

## Использование аналитических методов при исследовании свайных оснований объектов историко-культурного наследия

А.О. Попов<sup>1</sup>, Л.С. Сабитов<sup>1</sup>, И.Н. Гарькин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>2</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г.

Разумовского (Первый казачий университет)

**Аннотация:** Актуальность исследования заключается в том, что исторические районы городов и отдельные строения, являющиеся объектами культурного наследия, некогда были возведены на свайных основаниях. До начала XX века в качестве свай в основании зданий и сооружений закладывались деревянные элементы длиной, как правило, до 9,0 м., которые за длительный период эксплуатации получили дефекты и повреждение мягкой гнилью вплоть до полного разрушения оголовков.

Цель работы - исследование напряженно-деформированного состояния свайного основания на последовательных стадиях развития дефектов и повреждений. В работе выполнена систематизация результатов обследований деревянных свай и других элементов, длительное время располагавшихся в грунте; проведены лабораторные исследования действительной работы свай в водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах. Результаты натурных и лабораторных исследований заложены в расчетный аппарат, реализованный методом конечных элементов в упругопластической постановке. Авторами показана действительная работа свайных оснований объектов культурного наследия на последовательных стадиях повреждений свай и получена расчетная модель на стадии полного разрушения оголовков. Лабораторные и теоретические исследования показали, что в современной традиции сохранения объектов культурного наследия существует порочная практика, заключающаяся в том, что зачастую производят усиление оснований фундаментов в случаях, когда необходимость в этом отсутствует, а иногда даже вредит.

**Ключевые слова:** объекты культурного наследия, искусственные основания, сваи, древесина, водонасыщенные грунты, конструкции, техническая экспертиза.

Возведение объектов культурного наследия в условиях слабых водонасыщенных грунтов, с незапамятных времен, осуществлялось с использованием свайных оснований. Наиболее ранними, из выявленных и подтвержденных ЮНЕСКО, являются фундаменты поселений, расположенных вблизи Цюрихского озера, известные еще со времен неолита, и других поселений, расположенных в Альпах на прилегающих территориях таких стран, как Словения, Италия, Австрия, Франция и Германия [1-3].

Столь древних строений, коими славится Альпийская и

---

приальпийская часть Европы, на территории России не выявлено, но, тем не менее, северная Пальмира славится своими причалами и набережными, построенными на свайных основаниях, а также соответствующими зданиями. Строения Санкт-Петербурга возводились на деревянных сваях с момента его основания и вплоть до начала XX века (начало массового использования железобетонных свай) [4,5].

Проектные решения оснований и фундаментов строений Санкт-Петербурга и Приневья систематизированы профессором Н.М. Пузыревским [6], а наиболее распространенные из них показаны на рисунке 1.

