

Историко-архивные и натурные исследования конструктивных особенностей деревянных ростверков и свайных фундаментов

А.О. Попов¹, Д.А. Артемьев¹, И.Ю. Матвеев²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет

²Центр технического сопровождения в строительстве «ЭкспертПроектСтрой, Казань

Аннотация: Использование деревянных элементов для распределения нагрузок от вышележащих конструкций на искусственное и естественное основание известно с древнейших времен. Наиболее ярким примером известным из древнегреческих эпосов является описание устройства основания храма Артемиды в г. Эфесе (начало строительства около 550 года до н.э.). Одно из семи чудес света было построено в сейсмическом районе, однако в заболоченной ее части для минимизации воздействий. В те давние времена зодчими Херсифроном и Метагеном было принято решение для равномерного распределения нагрузок на основание и снижения осадок циклопического по меркам того времени сооружения в основание заложить обожженные дубовые стволы. Похожие решения использовали зодчие Зауралья (Аркаим и поселения в районе р. Карагайлы-Аят), древнего римского порта Лондиниум, а также неолитические жилища в Лак-де-Шален. Результаты проведенного исследования показывают технические закономерности устройства деревянных ростверков, ряжевых и лежневых конструктивных элементов в основании объектов историко-архитектурного наследия в архитектурно-строительном искусстве с древнейших времен до наших дней. В работе приведены результаты натурных исследований, которые показали возможность продолжения эксплуатации зданий и сооружений с использованием указанных конструкций.

Ключевые слова: объекты историко-архитектурного наследия, дисперсная среда, грунтовый массив, искусственные основания, деревянные сваи, лежни, ряжевые конструкции фундаментов, утрата древесины.

В современной нормативной литературе СП 24.13330 есть упоминание об использовании древесины в качестве свай, однако существование деревянных ростверков, ряжевых конструкций и лежней обходится стороной. Выходит так, что наличие их является как минимум не нормативным, а следовательно эксплуатация зданий и сооружений в теле ростверка или фундамент в целом устроен из древесины не допустимо. Результаты комплексных научных исследований, выполненных авторами работы, показывают, что в г. Москва [1], г. Санкт-Петербург [2-4], г. Казань [5], г. Таллин, г. Рига, г. Шлиссельбург [6], г. Бахчисарай [7] и многих др. городах России и мира здания и сооружения, ныне признаваемые объектами

историко-архитектурного наследия, эксплуатируются. В современной научно-технической литературе заявленная проблема освещается в очень редких работах школы профессора Мангушева Р.А. [8, 9] и прикладных работах, выполненных под руководством Бронина В.П. [10-12]. Последнее во многом связано с тем, что процесс утраты древесины в водонасыщенной дисперсной среде является длительным процессом. Из исследований Яшковой А.Н. [13] процесс утрат протекает медленно и первые, явно выраженные утраты появляются спустя только через 18-20 лет. Утрата исторического наследия показана в фундаментальной работе Федорова М.С. [14] на примере г. Екатеринбурга, г. Тюмень и др.

Решение задачи устойчивости, в том числе набережных нашли свое отражение в работах Березанцева В.Г. [15], Далматова Б.И. [16], Фадеева А.Б. и Иноземцева В.К. [17].

Динамические расчеты устойчивости подземных сооружений встречаются в работах Мкртычев О.В. и Савенков А.Ю. [18, 19].

Целью исследования является изучение закономерностей и конструктивных особенностей использования древесины в качестве ростверка и фундамента зданий и сооружений.

Предметом исследования являются деревянные лежни, ростверки и ряжевые конструкции, использованные при строительстве зданий и сооружений, являющихся объектами историко-архитектурного наследия.

Археологические раскопки древних неолитических поселений в Лак-де-Шален [20] позволили воссоздать древнее жилище устроенное на сваях, объединенных высоким ростверком, показанным на рисунке 16.

Фотография экспедиции Г.Б. Здановича [21] (рис. 16) не выявила на наличия ростверка, но все же интересна тем, что видимые оголовки свай устроены с равным шагом 550-600мм.

Фотофиксация раскопок в районе р. Карагайлы-Аят, южное Зауралье,

проведенное под руководством Л.Н. Коряковой [22], показало, что при устройстве укреплений эпохи бронзы сваи объединялись деревянными лежнями. На рисунке 1в четко видно, что за тысячелетие своего существования конструкция деревянного ростверка получила значительные повреждения, однако древесина все еще обладает структурной прочностью.

