

УДК 624.971

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ СОХРАНЕНИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

**А.О. Попов<sup>1</sup>, И.Н. Гарькин<sup>2</sup>, Л.С. Сабитов<sup>1,3</sup>, Б.М. Языев<sup>3</sup>, Э.Ю. Абдуллазянов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань (Российская Федерация)

<sup>2</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», г. Пенза (Российская Федерация)

<sup>3</sup> Казанский государственный энергетический университет, г. Казань (Российская Федерация)

**Аннотация.** Сохранение объектов культурного наследия приоритетное направление укрепления культурной идентичности нашей страны. Технически эта задача является сложной в инженерном и архитектурном отношении. Сложность её возрастает в зависимости от статуса объекта. Естественно, наиболее значимые и сложные объекты являются объектами культурного наследия федерального значения. Для их сохранности требуется применять самые передовые технологии и инструменты. В настоящей работе рассмотрим использование программного комплекса Plaxis для создания моделей оснований и фундаментов объекта культурного наследия федерального значения «Конюшенное ведомство г. Санкт-Петербург». Доказывается, что лишь при использовании подобных программ можно достичь наиболее объективной картины состояния конструкций (в конкретном случае фундаментов) подобных объектов. Статья написана на основе выполненной научно-исследовательской работы.

**Ключевые слова:** объект культурного значения, строительные конструкции, основания, фундаменты, аналитические методы, техническая экспертиза, обследование, сохранение культурного наследия.

**Ссылка для цитирования:** Попов А.О., Гарькин И.Н., Сабитов Л.С., Языев Б.М., Абдуллазянов Э.Ю. Использование численных методов при сохранении объектов культурного наследия // Инженерные исследования. 2023. №5 (15). С. 28-34. EDN: YSHKVQ

## USING NUMERICAL METHODS IN THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

**A.O. Popov<sup>1</sup>, I.N. Garkin<sup>2</sup>, L.S. Sabitov<sup>1,3</sup>, B.M. Yaziev<sup>3</sup>, E.Yu. Abdullazyanov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan (Russian Federation),

<sup>2</sup> Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University), Penza (Russian Federation),

<sup>3</sup> Kazan State Energy University, Kazan (Russian Federation)

**Abstract.** Preservation of cultural heritage sites is a priority direction for strengthening the cultural identity of our country. Technically, this task is complex in engineering and architectural terms. Its complexity increases depending on the status of the object. Naturally, the most significant and complex objects are objects of cultural heritage of federal significance. To preserve them, it is necessary to use the most advanced technologies and tools. In this work, we will consider the use of the Plaxis software package to create models of foundations and foundations of a cultural heritage site of federal significance "Stables Department of St. Petersburg". It is proven that only by using such programs can one achieve the most objective picture of the state of structures (in the specific case of foundations) of such objects. The article is written on the basis of completed research work.

**Keywords:** object of cultural significance, building structures, bases, foundations, analytical methods, technical expertise, survey, preservation of cultural heritage.

**For citation:** Popov A.O., Garkin I.N., Sabitov L.S., Yaziev B.M., Abdullazyanov E.Yu. Using numerical methods in the preservation of cultural heritage objects // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.5 (15). Pp. 28-34. EDN: YSHKVQ

## ВВЕДЕНИЕ

Результаты комплексных научных исследований и описания объектов исследований приведем на наиболее сложных и интересных объектах основания, которых устроены с использованием свайных фундаментов [1-10]. Свайные основания использовались как для устройства основания зданий, так и для основания набережных и подпорных стен. Результаты комплексных исследований проведем на примере объектов культурного наследия федерального значения, обеспечение сохранности которого не вызывает сомнения, а именно «Конюшенное ведомство г. Санкт-Петербург» с прилегающей набережной р. Мойка.

## ОПИСАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТОВ ПО ОБЪЕКТУ

Конюшенное ведомство г. Санкт-Петербург (рис.1) является объектом культурного наследия федерального значения, строительство проводил арх. Н.Ф. Гербель 1720-1723гг. Перестройка здания проводилась под руководством арх. В.П. Стасова и ск. В.И. Демут-Малиновского в период с 1817-1823 гг.

