

УДК 624.154.5

О.А. МАКОВЕЦКИЙ<sup>1</sup>, канд. техн. наук; С.С. ЗУЕВ<sup>2</sup>, зам. ген. директора

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614019, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29)

<sup>2</sup> ОАО «Нью Граунд» (614081, Россия, Пермь, ул. Кронштадтская, 35)

## Опыт проведения полевых испытаний барреты большой длины в условиях плотной городской застройки

Оценка несущей способности сваи аналитическими методами и в дальнейшем проверка этих значений полевыми испытаниями является важным аспектом проектирования свайных фундаментов. В статье приводится опыт организации и проведения полевых испытаний железобетонных баррет с использованием метода волновой теории удара в условиях существующей застройки. Проведена оценка возможности применения этого метода в условиях стесненной строительной площадки. Полученные экспериментальные данные подтверждают обеспеченность несущей способности барреты по грунту с превышением в пределах 5–20% при расчетном уровне вертикальных перемещений. Это показывает хорошую сходимость применяемых при проектировании численных методов моделирования работы длинной барреты в грунте. Испытания баррет проведены без нанесения ущерба их работоспособности. В ходе проведения испытаний подтверждена сплошность и однородность конструкции барреты. Зафиксированные скорости колебаний конструкций окружающей застройки значительно ниже предельно допустимых значений. Колебания материала, вызванные ударом, в большей части распространяются в теле конструкции и резко затухают в грунте за ее пределами.

**Ключевые слова:** баррета, несущая способность, свайный фундамент, полевые испытания, метод волновой теории удара, плотная городская застройка.

**Для цитирования:** Маковецкий О.А., Зув С.С. Опыт проведения полевых испытаний барреты большой длины в условиях плотной городской застройки // *Жилищное строительство*. 2018. № 9. С. 00–00.

O.A. MAKOVETSKY<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); S.S. ZUEV<sup>2</sup>, Deputy General Director

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Avenue, Perm, 614019, Russian Federation)

<sup>2</sup> JSC "New Ground" (35, Kronshtadtskaya Street, Perm, 614081, Russian Federation)

### Experience in Conducting Field Tests of a Barrette of Long Length under Conditions of Dense Urban Development

Evaluation of the bearing capacity of the pile by analytical methods and further verification of these values by field tests is an important aspect of the design of pile foundations. The article presents the experience in organization and conducting field tests of a reinforced concrete barrette with the use of the method of the wave theory of impact under the conditions of the existing development. An assessment of the possibility of using this method under the conditions of the tight construction site is made. The experimental data obtained confirm the providing of bearing capacity of the barrette on the ground with excess within the range of 5–20% at the calculated level of vertical displacements. This shows a good convergence of the numerical methods of modeling of operation of a long barrette in the soil when designing. Tests of barrettes were conducted without damage to their performance. The continuity and homogeneity of the barrette design was confirmed in the course of the test conducting. Fixed speeds of fluctuations of the structures of the surrounding development are substantially below the maximum permissible values. Vibrations of the material caused by the impact, for the most part spread in the body of the structure, and sharply damped in the ground outside its limits.

**Keywords:** barrette, bearing capacity, pile foundation, field tests, method of wave theory of impact, dense urban development.

**For citation:** Makovetsky O.A., Zuev S.S. Experience in conducting field tests of a barrette of long length under conditions of dense urban development. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 9, pp. 00–00. (In Russian).

В настоящее время строительство подземных частей зданий в условиях плотной городской застройки ведется методом «top-down». При выполнении работ этим методом в качестве опор перекрытий подземных этажей используются барреты – глубокие сваи, выполняемые по технологии «стена в грунте» с использованием гидрофрезы или телескопического грейфера. Оценка несущей способности сваи аналитическими методами и в дальнейшем проверка этих значений полевыми испытаниями является важным аспектом проектирования свайных фундаментов. Известно достаточное количество аналитических методов расчета несущей способности одиночных свай, учитывающих геометриче-

