

УДК 624.1

© М. С. Дружинин, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: dms95@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2026-23-2-60-70

© M. S. Druzhinin, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: dms95@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ВДАВЛИВАНИЯ СВАЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНОГО КРУПНОМАСШТАБНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

IMPACT OF JACKED PILE INSTALLATION ON THE STRESS-STRAIN STATE OF FOUNDATION SOILS BENEATH EXISTING BUILDINGS: RESULTS OF A FULL-SCALE FIELD TEST

Представлены результаты натурных наблюдений за массовым погружением вдавливаемых свай в водонасыщенные глинистые грунты. Целью работы являлась оценка изменений напряженно-деформированного состояния грунтового массива, определяющих его деформации. Для этого на опытной площадке был выполнен комплексный контроль различных параметров. Установлено, что подъем грунта и фундаментов существующего здания сопровождался изменением избыточного порового давления: его значения росли с глубиной и снижались по мере удаления от зоны работ. Максимальные деформации сооружения оказались сопоставимы с перемещениями ближайших поверхностных грунтовых марок. При этом наличие ограждающих конструкций котлована не предотвратило подъем грунта и изменение порового давления. Установлено, что вопреки распространенному мнению о щадящем характере погружения заводских свай методом статического вдавливания, применение данной технологии нуждается в предварительном геотехническом обосновании.

Ключевые слова: сваи вдавливания, метод статического вдавливания, технологическое влияние, натурный эксперимент, геотехнический мониторинг, избыточное поровое давление, подъем грунта.

This paper presents the results of field observations of the mass installation of jacked piles in water-saturated clayey soil. The purpose of the work was to assess the changes in the stress-strain state of the soil massif which determine its deformations. To achieve this, comprehensive monitoring of various parameters was carried out at the test site. There has been found that the heave of the soil and the foundations of the existing building is accompanied by changes in excess pore pressure: its values increase with depth and decrease with distance from the work area. The maximum deformations of the structure are comparable to the displacement of the nearest surface soil markers. At the same time, the presence of excavation enclosure structures did not prevent soil heave and changes in pore pressure. It has been established that, contrary to the common belief regarding the gentle nature of driving prefabricated piles by static jacking, the application of this technology requires prior geotechnical substantiation.

Keywords: jacked piles, static pile driving method, technological impact, field experiment, geotechnical monitoring, excess pore pressure, ground heave.

Введение

Погружение заводских железобетонных свай методом статического вдавливания принято считать щадящей технологией, так как сохраняется ряд преимуществ забивных свай, но в то же время исключается динамическое воздействие, что является ключевым фактором для возможности производства работ в условиях городской застройки [1–8].

Многочисленные результаты геотехнического мониторинга свидетельствуют о том, что применение данной технологии в водонасыщенных слабофильтрующих глинистых грунтах сопровождается практически мгновенным подъемом, а затем длительной осадкой окружающего грунтового массива и существующей застройки [9–12].

На данный момент выполнено большое количество исследований [13–21], изучающих процессы изменения напряженно-деформированного состояния грунта при внедрении одной или небольших групп свай. Однако в основном данные изыскания направлены на последующее уточнение их несущей способности, связанной с процессами консолидации грунта и релаксации напряжений, а также анализа взаимного влияния. Механизмы, происходящие при устройстве свайного поля, и воздействие, оказываемое на существующие сооружения, малоизучены и обычно оцениваются по результатам геотехнического мониторинга.

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования является комплексное изучение изменений, происходящих в грунтовом массиве, и анализ их влияния на окружающую застройку при массовом вдавливании свай.

Методика наблюдений и оборудование

Для научно-технического обоснования влияния погружения свай методом статического вдавливания на напряженно-деформированное состояние основания и фундаменты близрасположенных зданий и сооружений был выполнен натурный эксперимент

на опытной площадке с установкой наблюдательного оборудования в условиях слабых водонасыщенных грунтов Санкт-Петербурга (рис. 1).

Методом статического вдавливания выполнялось погружение составных железобетонных свай сечением 40×40 см на глубину 21 м для подземных паркингов и 28 м для жилых корпусов количеством 3783 единицы. Предварительное рыхление и лидерное бурение не проводились, но сначала был изготовлен замкнутый контур ограждения котлована, выполненный из шпунтовых свай длиной 15–18 м.

В зоне влияния производства работ предполагалось здание, подлежащее демонтажу, с несущими сборными железобетонными колоннами и двускатными железобетонными балками покрытия. Фундаменты столбчатые на естественном основании, глубиной заложения от поверхности 2,7 м. На внешних стенах здания были установлены геодезические марки с целью контроля вертикальных деформаций и горизонтального смещения.

За перемещениями окружающего грунтового массива велись наблюдения по поверхностным маркам. Контроль уровня грунтовых вод осуществлялся с помощью пьезометрической скважины, устроенной в процессе строительства.

Изменение порового давления фиксировалось с помощью струнных пьезометров, установленных на глубинах 5 и 10 м (рис. 2). Датчики располагались в плане на различных расстояниях как от ограждения котлована, так и от существующего здания.

