

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.139.262+624.139.264 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-186-198

*Г.И. ТАЮКИН, В.В. ФУРСОВ, М.В. БАЛЮРА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ НА ФУНДАМЕНТЫ СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ (ТЕРМИНАЛ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ)

С целью анализа влияния сезонного промерзания и оттаивания глинистых грунтов на деформации сооружений выполнены исследования на площадке строительства терминала хранения и отгрузки жидких углеводородов. Для достижения этой цели проведены дополнительные изыскания после зимнего периода строительства. Суглинки в основании фундаментов в осенне-зимний период были проморожены. В весенне-летний период грунты в котловане замачивались талыми и ливневыми водами. На стенках и дне котлована развились эрозионные врезки потоков талых вод. Это привело к существенным отклонениям от проектного положения конструкций возведенных фундаментов под резервуары, которые были демонтированы, а бетонная подготовка под подпорные стенки повсеместно оказалась разрушенной.

Выполненное исследование показало, что просадочные свойства суглинков после их замачивания деградировали. Запроектированные и частично выполненные дорогостоящие мероприятия по уменьшению просадочности стали ненужными.

Первоначально под наземные горизонтальные резервуары и подпорные стены были запроектированы свайные фундаменты. Окончательно были запроектированы и возведены фундаменты в открытых котлованах с глубиной заложения 4,0–5,8 м из монолитного железобетона на естественном основании. Для последнего варианта по проекту требуется выполнение большого объема земляных работ при вскрытии котлована объемом около 10 тыс. м³ и замена их таким же объемом уплотненного крупнозернистого мраморного песка и гравия. Комплекс проведенных исследований показал, что наиболее экономичным и надежным вариантом являются свайные фундаменты с высоким ростверком и применением эффективных противопучинных мероприятий, например разработанных в ТГАСУ. В свайном варианте предложено применять сваи длиной 8 и 9 м с допустимой нагрузкой соответственно $N_8 = 250$ кН и $N_9 = 260$ кН. Разработанные предложения рекомендовано применить при возведении 2-й очереди строительства терминала.

Ключевые слова: нефтегазовый комплекс; сооружения; строительные конструкции; фундамент; обследование; техническое состояние; деформации; грунты; морозное пучение; глубина промерзания.

Для цитирования: Таюкин Г.И., Фурсов В.В., Балюра М.В. Воздействие сезонного промерзания грунтов на фундаменты строящихся объектов (терминал хранения сжиженных углеводородов) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 186–198.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-186-198

G.I. TAYUKIN, V.V. FURSOV, M.V. BALURA,
Tomsk State University of Architecture and Building

SEASONAL SOIL FREEZING IMPACT ON FOUNDATIONS OF BUILDINGS (LIQUEFIED HYDROCARBON DEPOT TERMINAL)

The paper presents the analysis of the influence of seasonal freezing and thawing of clay soils on structural deformation. Studies are performed at the construction site of liquefied hydrocarbon depot terminal. Additional surveys are carried out after the winter construction period. In autumn and winter, loam was frozen at the base of the foundations. In spring and summer, pit soils were soaked with melt- and storm-water. On the pit walls erosion developed tie-in flows of meltwater at the bottom of the pit, which led to significant deviations from the design position of the erected depot foundations, which were dismantled, and the concrete preparation for retaining walls was destroyed almost everywhere.

The study shows that the subsidence properties of loams degrade after soaking. It is therefore unnecessary to reduce drawdown of designed and partially executed expensive measures.

Initially, under the ground horizontal depots and retaining walls pile foundations are constructed. Finally, foundations are erected in open pits with a depth of 4.0–5.8 m of monolithic reinforced concrete on a natural base. For the latter option, the project requires a large amount of excavation works at the open pit with a volume of about 10 thousand cubic meters and replacing them by the same volume of compacted coarse-grained marble sand and gravel. It is shown that the most efficient and reliable option are pile foundations with a high grillage and also effective anti-rubble measures developed in TSUAB. In the pile variant, it is proposed to use piles 8 and 9 m long with a permissible load of 250 kN and 260 kN, respectively. The developed proposals can be applied in the construction of the 2nd stage of the depot terminal.

Keywords: oil and gas complex; structures; building; foundation; inspection; technical condition; deformation; soil; frost heaving; freezing depth.