ские размеры сваи и физико-механические характеристики грунта. Но зачастую величины, полученные расчетом по этим методам, значительно отличаются от результатов полевых испытаний свай вертикальной нагрузкой. В первую очередь это касается свай большой длины, выполненных в грунте под защитой глинистого раствора. В специальной литературе, посвященной вопросам геотехники, достаточно полно рассматриваются вопросы полевых испытаний свай статическими вдавливающими нагрузками и методом Остерберга (метод погружного домкрата) [1–9]. Но выполнение испытаний методом волновой теории удара (метод PDA) представлено не столь обширно [10]. В данной статье авто-

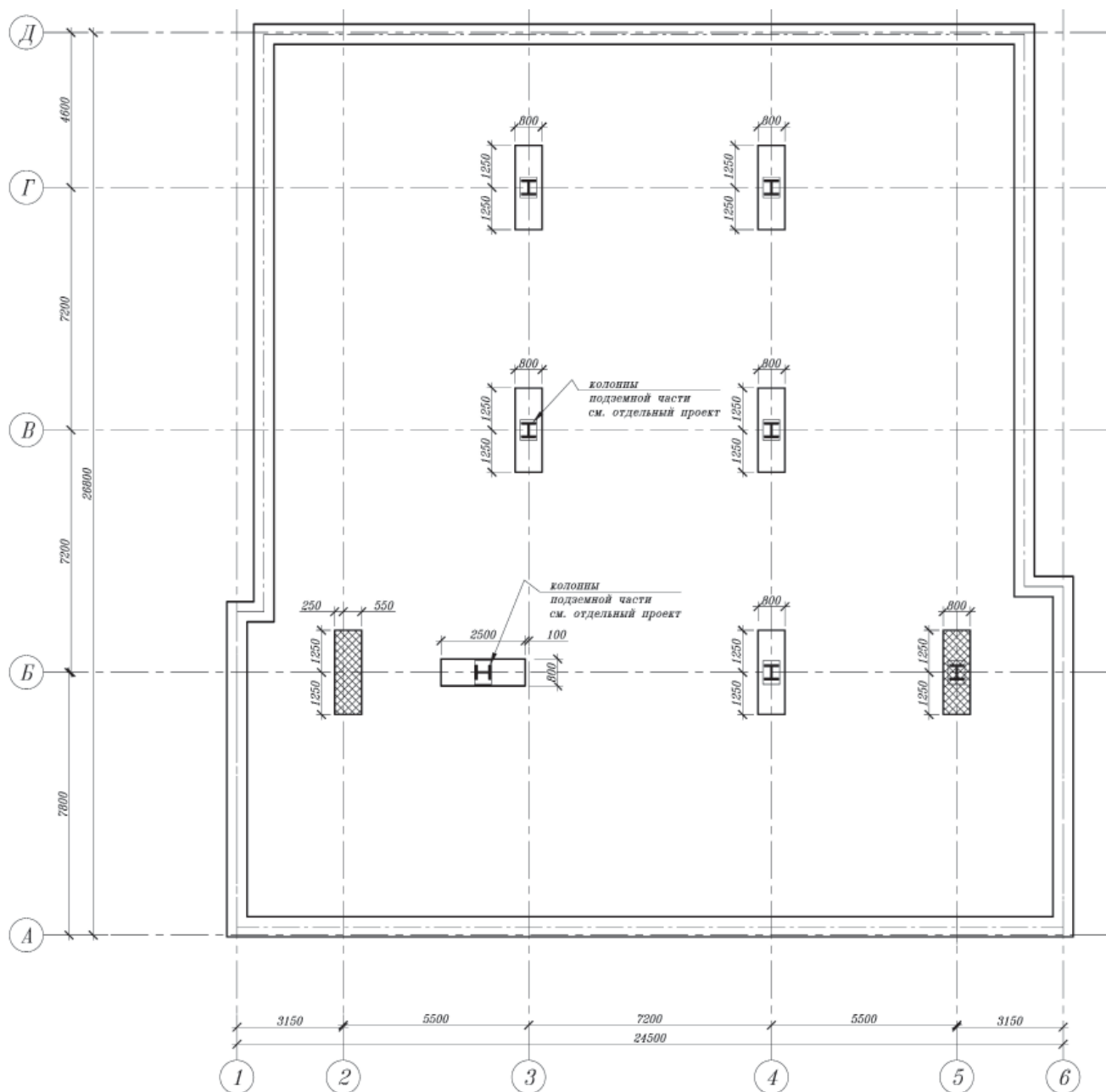


Рис. 1. План площадки строительства и испытательные барреты

ры хотели бы поделиться опытом организации и проведения полевых испытаний железобетонных баррет с использованием этого метода в условиях существующей застройки.