Внутри корпуса пьезометра (рис. 3) находится высокопрочная стальная струна, закрепленная одним концом к неподвижной опоре, а другим — к измерительной мембране. Поступление поровой жидкости к мембране обеспечивается через фильтрующий пористый камень. Регистрация данных велась портативным регистратором, который подключался к двухжильному кабелю. При-

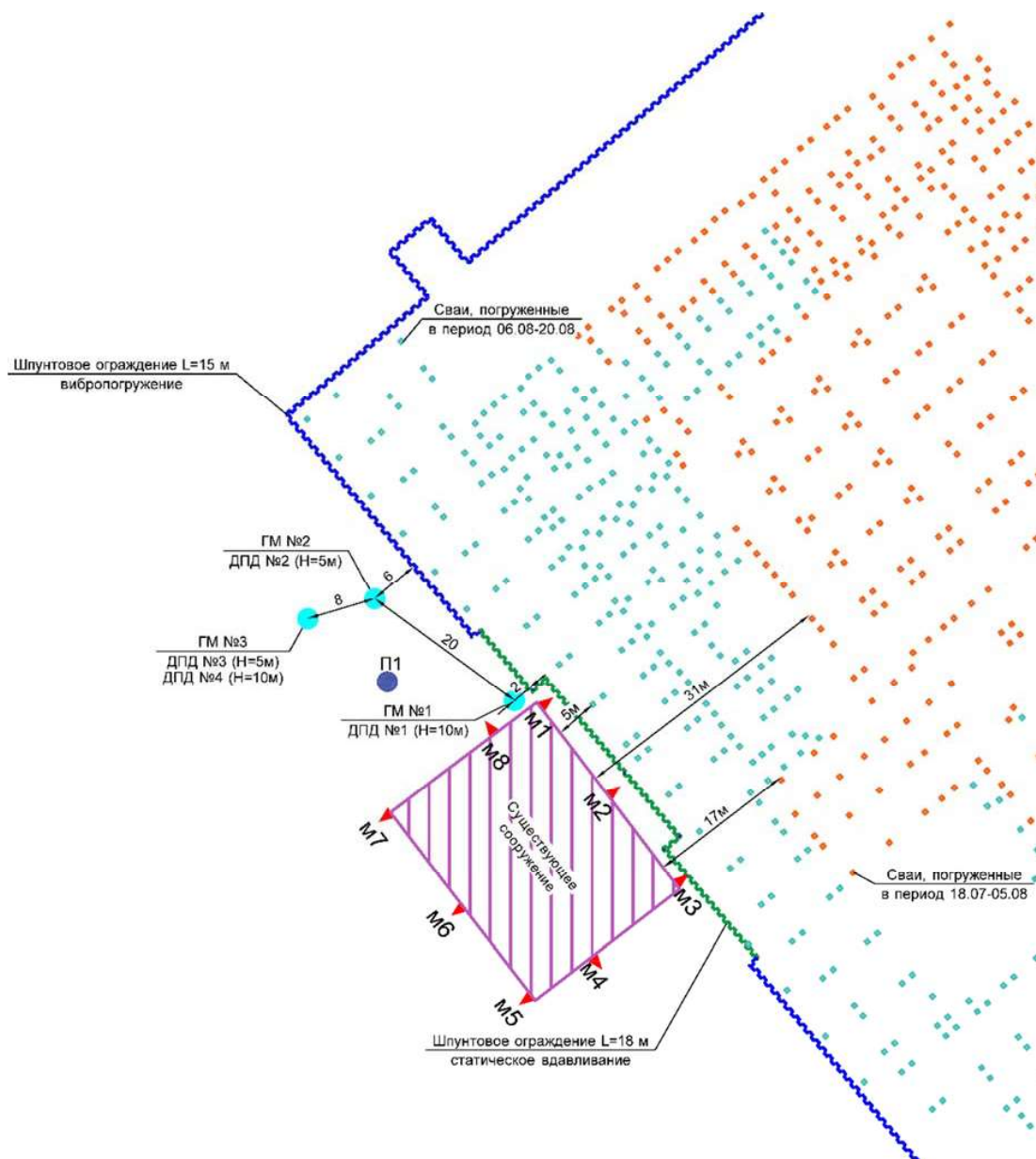


Рис. 1. Ситуационная схема расположения наблюдательного оборудования на опытной площадке:
 ГМ — грунтовая марка; ДПД — датчик порового давления; М — геодезические осадочные марки;
 П — пьезометрическая скважина для контроля уровня грунтовых вод

бор возбуждает колебания струны электромагнитным импульсом и измеряет частоту ее собственных колебаний, величина которой связана с измеряемым поровым давлением.

Установка датчика возможна как в предварительно пробуренную и впоследствии затампонированную специальным раствором скважину [22], так и способом вдавливания. Для реализации последнего был изготовлен

переходник стаканной формы, навинчиваемый на штангу статического зонда. После снятия пластикового корпуса датчик размещался внутри переходника, затем производилось вдавливание до требуемой отметки. При извлечении штанги переходник выходил из грунта, а датчик, освободившись от обоймы, оставался в массиве на заданной глубине.

