

УДК 624.971

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

А.О. Попов<sup>1</sup>, И.Н. Гарькин<sup>2</sup>, Л.С. Сабитов<sup>1,3</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.** В работе авторами показано решение сложной опытно-конструкторской работы в рамках проведения противоаварийных мероприятий на объекте историко-культурного наследия «Архитектурный комплекс «Вовнушки» с использованием технологий информационного моделирования. В рамках разработки проекта первоочередных противоаварийных мероприятий получено решение по разработке комплексных научных исследований и разработке конструктивных решений по усилению. Доказывается, что лишь использования программно-вычислительных комплексов (в данном случае PLAXIS) может дать объективную картину состояния объекта, и в дальнейшем, только с помощью технологий информационного моделирования, возможно выработать наиболее оптимальный вариант проект сохранения объекта культурного наследия. Статья написана на основе выполненной научно-исследовательской работы по сохранению объекта культурного наследия федерального значения.

**Ключевые слова:** объекты историко-культурного наследия, инженерная реставрация, противоаварийные мероприятия, усиление, технологии информационного моделирования, техническая экспертиза.

**Ссылка для цитирования:** Попов А.О., Гарькин И.Н., Сабитов Л.С., Абдуллазянов Э.Ю. Использование технологий информационного моделирования при обследовании объектов культурного наследия // Инженерные исследования. 2024. №1 (16). С. 23-29. EDN: DCFAQZ.

## USING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES IN INVESTIGATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

A.O. Popov<sup>1</sup>, I.N. Garkin<sup>2</sup>, L.S. Sabitov<sup>1,3</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.** In the work, the authors show a solution to complex development work within the framework of emergency response measures at the historical and cultural heritage site “Vovnushki Architectural Complex” using information modeling technologies. As part of the development of a project for priority emergency measures, a decision was received on the development of comprehensive scientific research and the development of constructive solutions for strengthening. The article is written on the basis of completed research work.

**Keywords:** objects of historical and cultural heritage, engineering restoration, emergency measures, strengthening, information modeling technologies, technical expertise.

**For citation:** Popov A.O., Garkin I.N., Sabitov L.S., Abdullazyanov E.Yu. Using information modeling technologies in investigation of cultural heritage objects // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.1 (16). Pp. 23-29. EDN: DCFAQZ.

## ВВЕДЕНИЕ

Существует большое количество объектов культурного наследия, расположенных в горной и скалистой местности и представляющих собой комплексы оборонительных зданий и сооружений (сторожевые башни, крепости, валы и др). Многие из этих памятников находятся в аварийном состоянии, и сохранение данных памятников истории и архитектуры, несомненно, является актуальной задачей отечественной науки. Разработка проектов противоаварийных мероприятий подобных объектов является задачей, требующей неординарного и творческого подхода т.к. данные объекты представляют собой сложные в архитектурном и инженерном плане объекты. В настоящей работе авторы на реальном примере показывают, что для выработки оптимального решения по сохранению подобных объектов требуется использовать технологии цифрового моделирования (в частности авторы предлагают использовать программу PLAXIS). Рассмотрим ход работ по сохранению объекта культурного наследия «Архитектурный комплекс «Вовнушки».

## ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

В административном отношении скалы выявленного объекта культурного наследия «Архитектурный комплекс «Вовнушки», располагаются по адресу: Республика Ингушетия, Джейрахский район, с. Вовнушки. В геоморфологическом отношении «Архитектурный комплекс «Вовнушки» располагается на утесах складчатых гор Северного Кавказа. Вблизи комплекса протекает река Гулойхи и сеть ручьев (рис. 1).