**Характеристика объекта.** Площадка вновь строящегося здания расположена в пределах плотной городской застройки, на месте разобранного жилого дома. В непосредственной близости располагаются существующие жилые здания: восьмиэтажное кирпичное на ленточных бутобетонных фундаментах на естественном основании 1949 г. постройки и десятиэтажное кирпичное на железобетонной фундаментной плите на естественном основании.

В геологическом строении площадки до изведенной глубины 42 м принимают участие отложения следующих стратиграфических комплексов: с поверхности до глубины 2,15–3,9 м участок покрыт техногенными грунтами. Под насыпью залегает толща флювиогляциальных отложений,

сложенная песками мелкими и средней крупности, с глинистыми прослоями, от рыхлых до плотных, влажных и водонасыщенных. Общая мощность флювиогляциальных отложений составляет 8,6–9,6 м. Ниже на глубине 13–13,6 м залегают коренные верхнеюрские отложения, представленные следующими ярусами: Волжский ярус представлен глинами с прослоями песка, мощность составляет 7–8,7 м; Оксфордский ярус представлен глинами полутвердыми, мощностью 6,8–8,5 м. Под верхнеюрскими отложениями на глубине 28,3–29,7 м залегают верхнекаменноугольные отложения, представленные известняками трещиноватыми, реже щебнем и дрсевой известняка. Мощность отложений составляет 3,6–4 м.

Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием подземных вод четвертичного и верхнекаменноугольного возраста.

