

УДК 697.9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНОГО РЕКУПЕРАТИВНОГО
ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

С.В. Ланкович

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: s.lankovich@psu.by

В целях решения проблем энергоресурсосбережения предлагается исполнение экспериментального стенда для испытания воздухо-воздушного рекуперативного пластинчатого теплообменника, предназначенного для утилизации теплоты низкопотенциального вторичного возобновляемого энергоисточника вытяжного вентиляционного воздуха.

Ключевые слова: энергосбережение; рекуперация; модернизация; вторичные энергоисточники; экспериментальный стенд.

EXPERIMENTATION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES
IMPROVEMENTS TO THE AIR-TO-AIR RECUPERATIVE PLATE-TYPE HEAT-EXCHANGER

S. Lankovich

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: s.lankovich@psu.by

In order to solve the problems of energy saving, an experimental stand is proposed for testing an air-to-air recuperative plate-type heat exchanger designed to utilize the heat of a low-potential secondary renewable energy source of exhaust ventilation air.

Keywords: energy saving; recovery; modernization; secondary energy sources; experimental stand.

Введение. Для создания энергоресурсоэффективного устройства тепловой вентиляции с использованием вторичных и природных энергоресурсов с целью снижения материальных и энергетических затрат при строительстве и эксплуатации чердачных зданий с улучшенными качествами воздушной среды и комфортными условиями проживания предлагается схема экспериментального стенда, созданного с учётом геометрического подобия и масштабирования путём соотношения размеров модели и натуре, аэродинамического подобия за счёт равенства критериев Рейнольдса и тепломассообменных процессов при равенстве критериев Нуссельта для реальных условий и модели.

Основная часть. На рисунке 1 представлена схема экспериментального стенда, состоящего из герметичного помещения 1, пластинчатого теплоутилизатора 2 рекуперативного действия, канального вентилятора 3, подключенного в электросеть через автотрансформатор и который через вытяжной воздуховод 4 связан с атмосферой.

Теплоутилизатор 2 имеет шесть патрубков с фиксацией температуры. Один из патрубков через гибкий воздуховод соединен с канальным вентилятором, а тот в свою очередь с помещением 1.

Забор наружного воздуха осуществляется через воздухоприемное устройство в конструкции окна, соединенное с теплоутилизатором с помощью гибкого воздуховода.

В помещении 1 в качестве теплоисточника используется тепловой вентилятор 4.

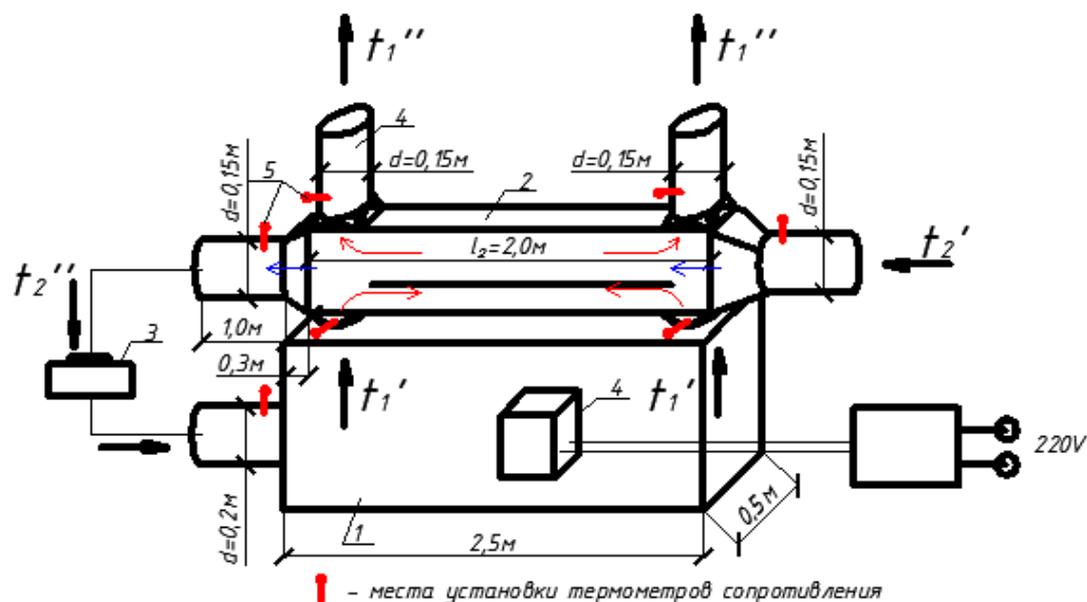


Рисунок 1. – Схема экспериментального стенда для испытания воздухо-воздушного рекуперативного пластинчатого теплообменника усовершенствованной конструкции с каналным вентилятором и компьютерной фиксацией параметров