Фрагмент комплекса вблизи набережной р. Мойка представляет собой прямоугольное в плане, состоящее из двух двусветных галерей, соединенных между собой павильоном, через который осуществляется проезд во внутренний закрытый двор. В плане павильон сложное многоярусное сооружение. Основной объем занимает двусветный зал, перекрытый кирпичным купольным сводом, который опирается на массивные кирпичные пилоны. Вблизи здания располагается р. Мойка и ее облицованная в гранит набережная.

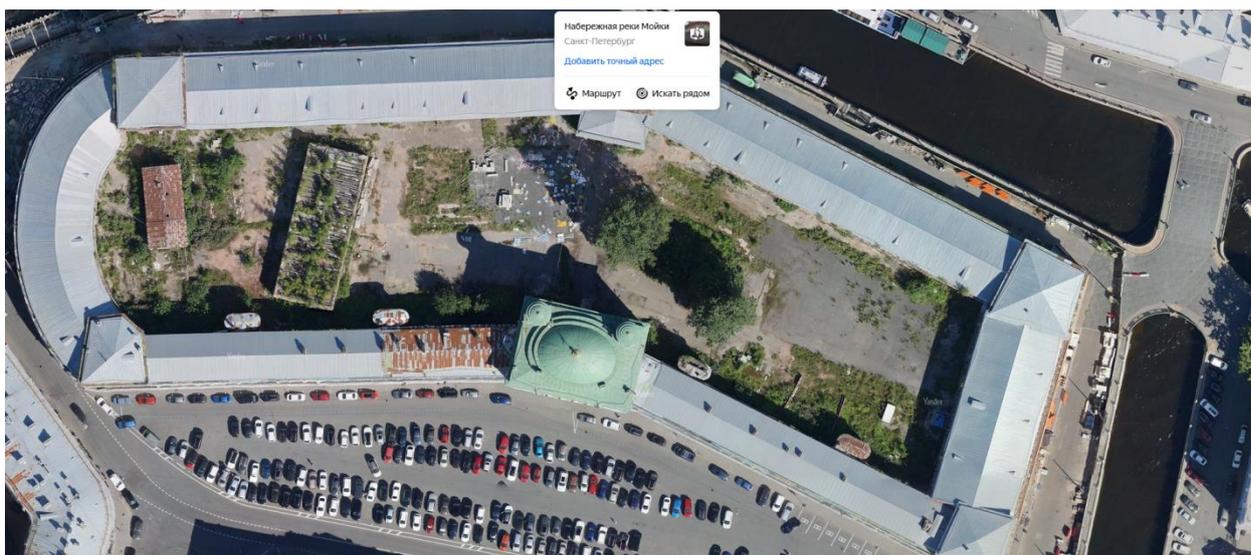


Рис. 1. Конюшенное ведомство с обозначением набережной р.Мойка  
Fig. 1. Konyushenny Department with the designation of the Moika River embankment

