

УДК 666.973.2

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ
НА ОСНОВЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ТРОСТНИКА**А.А. Бакатович¹, Н.В. Бакатович, И.А. Петеренко**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

Ф. Гаспар

Политехнический институт г. Лейрия, Португалия

e-mail: ¹ a.bakatovich@psu.by

Рассмотрены результаты исследований теплоизоляционных плит на основе структурообразующей смеси из измельченного тростника гигантского и соломы. Для обеспечения экологической чистоты и безопасности тепловой изоляции применяли жидкое стекло и сосновую канифоль как вяжущие компоненты. При оценке качества плит кроме физических параметров утеплителей учитывали внешний вид и прочность структуры. Жесткие и прочные теплоизоляционные плиты получены при плотности 176 - 192 кг/м³ с коэффициентом теплопроводности 0,048 - 0,053 Вт/(м·°С).

Ключевые слова: тростник, солома, коэффициент теплопроводности, плотность.

PHYSICAL PARAMETERS OF HEAT-INSULATING PLATES BASED ON CRUSHED REED

A. Bakatovich¹, N. Bakatovich, I. Peterenko

Polotsk State University, Republic of Belarus

F. Gaspar

Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

e-mail: ¹ a.bakatovich@psu.by

The results of studies of heat-insulating plates based on a structure-forming mixture of crushed giant reed and straw are considered. To ensure environmental friendliness and safety of thermal insulation, liquid glass and pine rosin were used as binding components. When assessing the quality of the slabs, in addition to the physical parameters of the heaters, the appearance and strength of the structure were taken into account. Rigid and durable heat-insulating plates were obtained at a density of 176 - 192 kg/m³ with a thermal conductivity coefficient of 0.048 - 0.053 W/(m·°C).

Keywords: reed, straw, thermal conductivity coefficient, density.

Введение. Значительным резервом для производства теплоизоляционных материалов в различных регионах мира является растительное сырье. В настоящее время в странах Европы особое внимание в технологиях получения теплоизоляционных материалов уделяется использованию отходов растительного происхождения. По происхождению можно выделить два основных источника растительного сырья в качестве структурообразующего материала для изготовления теплоизоляции. К первому источнику относятся отходы растениеводства, а ко второму растительные материалы природного происхождения.

Ряд исследователей [1 - 5] отмечает, что по теплоизоляционным свойствам растительные материалы, такие как конопля, пробковые отходы, древесные волокна, волокна и очесы льна, рисовая лузга, отходы хлопковых волокон могут успешно конкурировать с пенополистиролом и каменной ватой. В этой связи исследования, направленные на получение нового теплоизоляционного материала на основе растительного сырья, а также поиск нового экологиче-

ски безопасного вяжущего обеспечивающего снижение сорбционной влажности утеплителя являются весьма актуальными.

Основная часть. Структурообразующую смесь для теплоизоляционных плит формировали на основе измельченного стебля арундо тростникового (тростника гигантского) (рисунок 1). Наиболее часто встречается в южных регионах Европы (включая Португалию и Испанию), а также Турции. В высоту тростник может достигать 6 м, а в диаметре до 40 мм. Стебель тростника полый внутри и толщина стенки составляет 3 - 6 мм.

Вторым компонентом заполнителя при изготовлении теплоизоляционных плит являлась солома ржи, получаемая в больших объемах во многих регионах. Солома представляет собой сухие стебли, остающиеся после обмолота зерна.



Рисунок 1. – Арундо тростниковый (г. Лейрия, Португалия)

Очищенные от листьев, стволы тростника во влажном состоянии нарезали на цилиндры длиной 30-50 мм на ленточной пиле и загружали в шаровую мельницу. После измельчения влажную массу извлекали из шаровой мельницы и производили сушку частиц в сушильных камерах. Затем с использованием стальных сит выполняли фракционирование частиц тростника. Для переработки соломы использовали кормовой измельчитель.

В качестве вяжущего применяли натриевое жидкое стекло, производимое на ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (Беларусь) и отвечающее требованиям ГОСТ 13078. Известь и гипс использовали в виде модификаторов для снижения растворимости жидкого стекла.

Образцы утеплителей также формовали с применением сосновой канифоли, получаемой из живицы – смолянистого вещества, выделяемого хвойными деревьями при их механическом повреждении. В исследованиях использовали канифоль сосновую марки А производства ООО «СДС-Группа» (Россия). Канифоль применяли в виде тонкодисперсного порошка. Предварительно канифоль измельчалась и просеивалась через сито №0.315. В итоге получали светло-желтый порошок.