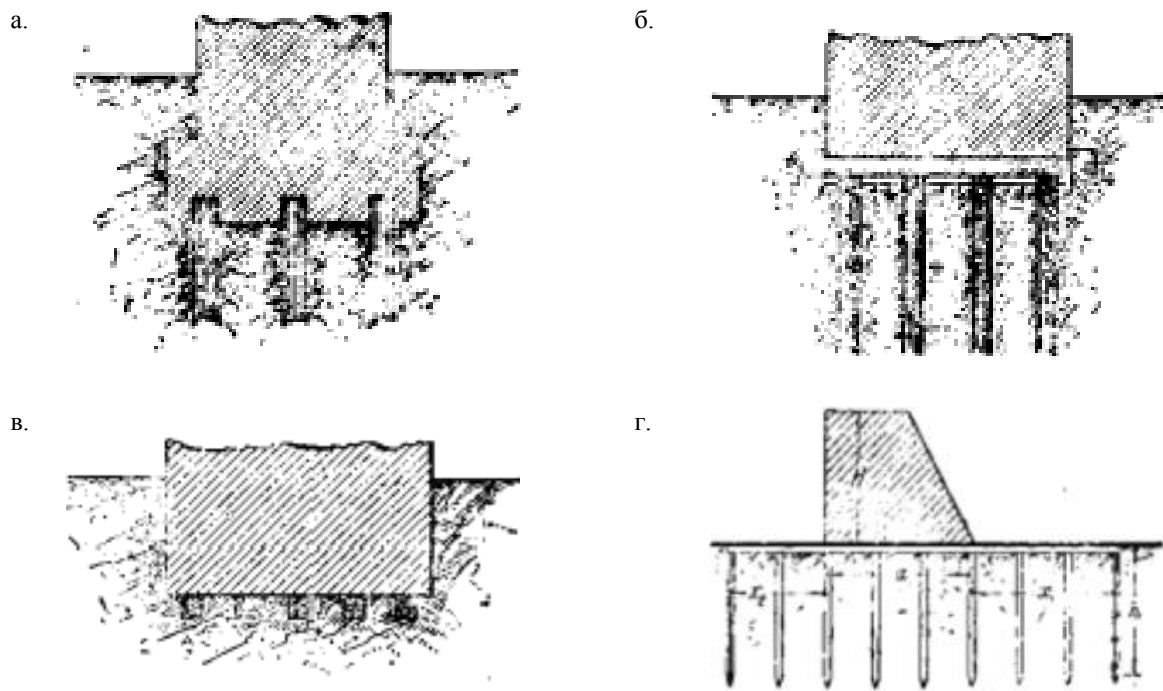


Рис. 1. Конструктивные решения оснований фундаментов с использованием деревянных свай и лежней (фото из книги [6])

Особый интерес при проведении комплексных научных исследований вызывает техническое состояние деревянных свай и лежней, и в целом деревянных элементов. Керны, отобранные на объекте культурного наследия федерального значения, Центральная башня Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербург, на срезе имели белоснежную древесину и пахли

свежеспиленной древесиной. В свою очередь, дереvozемляной вал изначального строения Меншикова бастиона Петропавловской крепости - объект археологии федерального значения, имеет глубокие гнилостные повреждения [7,8].

Такая значительная разница в техническом состоянии древесины обусловлена отличием в режиме эксплуатации, а именно: лежни Центральной башни здания Главного Адмиралтейства на протяжении всего жизненного цикла находились более чем на 0,8м ниже уровня грунтовых вод, тогда как дереvozемляной вал пребывал в условиях периодического водонасыщения, связанного с колебанием водного зеркала реки Нева [9,10].



Рис. 2. Керны, отобранные из тела фундаментов Центральной башни здания Главного Адмиралтейства (строительство 1734 г.) (фото выполнено авторами)



Рис. 3. Руинированный фрагмент деревоземляного вала Петропавловской крепости (строительство 1703г.; фото выполнено авторами)



Рис. 4. Лежни и сваи под фундаментами здания по набережной р. Фонтанки, д. 7 (строительство 1832 г.; фото выполнено авторами).

Для разработки геотехнической модели заложим гипотезы:

---

1. Древесина, находящаяся ниже минимальной отметки уровня грунтовых на 0,8 м (опытные данные по Приневью), не подвергается гниению т.к. количество растворенного в воде кислорода недостаточно для активизации этого процесса [11,12].

2. Геометрическая форма поврежденных оголовков свай на начальном этапе имеет форму усеченного конуса с площадью нижней площадки, равной диаметру сваи, когда как площадь верхней площадки стремится к 0.

3. Окончательную форму поверхности разрушения оголовка примем в виде цилиндра высотой 0,8 м.

4. Допускается механический процесс переноса частиц грунта как гравитационный, так и суффозионной природы.

