

УДК 69.04:697.841:624.971

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

В.В. Гринёв¹, А.Н. Пидложевич², А.С. Пузан³

^{1,2}Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

³Институт БелНИИС, Республика Беларусь

e-mail: vgv2222@mail.ru¹, aleksandr.pidlozhevich@gmail.com², a.puzan@eneca.by³

Наряду с проведением в Республике Беларусь дистанционного диагностирования ответственных мостов и путепроводов авторы настоящей работы предлагают внедрить дистанционный мониторинг дымовых труб стратегических объектов (ГРЭС, ТЭЦ, промышленные предприятия). Постановка цели, принятые алгоритмы соответствуют требованиям действующих норм проектирования и обслуживания. Проведенная работа выявила новые аспекты диагностирования дымовых труб.

Ключевые слова: дымовые трубы, дистанционный мониторинг, моделирование, остаточный ресурс, деформации.

DETERMINATION OF THE CONDITION OF THE OPERATED CHIMNEYS BY RESULTS OF REMOTE MONITORING

V. Griniov¹, A. Pidlozhevich², A. Puzan³

^{1,2}Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

³Institute BelNIIS RUE, Republic of Belarus

e-mail: vgv2222@mail.ru¹, aleksandr.pidlozhevich@gmail.com², a.puzan@eneca.by³

Along with conducting remote diagnostics of critical bridges and overpasses in the Republic of Belarus, the authors of this work propose the introduction of remote monitoring of chimneys of strategic facilities (state district power plants, thermal power plants, and industrial enterprises). Goal setting, adopted algorithms comply with the requirements of current design and maintenance standards. The work carried out revealed new aspects of chimney diagnostics.

Keywords: chimneys, remote monitoring, modeling, residual life, deformation.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь произошли существенные изменения в практике строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Возросли требования к их надежности и долговечности.

Развитие компьютерной техники и программного обеспечения, позволяет моделировать конструкции и воздействия на них. Удешевление производства новых поколений датчиков (тензометры, инклинометры, вибросчетные), позволяет применять их шире. Дистанционная передача данных о напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкций в режиме реального времени облегчает их анализ.

Дымовые трубы являются распространенными, ответственными и дорогостоящими инженерными сооружениями, работающими в чрезвычайно тяжелых условиях: под воздействием высоких ветровых нагрузок, перепадов температуры и агрессивных дымовых газов, движущихся внутри трубы. Высота труб варьируется от 20 м до 420 м. Самые высокие железобетонные трубы в Республике Беларусь находятся на Лукомльской ГРЭС, их высота составляет 250 м. От агрессивности среды значительно снижается расчетный срок службы дымовых труб. Учитывая, что их средний возраст эксплуатации превышает 50 лет (а в некоторых случаях гораздо больше), возникает необходимость диагностики и осмотра сооружений.

В последние годы отмечается резкое повышение количества дымовых труб, пришедших в аварийное состояние. Нестабильный режим эксплуатации и перевод электростанций и котельных на непроектные режимы эксплуатации (в основном с мазута на газообразное топливо), имевшие место в последние 15-20 лет привели к ускоренному разрушению конструкций дымовых труб.

Обследование дымовых труб и определение их остаточного ресурса является сложной и дорогостоящей работой с учетом короткого времени останова.

Организация непрерывного измерения динамики внутренних механических напряжений, позволит снизить уровень риска разрушения объекта в процессе эксплуатации за счет обнаружения отклонений параметров объекта от проектных значений на ранней стадии их возникновения.

Цель работы: усовершенствование методики определения напряженно-деформированного состояния дымовых труб и возможности использования беспроводных датчиков линейных перемещений.

Объект исследования — высотные дымовые трубы. Предмет исследования — НДС железобетонных кольцевых сечений.

Метод исследования: описательный, анализ, математический, методы определения напряжений материала по деформациям.

Основная часть. Для выявления изменений НДС конструкций в настоящее время используются динамические методы зондирования зданий и сооружений, основанные на измерении периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний зданий и сооружений. Для определения остаточного ресурса к вышеописанным методам необходимо добавить значения фактических напряжений от силовых воздействий.

Для проведения экспериментальных работ организацией ООО "Сенсотроника" были предоставлены датчики перемещения, модели IG-BLS-03. Для определения их возможностей поставленным целям, в лаборатории БНТУ были проведены экспериментальные испытания на опытных бетонных призмах (100x100x300) на сжатие.