а.



б.



в.



Рис. 1. Свайные основания древних поселений:

а. сваи и ростверки в Лак-де-Шален (фотография П. Петрикен) [20];

б. раскопки городища Аркаим (фотография Г.Б. Здановича) [21];

в. раскопки поселений в районе р. Карагайлы-Аят в южном
Зауралье (фотография Л.Н. Коряковой) [22]

Несмотря на тысячелетний опыт использования деревянных элементов

в качестве ростверков и элементов фундамента, отсутствует четкая классификация технических решений по их устройству. Последняя причина, пожалуй, и является отправной точкой для написания настоящей работы.

Если в современных условиях погружение и устройство свай можно выполнить как минимум двумя десятками основных способов, то зодчие прошлого использовали, как правило, забивные сваи погружаемые деревянными, а позже паровыми бабами. По причине дороговизны и длительного срока устройства свайных оснований в работе профессора Л. Бреннеке 1901г. [23] описаны области применения свайных фундаментов (записано авторами в адаптированном для современного понимания виде):

а. При упругом грунте, как глина, при чем одновременно происходит его уплотнение, на продолжительность которого, по мнению Л. Бреннеке нельзя было рассчитывать:

б. При смешанных грунтах, залегающих столь тонкими пластами, что ни один из них не в состоянии выдержать сооружение;

в. При мощных песчаных слоях, особенно в речных руслах, которые хотя и обладают достаточным сопротивлением, но легко могут быть вымыты течением. В последнем случае описывал Л. Бреннеке: «Ростверк образует роль запасного основания, действие которого начинается в самых неблагоприятных случаях».

Так как для всех случаев одновременно должно происходить уплотнение грунта, то, по мнению Л. Бреннеке: «... сваи лучше ставить в шахматном порядке».

Профессор Л. Бреннеке считал необходимым классифицировать ростверки по высоте:

- низкий ростверк, при котором сваи находятся целиком в грунте;
 - высокий, при котором сваи идут выше часто даже почти до самого горизонта низких вод.
-

В последнем случае пространство между сваями до самого грунта заполнялось каменной наброской или тяжелыми фашинами, показанных на рисунке 2.

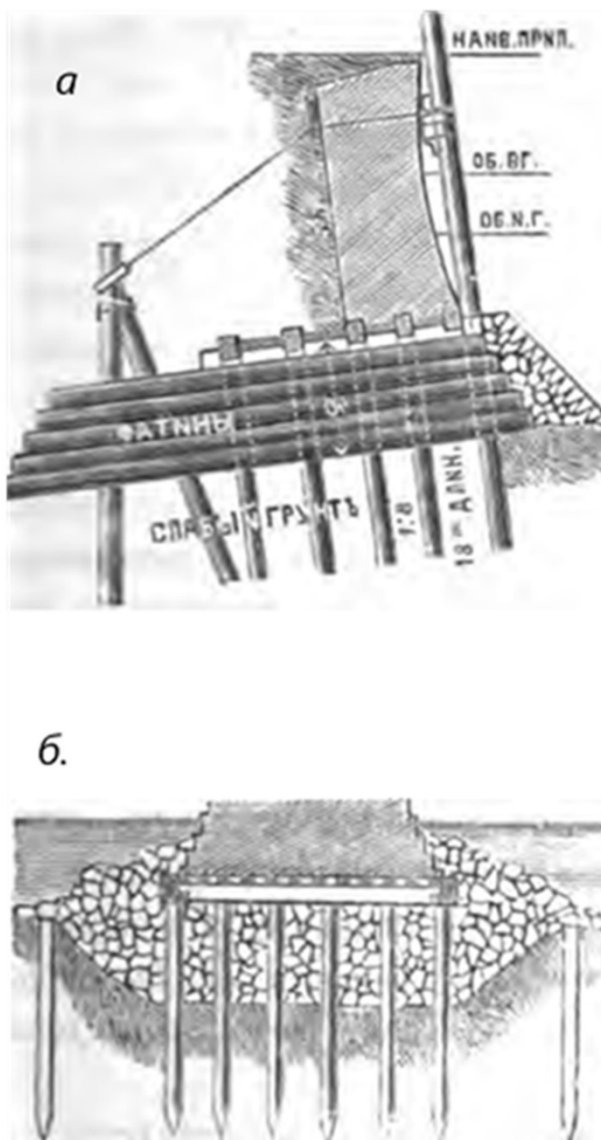


Рис. 2. Конструктивные решения свайных фундаментов с высоким ростверком [23]

При устройстве набережных также использовалась каменная наброска, конструктивное решение которой показано на рисунке 3.