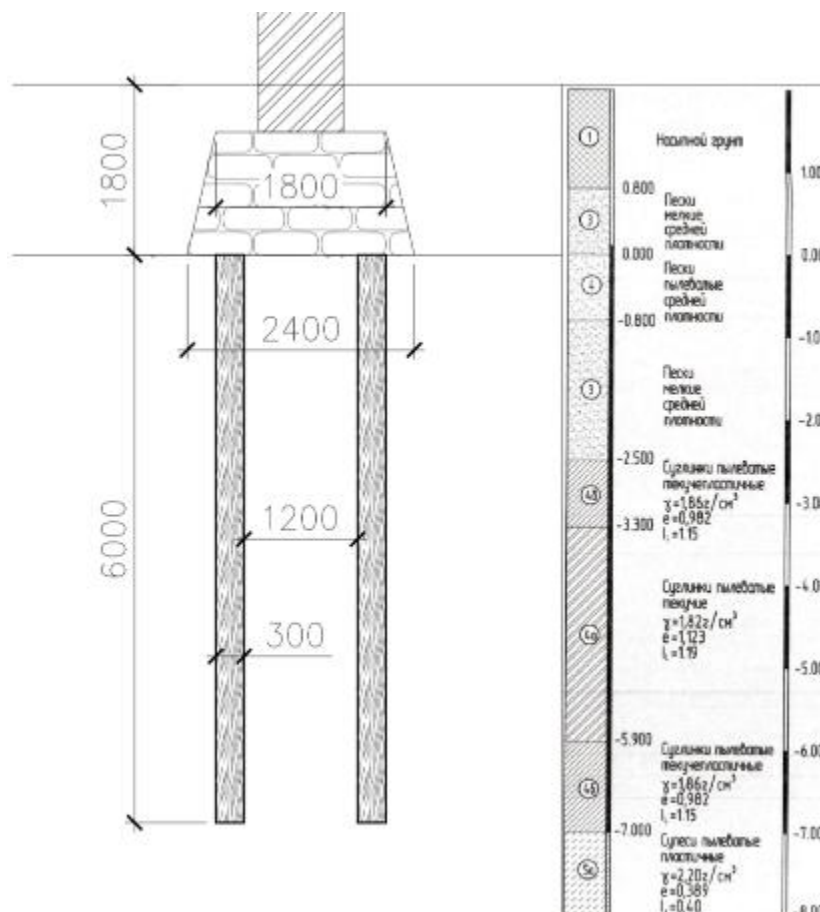


Рис. 5. Геометрические параметры расчетной модели  
(расчеты выполнены авторами)

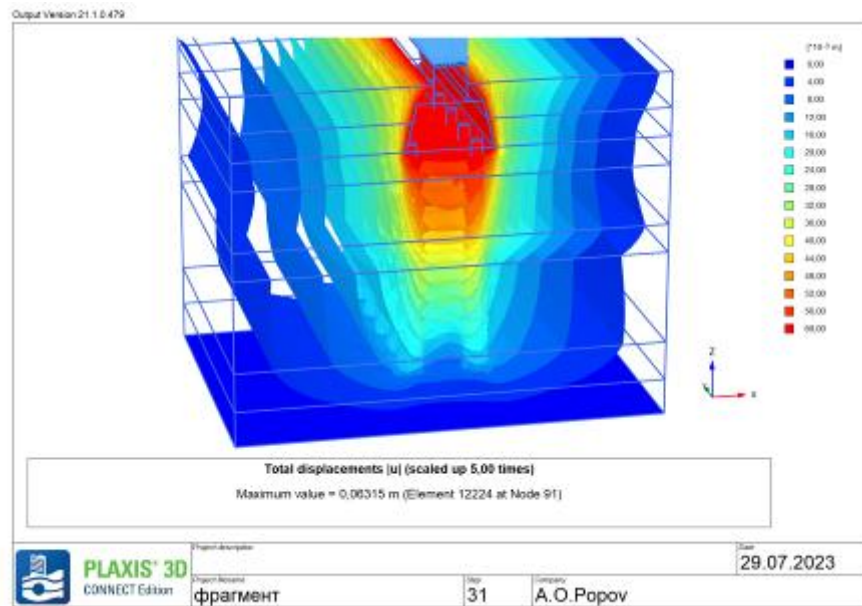


Рис. 6. Изоповерхности перемещений (расчеты выполнены авторами)

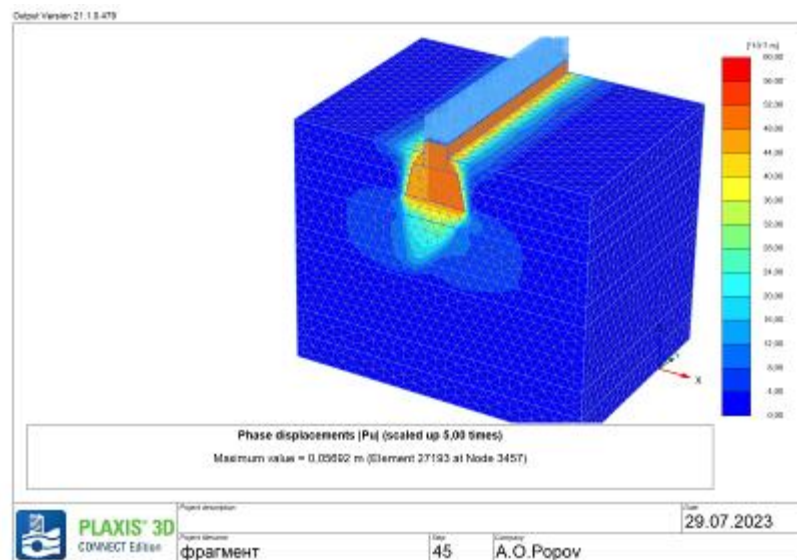


Рис. 7. Изополя дополнительных перемещений фундамента при повреждении оголовков свай по схеме усеченного конуса (расчеты выполнены авторами)

