УДК 624.138.26

© В. В. Конюшков, канд. техн. наук, доцент
© А. А. Веселов, д-р техн. наук, профессор
© А. А. Бельи, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: v.konyushkov@yandex.ru, gbk@spbgasu.ru,
belyi-26@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-70-76

© V. V. Konyushkov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© A. A. Veselov, Dr. Sci. Tech., Professor
© A. A. Belyy, undergraduate
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: v.konyushkov@yandex.ru, gbk@spbgasu.ru,
belyi-26@mail.ru

ИНЖЕНЕРНОЕ ОСВОЕНИЕ И БЛАГОУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИИ НА ЗОЛЬНЫХ ГРУНТАХ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА МОРСКОГО ПОРТА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

ENGINEERING DEVELOPMENT AND LANDSCAPING OF THE TERRITORY ON THE ASH SOILS FOR EXTENSION OF THE CONTAINER TERMINAL AT THE SEA PORT IN SAINT PETERSBURG

Выполнен сравнительный анализ физико-механических характеристик зольных грунтов. Рассмотрены варианты фундаментов для контейнерного терминала. Сопоставлены осадки, рассчитанные аналитическими способами и методом конечных элементов.

Ключевые слова: зольные грунты, инженерное освоение территории.

There is made a comparative analysis of the stress-related properties of ash soils. The authors consider some options of foundations for the container terminal. Precipitation values calculated by analytical methods and finite element method are compared.

Keywords: ash soils, engineering development and landscaping of the territory.

Освоение и благоустройство территорий свалок, бытовых отходов и отходов производства является перспективным направлением строительства. Свалки изначально устраивались за границами городской среды, но с течением времени в связи с увеличением объемов строительства и активным освоением примыкающих территорий актуальными вопросами являются благоустройство и эксплуатация таких участков.

Проектирование и строительство фундаментов на зольных отложениях действующих ТЭЦ является актуальной темой для крупных городов. Данный вопрос был рассмотрен на примере проектирования фундаментов для контейнерного терминала морского порта Санкт-Петербурга.

На рис. 1 приведена схема освоения территории для контейнерного терминала Морского порта в районе Угольной гавани [1].

На площадке до начала строительства были проведены масштабные инженерно-геологи-

ческие изыскания. Абсолютные отметки планировки изменяются в пределах 3,0...6,3 м (по Балтийской системе высот (БСВ)), на отдельных участках отметки достигают 6,8...8,1 м (по БСВ). Согласно результатам изысканий, с поверхности залегают техногенные грунты (*tIV*), сложенные преимущественно отвалами зольных грунтов, а также насыпными пылеватými песками и суглинками общей мощностью до 10 м. Ниже залегают четвертичные отложения аллювиально-морского происхождения (*amIV*), под которыми расположены верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения (*lgIII*), которые, в свою очередь, подстилаются грунтами ледникового (*gIII*) генезиса. В основании ледниковых отложений залегают вендские отложения верхнекотлинского горизонта (*Vkt2*).

Сравнительный анализ результатов инженерно-геологических изысканий, выполненных двумя организациями, показал значительные

Рис. 1. Схема освоения территории для контейнерного терминала Морского порта в районе Угольной гавани: 1 — площадка для складирования контейнеров; 2 — временные здания и сооружения; 3 — место для изготовления и складирования конструкций; 4 — место для временного складирования материалов

отличия по прочностным и деформационным характеристикам грунтов — в 2...3 раза. Причиной такого разброса механических характеристик грунтов может быть то, что вся территория с поверхности сложена зольными и насыпными грунтами, пылеватыми песками и глинистыми грунтами текучей, текучепластичной консистенции мощностью до 16 м. Следует отметить, что для техногенных насыпных грунтов не может быть определено каких-либо точных характеристик, поскольку они отличаются крайне неоднородными физико-механическими свойствами по глубине и простиранью.

По материалам изысканий абсолютные отметки подземных вод составляют от +0,5 м до +4,3 м (по БСВ). Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и за счет гидравлической связи с акваторией Угольной гавани.

Зольный грунт — техногенный дисперсный грунт антропогенного происхождения, образованный в результате складирования отходов эксплуатационной деятельности (отходы шлаков и золы

ТЭЦ). Зольные грунты характеризуются значительной неоднородностью по гранулометрическому составу, незакономерной изменчивостью свойств по площади и по глубине, а также имеют различную степень уплотнения и водонасыщения.

По результатам статического зондирования лобовое сопротивление в зольных грунтах изменяется от 0,1 до 30 МПа, боковое сопротивление — от 3 до 286 кПа.

По гранулометрическому составу зольные грунты на данном участке близки к пылеватым пескам, но по числу пластичности, которое, в частности, зависит от содержания органических веществ, в соответствии с ГОСТ 25100–2011 приближаются к пылевато-глинистым связным грунтам. Зольные грунты обладают текучей, текучепластичной консистенцией, могут быть пучинистыми, тиксотропными, водопроницаемыми и слабоводопроницаемыми.