Воздухообмен по притоку и вытяжке сбалансирован и составляет для газифицированных квартир с 4-х конфорочными бытовыми газовыми плитами в объеме нормативных значений: для кухни $L_k = 90$ м³/ч; для санузла и ванной $L_{сy} = L_v = 25$ м³/ч, а в сумме $L_{пр} = L_k + L_{сy} + L_v = 90 + 25 + 25 = 140$ м³/ч, согласно требований [5].

Температурный режим теплообменника с целью исключения инееобразования соответствует температурам греющего теплоносителя (вытяжного воздуха) $t_1' = +20^{\circ}\text{C}$; $t_1'' = +5^{\circ}\text{C}$, а для нагреваемого теплоносителя (наружного воздуха) $t_2' = -20^{\circ}\text{C}$; $t_2'' = -5^{\circ}\text{C}$.

С помощью последовательного интерфейса RS-232 через адаптер интерфейса AC2 осуществляется связь прибора УКТ38-Щ4-ТС с компьютером, на котором установлен пакет программ Owen Process Manager 1.x состоящий из двух подсистем:

Подсистема Owen Process Manager (OPR) – описывает технологический процесс и сохраняет эти описания на диске, предусматривает опрос прибора УКТ38-Щ4 с периодичностью, заданной для прибора, отображает результаты в главном окне системы и отражает полученные значения в файлы протоколов.

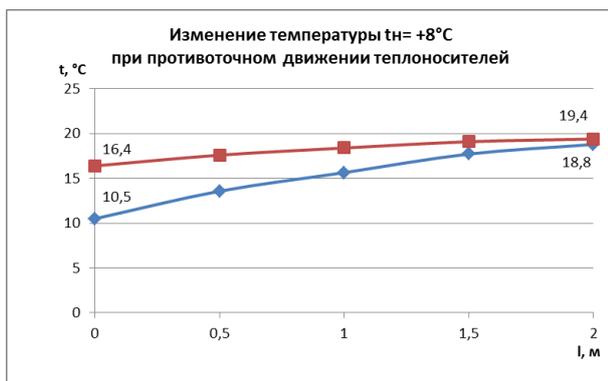
Подсистема Owen Report Viewer (ORV) – отображает сохраненную в архивных файлах информацию в виде таблиц и графиков.

Измерение скорости воздуха осуществляется с помощью термоанемометра testo-410.

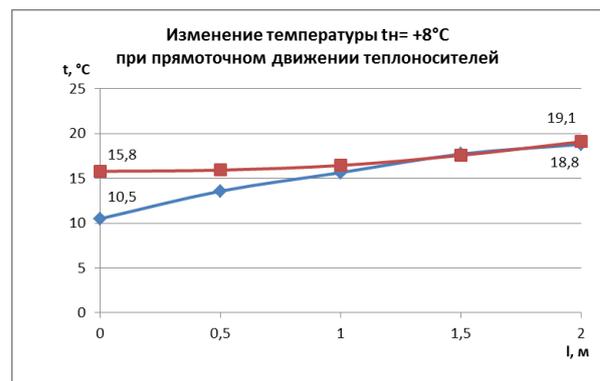
При экспериментальных исследованиях значение величины воздухообмена $L_{пр}$ изменяются за счёт изменения подачи напряжения на вентилятор с помощью автотрансформатора и регулирования положения дроссель-клапанов, установленных на патрубках теплоутилизатора. Температура воздуха зафиксирована в местах установки термометров сопротивления, согласно схеме на рисунке 1, подключенных к устройству для измерения и контроля температуры УКТ38-Щ4-ТС. Получены результаты измерений, представленные в таблице 1, на основании данных которой построены графики изменения температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при различных температурах наружного воздуха при противоточном и прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений.