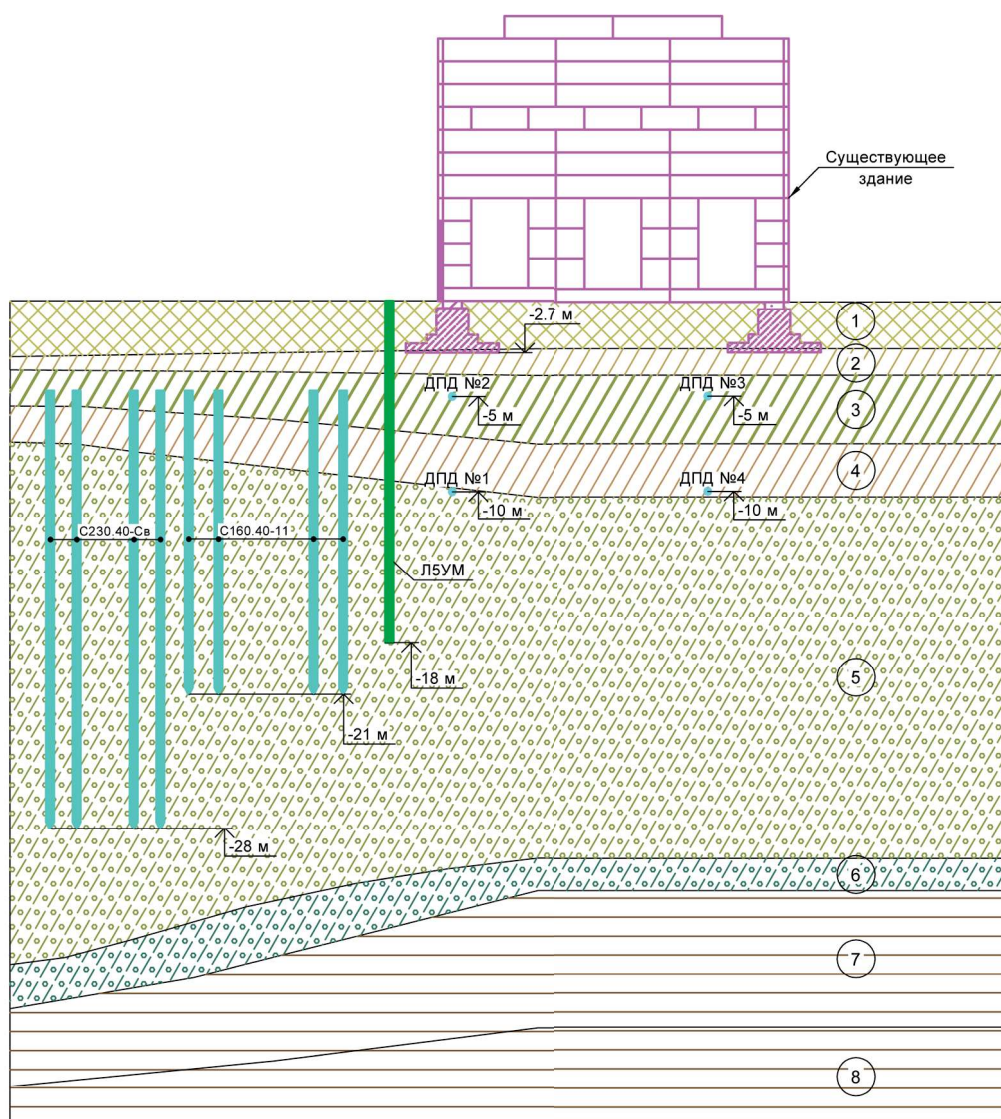


Рис. 2. Схема расположения конструкций и датчиков порового давления на инженерно-геологическом разрезе

По результатам выполненных инженерно-геологических изысканий установлено, что разрез грунтового основания отличается переменной мощностью насыпных грунтов. Ниже залегают слабые, водонасыщенные тиксотропные суглинки с ленточной текстурой, сформированные в условиях озерно-ледниковых процессов. Под ними развиты ледниковые отложения, представленные пластичными супесями, которые служат основанием для проектируемого фундамента. Грунтовые воды зафиксированы на глубине

0,5–1,5 м от дневной поверхности. В таблице представлены характеристики грунтов.

Результаты наблюдений

Установка датчиков до начала строительных работ позволила определить среднее гидростатическое поровое давление в грунтовой массе на разных отметках. Так, на глубине 5 м значение составило ≈ 40 кПа, что соответствует уровню грунтовых вод порядка 1 м от поверхности земли. На глубине 10 м давление составило 67–71 кПа, что подтверждают данные последних исследова-



Рис. 3. Конструкция струнного датчика порового давления (ДПД)

ний [23, 24] о том, что в водоупорных слоях оно, во-первых, присутствует, а во-вторых, характер его изменения по глубине не описывается простой линейной функцией. Пьезометрическая скважина была изготовлена в процессе производства строительных работ, однако измерения по ней позволили подтвердить, что изменение порового давления в первую очередь связано с технологически-

ми процессами, нежели с сезонным изменением уровня грунтовых вод (рис. 4).

Наблюдение по геодезическим и грунтовым маркам осуществлялось один раз в две недели.

Первый подъем у здания был зафиксирован после погружения массива свай на минимальном расстоянии — 17–31 м (см. рис. 1). Существенного изменения порового давления (рис. 5) за этот период не наблюдалось.

Значительный подъем сооружения был зафиксирован после погружения свай на минимальном расстоянии — 5 м от наружных стен конструкции и суммарно составил до +33 мм по контролируемым маркам. Горизонтальное смещение здания в сторону от котлована по всем точкам измерения составило 30–46 мм.

За этот период также было отмечено увеличение избыточного порового давления на глубине 10 м до 37 кПа, а на глубине 5 м — до 10 кПа по ближайшим датчикам.