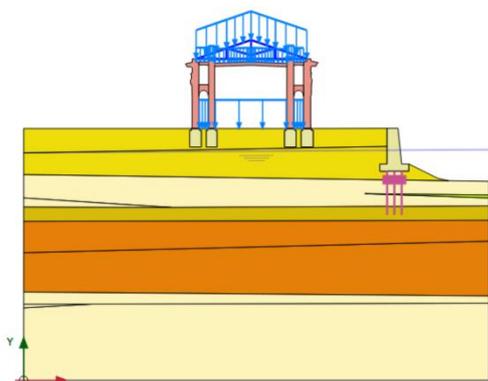


Рис.2. Расчетная схема в 2д постановке  
Fig.2. Design diagram in 2D setting

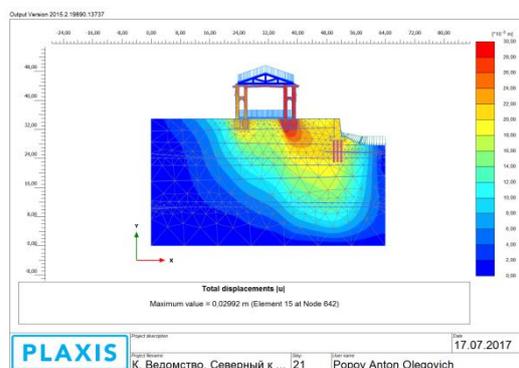
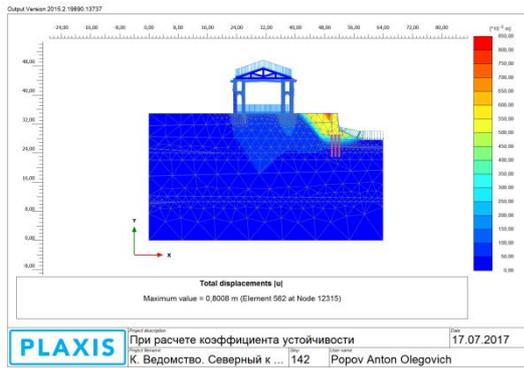
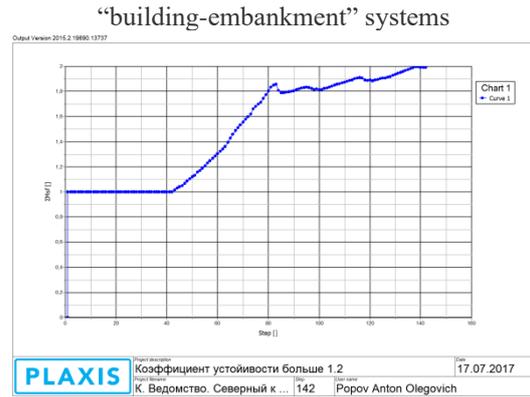


Рис. 3. Изополя общих перемещений показывают систему «строение-набережная»  
Fig.3 Isopleths of general displacements show the



**Рис. 4.** Наиболее вероятная форма потери устойчивости показывает, что здание конюшенного ведомства не оказывает влияние на устойчивость набережной

**Fig.4** The most probable form of loss of stability shows that the building of the stable department does not affect the stability of the embankment



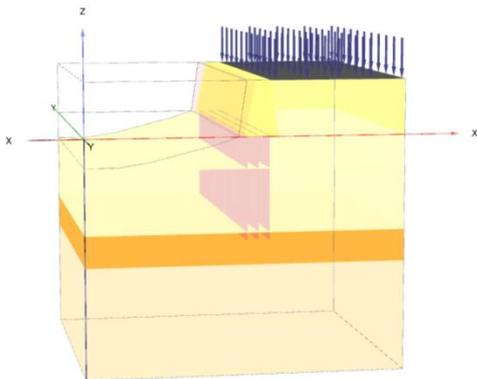
**Рис. 5.** График-зависимость коэффициента устойчивости системы показывает, что коэффициент устойчивости склона не менее 1,9, что больше значения регламентированного п.5.2.2.

СП 116.13330 [Kst] = 1,0

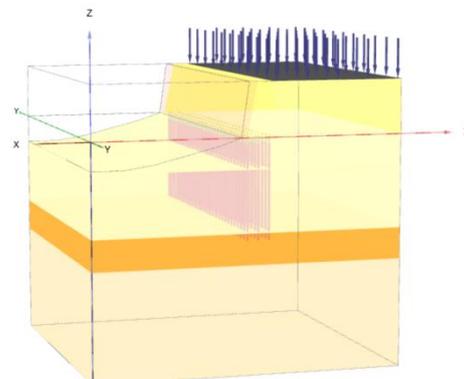
**Fig.5.** The dependence graph of the system stability coefficient shows that the slope stability coefficient is at least 1.9, which is greater than the value regulated in clause 5.2.2. SP 116.13330 [Kst] = 1.0

При разработке раздела проектной документации комплексные научные исследования одной в качестве одной из задач по обеспечению сохранности был поставлен вопрос о влиянии здания Конюшенного ведомства на конструкцию набережной, а также прогноз повреждения оголовков свай на общую устойчивость системы. Решение поставленной задачи было получено методом конечных элементов в 2д и 3д постановке и показано на рис. 2. – рис. 12.