На рис. 2 представлены две скважины, выполненные различными организациями, наиболее близко расположенные друг к другу (скважины № 8816 и № 1123).

На рис. 3 представлен сравнительный анализ физико-механических характеристик зольных грунтов по результатам изысканий двух организаций по наиболее близким друг к другу скважинам № 8816 и № 1123.

Выбор вариантов фундаментов на зольных грунтах выполнен на основе следующих факторов: большая территория площадки строительства, неизученность и сложность свойств грунтов с точки зрения проектирования, расчетов, строительства и эксплуатации, отсутствие нормативной базы для зольных грунтов.

В связи с этим было рассмотрено два варианта устройства фундаментов на зольных грунтах: первый вариант — искусственное основание; второй вариант — свайный фундамент.

На рис. 4 приведен первый вариант — искусственное основание. Расчетные характеристики искусственного основания были назначены следующие: модуль упругости не менее 1000 МПа,

расчетное сопротивление на сжатие не менее 10 МПа.

На рис. 5 приведен второй вариант — свайный фундамент. Длина свай была принята 22 м, шаг 3,77 м.

Осадки вариантов фундаментов были рассчитаны следующими методами:

- послойного суммирования по СП 22.13330.2011 [3];
- линейно-деформируемого слоя К. Е. Егорова по СП 22.13330.2011 [3];
- эквивалентного слоя Н. А. Цытовича [4];
- учитывающим взаимное влияние свай в ку-сте, по СП 24.13330.2011 [5];
- численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2d.

В связи с тем что площадь загрузки влияет на мощность сжимаемой толщи, распределение напряжений и величину осадки, для варианта

Рис. 2. Две наиболее близко расположенные скважины № 8816 и № 1123, выполненные различными организациями

Рис. 3. Сравнительный анализ физико-механических характеристик зольных грунтов по двум скважинам № 8816 и № 1123

искусственного основания были приняты две расчетные схемы:

- схема ограниченной площадки 900 м^2 ($30 \times 30 \text{ м}$), нагруженная равномерно распределенной нагрузкой, равной 11 т/м^2 , с возможностью бокового расширения грунта (рис. 6);
- схема неограниченной площадки, нагруженной сплошной нагрузкой, равной 11 т/м^2 , без возможности бокового расширения грунта (рис. 7).

На рис. 8, 9 приведены результаты численного моделирования в программе Plaxis по двум наиболее близким скважинам № 8816 и № 1123.

В табл. 1 приведены результаты расчетов. Осадки искусственного основания по напласто-

ваниям грунтов, принятых по скважине № 8816, составили по различным методам расчетов $36...86 \text{ см}$. Осадки по напластованиям грунтов, принятых по скважине № 1123, составили по различным методам расчетов $57...107 \text{ см}$. Причиной значительного разброса рассчитанных осадок является применение различных методов расчетов и значительная неоднородность зольных грунтов по деформационным свойствам. С учетом установленной заказчиком допустимой осадки, равной 20 см , вариант искусственного основания не был принят в соответствии с расчетами по второй группе предельных состояний.

Рис. 4. Первый вариант — искусственное основание

Рис. 5. Второй вариант — свайный фундамент

Рис. 6. Расчетная схема к опытной площадке с учетом возможности бокового расширения грунта и местной нагрузкой 11 т/м²

Рис. 7. Расчетная схема к расчету неограниченной площади с учетом невозможности бокового расширения грунта и сплошной нагрузкой 11 т/м²

Рис. 8. Изолинии деформаций, м, при численном моделировании в программе Plaxis 2d по скважине № 8816

Рис. 9. Изолинии деформаций, м, при численном моделировании в программе Plaxis 2d по скважине № 1123

В связи с тем что искусственное основание не прошло проверку по осадкам, был рассмотрен вариант свайного фундамента. Свайный фундамент был принят в виде ленточного ростверка с металлическими трубчатыми сваями длиной 22 м, диаметром трубы 820 мм, толщиной стенки 10 мм со средним шагом 3,77 м.

Таблица 1

Результаты расчетов осадок искусственного основания

Методы расчета осадок	Осадка, см, скважина № 8816	Осадка, см, скважина № 1123
Послойного суммирования	37	57
Линейно-деформируемого слоя	36	60
Эквивалентного слоя	86	94
Plaxis 2d	52	107

Расчет осадок свайных фундаментов допускается выполнять с использованием расчетных схем, основанных на модели грунта как линейно-деформируемой среды, при обязательном выполнении условия достаточной несущей способности свай. Осадка малой группы ($n \leq 25$) висячих свай (свайного куста) рассчитывается по методике, учитывающей взаимное влияние свай в кусте [5].