For citation: Tayukin G.I., Fursov V.V., Balura M.V. *Vozdeistvie sezonnogo promerzaniya gruntov na fundamente stroyashchikhsya ob"ektov (terminal khraneniya szhizhennykh uglevodorodov) [Seasonal soil freezing impact on foundations of buildings (liquefied hydrocarbon depot terminal)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.* 2019. V. 21. No. 6. Pp. 186–198.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-186-198

При строительстве объектов нефтегазового комплекса в Сибири ежегодно наблюдаются многочисленные деформации зданий на пучинистых грунтах. В научно-технической литературе отмечалось, что причинами деформаций сооружений нефтегазового комплекса являются: недостаточная изученность инженерно-геологических условий площадки строительства и морозной пучинистости грунтов, ошибки при проектировании, нарушения технологии производства строительных работ, нарушения правил эксплуатации зданий и сооружений [1–6].

Наиболее опасным является нарушение технологии строительства фундаментов на естественном основании в зимних условиях, когда происходит промерзание основания, а весной оттаивающие грунты дополнительно замачиваются талыми водами и атмосферными осадками.

Так, при устройстве фундаментов под резервуары для жидких углеводородов грунты основания во вскрытом котловане были проморожены.

В период весенне-летнего оттаивания возведенные конструкции фундаментов получили существенные отклонения от проектного положения и были демонтированы, а бетонная подготовка под подпорные стенки практически повсеместно оказалась разрушенной (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Разрушение бетонной подготовки под фундаменты подпорных стенок



Рис. 2. Демонтаж возведенных фундаментов под резервуары

Исследование влияния промерзания-оттаивания глинистых грунтов с нарушенной природной структурой на изменение физико-механических свойств показало, что прочностные характеристики значительно снижаются [2–10]. На рис. 3 приведены графики сопротивления сдвигу до промерзания и после оттаивания. Из анализа графиков видно, что у оттаивающих суглинков сопротивление сдвигу существенно уменьшилось по сравнению с этими же характеристиками до промораживания.

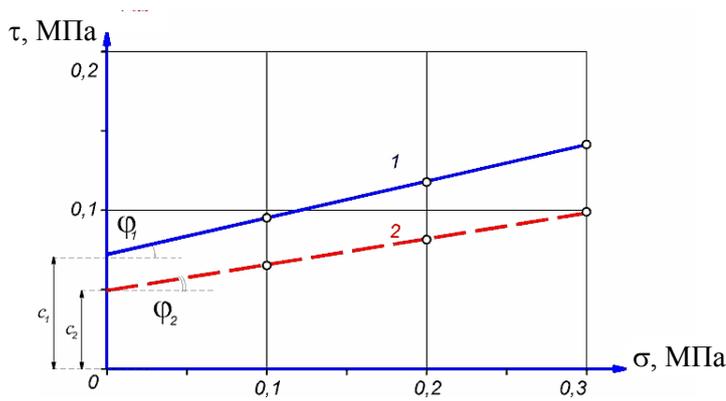


Рис. 3. Сопротивления сдвигу (τ) суглинка до промораживания и после оттаивания: 1 – до промораживания; 2 – после оттаивания

По результатам проведенных исследований установлено [7], что при показателе текучести меньшем $I_L < 0,25$ разупрочнение составляет $\approx 15\%$; при $0,25 \leq I_L \leq 0,75$ – до $\approx 20\text{--}35\%$; при $I_L > 0,75$ – не более $\approx 10\text{--}15\%$.

Снижение прочностных и деформационных характеристик грунтов при оттаивании приводит к возникновению и развитию аварийных ситуаций.

На рис. 4 иллюстрируется влияние показателя текучести I_L грунта на изменение сопротивления сдвигу по данным разных исследователей [7–10].

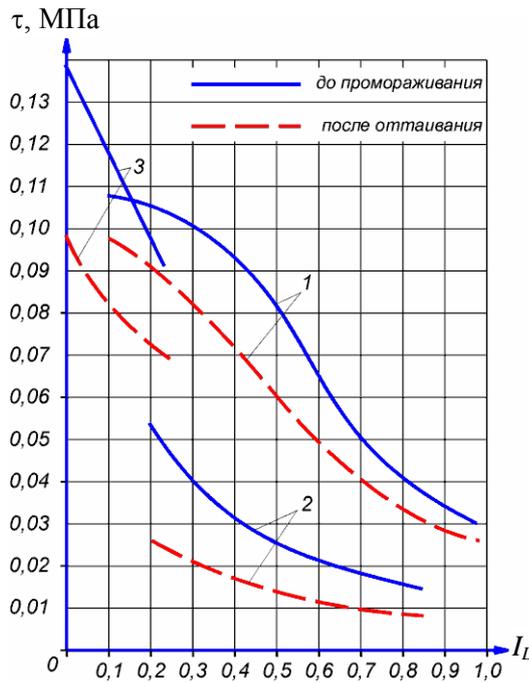


Рис. 4. Влияние показателя текучести (I_L) грунта на изменение сопротивления сдвигу (τ) до промораживания и после оттаивания, экспериментальные данные: 1 – В.В. Фурсов [7]; 2 – Н.К. Захаров [8]; 3 – Г.Д. Михайлов [9]