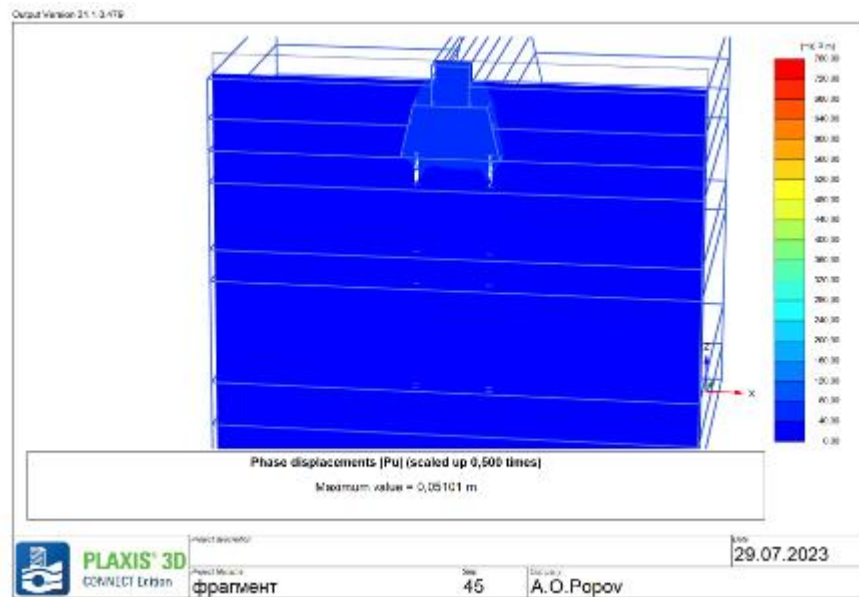


Рис. 8. Изополя перемещений в уровне полностью разрушенных свай (расчеты выполнены авторами)

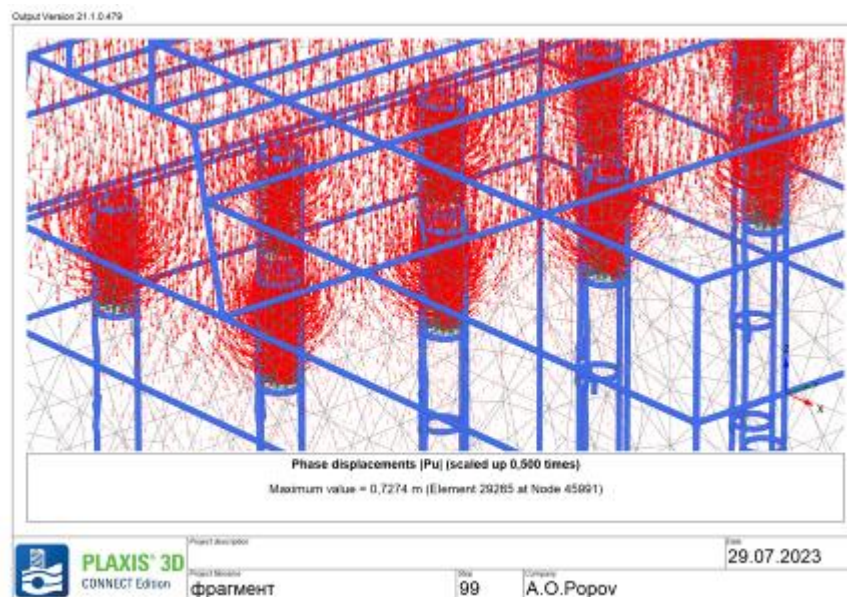


Рис. 9. Векторное отображение перемещений грунта (расчеты выполнены авторами)

Для численных расчётов НДС массива нескальных грунтов была выбрана упругопластическая модель с поверхностью текучести по Мору-Кулону. Моделирование каменной и кирпичной кладки выполнялось с использованием модели Хека-Брауна. Деревянные сваи моделировались с

использованием пользовательской модели трансверсально-изотропного материала [13,14].