По поверхностным грунтовым маркам ГМ № 1 и ГМ № 2 (рис. 6), расположенным в плане на том же удалении от зоны производства работ, что и контролируемое сооружение, максимальная величина зафиксированного подъема составила 31–33 мм. Получен-

Инженерно-геологические условия рассматриваемой площадки

Номенклатурное наименование грунтов	ИГЭ	W	ρ , т/м ³	e	I_L	Показатели прочности		Модуль деформации E, МПа
						φ , град.	c, кПа	
Насыпные грунты	1					–		
Суглинки легкие пылеватые текучепластичные	2	0,30	1,93	0,837	0,78	12	12	10
Суглинки тяжелые пылеватые текучие ленточные	3	0,40	1,82	1,116	1,08	7	8	7
Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные слоистые тиксотропные	4	0,27	1,97	0,756	0,61	13	14	8
Супеси пылеватые пластичные	5	0,18	2,12	0,506	0,29	19	24	30
Супеси пылеватые пластичные	6	0,14	2,20	0,400	0,20	25	95	22
Глины пылеватые твердые	7	0,18	2,14	0,508	–0,27	22	117	30
Глины пылеватые твердые	8	0,16	2,18	0,463	–0,37	20	149	34

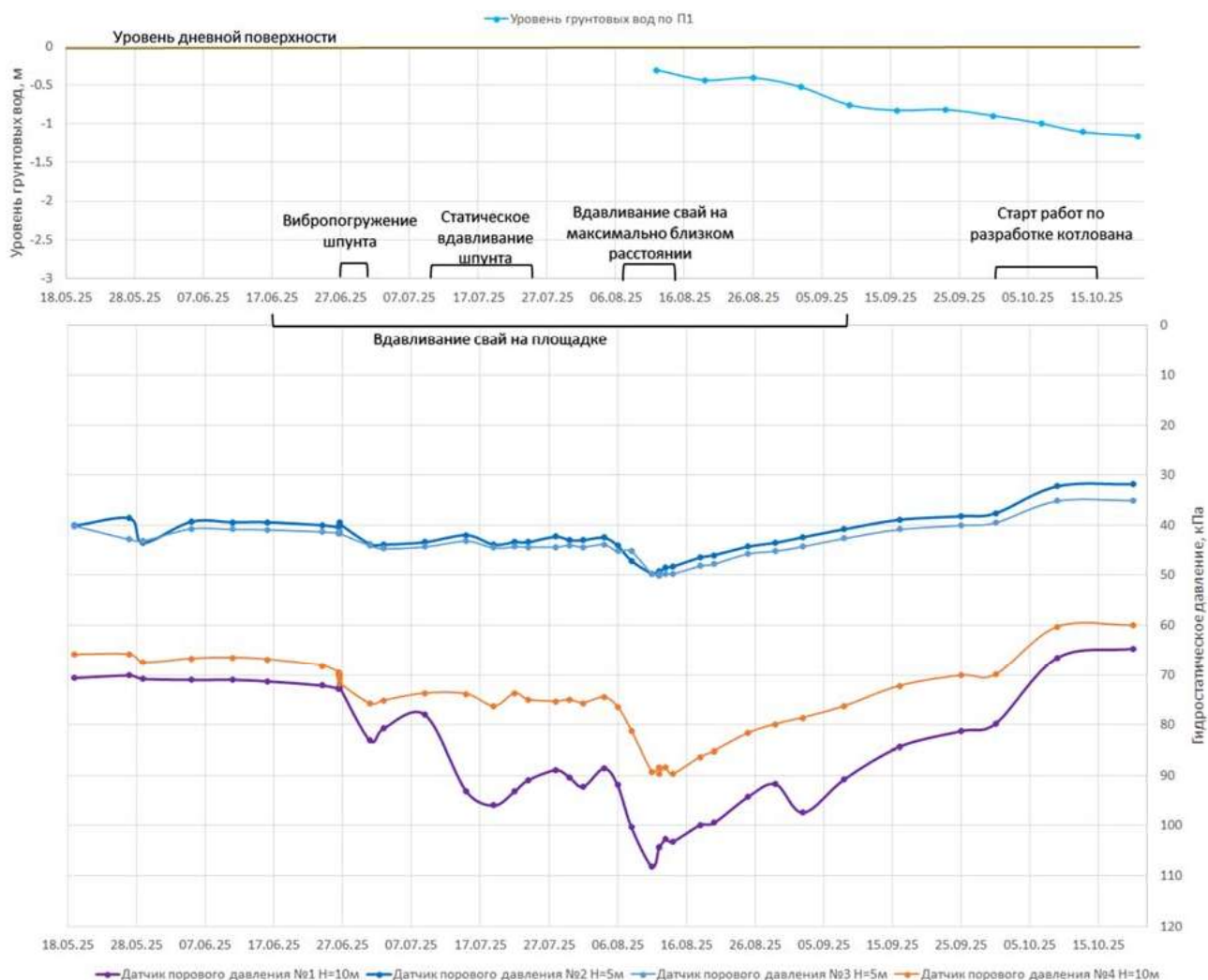


Рис. 4. Совмещенный график изменения уровня грунтовых вод и гидростатического давления в массиве грунта

ные значения сопоставимы с наибольшими значениями деформации здания.

Для грунтовой марки ГМ № 3, расположенной в плане на 8 м дальше от зоны работ, максимальный подъем ожидаемо оказался ниже и составил 19 мм. Пиковые значения избыточного порового давления в рассматриваемой точке также меньше, чем на аналогичных глубинах у датчиков, находящихся ближе к погружаемым сваям: 23 кПа на глубине 10 м и 8 кПа на глубине 5 м.