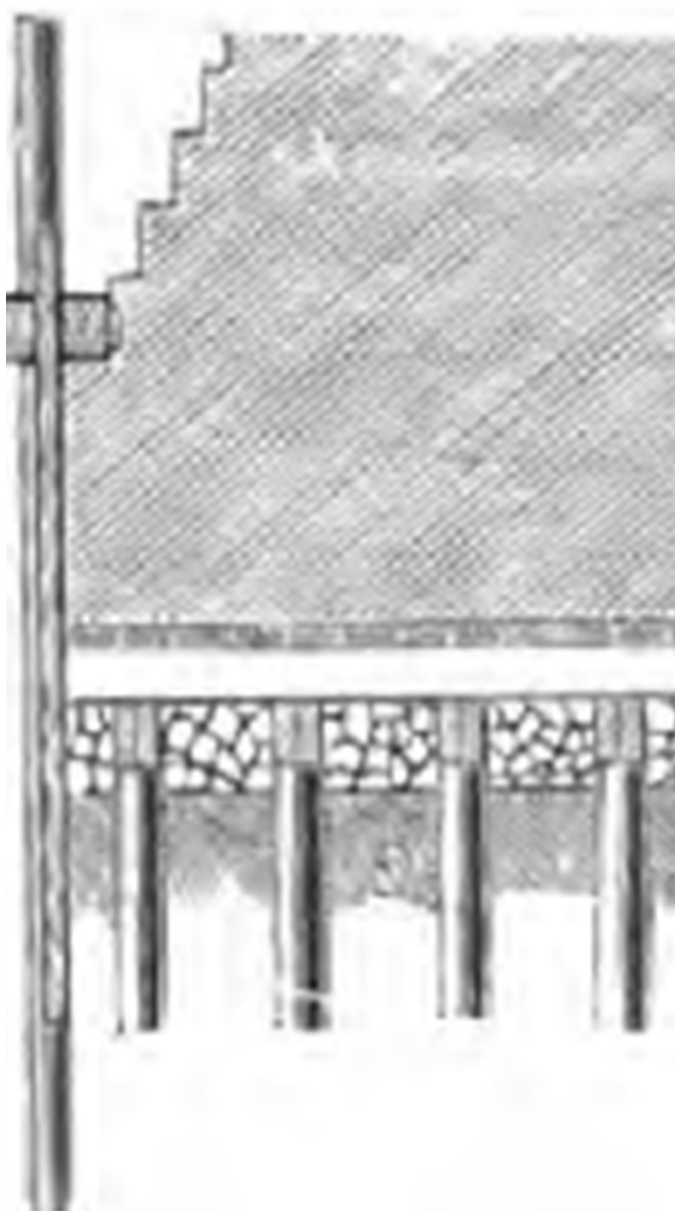


Рис. 3. Конструктивное решение набережных [23]

Расстояние между сваями проф. Л. Бреннеке рекомендовал принимать от 0,75 до 1,25м. Столь малые расстояния между сваями связаны с технологией погружения т.к. при расстоянии менее 0,75 м первая забитая свая уплотняет грунт так, что следующую сваю невозможно было бы забить ни ручной не паровой бабой. А предельное расстояние связано с тем, что сваи имели низкую несущую способность.

Из пособия «Устройство оснований и фундаментов» [20]

опубликованного в 1901 г. известно, что для набережных предусматривались мероприятия, предупреждающие взвешивающее действие воды. Поэтому деревянные ростверки делали как можно плотнее, чтобы была совершенно отделена от подошвы стоящей на нем кладки. В таком случае предусматривалось крепление элементов деревянного ростверка надлежащим образом к сваям, чтобы передать на них взвешивающее действие воды. Нижний слой кладки предусматривалось выкладывать очень тщательно на «жирный» раствор, чтобы избежать «пустошовки».