**Рис. 1.** Ситуационный план расположения с. Вовнушки  
**Fig. 1.** Situational plan for the location of the village. Vovnushki



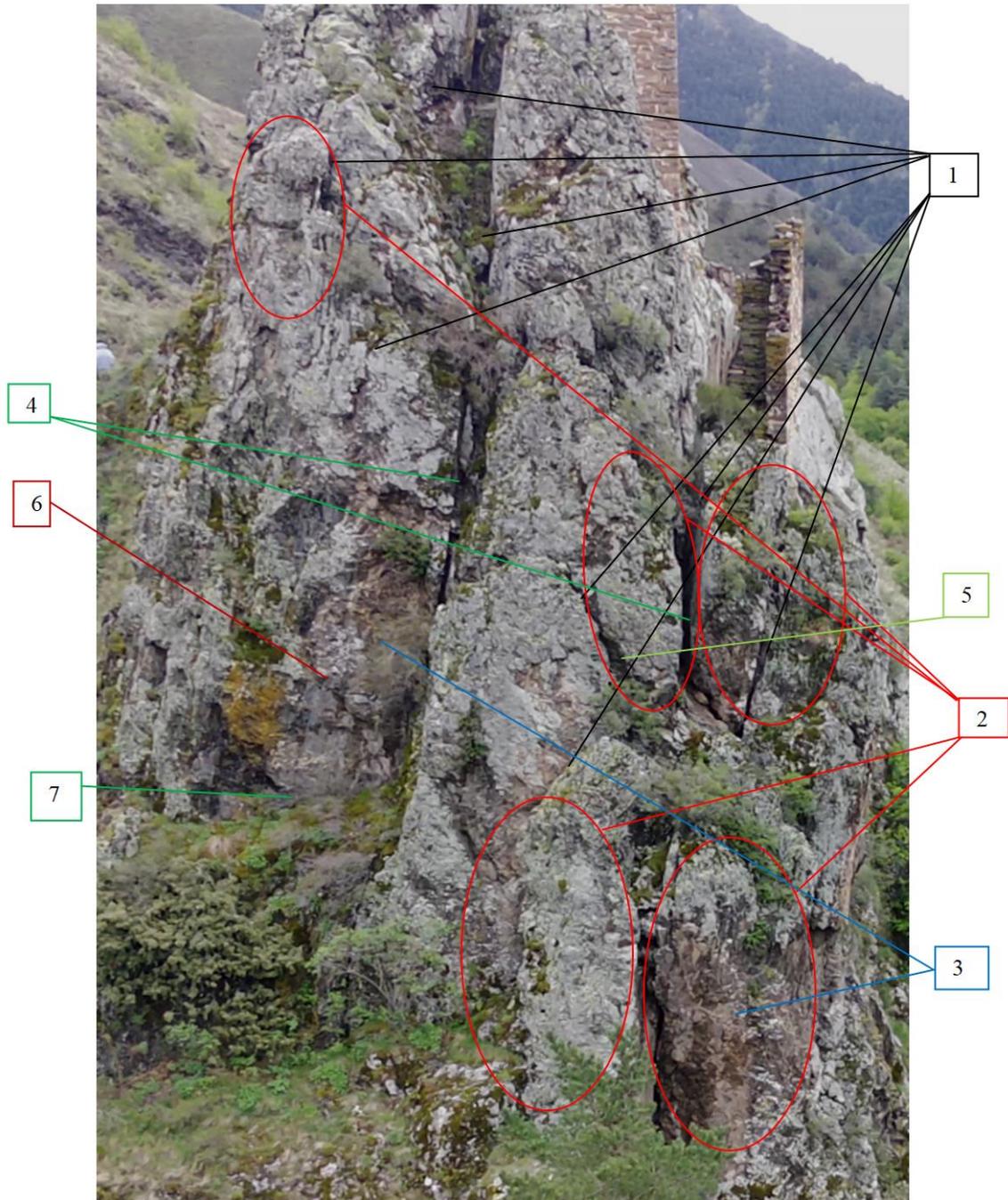
**Рис. 2.** Общий вид архитектурного комплекса «Вовнушки»  
**Fig. 2.** General view of the architectural complex “Vovnushki”

В архитектурный комплекс входят боевые, полубоевые, жилые башни и вспомогательные башни хозяйственного назначения [1-3], которые располагаются на двух утесах, между которыми проходит ущелье, сформированное складками гор Северного Кавказа.