Следует отметить, что изменение контролируемых параметров также фиксировалось и при других технологических процессах,

таких как вибропогружение и статическое вдавливание шпунтовых свай, а также после начала разработки котлована. Из-за старта выемки грунта не удалось оценить длительность процесса фильтрационной консолидации и конечную осадку сооружения после предварительного подъема.

Выводы

По результатам проведенного натурного эксперимента можно заключить следующее:

1. Подъем грунтового массива при массовом погружении вдавливаемых свай в водонасыщенных глинистых грунтах сопровождается увеличением избыточного порового

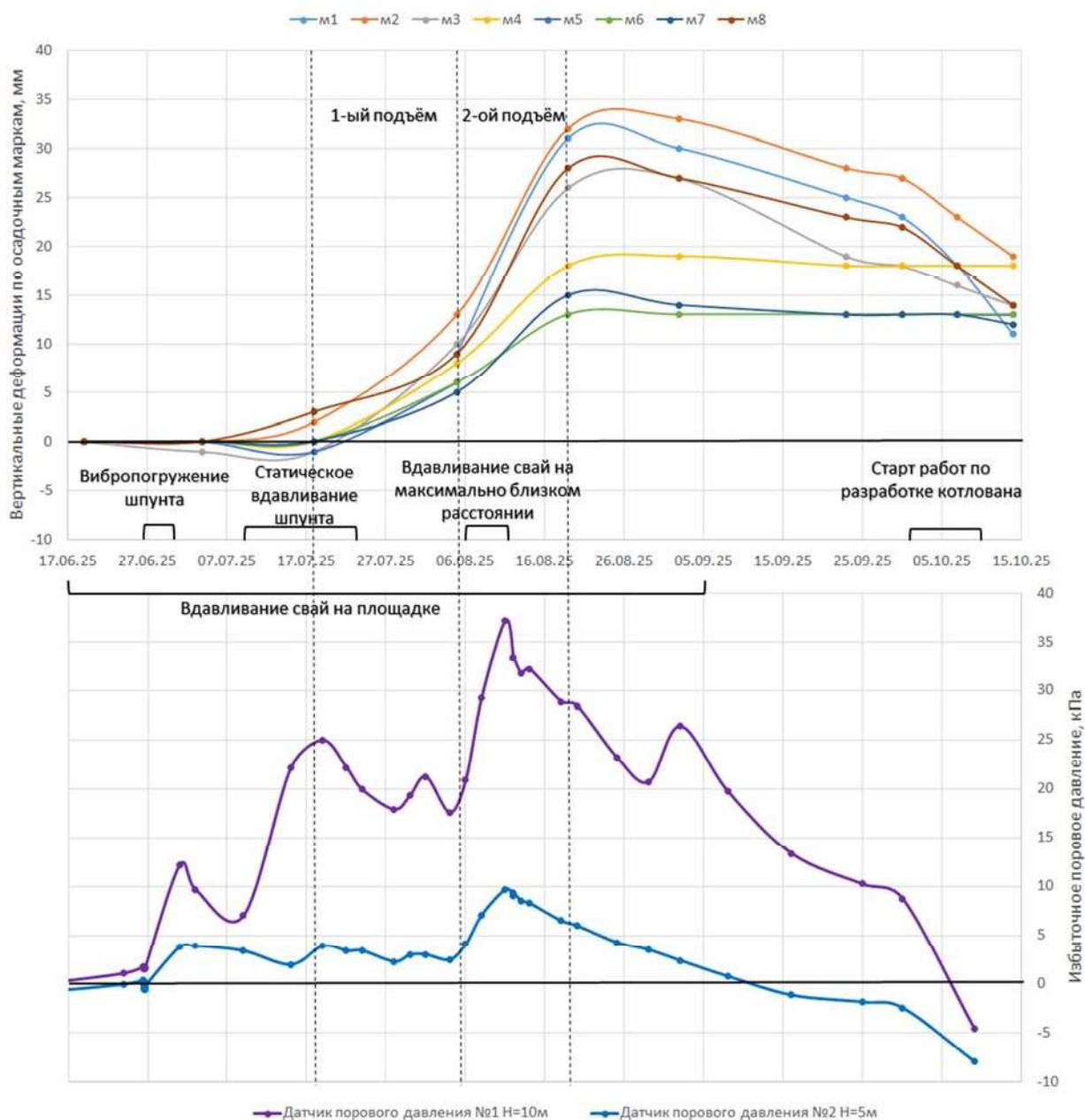


Рис. 5. Совмещенный график деформаций существующего здания и изменения избыточного порового давления по ближайшим датчикам

давления, величина которого возрастает с глубиной.

2. Отсутствие заметных отклонений по контролируемым датчикам в первый период деформации сооружения объясняется тем, что изменение напряженно-деформированного состояния происходило на отметках, расположенных ниже уровня их установки.

3. Величины избыточного порового давления и деформации грунтового массива уменьшаются с увеличением расстояния от свайного поля. Максимальный подъем грунтовых марок, расположенных в плане на том же удалении от зоны производства работ, что и существующее здание, оказался сопоставим с подъемом последнего.