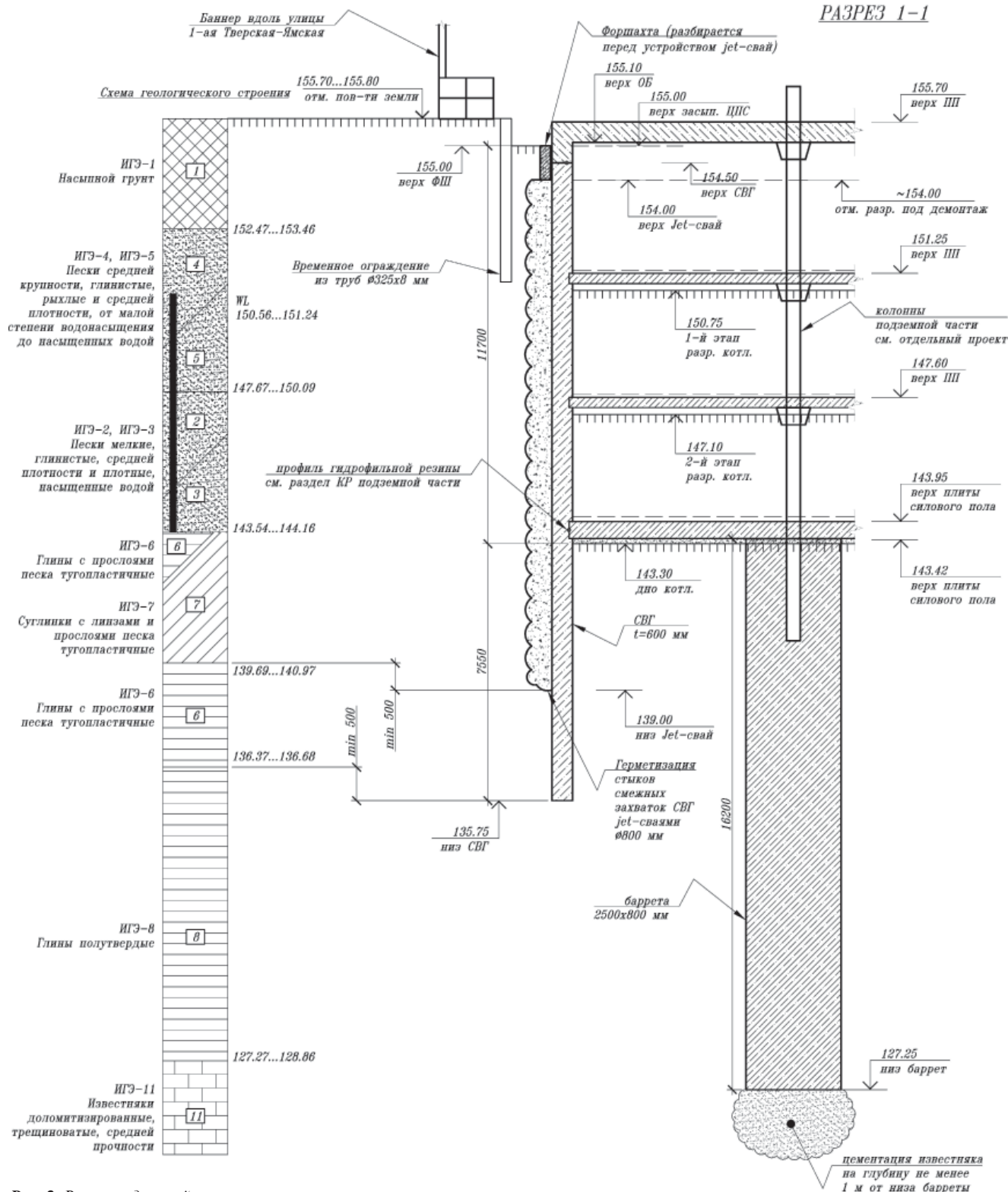


Рис. 2. Разрез подземной части и геологическая колонка

Проектом, разработанным НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, предусматривается строительство пятиэтажного здания с трехэтажной подземной автостоянкой. Строительство подземной части здания выполняется по технологии «топ-даун». В период разработки котлована перекрытия опираются на промежуточные опоры из стальных двутавров, установленные в барреты сечением 2500×800 мм. Длина барреты

17200 мм. Барреты заглубляются в известняк доломитизированный трещиноватый средней прочности (ИГЭ-11) (рис. 1, 2).

Для обеспечения надежного контакта пяты барреты с грунтом, а также заполнения возможных дефектов основания под барретами предусматривается цементация известняков на глубину не менее 1 м. Для возможности цементации основания в каркасе барреты предусмотрены металличе-



Рис. 3. Испытательная установка

ские трубы  $\varnothing 152 \times 4$  мм. Общее количество баррет 8 шт. Максимальная расчетная нагрузка на баррету принята 10780 кН. Несущая способность барреты по грунту – 20000 кН, допустимая нагрузка на баррету – 12500 кН.

Согласно требованиям проектной документации необходимо было выполнить полевое определение несущей способности двух выполненных конструкций. Метод проведения испытаний определялся с учетом всех факторов: высокая несущая способность, местоположение площадки строительства и ее стесненность, технологические возможности. Для дальнейшего использования был выбран метод волновой теории удара (метод PDA).

**Методика и порядок проведения испытаний.** Испытания свай вдавливающей (ударной) нагрузкой основаны на теории распространения упругой волны в одноосном стержне, находящемся в квазиупругой среде, сложенной реальными грунтовыми напластованиями, прорезаемыми испытываемой сваей [11]. Волна инициируется приложением к голове сваи соответствующей вдавливающей (ударной) нагрузки. Сигналы, поступающие от измерительных приборов во время прохождения ударной волны, обрабатываются по специальным программам и представляются на ЭВМ в виде искомой информации о несущей способности сваи. Регистрирующая аппаратура включает датчики: тензометр – измеритель относительных деформаций ствола барреты (Strain Transducer); акселерометр с диапазоном линейной регистрации сигнала 1–7,5 КГц (Piezoresistive Accelerometer) и специализированный компьютер с программным обеспечением фирмы PDI (США). На одну баррету устанавливаются две пары датчиков, которые подключаются к регистрирующему компьютеру. Во время испытаний осадка барреты контролируется на основании показаний датчиков-акселерометров.