Природно-климатические условия. Континентальный климат Западной Сибири определяется ее географическим положением – почти в центре Евразии – и характером рельефа местности. Климат рассматриваемой территории отличается продолжительной зимой с сильными ветрами, метелями, устойчивым снежным покровом и довольно жарким летом.

Геологические условия. В геоморфологическом отношении это плоская аккумулятивная озерно-аллювиальная равнина с наложенными речными долинами. Поверхность данного района характеризуется относительно ровным спокойным рельефом, с замкнутыми озерными и болотными котловинами. В геологическом разрезе района принимают участие озерно-аллювиальные отложения плиоцен-нижнечетвертичного комплекса, представленные глинистыми грунтами.

Площадка терминала с 12 наземными горизонтальными резервуарами для хранения сжиженных углеводородов имеет размеры 28,0×88,1 м.

Покровные лессовидные породы залегают в районе строительства с поверхности. Выраженный лессовый облик грунты имеют до глубин 4–6 м. Покровные породы визуально классифицируются как алевритовые глины желтобурого и серого цвета, местами сизые, часто ожелезненные.

Инженерно-геологические условия. Площадка объекта расположена в пределах вытянутой в северо-восточном направлении гряды, наиболее возвышенной над всеми окружающими территориями.

Характерный инженерно-геологический разрез площадки 12 наземных горизонтальных резервуаров, по данным изысканий 2013 г., сложен из суглинков полутвердых и тугопластичных глин.

На основании результатов полевых инженерно-геологических материалов и анализа данных лабораторных испытаний грунтов выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ-4а. Суглинок пылеватый лессовидный полутвердый ($w = 0,145$; $I_p = 0,10$; $I_L = 0,06$; $\rho = 2,02 \text{ т/м}^3$; $e = 0,64$; $S_r = 0,96$).

ИГЭ-146. Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный ($w = 0,239$; $I_p = 0,15$; $I_L = 0,39$; $\rho = 2,0 \text{ т/м}^3$; $e = 0,69$; $S_r = 0,94$).

ИГЭ-156. Глина легкая пылеватая тугопластичная ($w = 0,262$; $I_p = 0,19$; $I_L = 0,43$; $\rho = 2,0 \text{ т/м}^3$; $e = 0,72$; $S_r = 0,99$).

Установлено, что уровень подземных вод в 2013 г. находился на глубине от 7,2 м (абс. отметка 111,18 м) до 8,3 м (абс. отметка 111,66 м).

Первоначально под резервуары и подпорные стены был запроектирован свайный фундамент. Окончательно были запроектированы и возведены фундаменты из монолитного железобетона на естественном основании в открытых котлованах. Конструкции фундаментов наземных горизонтальных резервуаров представлены на рис. 5.

Железобетонные фундаменты под каждый из резервуаров объемом $V = 200 \text{ м}^3$ имеют глубину заложения –4,000 м при планировочных отметках площадки резервуаров, составляющих –0,18...–1,25 м. Глубина заложения подошвы фундамента от планировочной отметки поверхности грунта по проекту не менее 2,75 м. Подошва фундаментов под резервуары имеет размеры в плане 1,80×4,30 м. Ширина ленточных фундаментов под подпорные стенки

равна 2,70 м. Нагрузка на обрез каждого из трех фундаментов под 200-тонный резервуар составляет $N = 900$ кН.