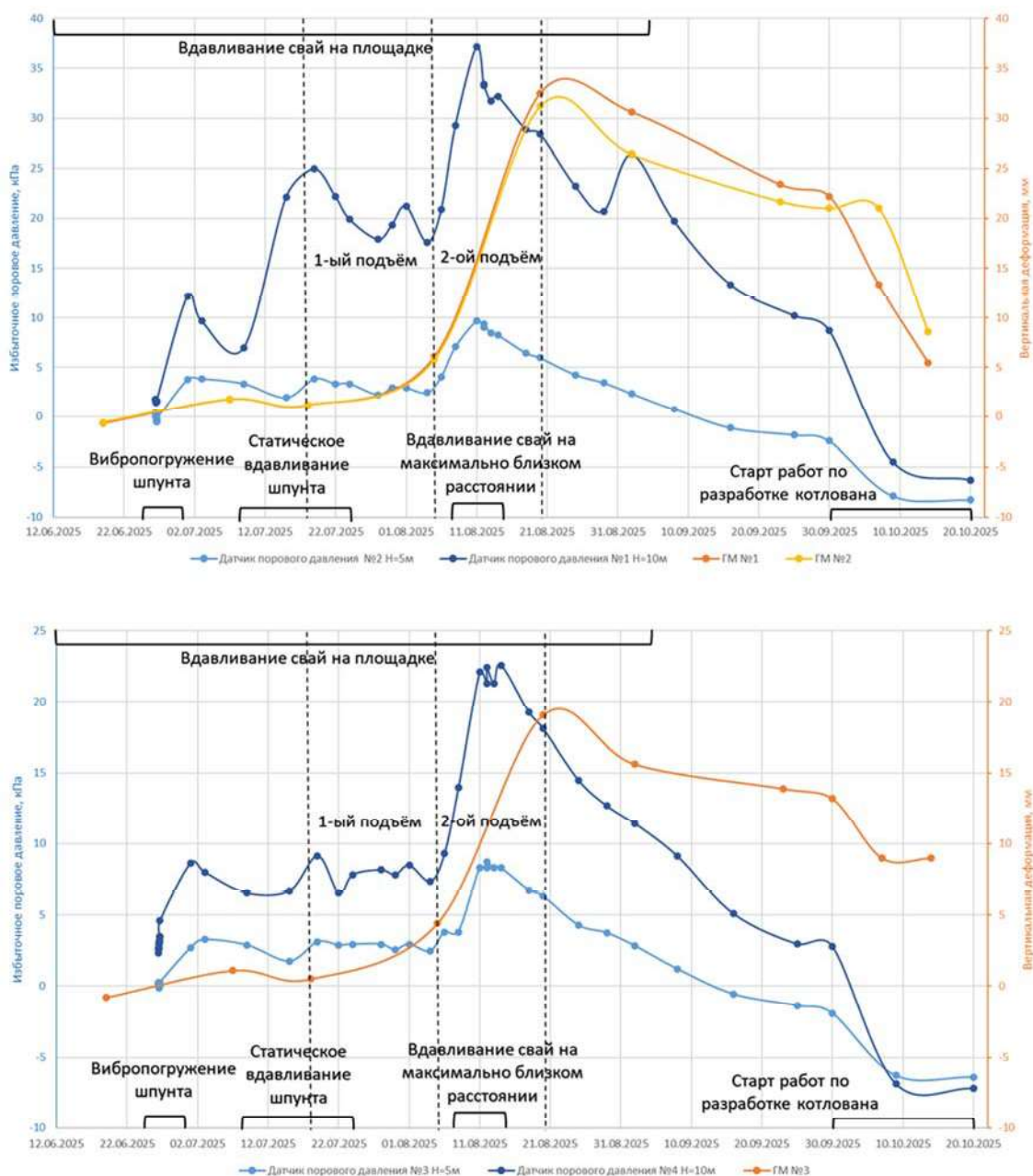


Рис. 6. Совмещенный график деформаций поверхностных грунтовых марок и изменения избыточного порового давления по ближайшим к ним датчикам

4. Наличие ограждающей конструкции котлована, выполняющей также роль противофильтрационной завесы, не исключает возникновения избыточного порового давления, однако, вероятно, ограничивает его величину и радиус распространения.

5. Контроль колебаний уровня грунтовых вод позволил также установить, что суще-

ственное изменение нейтрального давления в первую очередь связано с технологическими процессами.

6. Погружение свай статическим вдавливанием в водонасыщенные глинистые грунты в условиях существующей застройки требует предварительного геотехнического обоснования. По итогам такой оценки сле-

дует установить допустимость применения данной технологии и состав необходимых компенсирующих мероприятий, среди которых может быть лидерное бурение или предварительное рыхление грунта.