Испытания баррет ударной нагрузкой состоят из нескольких последовательно выполняемых циклов, каждый из которых включает:

- подъем молота на необходимую высоту; высота подъема молота для каждого удара задается в зависимости от качества получаемых сигналов о прохождении ударной волны по стволу барреты от предыдущего удара;
- сброс молота и передача энергии удара молота на баррету;
- регистрацию величины осадки барреты и сигналов, полученных от измерительных блоков; компьютерную об-

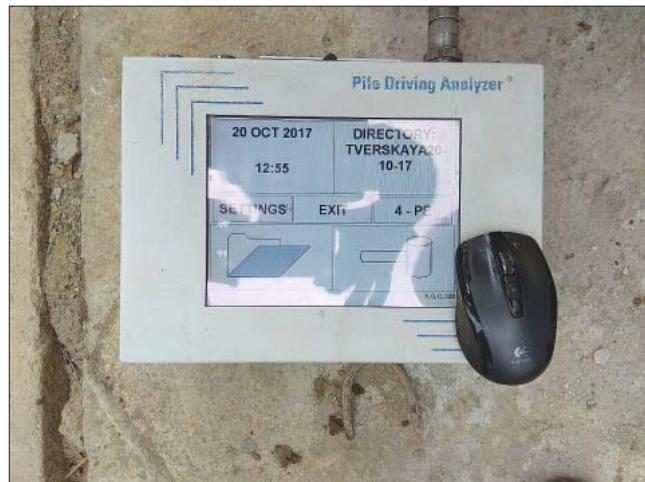


Рис. 4. Регистрирующие датчики

работку полученной информации; принятие оперативного решения о высоте подъема молота в очередном цикле.

Во время каждого удара регистрируется информация о сжимающих и растягивающих напряжениях в бетоне барреты, сообщаемой баррете величине энергии удара, сопротивлению грунта погружению, сопротивлению по подошве барреты, максимальном ускорении, структурной целостности тела барреты, осадке барреты. Вся эта информация записывается компьютером, обрабатывается и выдается на дисплей для принятия оперативных решений об энергии удара.

Критерием завершения полевых испытаний является получение качественных и четких сигналов при приложении заданной динамической нагрузки.

**Выполнение полевых испытаний.** Для испытаний выбраны конструкции, расположенные на осях Б-5 (№ 1) и В-4 (№ 2). Барреты были подготовлены для испытаний: поверхность оголовка барреты была тщательно отшлифована и выровнена по уровню шлифовальной машинкой с алмазным чашеобразным диском. На баррету был установлен молот массой 10 т (рис. 3). Сброс молота осуществлялся краном грузоподъемностью 25 т через специальное гидравлическое сцепное устройство. На расстоянии примерно 2 м от верха барреты были подготовлены две диаметрально расположенные площадки для установки датчиков. Датчики крепились болтами, которые закручивались в специальные стальные дюбели (рис. 4).

На баррету № 1 были выполнены пять ударов, на баррету № 2 – четыре. Поскольку испытания проводились в пределах существующей застройки, были проведены замеры уровней вибрации на конструкциях соседних зданий при помощи прибора SVAN 949 (анализатор шума и вибрации). Уровень замеренных скоростей колебаний конструкций на наиболее близко расположенном здании находится в диапазоне 0,017–0,024 см/с, при минимально допустимой величине 0,4 см/с (табл. 7.20 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»). Это подтвердило возможность проведения таких испытаний в существующей застройке без каких-либо отрицательных последствий. Кратковременный сильный низкочастотный шум при ударе – единственное отрицательное явление для жильцов.

**Анализ полученных результатов.** Результатами испытаний в цифровом и графическом отображении являются: несущая способность барреты на сжатие по грунту с распределением по подошве и боковой поверхности; гра-