Устройство соединений предусматривалось по типу шип в нескольких вариантах показанных на рисунке 4.

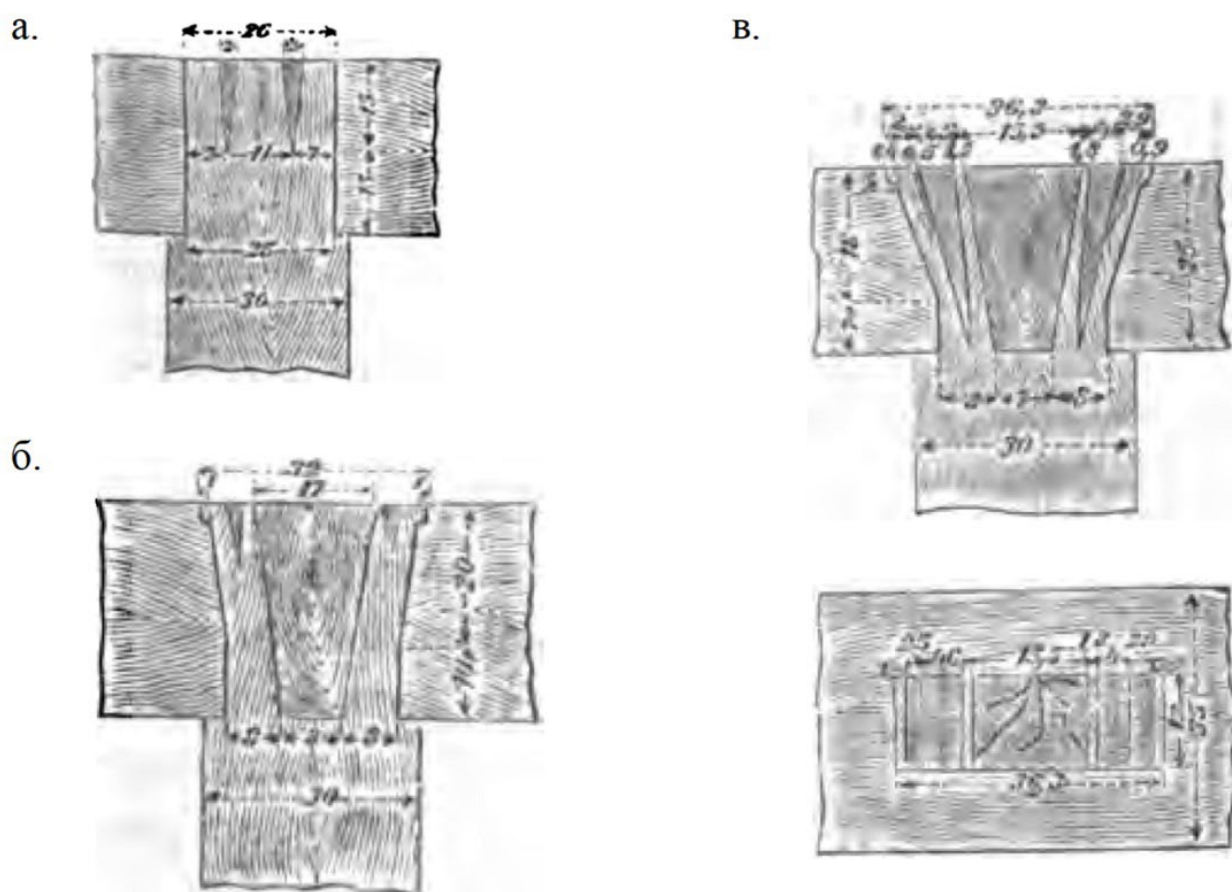


Рис. 4. Узлы сопряжения деревянных свай и элементов ростверка [23]

В открытых источниках [23] даже сохранились результаты испытаний указных соединений таблица 1.

Таблица 1

Результаты испытаний соединений

Перемещение шипа въ гнёздѣ въ мм.	Усиліе, параллельное сваѣ въ тоннахъ.		
	Наблюдавш. на насадкахъ въ		
	30 см. высоты.		
	25 см.		
	Шипы и гнёзда, устроенныя по		
	рис. 4а	рис. 4б	рис. 4в
0,5	—	—	10,8
1,0	<6	8,4	16,3
1,5	—	8,8	—
2	—	9	—
3	—	9,6	18,6
4	—	10,2	—
8,5	—	11,4	—
Насадка отдѣл. отъ шипа.	6,1	13,2	неизв.