Библиографический список

1. Далматов Б. И., Лапшин Ф. К., Россихин Ю. В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1975. 240 с.
2. Мангушев Р. А., Осокин А. И. Геотехника Санкт-Петербурга. М.: АСВ, 2010. 259 с.
3. Мангушев Р. А., Осокин А. И., Усманов Р. А. Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах. СПб.: Лань, 2018. 456 с.
4. Мангушев Р. А., Готман А. Л., Знаменский В. В., Пономарев А. Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии. 3-е изд., стер. М.: АСВ, 2021. 311 с.
5. Гайдо А. Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // Жилищное строительство. 2015. № 9. С. 12–15.
6. Юшубе С. В., Сулима В. А., Тарасов А. А. Экспериментальные исследования взаимодействия свай с водонасыщенным глинистым грунтом при их погружении вдавливанием // Вестник Томского гос. архитектурно-строительного ун-та. 2016. № 3 (56). С. 179–185.
7. Омельченко П. Н., Суходуб А. В., Винников Ю. Л. Несущая способность вдавленных призматических свай в водонасыщенных глинистых грунтах // Механика и технологии. 2016. № 3 (53). С. 99–107.
8. Гайдо А. Н. Методика разработки проектов производства работ на устройство свайных фундаментов в условиях городской застройки // Инженерный вестник Дона. 2023. № 10 (106). С. 399–414.
9. Дружинин М. С. Анализ влияния погружения заводских железобетонных свай на основания окружающей застройки // Вестник гражданских инженеров. 2025. № 3 (110). С. 84–98.
10. Улицкий В. М., Шашкин А. Г. Геотехническое обоснование сложных технологий реконструкции и нового строительства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1997. № 3. С. 3–8.
11. Денисова О. О. Влияние работ по выполнению свай вдавливания и устройству глубинной распорной диафрагмы на дополнительные деформации зданий окружающей застройки // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 5 (100). С. 52–63.
12. Yang Y., Lei J., Deng D., Zou Y. Laboratory model test and analysis of excess pore water pressure dissipation of pile driven by tapered — perforated tubular pipe pile // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 692 (4). 042112.
13. Бахолдин Б. В., Большаков Н. М. Исследование напряженного состояния глинистых грунтов при погружении свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1973. № 5. С. 7–9.
14. Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С. Прогноз осадок свайных фундаментов / под ред. А. А. Бартоломея. М.: Стройиздат, 1994. 380 с.
15. Бахолдин Б. В., Бессмертный А. В., Ястребов П. И. Исследование природы увеличения несущей способности свай, погруженных в глинистые грунты // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 2. С. 18–21.
16. Pestana J. M., Hunt C., Bray J. Soil deformation and excess pore pressure field around a closed-ended pile // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2002. Vol. 128 (1). Pp. 1–12.
17. Jackson A. M., White D., Bolton M. D., Nagayama T. Pore pressure effects in sand and silt during pile jacking // Foundations — Proceedings of the 2nd BGA International Conference on Foundations (ICOF). Bracknell, UK: IHS BRE Press, 2008. Vol. CD. Pp. 575–586.
18. Jarushi F., Cosentino P., Kalajian E. H., Dekhn H. C. CPT pore water pressure correlations with PDA to identify pile drivability problem // International Scholarly and Scientific Research & Innovation. 2015. Vol. 9 (2). Pp. 55–61.
19. Arafianto A., Rahardjo P. P. Prediction of excess pore pressure due to pile driving based on CPTu // Proceeding 20th SEAGC — 3rd AGSSEA Conference in conjunction with 22nd Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering (SEAGC 2018). Jakarta, Indonesia, 6–7th November, 2018. Pp. 607–610.
20. Wang Y., Liu X., Zhang M., Yang S., Sang S. Field test of excess pore water pressure at pile–soil interface caused by PHC pipe pile penetration based on silicon piezoresistive sensor // Sensors for Nondestructive Testing and Evaluation. 2020. Vol. 20 (10). 2829.
21. Tsegaye A. B. Pore pressure dissipation around driven piles and cone penetration tests — analytical solutions and a simplified approach using the Gauss’ divergence theorem // Proceedings of the 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC 2020). 2020. Pp. 1–8.
22. Mikkelsen P. E., Green G. E. Piezometers in Fully Grouted Boreholes // Symposium on Field Measurements in Geomechanics, FMGM 2003. Oslo, Norway, September 2003. Pp. 1–10.

23. Труфанов А. Н. Использование метода линейной интерполяции для определения параметров природного напряженного состояния слабофильтрующих грунтов // Вестник НИЦ «Строительство». 2020. № 3 (26). С. 93–104.

24. Труфанов А. Н., Бершов А. В., Орехов В. В. Определение порового давления в слабо фильтрующих грунтах методом линейной интерполяции // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10, № 4. С. 21–25.

References

1. Dalmatov B. I., Lapshin F. K., Rossikhin Yu. V. *Proektirovaniye svaynykh fundamentov v usloviyakh slabykh gruntov* [Design of pile foundations in weak soil conditions]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1975, 240 p.

2. Mangushev R. A., Osokin A. I. *Geotekhnika Sankt-Peterburga* [Geotechnics of St. Petersburg]. Moscow, ASV Publ., 2010, 259 p.

3. Mangushev R. A., Osokin A. I., Usmanov R. A. *Ustroystvo i rekonstruktsiya osnovaniy i fundamentov na slabykh i strukturno-neustoychivyykh gruntakh* [Design and reconstruction of bases and foundations on weak and structurally unstable soils]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2018, 456 p.

4. Mangushev R. A., Gotman A. L., Znamenskiy V. V., Ponomarev A. B. *Svai i svaynye fundamenty. Konstruktsii, proektirovaniye i tekhnologii* [Piles and pile foundations. Structures, design and technologies]. 3-rd ed., revised. Moscow, ASV Publ., 2021, 311 p.

5. Gaydo A. N. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh resheniy ustroystva svaynykh fundamentov zhilykh zdaniy v usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Ways to improve technological solutions for the arrangement of pile foundations of residential buildings in urban development]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2015, no. 9, pp. 12–15.

6. Yushchube S. V., Sulima V. A., Tarasov A. A. *Eksperimental'nye issledovaniya vzaimodeystviya svay s vodonasyshchennym glinistym gruntom pri ikh pogruzhении v davlivanem* [Experimental studies of the interaction of piles with water-saturated clay soil during their immersion by indentation]. *Vestnik Tomskogo gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta – Bulletin of the Tomsk State. architectural and construction university*, 2016, no. 3 (56), pp. 179–185.