Коэффициент теплопроводности экспериментальных утеплителей измеряли согласно СТБ 1618 «Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» на образцах–плитах размером 250×250×30 мм.

В первой серии образцов заполнитель перемешивали с модифицированным жидким стеклом. Предварительно производили дозировку компонентов. В жидкое стекло вводили сначала известь и перемешивали до однородной консистенции, а затем добавляли гипс. Сырьевую

смесь равномерно укладывали в форму и подпрессовывали. Образцы выдерживали в форме 4 часа при температуре 20 ± 2 °С, а затем высушивали в течение 12 часов в сушильном шкафу при температуре 40 - 45 °С. После определяли среднюю плотность и теплопроводность плит.

Во второй серии структурообразующую смесь перемешивали с порошком канифоли и образцы плит выдерживали в сушильном шкафу при температуре 90°С.

Для определения массы образцов и сырьевых материалов использовали настольные электронные весы. Сушку сырьевых материалов и образцов теплоизоляционных плит производили в сушильном шкафу.

Предварительно проводились исследования структурообразующих материалов – тростника и соломы. Установлено, что наилучшие показатели коэффициента теплопроводности измельченного тростника равные 0,057 – 0,059 Вт/(м·°С) при плотности 139 – 144 кг/м³ обеспечивает измельченный тростник фракцией > 0,25-2,0 мм.

Замена части тростника измельченной соломой в виде мелких пластинок длиной 5-10 мм и шириной 1-2 мм обеспечило существенное снижение теплопроводности заполнителя. Наименьшие коэффициенты теплопроводности 0,045 и 0,046 Вт/(м·°С) по результатам испытаний получен при плотности 140 – 160 кг/м³. Более подробно данные исследования рассмотрены в работе [6].

В качестве связующего для изготовления образцов-плит использовали жидкое стекло. Вяжущее обладает хорошей адгезией к основаниям растительного происхождения. Кроме того, жидкое стекло безопасно для окружающей среды. Соотношение тростника и соломы принято 70:30 и 50:50. Расход смеси заполнителя на образец плиту составил 250 – 300 г. Жидкое стекло вводили в количестве 40 – 70 г по сухому веществу. Формовку образцов-плит размером 250×250×30 мм производили под давлением 0,02 МПа. Образцы выдерживали в форме 5-6 часов, затем извлекали и в течение 8-9 часов высушивали в камере при температуре 40-50 °С. На полученных образцах-плитах (рисунок 2) исследовали влияние расхода жидкого стекла и смеси заполнителя, соотношения компонентов заполнителя на теплопроводность и плотность.



Рисунок 2. – Тростниково-соломенная плита на жидком стекле

Результаты испытаний теплоизоляционного материала на основе тростника с добавлением соломы представлены в таблице 1. По результатам испытаний построены графики изменения коэффициента теплопроводности от расхода жидкого стекла (рисунки 3, 4). Установлено, что увеличение дозировки жидкого стекла с 40 г до 70 г приводит к увеличению коэффициента теплопроводности на 10 - 15 % и плотности на 12 -16 кг/м³.

Таблица 1. — Составы и свойства тростниковосоломенных плит на жидком стекле

№ состава	Масса образца, г	Соотношение тростника к соломе	Расход на образец-плиту			Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Состояние плиты
			заполнитель, г	жидкое стекло, г	вода, г			
1	340	70:30	300	40	510	185	0,057	Поверхностное шелушение Жесткая Жесткая
2	355	70:30	300	55	485	189	0,059	
3	355	70:30	300	70	455	197	0,064	
4	310	70:30	270	40	510	165	0,054	Слабосвязанная структура Слабосвязанная структура Поверхностное шелушение
5	325	70:30	270	55	485	176	0,057	
6	340	70:30	270	70	455	181	0,062	
7	290	70:30	250	40	510	155	0,061	Слабосвязанная структура Слабосвязанная структура Поверхностное шелушение
8	305	70:30	250	55	485	163	0,063	
9	320	70:30	250	70	455	170	0,068	
10	340	50:50	300	40	510	181	0,054	Поверхностное шелушение Жесткая Жесткая
11	355	50:50	300	55	485	189	0,056	
12	370	50:50	300	70	455	197	0,059	
13	310	50:50	270	40	510	165	0,051	Поверхностное шелушение Жесткая Жесткая
14	325	50:50	270	55	485	176	0,053	
15	310	50:50	270	70	455	181	0,057	

При соотношении тростника к соломе 70:30 наименьшие показатели теплопроводности получены на расходе заполнителя 270 и 300 г. Для составов 4, 5 коэффициенты теплопроводности составили 0,054 и 0,057 Вт/(м·°С) и является минимальными. Однако следует отметить слабосвязанную структуру образцов, что объясняется недостаточным количеством жидкого стекла. Плиты при незначительном усилии разрушались. При увеличении дозировки жидкого стекла (состав б) формировалась более прочная структура, но происходило поверхностное шелушение заполнителя. Кроме того, возрастал коэффициент теплопроводности плит на 15 %.