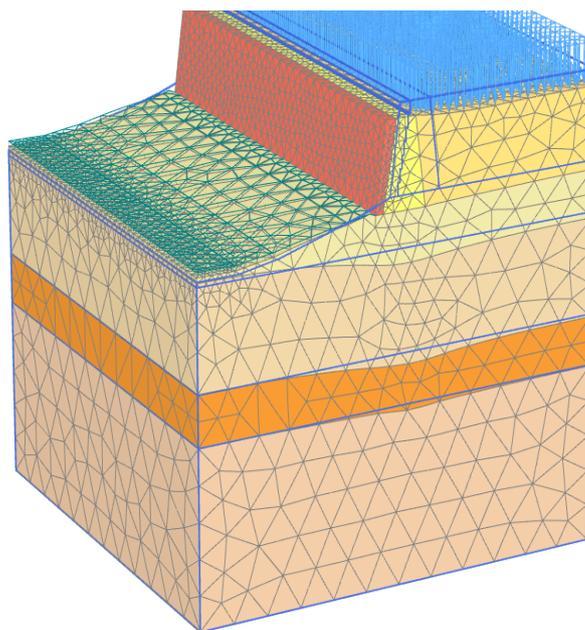
Дальнейшее решение задачи сводится к проверке несущей способности и устойчивости конструкции набережной р.Мойка и влияние утраты оголовков свай на устойчивость равновесной системы рис. 6 – рис. 12.



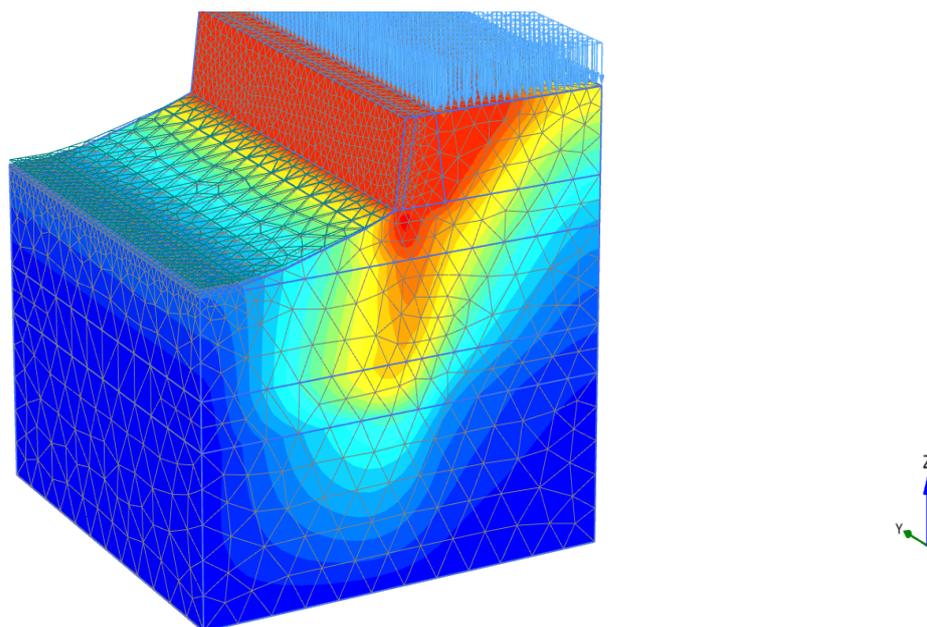
**Рис. 6.** Расчетная схема устойчивости набережной р.Мойка до утраты оголовков свай  
**Fig.6.** Calculation diagram of the stability of the Moika River embankment before the loss of pile heads