Таблица 1. – Результаты исследования воздухо-воздушного рекуперативного пластинчатого теплообменника

t_n - температура наружного воздуха, °С;	t'_2 - температура приточного воздуха до теплоутилизатора, °С;	$t_{\text{пр}}$ - температура приточного воздуха после теплоутилизатора, °С;	t''_2 - температура приточного воздуха, подаваемого в помещение, °С;	t'_1 - температура вытяжного воздуха на входе в теплоутилизатор, °С (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	t''_1 - температура вытяжного воздуха на выходе из теплоутилизатора, °С (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	t'_1 - температура вытяжного воздуха на входе в теплоутилизатор, °С (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	t''_1 - температура вытяжного воздуха на выходе из теплоутилизатора, °С (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	Скорость воздуха на входе в помещение, м/с	Расход воздуха, м ³ /ч	Относительная влажность воздуха, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
+8	10,5	16,4	18,8	19,4	16,4	19,1	15,8	2,2	140	81
+5	10,1	16,5	19	19,6	16,6	19,3	16	2,2	140	82
0	5,5	17,6	19,9	20	16,8	20,2	16,6	2,2	140	73
-1,5	2,3	18,5	20	20	13,5	20	15,2	2,2	140	86
-20	-15	10,5	13	18	11,3	17,8	13	2,2	140	65



а)

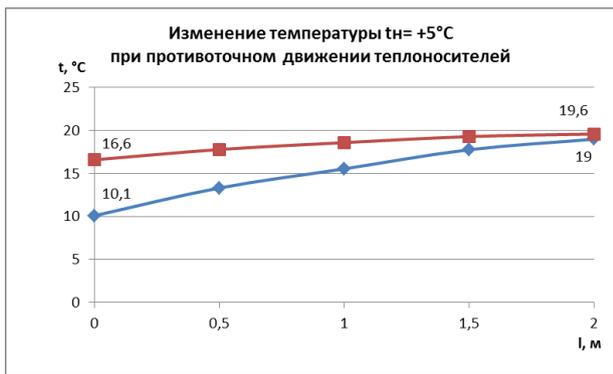


б)

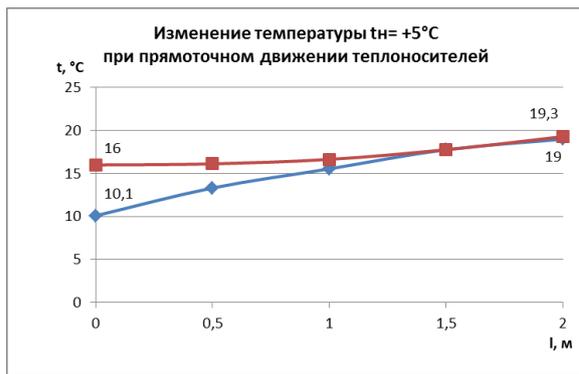
а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;

б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 2. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха $+8^\circ\text{C}$



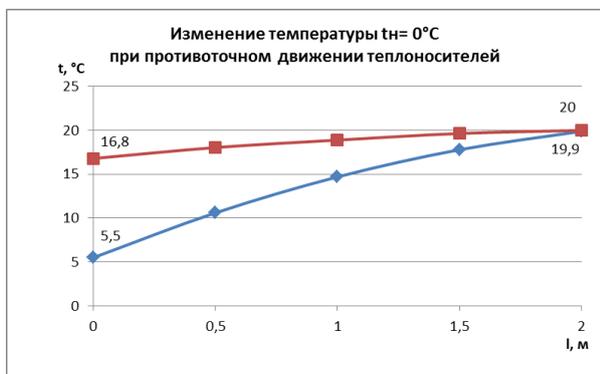
а)



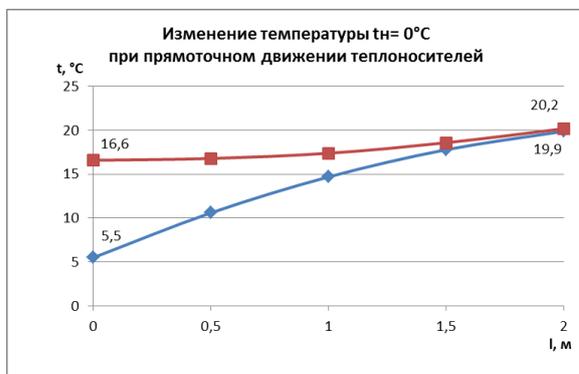
б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;
 б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 3. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха +5°C