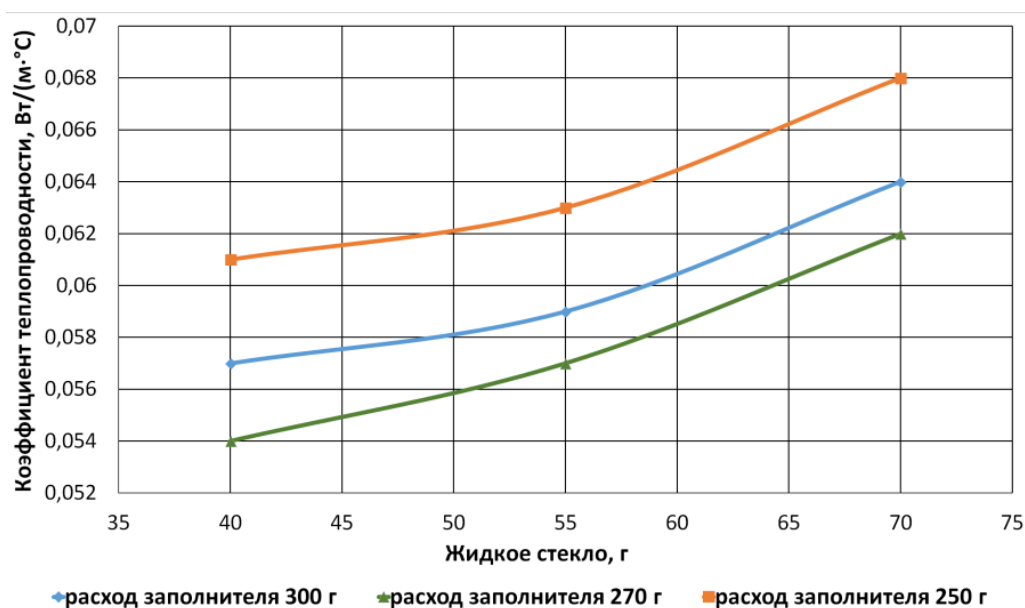


Рисунок 3. – Зависимость коэффициента теплопроводности от расхода жидкого стекла при соотношении тростника и соломы 70:30

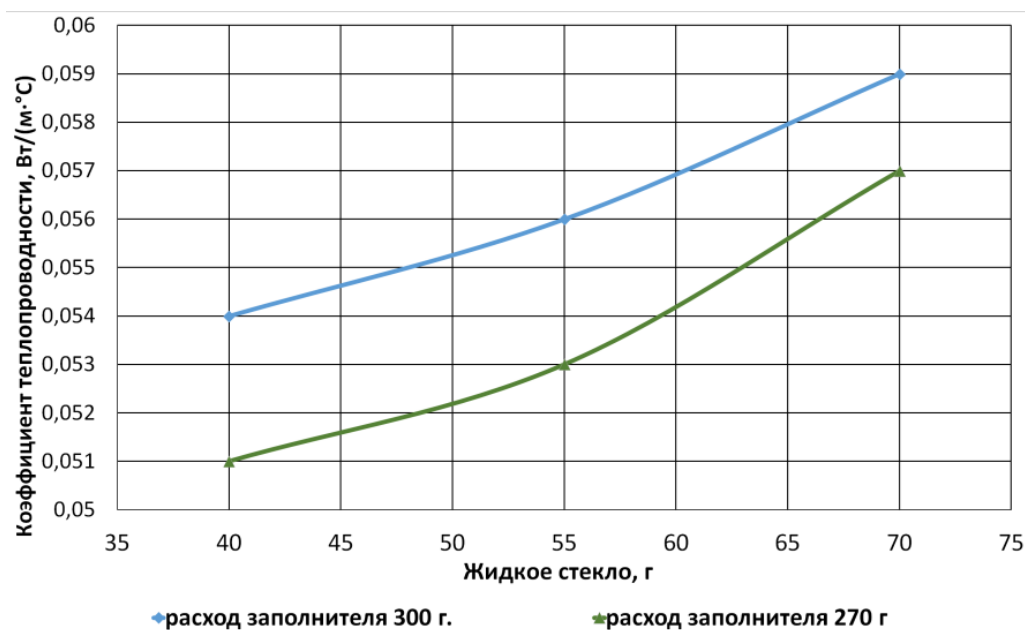


Рисунок 4. – Зависимость коэффициента теплопроводности от расхода жидкого стекла при соотношении тростника и соломы 50:50