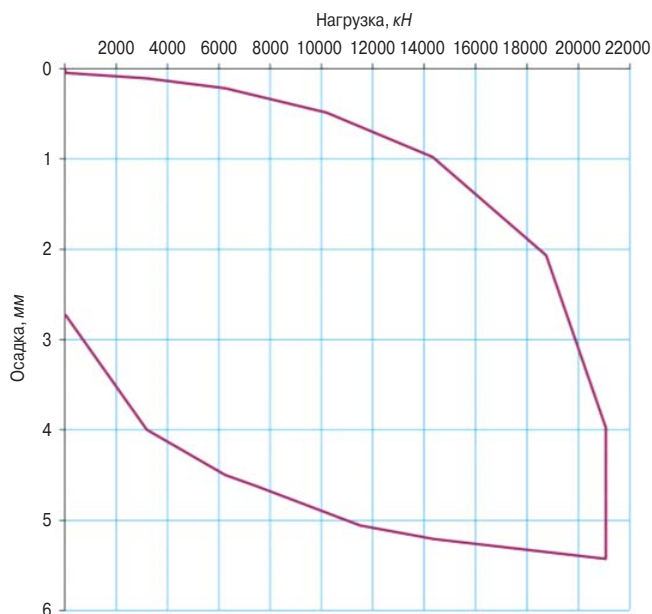


Рис. 5. График осадка – нагрузка

фик зависимости «нагрузка – осадка» для верха и подошвы барреты, моделирующий статическое испытание барреты на вдавливание по ГОСТ 5686–2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями»; характеристики трения слоев грунта по боковой поверхности барреты; качественные характеристики сплошности бетона по длине барреты.

Экспериментальные значения несущей способности барреты по грунту приведены в таблице.

График зависимости осадки верха барреты от нагрузки, моделирующие статические испытания на вдавливание по ГОСТ 5686–2012, приведен на рис. 5. График изменения несущей способности по глубине барреты на каждом метре и с нарастающим итогом, а также характеристики трения боковой поверхности о грунт приведены на рис. 6.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что несущая способность барреты по грунту обеспечена с превышением в пределах 5–20% при расчетном уровне вертикальных перемещений. Это показывает хорошую сходимости применяемых при проектировании численных методов моделирования работы длинной барреты в грунте.

#### Список литературы

1. Мангушев Р.А. Численные, аналитические и полевые методы оценки несущей способности свай и свай-баррет глубокого заложения в слабых грунтах Санкт-Петербурга. *Сб. статей межд. науч.-техн. конференции «Численные методы расчетов в практической геотехнике»*. СПбГАСУ, 2012. С. 44–52.
2. Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Боков И.А., Шулятьев С.О. Особенности испытаний свай для высотных зданий на примере башни ОДЦ «ОХТА» // *Высотные здания*. 2011. № 6. С. 96–99.
3. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики // *Реконструкция городов и геотехническое строительство*. 2005. № 9. С. 80–99.

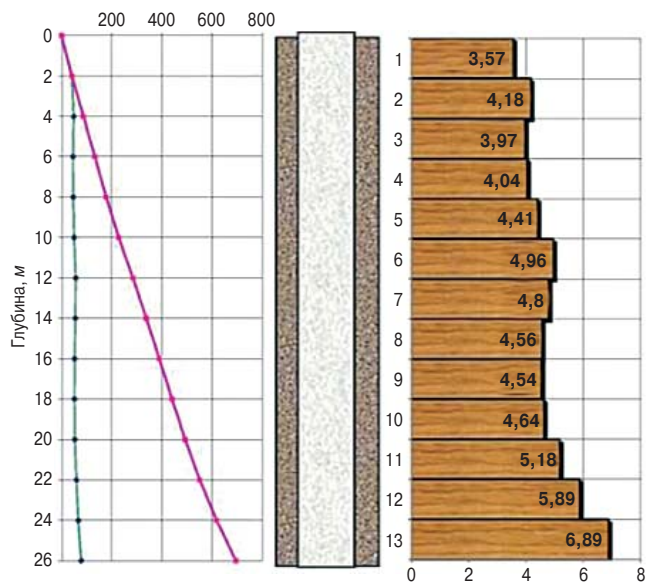


Рис. 6. Графики изменения трения по грунту и несущей способности по боковой поверхности барреты

Показатель, кН	Баррета	
	№ 1	№ 2
Частное значение предельного сопротивления барреты, $F_u$ в том числе по боковой поверхности	21085	24579
	6954	8139
Расчетная несущая способность $F_d$ (кН) при $\gamma_d = 1$ и $\gamma_s = 1$	210850	245790
Расчетная предельная нагрузка на баррету $F_d/\gamma_k$ (кН), при $\gamma_k = 1,2$	175710	204830

Испытания баррет проведены без нанесения ущерба их работоспособности. В ходе поведения испытаний подтверждена сплошность и однородность конструкции барреты.