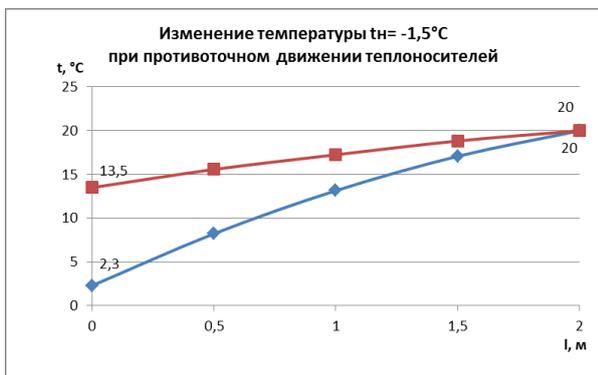
а)



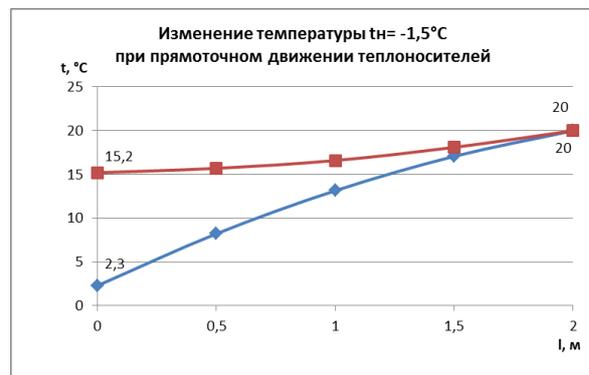
б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;
 б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 4. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха 0°C



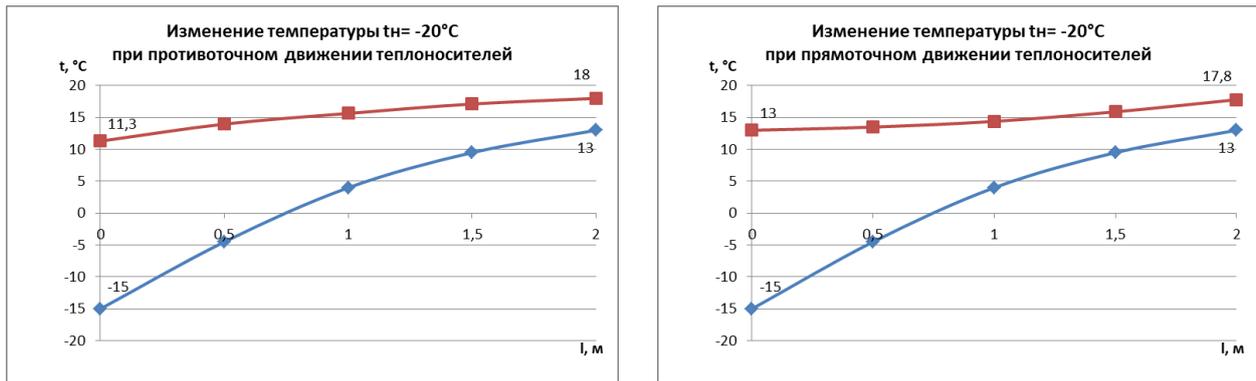
а)



б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;
 б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 5. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха -1,5°C



а)

б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;

б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 6. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха -20°C

На основании экспериментальных данных определили коэффициент эффективности исследуемого теплоутилизатора на примере температуры наружного воздуха $-1,5^{\circ}\text{C}$:

- при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений:

$$\eta_{\text{охл}} = \frac{t'_1 - t''_1}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 13,5}{20 - 9} = 0,59 = 59\% .$$

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 9}{20 - 9} = 1,0 = 100\%$$

- при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений:

$$\eta_{\text{охл}} = \frac{t'_1 - t''_1}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 15,2}{20 - 9} = 0,436 = 43,6\% .$$

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 9}{20 - 9} = 1,0 = 100\%$$

По Id-диаграмме при $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$ и $\phi=40\%$, температура точки росы $t_{\text{м.р.}}=7^{\circ}\text{C}$, т.е. $t_{\text{м.р.}} < t''_1$, что свидетельствует о том, что теплообмен проходит без конденсации в «сухом» режиме.