Жесткие и прочные плиты получены при плотности 300 г (составы 2, 3). Коэффициент теплопроводности составов 2,3 в среднем на 12% превышает значения составов 4, 5.

Для понижения коэффициента теплопроводности в составах 10 – 15 увеличили расход измельченной соломы до 50% от общей массы. При расходе жидкого стекла в количестве 40 г на плитах составов 10 и 13 наблюдалось поверхностное шелушение при проведении ладонью по грани. На составах 11, 12, 14, 15 получены жесткие прочные плиты. Минимальный показатель теплопроводности 0,053 Вт/(м·°С) достигнут на образцах состава 14, что на 11% ниже показателей жестких плит состава 2.

Не смотря на достаточно низкий коэффициент теплопроводности плит состава 14 проведены дополнительные исследования по использованию в качестве вяжущего канифоли, получаемую из смолы сосны. Предварительно определены коэффициенты теплопроводности вяжущих для чего формовали плиты из жидкого стекла и канифоли. По результатам испытаний установлено, что коэффициент теплопроводности жидкого стекла в сухом состоянии равен 0,305 Вт/(м·°С), а коэффициент теплопроводности канифоли составил 0,102 Вт/(м·°С). Значительно более низкий показатель канифоли (в 3 раза меньше) позволяет прогнозировать снижение теплопроводности теплоизоляционных плит в случае применения данного вяжущего.

Исследования с применением канифоли проводили на составах с соотношением тростника и соломы 50:50. Расход порошка канифоли варьировали в пределах 30 – 120 г на образец плиты. Плотность плит изменялась от 160 до 208 кг/м³. Результаты исследований приведены в таблице 2. По полученным данным построены зависимости изменения коэффициента теплопроводности от расхода канифоли (рисунок 5).

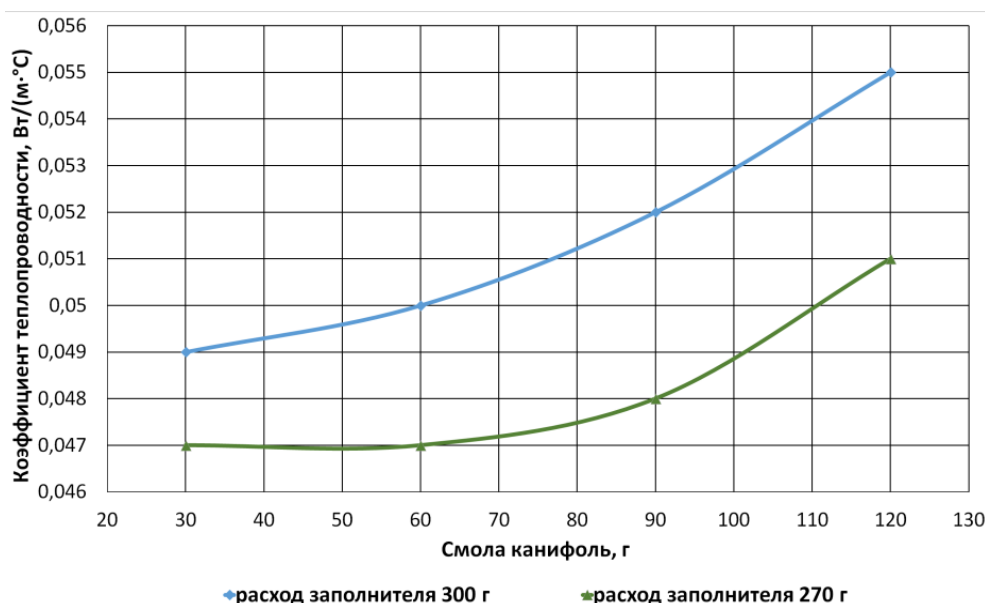


Рисунок 5. – Зависимость коэффициента теплопроводности от расхода канифоли

Повышение расхода канифоли способствует постепенному увеличению коэффициента теплопроводности. По причине низкой теплопроводности вяжущего при увеличении расхода канифоли в 4 раза с 30 до 120 г коэффициент теплопроводности образцов плит увеличивается только на 0,004 – 0,006 Вт/(м·°С).