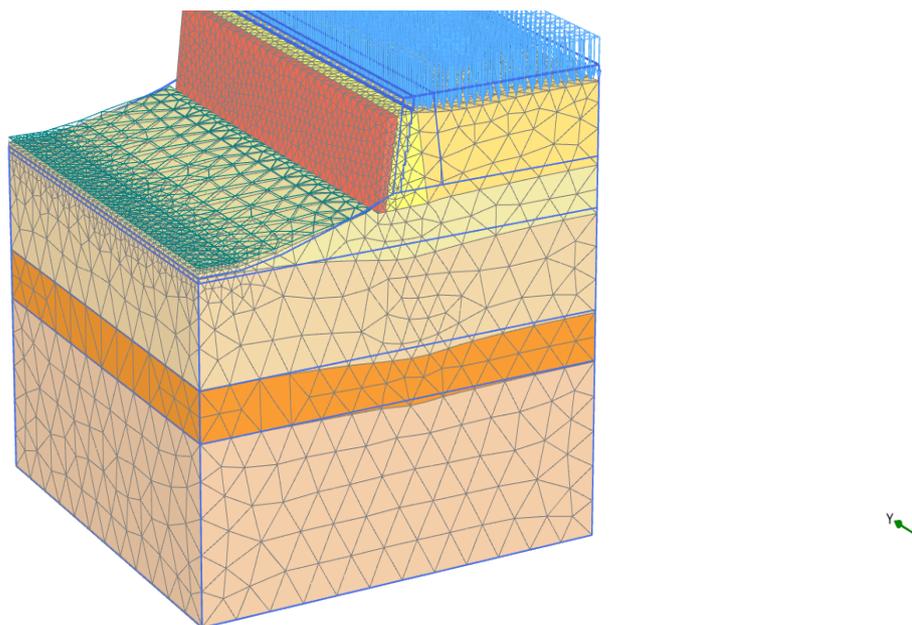
**Рис. 7.** Расчетная схема устойчивости набережной р.Мойка на этапе утраты оголовков свай  
**Fig.7.** Calculation diagram of the stability of the river embankment. Washing at the stage of loss of pile heads



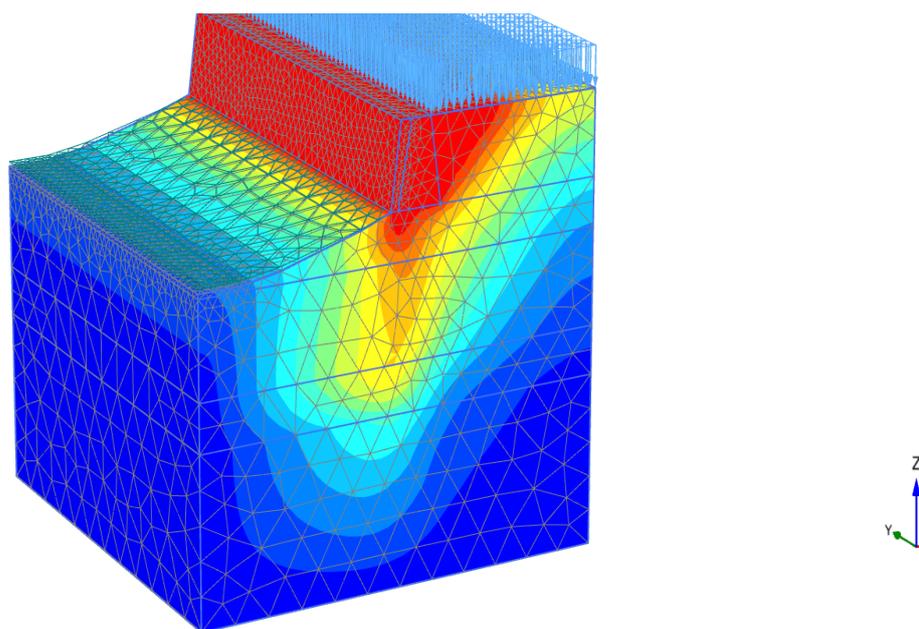
**Рис. 8.** Деформированная схема до этапа утраты оголовков  
**Fig.8.** Deformed diagram before the stage of loss of heads