Шип, показанный на рис. 4а, обладает наименьшим сопротивлением. Он вышел из гнезда при усилии 6,1 т. Сопряжение, приведенное на рисунке 4б, имеет предельное состояние в 13,2 т, но соединение все-таки очень податливо т.к. при усилии в 11,4 т шип вышел из гнезда на 8,5 т. Сопряжение по схеме, обозначенной на рисунке 4в, удовлетворяет самым высоким требованиям, а при усилии 18,6 т шип сдвигается только на 3 мм. Предельное состояние узла сопряжения, показанное на рисунке 4в, при проведении испытаний достигнуто не было т.к. по описанию авторов [23] испытательная машина сломалась.

Клинья, показанные на рисунке 4, изготавливались из сухого дуба и загонялись ручной бабой. Перед забивкой клиньев обе части двойного шипа пропиливались до полной глубины проникания клиньев. Чтобы шипы не ломались внизу, вследствие значительных усилий, их забивали во влажную древесину свай.

Использование деревянных винтов по рисунку 5а показали, что несущая способность сопряжения составляет 15,92 т, а разрушение было связано с вырыванием деревянного винта.

Применение деревянных четырехугольных нагелей (рис. 5 б), которые

забивались в отверстия круглого диаметра (перед забивкой заполнялись водой и выдерживались).

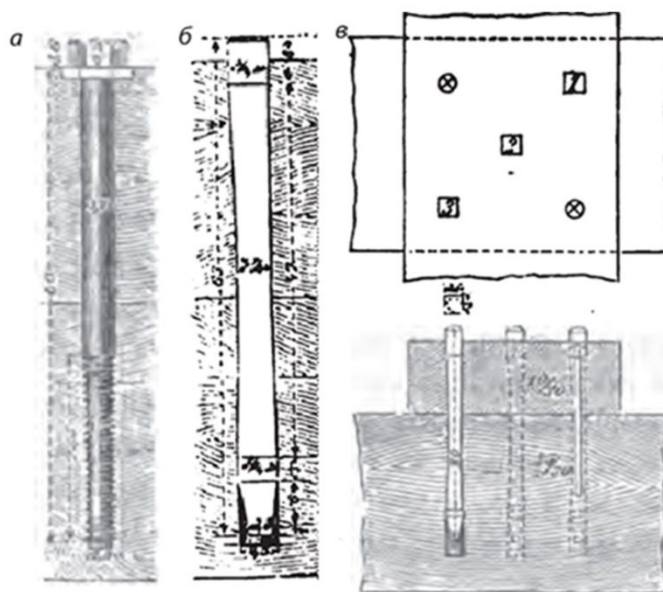


Рис.5. Узлы сопряжения элементов ростверка с использованием
деревянных винтов и нагельных соединений [23]

Соединение с использованием 3х малых деревянных нагелей и 2 железных гвоздей показанное на рисунке 5в при нагрузке 3,6 т поднялось на 30мм, а предельная нагрузка составила 4,30 т. соединение из одного нагеля и 5 гвоздей наступило при уровне нагрузки 2,85 т.

В рамках комплексных научных исследований авторами было проведено обследование свайного ростверка набережной вблизи р. Фонтанка вблизи Аничкова моста. Строительство набережной проходило в 1780 - 1789 годах р. Фонтанка расчистили и углубили, а берега ее одели в гранит.