Испытание на сжатие проводили на прессе (60 т) модели «Matest», наряду с беспроводными датчиками (Т1, Т2) для определения деформаций использовали механические (ИЧ1, ИЧ2) (рис.1).

Беспроводными датчики устанавливались с базой 130 мм, механические с базой 230 мм.

Результаты испытания оформлены в виде графиков зависимости «напряжение-относительное удлинение» представлены на рис. 2, 3.

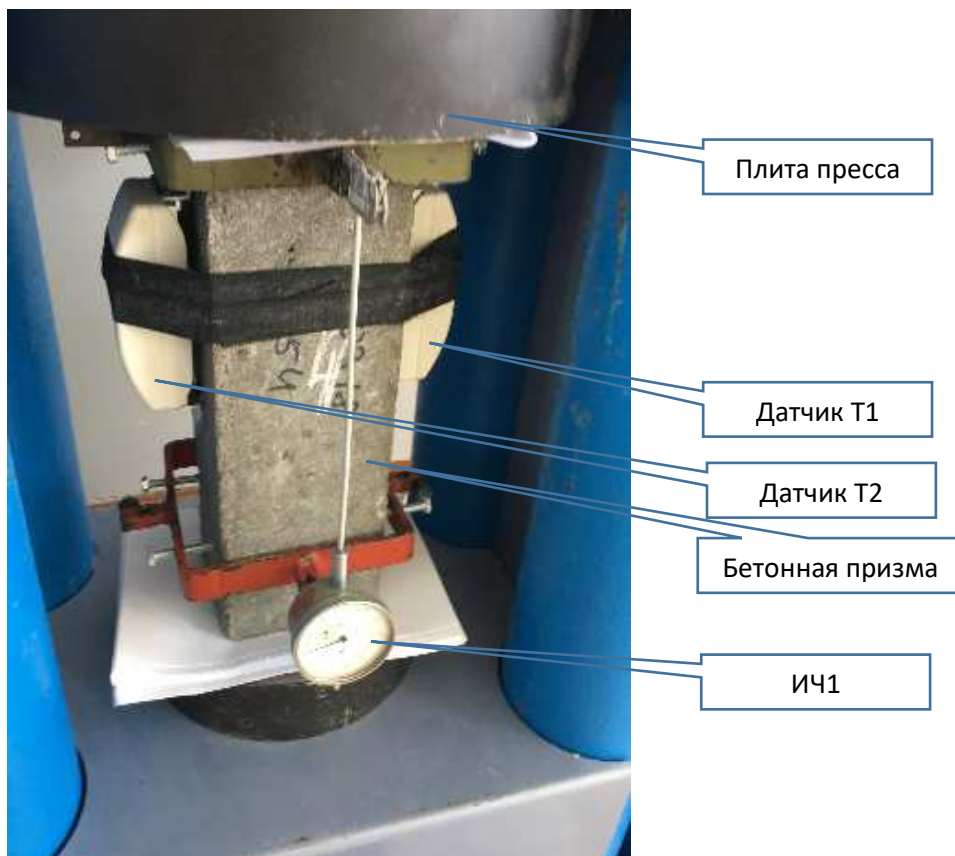


Рисунок 1. – Общий вид испытания

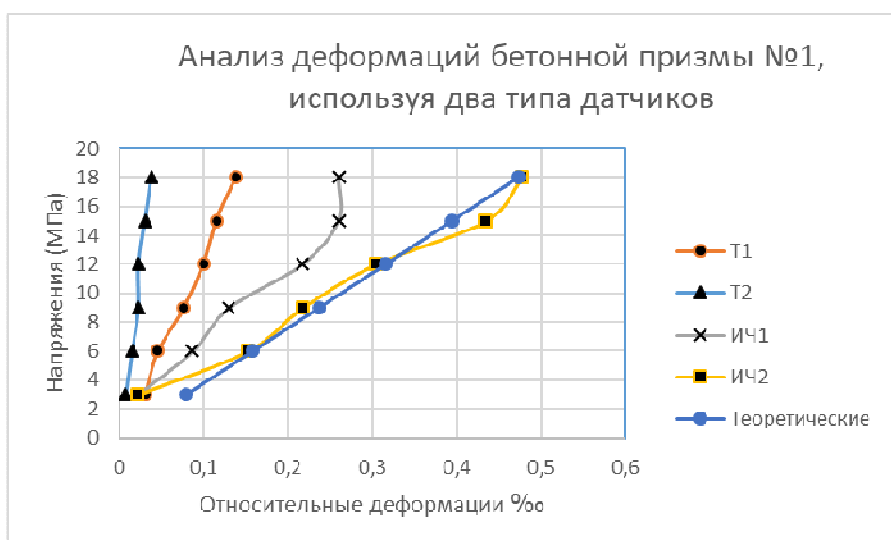


Рисунок 2. – Зависимость «напряжение - относительное удлинение» призмы №1 по показаниям:

Т1, Т2 – электронных тензометров; ИЧ1, ИЧ2 – механических тензометров;
 ТР – теоретически-расчетные значения

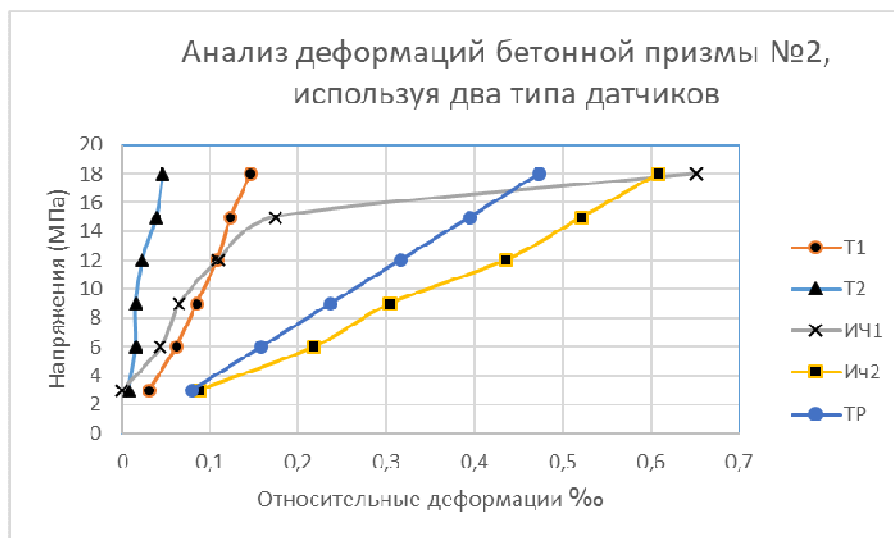


Рисунок 3. – Зависимость «напряжение - относительное удлинение» призмы №2

по показаниям:

T1, T2 – электронных тензометров; ИЧ1, ИЧ2 – механических тензометров;

ТР – теоретически-расчетные значения

Наряду с показаниями четырех приборов (Т1, Т2, ИЧ1, ИЧ2) на графике приведен теоретический участок (ТР) деформирования мелкозернистого бетона С30/37, с модулем упругости 30 ГПа.

Диапазон работы датчиков имел определенный разброс, связанный с небольшим уровнем нагружения и малым количеством испытаний (две призмы). Указанные недостатки будут устранены в последующих работах.

При точности датчиков «Т» в 1 мкм и возможностью снятия показаний в любом промежутке времени можно определять напряжения на поверхности бетона с достаточной точностью путём регулирования базы и количество показаний. При испытаниях призм частота снятия показаний составляла 10 с, с автоматической записью в файл.

При увязке показаний датчиков с показаниями цифрового анемометра, возможно анализировать механические напряжения в зависимости от времени порывов ветра.

Из всех климатологических воздействий решающим при проектировании высотных сооружений является ветровое. Расчетная ветровая нагрузка для высотных сооружений консольного типа определяется с учетом динамического воздействия пульсаций скоростного напора, вызываемых порывами ветра. Динамическая составляющая ветровой нагрузки к статическому действию скоростного напора является следствием инерционных сил, возникающих при горизонтальных колебаниях сооружения, и зависит от интенсивности и спектрального состава пульсации скоростного напора и от периодов и форм собственных колебаний сооружения. Динамическая составляющая, вызываемая пульсациями скоростного напора, должна учитываться при расчете сооружений с периодом собственных колебаний более 0,25 сек (дымовых труб, мачт, башен, опор линий электропередачи) /3, 5, 8/.

Для уточнения НДС при ветровых воздействиях были выполнены ряд работ /1, 4, 6, 7/, по определению напряжений по наружной поверхности дымовых труб.

В качестве исходных данных для разработки объемной модели и сбора ветровой нагрузки, использовался типовой проект дымовой трубы.