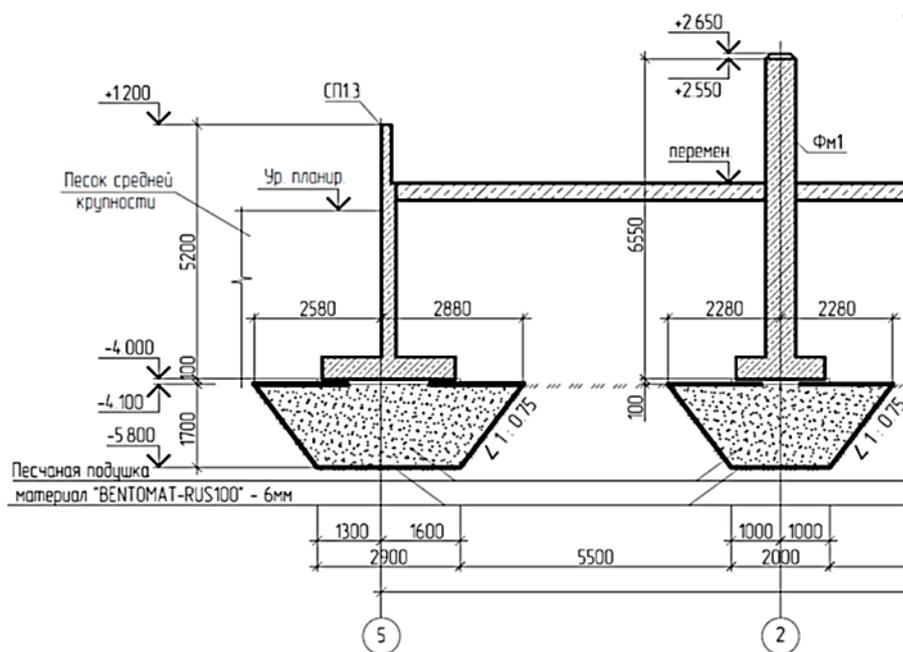


Рис. 5. Схема замены просадочного грунта песчаной подушкой

Под некоторыми фундаментами на участках обнаружения просадочных грунтов запроектирована выемка грунта на глубину 1,70 м ниже подошвы фундаментов с последующей укладкой бентонитовых матов и засыпкой песком средней крупности с его послойным уплотнением. Схема замены просадочных грунтов песчаной подушкой в плане представлена на рис. 5.

Земляные работы на объекте проводились в зимний период (2016/2017 г.), при этом каких-либо специальных мероприятий по предотвращению промораживания и увлажнения грунтов основания внутри котлована не проводилось. При обследовании на стенках котлована были выявлены эрозионные врезки потоков талых вод, а на его дне обнаружены признаки длительного замачивания (заиливание дна, трещины усыхания).

Установлено, что из-за деформаций грунтового основания отдельные конструкции возведенных фундаментов под резервуары получили существенные отклонения от их проектного положения (в связи с чем их пришлось демонтировать), а бетонная подготовка под подпорные стенки практически повсеместно оказалась разрушенной.

Причиной выявленных дефектов явилось нарушение технологии строительно-монтажных работ в зимний период (замачивание, промерзание-оттаивание котлованов и вследствие этого изменение свойств грунтов).

Для оценки изменения физико-механических свойств грунтов основания после весеннего оттаивания и дополнительного замачивания выполнены

дополнительные инженерно-геологические изыскания летом 2017 г. Бурение инженерно-геологических скважин в котловане показано на рис. 6.



Рис. 6. Бурение скважины в котловане объекта (2017 г.)

Выделены основные инженерно-геологические элементы:

– ИГЭ-1 – суглинки твердой консистенции, залегают в верхней части разреза от подошвы техногенных грунтов до глубины 6,2–6,4 м, толщиной слоя 5,4–6,0 м;

– ИГЭ-2 – суглинки тугопластичной консистенции. Этот слой залегают в нижней части разреза, вскрыт проходкой на 2,6 м;

– ИГЭ-3 – суглинки мягкопластичной и текучепластичной консистенции, залегают в средней части разреза от подошвы отложений твердых суглинков до глубины 9,2–9,4 м, толщиной слоя 2,8–3,2 м.