Рис. 6. Фотофиксация по результатам обследования

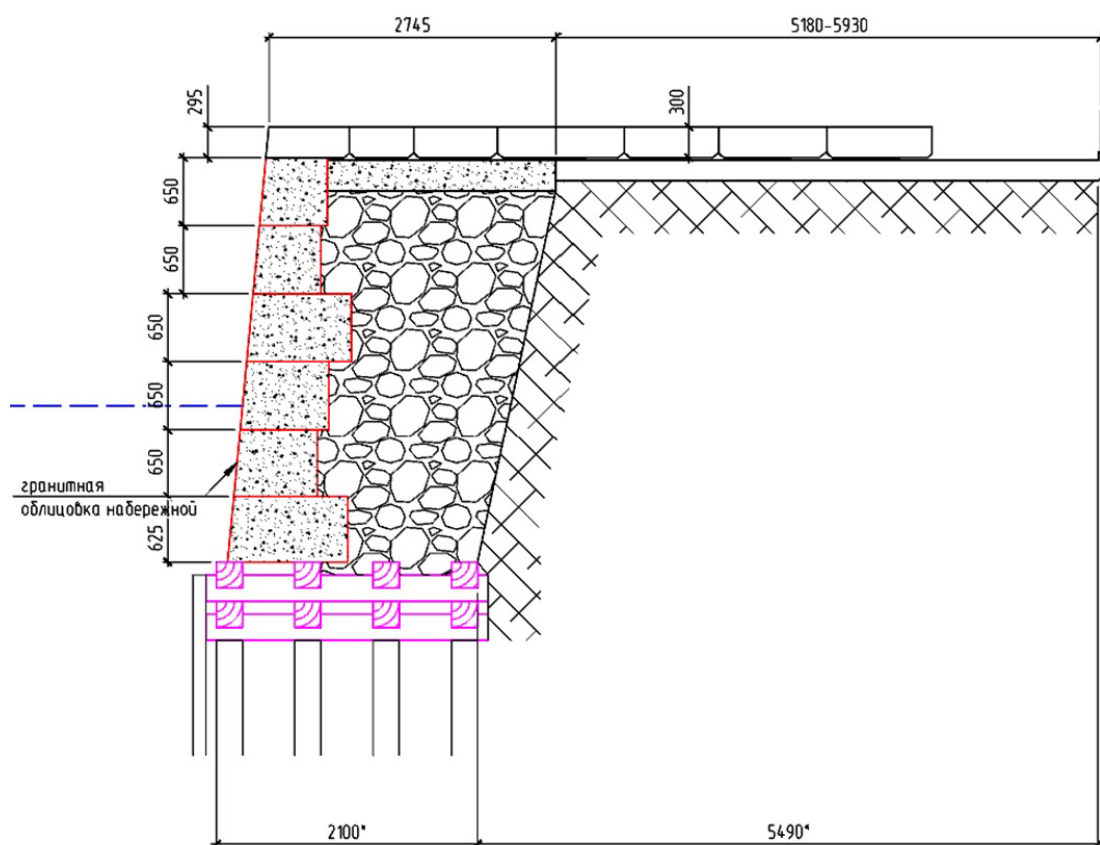


Рис. 7. Историческое конструктивное решение набережной

По результатам обмерных работ и обследования был построен разрез по набережной р. Фонтанка.

Выводы:

1. Набережная р. Фонтанка вблизи Аничкова моста была построена по схеме, показанной на рисунке 3. с использованием узлов сопряжений, показанных на рисунке 4а, с использованием деревянных клиньев 5а.
2. При вскрытии деревянного ростверка в шурфе было выявлено, что древесина не была подвержена гнилостным повреждениям. Техническое состояние деревянных элементов имело работоспособную категорию технического состояния даже спустя 240 лет эксплуатации в неблагоприятных условиях.

Литература:

1. Попов А.О., Ахметов Ф.М., Сабитов Л.С., Гарькин И.Н., Киямова Л.И. Определение напряженно-деформированное состояния объектов культурного наследия с фундаментами свайного типа. Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 3. С. 55-58.
2. Попов А.О., Бирюлева Д.К., Матвеев И.Ю. Меншиков бастион Петропавловской крепости в Санкт-Петербурге. Архитектурно-строительная часть летописи // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 54-58.
3. Попов А.О., Бирюлева Д.К., Матвеев И.Ю. Меншиков бастион Петропавловской крепости в Санкт-Петербурге. Архитектурно-строительная часть летописи // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 54-58.
4. Попов А.О., Бирюлева Д.К., Матвеев И.Ю. Центральная башня здания Главного Адмиралтейства в Санкт-Петербурге. Сохраненные элементы проекта архитектора И.К. Коробова // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 2 (49). С. 25-29.
5. Попов А.О., Матвеев И.Ю. Торговые ряды хлебной площади г. Казани, памятник архитектуры XVIII века // Известия Казанского

государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2 (32). С. 53-57.