Зафиксированные скорости колебаний конструкций окружающей застройки значительно ниже предельно допустимых значений. Колебания материала, вызванные ударом, в большей части распространяются в теле конструкции и резко затухают в грунте за ее пределами.

Опыт проведения полевых испытаний несущей способности длинной массивной железобетонной конструкции (барреты) показывает его возможность для применения в аналогичных грунтовых условиях в пределах существующей городской застройки.

#### References

1. Mangushev R.A. Numerical, analytical and field methods of assessment of bearing capacity of piles and piles-Barret of deep laying in weak soils of St. Petersburg. *Papers of articles science-technecal conference "Numerical methods of calculations in practical geotechnics"*. SPBGASU. 2012, pp. 44–52. (In Russian).
2. Petrukhin V.P., Shulyat'ev O.A., Bokov I.A., Shulyat'ev S.O. A features of piling tests for high-rise buildings on the example of OKHTA tower. *Vysotnye zdaniya*. 2011. No. 6, pp. 96–99. (In Russian).
3. Katzenbach R., Schmitt A., Ramm H. Basic principles of design and monitoring of high-rise buildings in Frankfurt am main. Cases from practice. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2005. No. 9, pp. 80–99. (In Russian).

4. Шулятьев О.А. Фундаменты высотных зданий // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета*. 2014. № 4. С. 203–245.
5. Таракановский В.К., Капустян Н.К., Климов А.Н. Опыт мониторинга процессов деформирования в грунтах основания высотных зданий в Москве // *Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2010. № 6. С. 555–566.
6. Osterberg J.O. The Osterberg load test method for bored and driven piles – The first ten years // *Proceedings of the Seventh International Conference and Exhibition on Piling and Deep Foundations*. Vienna. Deep Foundation Institute. 1998, pp. 1.28.1–1.28.11.
7. Fel-lenius B.H., Altaee A., Kulesza R., Hayes J. O-cell testing and FE Analysis of 28m deep barrette in Manila, Philippines // *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*. American Society of Civil Engineering. 1999. Vol. 125. № 7, pp. 566–575.
8. Hamza M., Ibrahim M.H. Base and shaft grouted large diameter pile and barrettes load tests // *Proceedings Geotech – Year 2000, Developments in Geotechnical Engineering*. Bangkok, Thailand, 2000. Vol. 2, pp. 219–228.
9. ASTM Standard D 5882 (2000): Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations, ASTM International, West Conshohocken PA.
10. Харитонов А.Ю. Опыт применения в России испытаний грунтов сваями методом волновой теории удара. *Труды VIII научно-практической конференции «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения»*. М., 2017. С. 201.
11. ASTM D 4945-00. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.
4. Shulyat'ev O.A. Foundations of high-rise buildings. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2014. No. 4, pp. 203–245. (In Russian).
5. Tarakanovskii V.K., Kapustyan N.K., Klimov A.N. Experience in monitoring of deformation processes in soils of high-rise buildings in Moscow. *Geoekologiya, in zhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2010. No. 6, pp. 555–566. (In Russian).
6. Osterberg J.O. The Osterberg load test method for bored and driven piles – The first ten years. *Proceedings of the Seventh International Conference and Exhibition on Piling and Deep Foundations*. Vienna. Deep Foundation Institute. 1998, pp. 1.28.1–1.28.11.
7. Fel-lenius B.H., Altaee A., Kulesza R., Hayes J. O-cell testing and FE Analysis of 28m deep barrette in Manila, Philippines. *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*. American Society of Civil Engineering. 1999. Vol. 125. No. 7, pp. 566–575.
8. Hamza M., Ibrahim M.H. Base and shaft grouted large diameter pile and barrettes load tests. *Proceedings Geotech – Year 2000, Developments in Geotechnical Engineering*. Bangkok, Thailand, 2000. Vol. 2, pp. 219–228.
9. ASTM Standard D 5882 (2000): Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations, ASTM International, West Conshohocken PA.
10. Kharitonov A.Yu. Experience of application In Russia of soil tests by piles by the wave theory of impact. *In proceedings of the VIII scientific-practical conference "Inspection of buildings and structures: Problems and ways of their solution"*. 2017 Moscow, pp. 201.
11. ASTM D 4945-00. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.