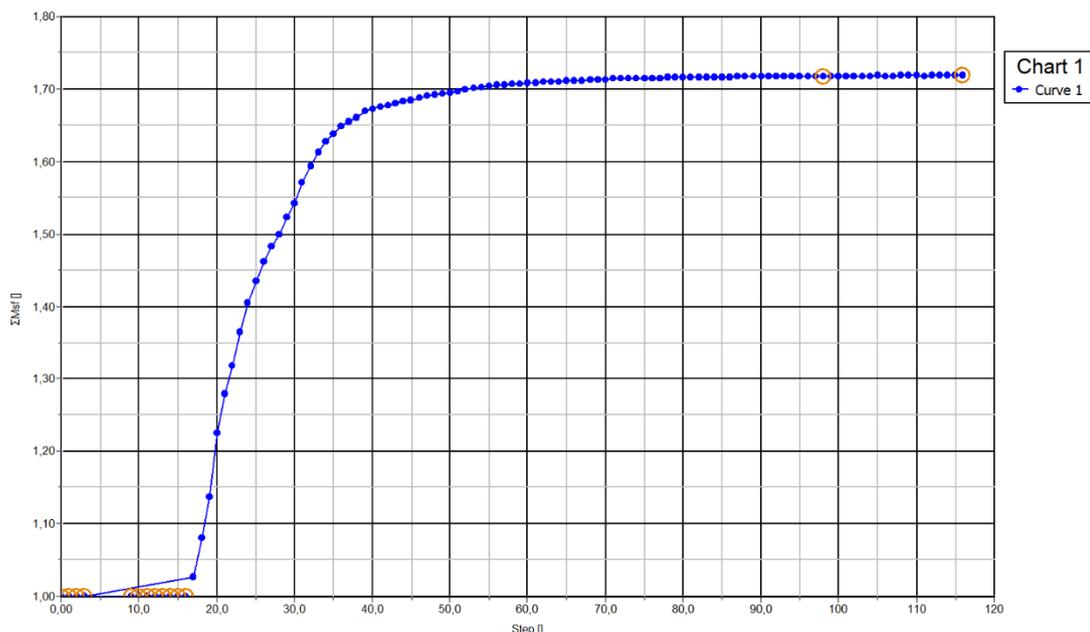
**Рис. 9.** Изополя перемещений до этапа утраты оголовков  
**Fig.9.** Isofields of displacements before the stage of loss of heads



**Рис. 10.** Деформированная схема на этапе утраты оголовков  
**Fig. 10.** Deformed diagram at the stage of loss of heads



**Рис. 11.** Изополя перемещений на этапе утраты оголовков  
**Fig.11.** Displacement isofields at the stage of loss of heads



**Рис. 12.** График-зависимость коэффициента устойчивости системы показывает, что коэффициент устойчивости набережной не менее 1,7, с учетом отсутствия оголовков свай, что больше значения регламентированного п.5.2.2. СП 116.13330 [Kst] = 1,0

**Fig.12.** The dependence graph of the system stability coefficient shows that the embankment stability coefficient is at least 1.7, taking into account the absence of pile heads, which is greater than the value regulated in clause 5.2.2. SP 116.13330 [Kst] = 1.0