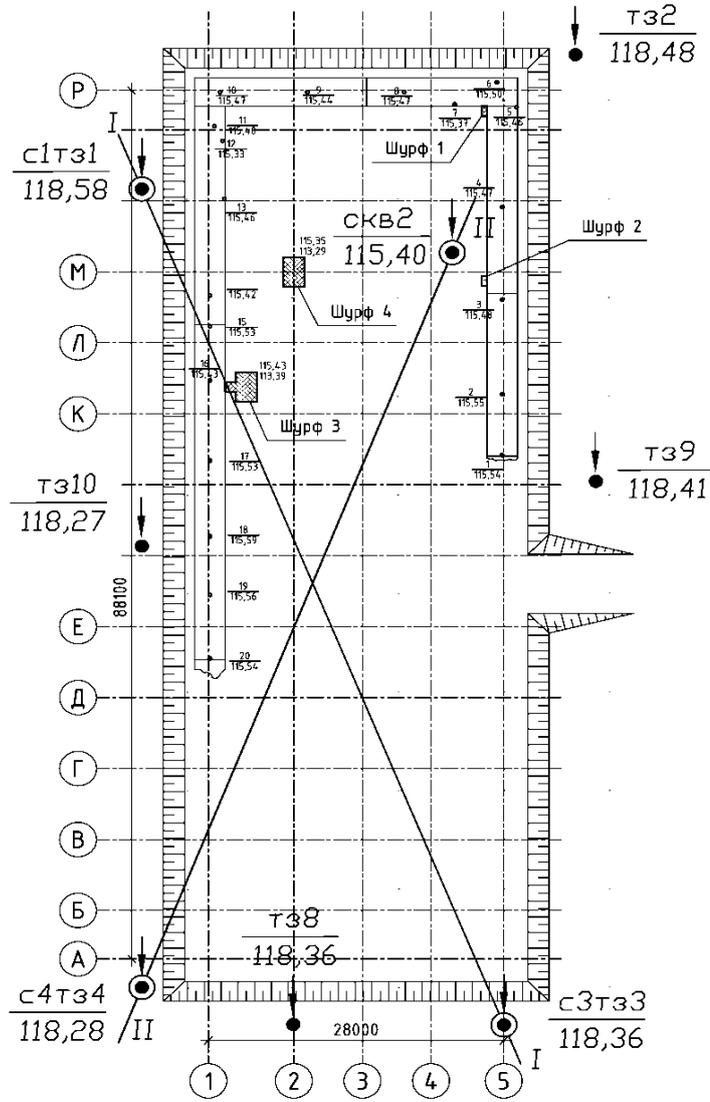
Схема выработок в плане представлена на рис. 7, инженерно-геологический разрез с привязкой свайных фундаментов – на рис. 8, а физико-механические свойства грунтов основания – в таблице.

Уровень подземных вод в период полевых работ в июле 2017 г. вскрыт на глубине 5,9–6,7 м (абсолютные отметки 112,46–111,88 м).

Максимальная вскрытая толщина обводненного горизонта составляет 1,6–2,4 м. Водоупором являются тугопластичные суглинки, вскрытые всеми скважинами на глубине от поверхности 7,8–8,5 м.

На площадке выполнено статическое зондирование в десяти точках. По результатам инженерно-геологических исследований можно отметить следующее. Расчетная нагрузка на сваи (N , кН) сечением 300×300 мм при глубине

их погружения z от поверхности в интервале от 4 до 11 м с шагом 1 м по данным статического зондирования составляет: $z_4 = 4$ м, $N_4 = 240$ кН; $z_5 = 5$ м, $N_5 = 240$ кН; $z_6 = 6$ м, $N_6 = 220$ кН; $z_7 = 7$ м, $N_7 = 230$ кН; $z_8 = 8$ м, $N_8 = 240$ кН; $z_9 = 9$ м, $N_9 = 270$ кН; $z_{10} = 10$ м, $N_{10} = 310$ кН; $z_{11} = 11$ м, $N_{11} = 400$ кН.



Условные графические обозначения

- Скв 1
118,58 — Скважина, ее номер и абсолютная отметка
- т.з. 1
118,58 — Точка зондирования, ее номер и абсолютная отметка
- — — — — Линия разреза
- ▨ Шурф