Жесткие и прочные плиты отформованы на составах 3, 4, 6 – 8. Минимальный показатель теплопроводности 0,048 Вт/(м·°С) получен при расходе заполнителя 270 г и канифоли 90 г на плиту (состав 3). Теплопроводность состава 3 ниже на 10% показателя состава 14 и меньше на 19% показателя состава 2 (таблица 1).

Таблица 2. – Составы и свойства тростниково-соломенных плит на канифоли

№ состава	Расход на образец-плиту		Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Состояние плиты
	заполнитель, г	канифоль, г			
1	270	30	160	0,047	Слабосвязанная структура
2	270	60	176	0,047	Поверхностное шелушение
3	270	90	192	0,048	Жесткая
4	270	120	208	0,051	Жесткая
5	300	30	160	0,049	Слабосвязанная структура
6	300	60	176	0,05	Жесткая
7	300	90	192	0,052	Жесткая
8	300	120	208	0,055	Жесткая

Заключение. По результатам испытаний установлено, что коэффициент теплопроводности канифоли составляет 0,102 Вт/(м·°С), что в 3 раза ниже показателя жидкого стекла. Низкий коэффициент теплопроводности канифоли обуславливает перспективность использования как вяжущего материала для тепловой изоляции.

Использование жидкого стекла при введении измельченной соломы в количестве 50% от общей массы заполнителя позволяет получить жесткие тростниково-соломенные плиты плотностью 176 кг/м³ с показателем теплопроводности равным 0,053 Вт/(м·°С).

Низкий коэффициент теплопроводности тростниково-соломенного утеплителя равный 0,048 Вт/(м·°С) при плотности 192 кг/м³ удается достичь за счет оптимально подобранных фракций и соотношения заполнителей из измельченного тростника и соломы, а также применения в качестве вяжущего порошка канифоли.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Pennacchio, L. Savio, D. Bosia, F. Thiebat, G. Piccablotto, A. Patrucco, S. Fantucci, Fitness: Sheep-wool and Hemp Sustainable Insulation Panels, Energy Procedia. 111 (2017) 287–297. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.030.
2. C. Ingraio, A. Lo Giudice, J. Bacenetti, C. Tricase, G. Dotelli, M. Fiala, V. Siracusa, C. Mbohwa, Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 51 (2015) 29–42. doi:10.1016/j.rser.2015.06.002.
3. Plityteploizolyacionnyezvukopogloshchayushchie. Opytnayapartiya. Tekhnicheskiesloviya TU BY 391129716.001-2015. Vveden 27.07.2015. Orekhovsk. 2015. – 10 s.
4. C. Buratti, E. Belloni, E. Lascaro, F. Merli, P. Ricciardi, Rice husk panels for building applications: thermal, acoustic and environmental characterization and comparison with other innovative recycled waste materials, Constr. Build. Mater. 171 (2018) 338–349. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.03.089.
5. M. Rozyyev, Thermal insulation material using waste cotton production as a placeholder. European and National Dimension in Research, Technology: Electronic collected materials of XI Junior Researchers, Conference, Polotsk stage University. Novopolotsk, 2019. – pp. 64–66.
6. Гаспар Ф., Бакатович А., Бакатович Н., Петеренко И. Оценка эффективности структурообразующей композиции на основе тростника гигантского для производства теплоизоляционного материала // Электронный сборник статей Международной научной конференции «Актуальные проблемы архитектуры белорусского Подвинья и сопредельных регионов», г. Новополоцк, 26 - 27 ноября 2020 г. / Полоцкий государственный университет, 2020 - с. 181-186.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Одобрено и рекомендовано в качестве электронного издания
Советом инженерно-строительного факультета (протокол № 8 от 27.10.2021 г.)

Редакционная коллегия:

Д. Н. Лазовский (председатель), А. А. Бакатович, Е. Д. Лазовский,
Л. М. Парфенова, Ю. В. Вишнякова, Р. М. Платонова, Е. Г. Кремнева, А. М. Хаткевич

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

[Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-779-2.

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 г.*

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 978-985-531-779-2

©Полоцкий государственный университет, 2021

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
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Технический редактор *И. Н. Чапкевич*.

Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой, С. Е. Рясовой*.

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

Подписано к использованию 16.11.2021.

Объем издания: 13 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 736.

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>