По построенным на рисунках 2-6 графикам, определим эффективность исследуемого теплоутилизатора через каждые 0,5м на примере температуры наружного воздуха $-1,5^{\circ}\text{C}$:

$$l=0,5\text{м}; \quad t''_2=12,5^{\circ}\text{C}; \quad t'_1=15,7^{\circ}\text{C}; \quad \eta_{\text{нагр}} = \frac{12,5 - 9}{15,7 - 9} = 0,52;$$

$$l=1,0\text{м}; \quad t''_2=15,8^{\circ}\text{C}; \quad t'_1=17,8^{\circ}\text{C}; \quad \eta_{\text{нагр}} = \frac{15,8 - 9}{17,8 - 9} = 0,77;$$

$$l=2,0\text{м}; \quad t''_2=20^{\circ}\text{C}; \quad t'_1=20^{\circ}\text{C}; \quad \eta_{\text{нагр}} = \frac{20 - 9}{20 - 9} = 1,0 .$$

Значения коэффициентов эффективности исследуемого теплоутилизатора при различных температурах наружного воздуха представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Значения коэффициентов эффективности исследуемого теплоутилизатора при различных температурах наружного воздуха

t_n - температура наружного воздуха, °C;	Коэффициент эффективности охлаждения, % (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)	Коэффициент эффективности нагрева, % (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)	Коэффициент эффективности охлаждения, % (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)	Коэффициент эффективности нагрева, % (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)
+8	33,7	93,3	38,4	96,5
+5	31,6	93,7	35,9	96,7
0	22,1	99,3	24,5	98,0
-1,5	36,7	100,0	27,1	100,0
-20	20,3	84,8	14,6	85,4

Заключение. Эффективность теплообменников заводского изготовления составляет около 60%. Полученное значение эффективности исследуемого теплоутилизатора выше эффективности теплообменников заводского изготовления, что свидетельствует о правильном выборе конструкции теплоутилизатора и его высокой энергоэффективности. Полученные данные позволяют судить о работе теплоутилизатора в холодный и переходный период года. Анализируя полученные значения, можно сделать вывод, что в переходный период года при использовании данного теплообменника температура на выходе из него достигает допустимых значений параметров микроклимата в помещении. В холодный период год догрев воздуха остается необходимым, но значительно снижается диапазон дополнительного нагрева, а следовательно, и расход энергетических ресурсов.

Из рассмотрения графиков, представленных на рисунках 2-6 можно сделать вывод, что температурный напор вдоль поверхности при прямотоке изменяется значительно, и среднее его значение меньше, чем при противотоке, поэтому, при прямотоке передается меньшее количество теплоты, чем при противотоке. Таким образом, с теплотехнической точки зрения следует отдавать предпочтение противотоку, если какие-либо другие причины (например, конструктивные) не заставляют применять схему прямотока.

ЛИТЕРАТУРА

- Ланкович С.В. Экспериментальный стенд для исследования оптимальных параметров эксплуатации теплоутилизаторов различного конструктивного исполнения / С.В. Ланкович, В.И. Липко // Материалы докладов 50-ой международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки, Т1, г. Витебск, 20 апреля 2017г. / Витебский государственный технологический университет; редкол. Кузнецов А.А. [и др.]. – Витебск, 2017. – С. 291-293.

2. Ланкович С.В. Конструктивно-технологические усовершенствования энергоэффективных зданий с технологическими чердаками с целью минимизации теплотребления от внешних энергоресурсов / С.В. Ланкович, В.И. Липко // Сборник «Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации» сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета. 2018. С. 392-398.
3. Ланкович С.В. Основы теории, расчёт и моделирование тепломассообменных процессов энергоэффективных систем тепловоздухоснабжения жилых чердачных зданий с пластинчатыми воздухо-воздушными теплоутилизаторами /С.В. Ланкович, В.И. Липко, К.Д. Никифорова // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания» 6-8 апреля 2016 г. с.234-241.
4. Ланкович С.В. Энергоресурсоэффективная технология тепловоздухоснабжения модернизированных жилых зданий с тёплыми чердаками с использованием вторичных и природных энергоисточников /С.В. Ланкович, В.И. Липко, К.Д. Никифорова // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкий государственный университет. Сер. Строительство. – Выпуск 14(84). – С. 182-183.– Электронный оптический диск–1 диск.
5. СН 3.02.01-2019 Жилые здания / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск. – 2020.

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

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, 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 09.11.2021.

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>