Рис. 7. Схема расположения выработок в плане

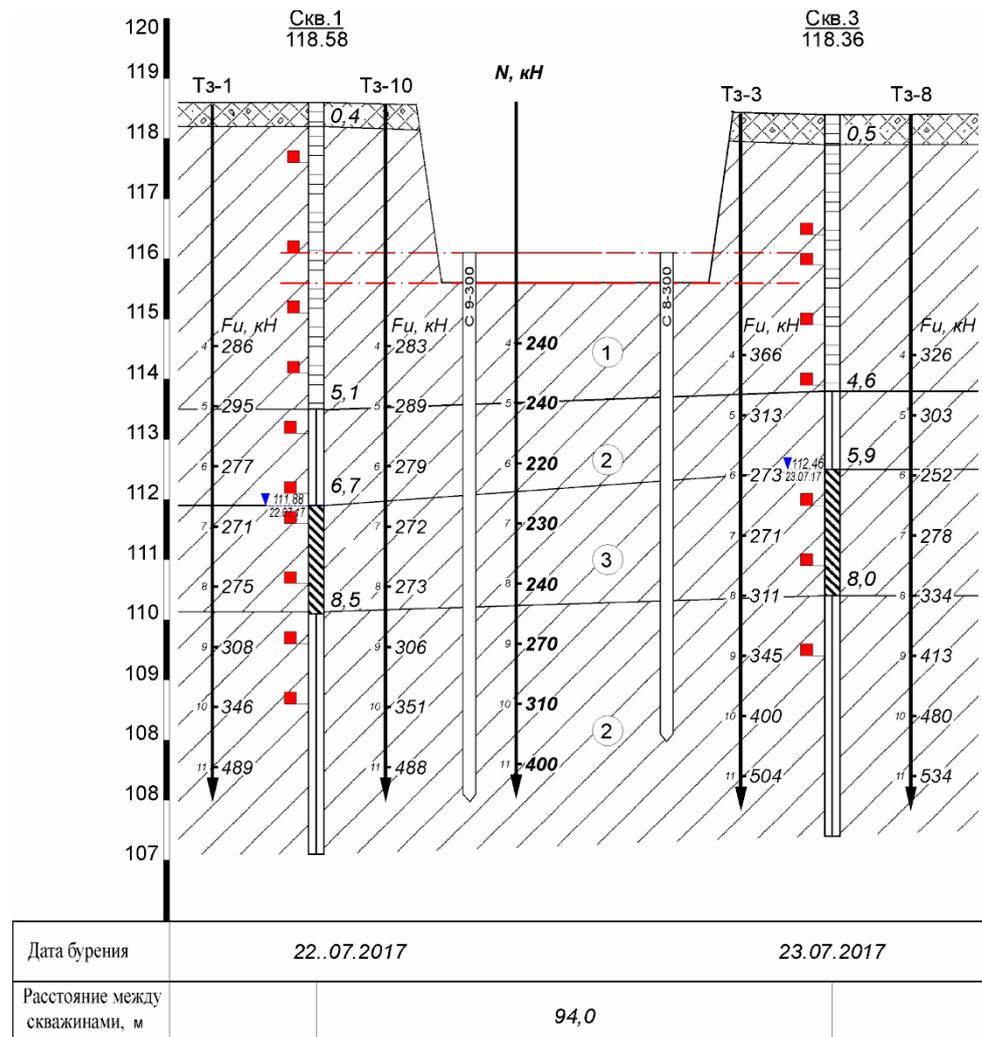


Рис. 8. Инженерно-геологический разрез с привязкой свайных фундаментов

Результаты статического зондирования показали, что в случае использования 8–9-метровых свай вполне обеспечивается надежность фундаментов. При этом количество свай и их расположение в плане под отдельно стоящие фундаменты резервуаров, а также шаг свай под ленточные фундаменты подпорных стенок определяются расчетом.

Результаты лабораторных испытаний монолитов и образцов грунтов из четырех скважин позволяют сделать выводы о том, что к моменту обследования (июль 2017 г.) в котловане грунты находились в оттаявшем состоянии, и температура их была выше плюс 5 °С, грунты просохли, и физико-механические свойства практически восстановились и совпали с данными изысканий 2013 г.

Установлено, что грунты, отобранные из шурфов № 1–3, являются песками средней крупности и крупными, плотными и средней плотности ($e = 0,51–0,68$), малой степени насыщения водой ($S_r = 0,17–0,37$). В соответствии с положениями

СП 22.13330.2016 (табл. Б.2) расчетное сопротивление грунтов R_0 песчаной подготовки составляют $R_0 = 400$ кПа для песков средней крупности и средней плотности (шурфы № 1–3) и $R_0 = 500$ кПа для песков средней крупности, плотных (шурф № 4, образец отобран с глубины 1,7 м).

Физико-механические свойства грунтов (2017 г.)

Наименование показателей грунта	ИГЭ-1 суглинок твердый	ИГЭ-2 суглинок тугопластичный	ИГЭ-3 суглинок текуче- пластичный
Природная влажность w , %	14,5	27,8	26,3
Влажность на границе текучести w_L , %	29	37	27
Влажность на границе раскатывания w_p , %	18	24	17
Число пластичности I_p , %	11	13	10
Показатель текучести I_L	-0,35	0,29	0,93
Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	2,70	2,70	2,70
Плотность грунта ρ , г/см ³	1,78	1,93	1,96
Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	1,56	1,51	1,56
Коэффициент пористости e , д.е.	0,70	0,72	0,75
Рекомендуемое значение модуля деформации E , МПа	10,6	7,8	5,6
Рекомендуемое значение угла внутреннего трения φ , град	24	22	19
Рекомендуемое значение удельного сцепления c , кПа	27	33	19

Следует отметить, что котлован остаётся вскрытым с ноября 2016 г. За это время он был подвержен сезонному промерзанию и последующему оттаиванию, замачиванию талыми и дождевыми водами.