Утесы разделены трещинами на отдельные блоки, в соответствии с размерами которых (свыше 800 мм) - относятся к крупноглыбовым, плитчатой (горизонтальные) и столбчатой (вертикальные или

слабонаклонные) разновидностью отдельностей (частей). Также встречаются мелкоглыбовые (до 800 мм) и щебневые разновидности отдельности (до 200 мм). Утесы сложены метаморфическими и осадочными породами с прослойками кварца [4, 5].

В связи с тем, что скальное основание имеет дефекты и повреждения, приведшие к значительному снижению несущей способности, при этом присутствует опасность внезапного разрушения, руководствуясь п.п. 3.13 ГОСТ 31937-2011, техническое состояние оценивается, как аварийное. В связи с чем необходима разработка противоаварийных мероприятий, которая осложняется сложностью рельефа, а также наличием дефектов и повреждений [6, 7].



**Рис. 4.** Наиболее характерный вид утеса  
**Fig. 4.** The most characteristic type of cliff

Наиболее характерные дефекты (рис.4):

1. Анизотропия скального массива - трещины группируются в системы;
2. По степени сплошности массив скального грунта – сильнотрещиноватый, между отдельными блоками еще имеются целики скального грунта;

3. Экзогенные изменения. Массив скального грунта относится к зоне «А» - сильного изменения. Отдельные блоки массива сложены преимущественно сильновыветрелыми и средневыветрелыми скальными грунтами;

4. Субвертикальные трещины  $\beta > 80^\circ$  (очень широкие, широкие, средние, узкие, ламинарные);
5. Крутые трещины  $80^\circ > \beta > 60^\circ$  (очень широкие, широкие, средние, узкие, ламинарные);
6. Наклонные трещины  $60^\circ > \beta > 30^\circ$  (очень широкие, широкие, средние, узкие, ламинарные);
7. Субгоризонтальные трещины  $\beta < 10^\circ$  (очень широкие, широкие, средние, узкие, ламинарные)

Горные породы и минералы сформировавшие тела утесов архитектурного комплекса «Вовнушки»:

- брекчии – средней прочности, плотные, слабывветрелые, неразмгчаемые;
- брекчии – низкой прочности, средней плотности, сильновыветрелые, размгчаемые);
- сланец – малопрочный, плотный, сильновыветрелый, неразмгчаемый;
- песчаник – средней прочности, плотный, сильновыветрелый, неразмгчаемый;
- кварц.

Существующие технологии информационного моделирования позволяют с высокой точностью формировать облака точек, которые, в последствии, могут являться как дефектными картами (рис. 2.) и опорным планом, так и расчетной (конечно-элементной) моделью, которая в свою очередь может быть выгружена в графический редактор.

Для получение текстурной модели высокого качества зачастую необходимо проводить более детальную съемку, как правило, это касается средних и узких субвертикальных трещин, а также крутых, наклонных и субгоризонтальных трещин вне зависимости от их раскрытия.

Имеющееся облако точек, возможно, преобразовать в текстурную модель (рис. 4), на которой в качестве в виде полигонов и линий можно выделить дефекты и повреждения объекта, которые будут зафиксированы в геодезической системе координат.

