименьшей теплопроводностью равной 0,049 Вт/(м·°С) обладает дробленая ржаная солома при насыпной плотности 63 кг/м³. Для костры льна, с максимальной насыпной плотностью 140 кг/м³, коэффициент теплопроводности достигает 0,054 Вт/(м·°С).

Совместное использование мелкого и крупного заполнителей в виде смеси обеспечивает наилучшие физико-механические показатели стеновых материалов. Стеновые блоки на основе костросоломенной смеси при прочности на сжатие 2,2 МПа, имеют коэффициент теплопроводности равный 0,075 Вт/(м·°С), что меньше показателей составов 1–5 (таблица 3) на 12–33%. Композиционный стеновой материал на заполнителе из смеси дробленой и измельченной соломы гречихи обладает прочностью на сжатие 2,5 МПа, что на 14–67% выше в сравнении с показателями, приведенными в таблице 3 для стеновых блоков на заполнителях из растительных отходов сельскохозяйственного производства. При этом коэффициент теплопроводности блоков, содержащих гречишную смесь, составляет 0,092 Вт/(м·°С).

Полученные физико-механические характеристики растительных заполнителей, а также композиционных материалов на их основе подтвердили возможность получения эффективных стеновых блоков. Однако существует необходимость дальнейшего комплексного исследования физико-механических характеристик, в том числе и в условиях эксплуатации стеновых материалов, с целью оценки перспективности развития производства стеновых блоков на данных заполнителях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местного сырья : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / С.Н. Солдатов. – Пенза, 2001. – 67 с.
2. Статистический ежегодник 2018. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018 – 490 с.
3. Савицкий Н.В., Собинова К.С., Зинкевич О.Г., Ожищенко О.А., Аит Ишу Ф. Исследование теплофизических свойств вторичных продуктов сельскохозяйственного производства органического происхождения / Н.В. Савицкий, К.С. Собинова, О.Г. Зинкевич, О.А. Ожищенко, Ф. Аит Ишу // Сборник научных трудов строительства, материаловедения, машиностроения. 2015. № 81. 217-223 с.
4. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс] / М. : Льноперерабатывающие предприятия Республики Беларусь. – 2019. – Режим доступа : <https://mshp.gov.by/links/podvedorgan/flax/>. – Дата доступа : 15.11.2019 г.
5. Карпунин, И.И. Использование отходов растительного сырья для производства энергии/ И.И. Карпунин, В.В. Кузьмич, Т.Ф. Балабанова. – Минск: БНТУ, 2011. – с. 72-75.
6. Гнеушева, И. А. Биотехнологическая переработка отходов производства гречихи и получение ценных продуктов: дис. ...канд. техн. наук : 03.01.06 / И. А. Гнеушева. –Воронеж, 2014. – 142 с.

7. Журавлев, А.В. Системное проектирование ресурсосберегающей машинной технологии переработки семян рапса [Текст] / А.В. Журавлев, А.С. Марухин // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. - № 1(9). – С. 58-65.
8. Оганезов И. А. Использование вторичной продукции растениеводства в качестве биотоплива / И. А. Оганезов, В. В. Ширшова // Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы междунар. научно-технической конференции, Минск, 23-24 октября 2009 г. В 2 ч. Ч. 1. - Минск: БГАТУ, 2009. - С. 104-109.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

Подписано к использованию 09.09.2020.
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>