7. Omel'chenko P. N., Sukhodub A. V., Vinnikov Yu. L. *Nesushchaya sposobnost' v davlennykh prizmaticheskikh svay v vodonasyshchennykh glinistyykh gruntakh* [Bearing capacity of depressed prismatic piles in water-saturated clay soils]. *Mekhanika i tekhnologii – Mechanics and Technology*, 2016, no. 3 (53), pp. 99–107.

8. Gaydo A. N. *Metodika razrabotki projektov proizvodstva rabot na ustroystvo svaynykh fundamentov v usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Methods of development of work execution plans for arrangement of pile foundations in urban development conditions]. *Inzhenerniy vestnik Dona – Don Engineering Bulletin*, 2023, no. 10 (106), pp. 399–414.

9. Druzhinin M. S. *Analiz vliyaniya pogruzheniya zavodskikh zhelezobetonnykh svay na osnovaniya okruzhayushchey zastroyki* [Analysis of the effect of immersion of factory reinforced concrete piles on the foundations of the surrounding buildings]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2025, no. 3 (110), pp. 84–98.

10. Ulitskiy V. M., Shashkin A. G. *Geotekhnicheskoe obosnovanie slozhnykh tekhnologiy rekonstruktsii i novogo stroitel'stva* [Geotechnical substantiation of complex technologies for reconstruction and new construction]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, foundations and soil mechanics*, 1997, no. 3, pp. 3–8.

11. Denisova O. O. *Vliyanie rabot po vypolneniyu svay v davlivanii i ustroystvu glubinnoy raspornoj diafragmy na dopolnitel'nye deformatsii zdaniy okruzhayushchey zastroyki* [Impact of works on the execution of driving piles and the installation of a deep spacer diaphragm on additional deformations of buildings of the surrounding buildings]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2023, no. 5 (100), pp. 52–63.

12. Yang Y., Lei J., Deng D., Zou Y. Laboratory model test and analysis of excess pore water pressure dissipation of pile driven by tapered — perforated tubular pipe pile. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 692 (4), 042112.

13. Bakhholdin B. V., Bol'shakov N. M. *Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya glinistyykh gruntov pri pogruzhении svay* [Study of the stressed state of clay soils during pile immersion]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, foundations and soil mechanics*, 1973, no. 5, pp. 7–9.

14. Bartolomey A. A., Omel'chak I. M., Yushkov B. S. *Prognoz osadok svaynykh fundamentov* [Forecast of pile foundation settlement]. Ed. by Bartolomey A. A. Moscow, Stroyizdat Publ., 1994, 380 p.

15. Bakhholdin B. V., Bessmertnyy A. V., Yastrebov P. I. *Issledovanie prirody uvelicheniya nesushchey sposobnosti svay, pogruzhennykh v glinistyye grunty* [Study of the nature of increasing the bearing capacity of piles immersed in clay soils]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov – Bases, foundations and soil mechanics*, 2017, no. 2, pp. 18–21.

16. Pestana J. M., Hunt C., Bray J. Soil deformation and excess pore pressure field around a closed-ended pile.

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002, vol. 128 (1), pp. 1–12.

17. Jackson A. M., White D., Bolton M. D., Nagayama T. Pore pressure effects in sand and silt during pile jacking. *Foundations — Proceedings of the 2nd BGA International Conference on Foundations (ICOF)*, Bracknell, UK: IHS BRE Press, 2008, vol. CD, pp. 575–586.

18. Jarushi F., Cosentino P., Kalajian E. H., Dekhn H. C. CPT pore water pressure correlations with PDA to identify pile drivability problem. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 2015, vol. 9 (2), pp. 55–61.

19. Arafianto A., Rahardjo P. P. Prediction of excess pore pressure due to pile driving based on CPTu. *Proceeding 20th SEAGC — 3rd AGSSEA Conference in conjunction with 22nd Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering (SEAGC 2018)*, Jakarta, Indonesia, 6–7th November, 2018, pp. 607–610.

20. Wang Y., Liu X., Zhang M., Yang S., Sang S. Field test of excess pore water pressure at pile–soil interface caused by PHC pipe pile penetration based on silicon piezoresistive sensor. *Sensors for Nondestructive Testing and Evaluation*, 2020, vol. 20 (10), 2829.

21. Tsegaye A. B. Pore pressure dissipation around driven piles and cone penetration tests — analytical solutions and a simplified approach using the Gauss' divergence theorem. *Proceedings of the 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC2020)*, 2020, pp. 1–8.

22. Mikkelsen P. E., Green G. E. Piezometers in Fully Grouted Boreholes. *Symposium on Field Measurements in Geomechanics, FMGM*, 2003. Oslo, Norway, September 2003, pp. 1–10.

23. Trufanov A. N. *Ispol'zovanie metoda lineynoy interpolyatsii dlya opredeleniya parametrov prirodnogo napryazhennogo sostoyaniya slabofil'truiyushchikh gruntov* [Using the linear interpolation method to determine the parameters of the natural stress state of weakly filtering soils]. *Vestnik NITs«Stroitel'stvo» — Bulletin of the Research Center "Construction"*, 2020, no. 3 (26), pp. 93–104.

24. Trufanov A. N., Bershov A. V., Orekhov V. V. *Opredelenie porovogo davleniya vslabo fil'truiyushchikh gruntakh metodom lineynoy interpolyatsii* [Determination of pore pressure in remote filtering soils by linear interpolation]. *Stroitel'stvo i arkhitektura — Construction and Architecture*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 21–25.