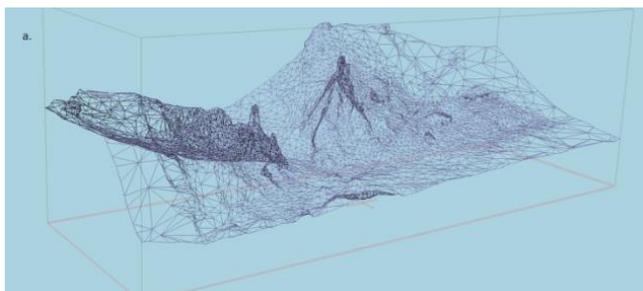


Рис. 5. Общее облако точек  
Fig. 5. General point cloud

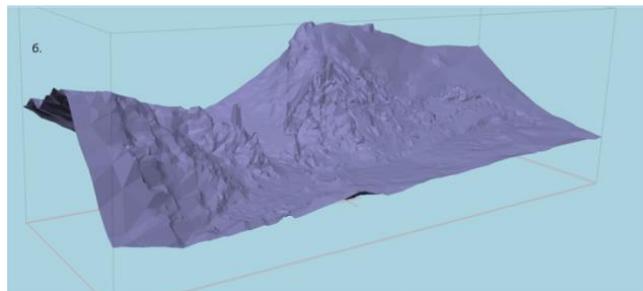


Рис. 6. Текстурная модель  
Fig. 6. Texture model

Современные расчетные программные комплексы, реализующие метод конечных элементов, в целом могут подгрузить как облако точек, так и текстурную модель, однако распаковка облака точек для проведения поверочных расчетов осложняется наличием слишком «малых» конечных элементов. В этом случае намного эффективнее экспортировать.