На рис. 10, 11 приведены результаты численного моделирования свайного фундамента в программе Plaxis. В табл. 2 приведены результаты расчетов осадок свайного фундамента. Осадки свайного фундамента по скважине № 8816 составили по различным методам расчетов 21...42 мм. Осадки свайного фундамента по

Рис. 10. Изолинии деформаций, мм, при численном моделировании в Plaxis 2d по скважине № 8816

Рис. 11. Изолинии деформаций, мм, при численном моделировании в Plaxis 2d по скважине № 1123

Таблица 2
Результаты расчетов осадок свайного фундамента

Методы расчета осадок	Осадка, см, скважина № 8816	Осадка, см, скважина № 1123
Plaxis 2d	4,2	7,6
Метод, учитывающий взаимное влияние свай в кусте	2,1	3,1

скважине № 1123 составили по различным методам расчетов 31...76 мм. Таким образом, несмотря на незначительную нагрузку на основание контейнерного терминала, в качестве основного варианта был принят свайный фундамент как удовлетворяющий проверкам по двум предельным состояниям.

После устройства свайного фундамента благоустройство территории было выполнено в виде покрытия из искусственных камней. Основание под каменным покрытием было выполнено из различных материалов: щебня; пескоцементной смеси; щебня, укрепленного цементом и расклинцованного пескоцементной смесью [6]. На рис. 12 приведен разрез покрытия при благоустройстве площадки.

Основные выводы

1. Проведенное сравнение инженерно-геологических изысканий площадки показало, что механические характеристики техногенных зольных грунтов отличаются в 2...3 раза, по ис-

Рис. 12. Разрез покрытия при благоустройстве площадки

следованиям различных организаций. Причина этого в том, что вся территория сложена неорганизованными отходами производства: зольными грунтами с включением пылеватых песков и глинистых грунтов текучей, текучепластичной консистенции мощностью до 16 м.

2. Согласно результатам расчетов вариант искусственного основания под контейнерный терминал не проходит проверку по второму предельному состоянию вследствие залегания с поверхности тиксотропных водонасыщенных техногенных грунтов с низкими значениями модулей деформации на глубину до 16 м и расчетными осадками 36...107 см.

3. Выполнение искусственного основания более глубокого заложения (мощностью до 16 м) по технико-экономическим показателям заказчика оказалось нерационально и неэффективно по критериям стоимости и сроков строительства.

4. По результатам расчетов для данной площадки наиболее надежным основанием был признан свайный фундамент.

Библиографический список

1. Устройство тыловой площадки для хранения груженых контейнеров на территории ЗАО «Контейнерный терминал Санкт-Петербурга». Проектная документация стадии РД. Шифр 78.04.84.1.995. СПб.: ЗАО «ГТ Морстрой», 2014.
2. Мангушев Р. А., Дмитриев И. А. Научно-практическое обоснование метода грунтоперемешивания на примере грузовой площадки контейнерного терминала Большого морского порта Санкт-Петербурга: магистерская работа. СПб.: СПбГАСУ, 2016.
3. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*). М., 2011. С. 29-33.
4. Цытович Н. А. Основания и фундаменты (Краткий курс). М.: Высшая школа, 1970. С. 75-79.
5. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М., 2011. С. 35-37.
6. Костиков Ю. Б. Мощения территорий портов и логистических терминалов. СПб., 2011. 3 с.

References

1. *Ustroystvo tylovoy ploshchadki dlya khraneniya gruzhenykh konteynerov na territorii ZAO «Konteynernyy*

terminal Sankt-Peterburga». Proektnaya dokumentatsiya stadii RD [Arrangement of a rear site for storage of loaded containers in the territory of CJSC "Container Terminal of St. Petersburg". Project documentation of the RD stage]. Cipher 78.04.84.1.995. St. Petersburg, CJSC "GT Morstroy", 2014.

2. Mangushev R. A., Dmitriev I. A. *Nauchno-prakticheskoe obosnovanie metoda gruntoperemeshivaniya na primere gruzovoy ploshchadki konteynernogo terminala Bol'shogo morskogo porta Sankt-Peterburga. Magisterskaya rabota* [Scientific and practical substantiation of the soil mixing technique on the example of the cargo site of the container terminal of the Big seaport of St. Petersburg. MSc thesis]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016.

3. SP 22.13330.2011. *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy (aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.01-83*)* [SP 22.13330.2011. Bases of buildings and structures (revised edition of SNIp 2.02.01-83*)]. Moscow, 2011, pp. 29-33.

4. Tsytoich N. A. *Osnovaniya i fundamenty (Kratkiy kurs)* [Bases and foundations (Short course)]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1970, pp. 75-79.

5. SP 24.13330.2011. *Svaynyefundamenty. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.03-85* [SP 24.13330.2011. Pile bases. Revised edition of SNIp 2.02.03-85]. Moscow, 2011, pp. 35-37.

6. Kostikov Yu. B. *Moshchenie territoriy portov i logisticheskikh terminalov* [Paving of the territories of ports and logistic terminals]. St. Petersburg, 2011, 3 p.