Засыпка песком и устройство в осях «М-П, 1-5» и «А-Г, 3-5» песчаных подушек толщиной 1,7 м способствует аккумуляции вод, что при повторном сезонном промерзании-оттаивании будет способствовать развитию как деформаций морозного пучения, так и деформаций оснований и фундаментов при оттаивании грунтов. Замачивание котлована способствовало деградации проницаемости грунтов, что позволяет отменить предлагаемые в проекте мероприятия защиты от проницаемости.

В связи с тем, что реальные сроки строительства, как правило, затягиваются до периода с отрицательными температурами, целесообразно рассмотреть возможность применения свайных фундаментов, учитывая их устойчивость к воздействию морозного пучения, минимальные осадки при загрузке, быстроту производства работ и пр.

Полученные данные статического зондирования грунтов следует использовать при проектировании свайного варианта как основного под назем-

ные горизонтальные резервуары первой и второй очереди строительства терминала хранения и отгрузки жидких углеводородов.

В свайном варианте целесообразно применить сваи длиной 8 и 9 м с допустимой нагрузкой соответственно $N_8 = 250$ кН и $N_9 = 260$ кН (по данным статического зондирования), при этом нижние концы свай будут погружены на 1,5–2,5 м в тугопластичные суглинки, вскрытые на глубине 8,0–8,5 м.

В заключение следует отметить, что работы по восстановлению фундаментов рекомендовано выполнять, не допуская повторного промерзания грунтов основания, а вторую очередь резервуаров строить, используя свайные фундаменты с противопучинным покрытием либо обработкой грунтов на контакте с боковой поверхностью свай [11–14], что позволит значительно сократить затраты на фундаменты и повысить их надежность и устойчивость под воздействием касательных сил морозного пучения.

Для снижения касательных сил пучения в промерзающих пылевато-глинистых грунтах в ТГАСУ разработан способ обработки грунтов или поверхностей свай нефтебитумным раствором, применяемым как промывочная жидкость при бурении нефтяных и газовых скважин. В состав раствора входят: дизельное топливо – 54 %; высокоокисленный битум – 20 %; НЧК (алкиларилсульфонат) – 2 % и вода – 4 % к общему весу [2, 16]. Раствор обладает гидрофобными свойствами, он устойчив к старению и влиянию температур. По результатам лабораторных и полевых исследований и многолетних наблюдений, значение касательных сил пучения уменьшилось в 3–4 раза, наибольший эффект получен при 10% обработке грунта раствором, что и рекомендуется к практическому применению. Обработку грунта при глубине промерзания 2,0–2,5 м рекомендуется ограничивать на глубине 1,5 м в связи с усложнением производства работ и наибольшими силами выпучивания в верхней зоне порядка $2/3$ нормативной глубины промерзания.

В связи с тем, что при обследовании недостроенных зданий и сооружений бурение скважин и статическое зондирование выполняются, как правило, вне контура здания, то считается, что при обследовании недостроенных и неэксплуатируемых в течение ряда лет зданий необходимо дополнительные геологические выработки выполнять внутри зданий (как правило, в их центре) ниже глубины сезонного промерзания-оттаивания с отбором образцов и монолитов грунтов с последующим определением полного комплекса их физико-механических свойств как в мерзлом состоянии, так и после оттаивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев В.С., Белоцерковская Г.В. Причины деформаций нефтегазопромысловых сооружений на севере Западной Сибири // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1987. № 5. С. 12–14.
2. Мальшев М.А., Фурсов В.В., Балюра М.В., Рождественская Л.И. Основания и фундаменты в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1992. 280 с.
3. Фурсов В.В. Вертикальные перемещения малозаглубленных фундаментов при многолетнем сезонном промерзании и оттаивании пучинистых грунтов // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции : сб. тр. научно-технической конференции. Санкт-Петербург : СПб. гос. арх.-строит. ун-т., 2010. С. 333–337.