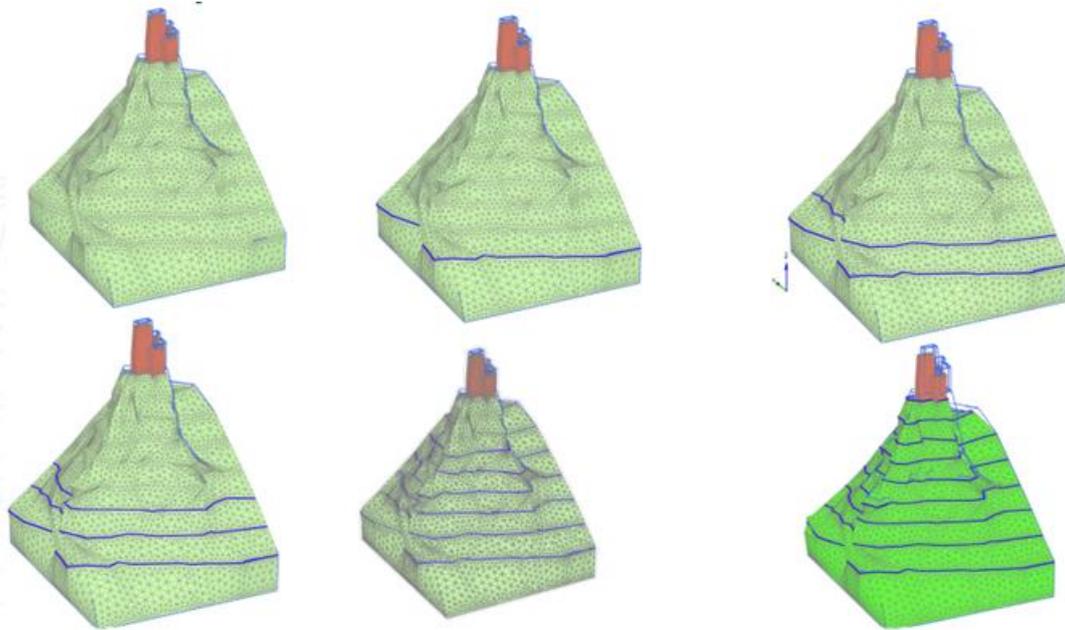
а



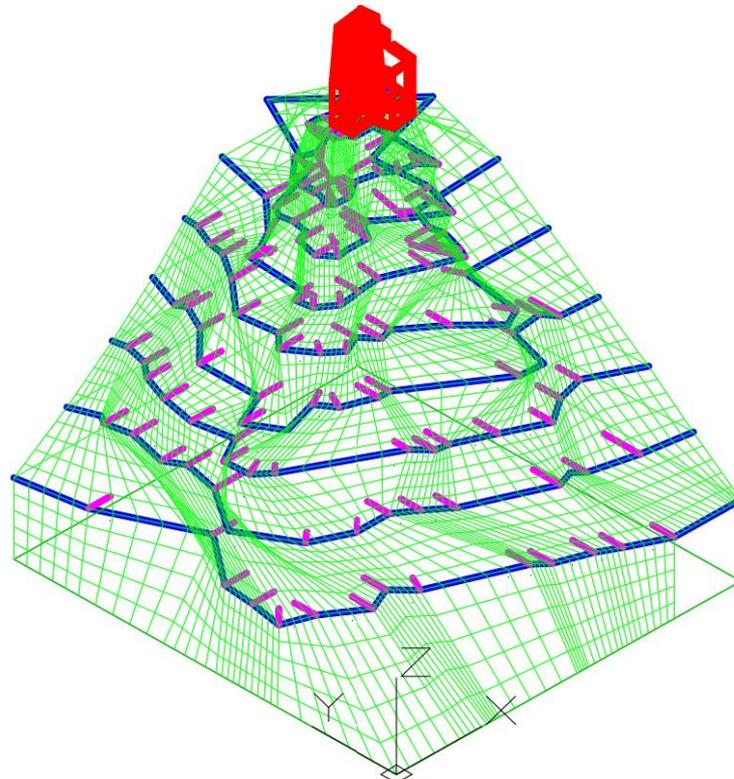
б

Рис. 7. Обработанная модель без деревьев и кустарников: а - каркасная сетка; б - криволинейная поверхность.  
Fig. 7. Processed model without trees and bushes: a - frame mesh; b - curved surface.

Объект при его первоначальном обследовании находился в аварийном состоянии (вследствие таких неблагоприятных факторов как климат, отсутствие периодических ремонтов, разрушение оснований). Но реальную картину состояния объекта удалось получить лишь создав цифровую модель объекта в программном комплексе PLAXIS, смоделировав состояния горного склона и воздействия на объекты на нем. Было доказано, что при отсутствии мероприятий по усилению откосов, объект разрушится. Криволинейную поверхность склона, возможно, загрузить в программные комплексы, реализующие метод конечных элементов для проведения расчетов, связанных с усилением. На рис.8 показаны последовательные этапы усиления откоса до достижения коэффициента устойчивости  $K > 1.2$  [8-10].



**Рис. 8.** Последовательные этапы расчета усиления утеса  
**Fig. 8.** Consecutive stages of calculation of cliff reinforcement



**Рис. 9.** Выгрузка расчетной модели в графические редакторы  
**Fig. 9.** Downloading the calculation model to graphic editors

Выгруженная в графические редакторы расчетная модель обладает всеми исходными геодезическими привязками, а производство работ на объектах историко-архитектурного наследия, несмотря на сложность площадки, может быть выполнено с точностью вплоть до 1-го класса.

## ВЫВОДЫ

В рамках разработки проекта первоочередных противоаварийных мероприятий получено решение по разработке комплексных научных исследований и разработке конструктивных решений по усилению. Таким образом, было остановлено саморазрушение объекта, усилены откосы, восстановлена несущая способность конструкций объекта. Значимость работы заключается в том, что авторами приводятся ранее не известные алгоритмы использования технологий информационного моделирования, которая позволяет, с более высокой точностью, решать сложные инженерно-технические задачи. Доказано, что без использования программно-вычислительных комплексов работа по противоаварийным мероприятиям не смогла бы быть реализована.

## 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., Копотилова 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. Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. К вопросу обследования строительных конструкций, зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2021. №6 (15). С. 45-51.
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. № 1. Pp. 27-36.
8. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2. С.79-82.
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

**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

**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