6. Попов А.О., Маилян Л.Р., Сабитов Л.С., Данилов А.М., Гарькин И.Н. Системный подход к анализу технического состояния объектов культурного наследия на примере корпуса «Орешек» Шлиссельбургской крепости // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 199-205.

7. Попов А.О., Сабитов Л.С., Гарькин И.Н., Сахапов Р.Л., Каримов Т.М. Инженерное исследование фундаментов объекта культурного наследия "Ханский Дворец" в г. Бахчисарай. Строитель Донбасса. 2024. № 3 (28). С. 19-27.

8. Мангушев Р.А., Мальцева К.А. Сравнительный анализ способов закрепления слабых грунтов в основании фундаментов исторических зданий цементными растворами. Сборник тезисов Национальной (всероссийской) научно-технической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 2024. С. 146-147.

9. Мангушев Р.А., Осокин А.И. и др. Геотехника Санкт-Петербурга. // Издательство АСВ, Москва, 2010. 259 с.

10. Бронин В.Н. Обследование фундаментов Ростральных колонн Санкт-Петербурга и анализ деформаций их оснований. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999, №4. С. 16-18.

11. Бронин В.Н., Белый Г.И., Корчагин С.Г. О конструкции и состоянии фундаментов Петропавловского собора Санкт-Петербурга. // Труды международной конференции по геотехнике, посвященной 300-летию Санкт-Петербурга. 2003, т.2. С. 41-46.

12. Бронин В.Н., Повышев Н.Н. Обследование основания фундаментов южного фасада Михайловского замка Санкт-Петербурга. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2004, №1. С. 16-19.

13. Яшкова А.Н. Экспериментальное определение влияния влажности грунта и конфигурации здания на биопоражения деревянных свайных фундаментов. // Вестник ТГАСУ. 2010, №3. С. 205-212.

14. Федорова М.С. Утрата исторического наследия на примере Екатеринбурга, Кургана, Тюмени и Челябинска: сравнительный анализ городов с учетом истории, экономического развития и активности общественных организаций. // Инженерный вестник Дона, 2025, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9967

15. Березанцев В.Г. Расчет оснований сооружений // Издательство литературы по строительству. Ленинград. 1970. 219 с.

16. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии. Издание второе, переработанное и дополненное) // Стройиздат. Ленинград. 1988. -416 с.

17. Фадеев А.Б., Иноземцев В.К., Лукин В.А., Муравинская Н.Ю. Защита заглубленных и подземных сооружений Петербурга от подземных вод. Конспект лекций // Издательство СПбГАСУ, СПб, 2000. 25 с.

18. Мкртычев О.В., Савенков А.Ю. Нелинейный расчет встроенного подземного сооружения на воздействие воздушной ударной волны с учетом обрушения надземной части // Инженерный вестник Дона, 2023, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8133.

19. Савенков А.Ю. Динамический метод расчета грунтов при ударных воздействиях. // Инженерный вестник Дона, 2025, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9961.

20. International Management Plan UNESCO World Heritage Site prehistoric pile dwellings around the Alps. Permanent website: URL: whc.unesco.org/uploads/nominations/1363.pdf, 2019-2023e. 154 p.

21. Зданович Г.Б., Батанина И.М. Аркаим – Страна городов: Пространство и образы (Аркаим: горизонты исследований) // Издательство Крокус, Челябинск, 2007, 260 с.

22. Корякова Л.Н. Отчет по НИР: Укрепленных поселений эпохи бронзы в микрорайоне р. Карагайлы-аят (Южное Зауралье, Россия). Совместный конкурс фундаментальных исследований с немецким научно-исследовательским сообществом (ННИО_А). Номер гранта: 12-06-91330. 2012.

23. Brenneke L. Der Grundbau. 1884, 339 p.

References

1. Popov A.O., Axmetov F.M., Sabitov L.S., Gar`kin I.N., Kiyamova L.I. Nauchno-texnicheskij vestnik Povolzh`ya. 2024. № 3. pp. 55-58.