Вся модель (рис. 4.) представлена объемными конечными элементами типа «КЭ 36» (универсальные пространственные восьмиузловые изопараметрические конечные элементы).

Данный тип конечных элементов предназначен для прочностного расчета континуальных объектов и массивных пространственных конструкций.

Местные оси КЭ направлены следующим образом:

X1 — вертикально вверх (на рисунке обозначены стрелками зеленого цвета);

Y1 — радиально от центра (на рисунке обозначены стрелками синего цвета);

Z1 — по касательной к окружности, соответствующей кольцевому сечению (на рисунке обозначены стрелками красного цвета) рис. 5.

Конечные элементы по форме и габаритам приближены к кубам стороной 200 мм. По толщине стенки ствола располагаются от двух до четырех КЭ 36.

Для бетона приняты следующие характеристики:

$$E = 30 \text{ ГПа}; \nu = 0.2; \rho = 2500 \text{ кг/м}^3.$$

Ветровая нагрузка на дымовые трубы определяется как сумма средней (статической) и пульсационной (динамической) составляющих, для сбора ветровой нагрузки принято значение базовой скорости ветра 24 м/с.

По результатам анализа определён диапазон напряжений 0.3...0.67 МПа, с учетом ослаблений ствола проемами рис. 6. Указанный диапазон напряжений диагностируется при использовании датчиков с точностью измерения 1 мкм при базе 300...500 мм, при перепрограммировании датчика до точности 0.5 мкм базу можно уменьшить.

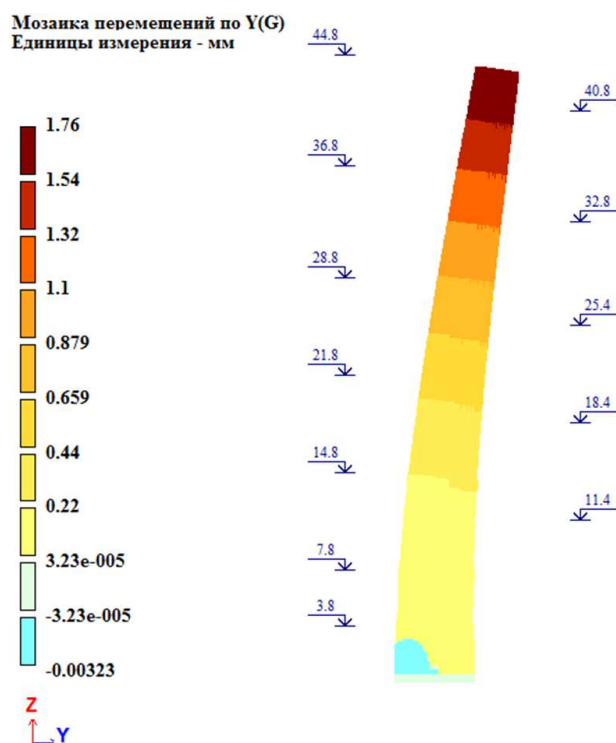


Рисунок 4. – Расчетная схема дымовой трубы с мозаикой перемещений

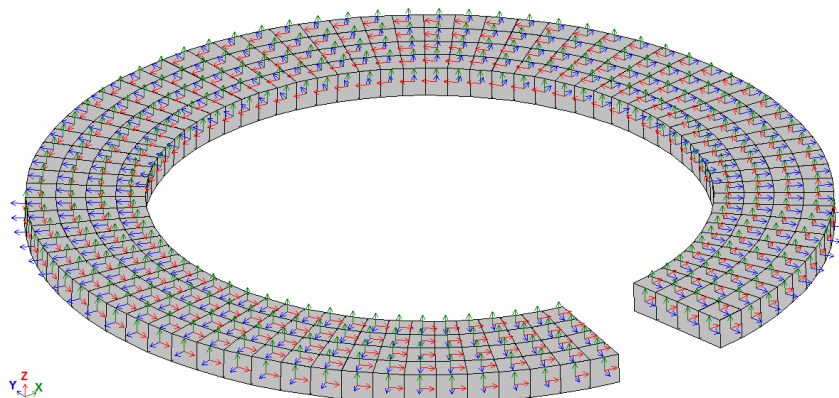


Рисунок 5. – Поперечный разрез дымовой трубы на участке входа газохода, с указанием местных осей в объемных КЭ