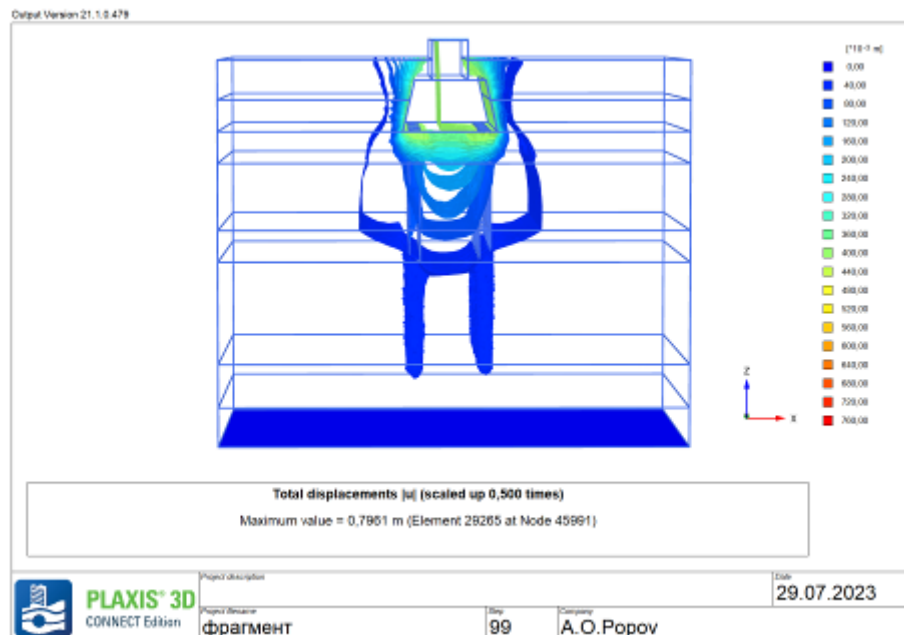


Рис. 10. Изоповерхности общих перемещений (расчеты выполнены авторами)

Изоповерхности общих перемещений показывают, что в момент разрушения оголовков свай происходит трансформация деформированной зоны, а перемещения по форме близки к методу местных упругих деформаций, при этом уплотненная зона имеет излом в зоне пересечения со сваями, который на  $1/3$  уменьшает область уплотненной зоны, а следовательно, и значения дополнительной осадки основания.

### Литература:

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. Лапшина Е.Г. Концепция архитектурного пространства городов: динамическая составляющая // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 4 (53). С. 170-176.





3. Лапшина Е. Г., Сухов Я.И. Динамическая архитектура в пространстве современного города // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 2(43). С. 171-177.
  4. 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.
  5. Гойкалов А. Н., Макарова Т. В., Семенихина А. Ю. Разработка метода оценки качества архитектурно-исторической среды // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. № 1(39). С. 73-79.
  6. Пузыревский Н.М. Фундаменты. – М.: Госстройиздат СССР, 1934, 516с. – с.74.
  7. 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.
  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. Лызина А.Г. Эволюция планировки бесстолпного и крестово-купольного типов православного храма XVIII - начала XX века на территории Пензенской области // Архитектон: известия вузов. 2015. № 3 (51). С. 18.
  10. 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/n6y2021/7037](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037)
-

11. Гарькин И.Н., Сабитов Л.С., Гайдук А.Р., Чиркина М.А. Сохранение архитектурных концепций малых населенных пунктов: консервация объектов культурного наследия Инженерный вестник Дона. 2022. №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8017](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8017)

12. Garkin I.N., Garkina I.A. System approach to technical expertise construction of building and facilities // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. Vol.8. №5. P.213-217.

13. 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.

14. Мирхасанов Р. Ф., Сабитов Л. С., Гарькин И. Н. Композиционная форма в архитектуре конца XIX века: эволюция инженерной мысли // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 2(55). С. 157-161.

### References

1. Mirkhasanov R. F., Sabitov L. S., Garkin I. N. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 1 (54). pp. 178-185.

2. Lapshina E.G. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2022. № 4 (53). pp. 170-176

3. Lapshina E.G., Suhov I.I. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2020. № 2(43). pp. 171-177.

4. Makarevich E. A., Selyutina L. F. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2022. № 2(51). pp. 175-183.

5. Goikalov A. N., Makarova T. V., Semenikhina A. Yu Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya. 2022. № 1(39). pp. 73-79.

6. Puzyrevsky N.M. Fundamenty. [Foundations]. М.: Gosstrojizdat SSSR, 1934, 516p. p.74

7. Karakova T.V., Danilova T.V. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2021.№ 1 (46). pp. 211-219.



8. Kuzin N.YA., Bagdov S.G. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2012. №2. pp.79-82.
9. Lisina A.G. Arhitekton: izvestiya vuzov 2015. № 3 (51). p. 18.
10. Sheina S. G., Vinogradova E. V., Denisenko Yu. C. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037)
11. Garkin I.N., Sabitov L.S., Gaiduk A.R., Chirkina M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022 № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8017](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8017)
12. Garkin I.N., Garkina I.A. Contemporary Engineering Sciences. 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.
13. Selyutina L. F. Ratkova E. I., Korneev A. A. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 1(54). pp. 186-195.
14. Mirkhasanov R. F., Sabitov L. S., Garkin I. N. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 2(55). pp. 157-161.