2. Popov A.O., Biryuleva D.K., Matveev I.YU. Vestnik grazhdanskix inzhenerov. 2015. № 3 (50). pp. 54-58.

3. Popov A.O., Biryuleva D.K., Matveev I.YU. Vestnik grazhdanskix inzhenerov. 2015. № 3 (50). pp. 54-58.

4. Popov A.O., Biryuleva D.K., Matveev I.YU. Vestnik grazhdanskix inzhenerov. 2015. № 2 (49). pp. 25-29.

5. Popov A.O., Matveev I.YU. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel`nogo universiteta. 2015. № 2 (32). pp. 53-57.

6. Popov A.O., Mailyan L.R., Sabitov L.S., Danilov A.M., Gar`kin I.N. Regional`naya arxitektura i stroitel`stvo. 2023. № 4 (57). pp. 199-205.

7. Popov A.O., Sabitov L.S., Gar`kin I.N., Saxapov R.L., Karimov T.M. Stroitel` Donbassa. 2024. № 3 (28). pp. 19-27.

8. Mangushev R.A., Mal`ceva K.A. Sbornik tezisov Nacional`noj (vserossijskoj) nauchno-texnicheskoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem. Sankt-Peterburg, 2024. pp. 146-147.

9. Mangushev R.A., Osokin A.I. i dr. Geotexnika Sankt-Peterburga [Geotechnics of Saint Petersburg]. Izdatel'stvo ASV, Moskva, 2010. 259 p.
10. Bronin V.N. Osnovaniya, fundamenty` i mexanika gruntov. 1999, №4. pp. 16-18.
11. Bronin V.N., Bely`j G.I., Korchagin S.G. Trudy` mezhdunarodnoj konferencii po geotexnike, posvyashhennoj 300-letiyu Sankt-Peterburga. 2003, t.2. pp. 41-46.
12. Bronin V.N., Povy`shev N.N. Osnovaniya, fundamenty` i mexanika gruntov. 2004, №1. pp. 16-19.
13. YAshkova A.N. Vestnik TGASU. 2010, №3. pp. 205-212.
14. Fedorova M.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9967
15. Berezancev V.G. Raschet osnovanij sooruzhenij [Calculation of the foundations of structures]. Izdatel'stvo literatury` po stroitel'stvu. Leningrad. 1970. 219 p.
16. Dalmatov B.I. Mexanika gruntov, osnovaniya i fundamenty` (vklyuchaya special`ny`j kurs inzhenernoj geologii. Izdanie vtoroe, pererabotannoe i dopolnennoe) [Soil Mechanics, Foundations and Constructions (including a special course on Engineering Geology. Second Edition, Revised and Expanded)]. Strojizdat. Leningrad. 1988. 416 p.
17. Fadeev A.B., Inozemcev V.K., Lukin V.A., Muravinskaya N.YU. Zashhita zaglublenny`x i podzemny`x sooruzhenij Peterburga ot podzemny`x vod. Konspekt lekcij [Protection of the buried and underground structures of St. Petersburg from groundwater. Lecture notes]. Izdatel'stvo SPbGASU, SPb, 2000. 25 p.
18. Mkrty`chev O.V., Savenkov A.YU. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8133.

19. Savenkov A.YU. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9961.

20. International Management Plan UNESCO World Heritage Site prehistoric pile dwellings around the Alps. Permanent website: URL: whc.unesco.org/uploads/nominations/1363.pdf, 2019-2023e. 154 p.

21. Zdanovich G.B., Batanina I.M. Arkaim – Strana gorodov: Prostranstvo i obrazy` (Arkaim: gorizonty` issledovaniy) [Arkaim – The Land of Cities: Space and Images (Arkaim: Horizons of Research)]. Izdatel'stvo Krokus, CHelyabinsk, 2007, 260 p.

22. Koryakova L.N. Otchet po NIR: Ukreplenny`x poselenij e`poxi bronzy` v mikrorajone r. Karagajly`-ayat (YUzhnoe Zaural`e, Rossiya) [Bronze Age fortified settlements in the Karagayly-Ayat microdistrict (Southern Trans-Urals, Russia)]. Sovmestny`j konkurs fundamental'ny`x issledovaniy s nemeckim nauchno-issledovatel'skim soobshhestvom (NNIO_A). Nomer granta: 12-06-91330. 2012.

23. Brenneke L. Der Grundbau. 1884, 339 p.

Дата поступления: 1.06.2025

Дата публикации: 21.07.2025