По результатам поверочных расчетов выявлено, что утрата оголовков свай приведет к дополнительным перемещениям до 3 мм, что много меньше регламентированных значений, указанных в рекомендуемом приложении Е СП 22.13330.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение расчетного программного комплекса Plaxis может давать наиболее объективную картину состояния оснований и фундаментов сложных в инженерном отношении объектов, к которым относятся объекты культурного наследия «Конюшенное ведомство г. Санкт-Петербург».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирхасанов Р.Ф., Сабитов Л.С., Гарькин И.Н. От «чугунной архитектуры» к металлическому каркасу // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 1(54). С. 178-185
2. Макаревич Е.А., Селютина Л.Ф. Объект истории архитектуры и культурного наследия: часовня Николая Чудотворца в Мелойгубе (Республика Карелия) // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 2(51). С. 175-183.
3. Каракова Т.В., Данилова А.В. Художественная перфорация как инструмент формообразования архитектуры общественного здания в контексте эмерджентности системы // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1 (46). С. 211-219
4. Соловьев Д.Б., Коптилова В.Г., Катюк Д.П., Пирус А.В., Григорюк В.А., Крылова А.И. Сравнение эффективности использования технологий BIM и CAD с помощью математической модели // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 1. С. 18 – 26.
5. Селютина Л.Ф., Ратькова Е.И., Корнеев А.А. Анализ состояния и возможностей сохранения объекта культурного наследия в Повенце // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 1(54). С. 186-195.
6. Шеина С.Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/nby2021/7037
7. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Experimental studies on High Strength Concrete by Using Recycled Coarse aggregate // Research Inventy: International Journal of Engineering and Science. 2014. Vol. 4. No. 1. P. 27 – 36.
8. Маилян Л.Р., Языев С.Б., Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Напряженно деформированное состояние системы «комбинированная башня – железобетонный фундамент – грунт основания» высотных сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 6. С. 29 – 37.

9. Ведяков И.И., Гукова М.И., Фарфель М.И., Кондрашов Д.В., Яровой С.Н. Обследование конструкций зданий и сооружений завода ОАО «Тагмет» // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 1 (246). С. 58-64.

10. Саденко Д.С., Гарькин И.Н., Маилян Л.Р., Сабитов Л.С. Виброметрические методы диагностики строительных конструкций // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. № 3 (59). С. 175-189.

## ОБ АВТОРАХ

**Антон Олегович Попов** – к.т.н., Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ). 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18. E-mail: a.o.popov@list.ru

**Игорь Николаевич Гарькин** – к.т.н, к.и.н, заведующий кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях» (ЗЧС). Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет). 440039, Россия, Пензенская область, г. Пенза, ул. Гагарина, д. 11а, к. 12. E-mail: igor\_garkin@mail.ru

**Линар Салихзанович Сабитов** – д.т.н., профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений», Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ). 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д.51. Профессор кафедры «Конструктивно-дизайнерское проектирование», Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ). 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

**Батыр Меретович Языев** – д.т.н., профессор. Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ). 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18. E-mail: ps62@yandex.ru

**Эдвард Юнусович Абдуллазянов** – к.т.н., доцент, ректор КГЭУ. Лауреат премии правительства в области науки и техники РФ. Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ). 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51. E-mail: kgeu@kgeu.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Anton O. Popov** – Candidate of Technical Sciences. Kazan (Volga Region) Federal University (KFU). 420008, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Kremlyovskaya st., 18. E-mail: a.o.popov@list.ru

**Igor N. Garkin** – Candidate of Technical Sciences, Candidate of Historical Sciences, Head of the department of «Protection in Emergency Situations» (EPS). Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University). 440039, Russia, Penza region, Penza, Gagarina st., 11a, bldg. 12. E-mail: igor\_garkin@mail.ru

**Linar S. Sabitov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Construction of Buildings and Structures. Kazan State Energy University (KSPEU). 420066, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya st., 51. Professor of the Department of Structural Design. Kazan (Volga Region) Federal University (KFU). 420008, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Kremlyovskaya st., 18. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

**Batyr M. Yazyev** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan (Volga Region) Federal University (KFU). 420008, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Kremlyovskaya st., 18. E-mail: ps62@yandex.ru

**Edward Yu. Abdullazyanov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Laureate of the Government Prize in the field of science and technology of the Russian Federation, Rector of the KSPEU. Kazan State Energy University (KSPEU). 420066, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya st., 51. E-mail: kgeu@kgeu.ru