Изополя напряжений по Nx
Единицы измерения - МПа

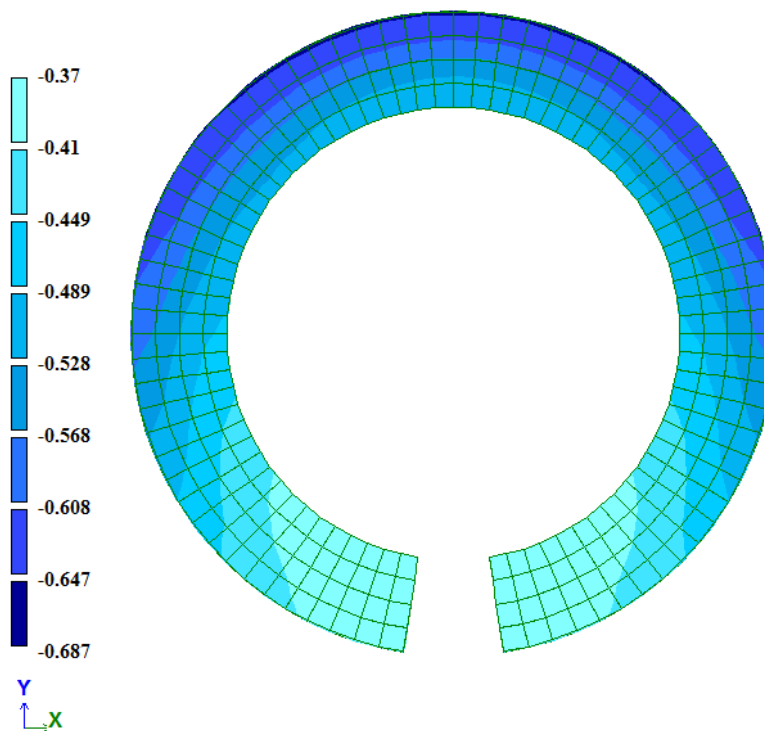


Рисунок 6. – Распределение напряжений с указанием их значений

Выводы:

1. Точность датчиков и их программное обеспечение позволяет дистанционно проводить анализ напряжений в оболочке трубы от внешних воздействий.
2. Разброс показаний на графиках деформирования рис. 2, 3 указывает на необходимость точной калибровки как механических, так и электронных датчиков перемещения. Для статистической обработки необходимо выполнение большего количества испытаний.

3. Результаты, полученные по расчету конечно-элементной твердотельной модели необходимо подтвердить натурными исследованиями.

4. Комплексный анализ: деформаций оболочки, прогибов и частот колебаний за определенный период (1...2 года) позволит с большой степенью вероятности определить остаточный прочностной ресурс дымовой трубы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузан, А. С. Напряженно-деформированное состояние каменной кладки кольцевых сечений: дис. ... маг. тех. наук: 1-70 80 01 / А.С. Пузан. – Минск, 2016. – 69 с.
2. Пидложевич, А. Н. Расчет высотных сооружений на внешние воздействия: дис. ... маг. тех. наук: 1-70 80 01 / А. Н. Пидложевич. – Минск, 2017. – 80 с.
3. Дымовые трубы / А.М. Ельшин [и др.]; под общ. ред. С.В. Сатьянова. – Москва: Стройиздат, 2001.
4. Корсун, В.И., Виноградова, Т.Н., Калмыков, Ю.Ю., Волков, А.С. Сопоставительный анализ результатов расчетов ствола дымовой трубы $n=250$ м на действие ветровой нагрузки // Современное промышленное и гражданское строительство. – Том 6, N1. – 2010. – С. 5-13.
5. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. – Москва, 1978. – 216 с.
6. Pallarés, F.J., Ivorra, S., Adam, J. M. (2009) Monitoring masonry chimneys with operational modal análisis: 3rd International Operational Modal Analysis Conference. (IOMAC 2009). Ed. Starrylink Editrice, pp. 401-407.
7. Vermeltoort, A.T. (2005) Preservation and stability of industrial masonry chimneys. Structural Analysis of Historical Constructions - Modena, Lourenço & Roca (eds). Taylor & Francis Group, London, pp. 1413-1420.
8. Симиу, Э., Сканлан, Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / Пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецово́й; Под ред. Б.Е. Маслова. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с., ил. – Перевод. Изд.: Wind Effects on Structures / E. Simiu, R. Scanlan (1978).

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

Об издании – [1](#), [2](#)

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>