4. *Malysev M.A., Fursov V.V., Baluyura M.V.* Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading // IV International Conference on Permafrost. Washington : National Academy Press, 1984. P. 259–263.
5. *Orlov V.O., Fursov V.V.* Foundation settlements on season freezing soils // V International Conference on Permafrost. Trondheim, Norway, 1988. P. 1441–1445.
6. *Орлов В.О., Железняк И.И., Филиппов В.Д., Фурсов В.В.* Морозоопасные грунты как основания сооружений. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1992. 168 с.
7. *Фурсов В.В.* Деформации сезоннопромерзающего пучинистого грунта основания и его взаимодействие с фундаментами сооружений // Обской вестник. 1999. № 1–2. С. 64–68.
8. *Захаров Н.К.* К вопросу сопротивления грунтов сдвигу при оттаивании // Железнодорожное строительство. 1952. № 4.
9. *Михайлов Г.Д.* Методика определения сопротивления сдвигу сезонномерзлых глинистых грунтов земляного полотна при их оттаивании // Труды IV совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Т. VIII. Красноярск, 1966.
10. *Шушерина Е.П.* О методике определения сопротивления сдвигу оттаявших грунтов // Мерзлотные исследования : сб. Вып. VII. Москва : Изд-во МГУ, 1967.
11. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. 2-е изд. Москва : Книжный дом «Либроком», 2010. 448 с.
12. *Орлов В.О.* Рекомендации по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. Москва : Стройиздат, 1986. 72 с.
13. *Рекомендации по определению значений модуля деформации грунтов по результатам компрессионных испытаний с использованием региональных корректировочных коэффициентов.* Региональные нормативы градостроительного проектирования Томской области / Администрация Томской области. Томск, 2007. 22 с.
14. *Фурсов В.В., Мальшиев М.А.* Деформации сооружений, связанные с сезонным промерзанием и оттаиванием пучинистых грунтов в Томской области // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, оснований и фундаментов. Томск : Изд-во ТГУ, 1988. С. 105–115.
15. *Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП.* Москва : Стройиздат, 1979. 39 с.

REFERENCES

1. *Savel'ev V.S., Belotserkovskaya G.V.* Prichiny deformacij neftegazopromyslovyh sooruzhenij na severe Zapadnoj Sibiri [Causes of deformation of oil and gas facilities in North of Western Siberia]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 1987. No. 5. Pp. 12–14. (rus)
2. *Malyshchev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V., Rozhdestvenskaya L.I.* Osnovaniya i fundamenty v usloviyah glubokogo sezonnogo promerzaniya gruntov [Bases and foundations in seasonal soil freezing conditions]. Tomsk: TSU, 1992. 280 p. (rus)
3. *Fursov V.V.* Vertikal'nye peremeshcheniya malozaglublennyh fundamentov pri mnogoletnem sezonnom promerzanii i ottaivanii puchinistyh gruntov [Vertical displacements of shallow foundations during long-term seasonal freezing and thawing of heaving soils]. In: Aktual'nye voprosy geotekhniki pri reshenii slozhnyh zadach novogo stroitel'stva i rekonstrukcii: sb. tr. nauchno-tekhnicheskoj konferencii (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Geotechnology in Solving Problems of New Construction and Reconstruction'*). St.-Petersburg, 2010. Pp. 333–337. (rus).
4. *Malysev M.A., Fursov V.V., Baluyura M.V.* Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading. (*Proc. 4th Int. Sci. Conf. on Permafrost*). Washington: National Academy Press, 1984. Pp. 259–263.
5. *Orlov V.O., Fursov V.V.* Foundation settlements on season freezing soils (*Proc. 5th Int. Sci. Conf. on Permafrost*). Trondheim, Norway, 1988. Pp. 1441–1445.
6. *Orlov V.O., Zheleznyak I.I., Filippov V.D., Fursov V.V.* Morozopasnye grunty kak osnovaniya sooruzhenij [Frost-Prone soils as the foundations of structures]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 168 p. (rus).
7. *Fursov V.V.* Deformacii sezonnopromerzayushchego puchinistogo grunta osnovaniya i ego vzaimodejstvie s fundamentami sooruzhenij [Deformations of seasonally freezing heaving soil foundation and its interaction with foundations of structures]. *Obskoi vestnik*. 1999. No. 1–2. Pp. 64–68. (rus)

8. *Zakharov N.K.* K voprosu soprotivleniya gruntov sdvigu pri ottaivanii [Soil shear resistance during thawing]. *Zheleznodorozhnoe stroitel'stvo*. 1952. No. 4. (rus)
9. *Mikhailov G.D.* Metodika opredeleniya soprotivleniya sdvigu sezonnomerzlykh glinistykh gruntov zemlyanogo polotna pri ih ottaivanii [Method of determining shear resistance of seasonally frozen clay soils of roadbed during thawing]. In: *Trudy IV soveshchaniya-seminara po obmenu opytom stroitel'stva v surovykh klimaticheskikh usloviyakh (Proc. 6th Seminar on Experience Exchange in Construction in Harsh Climatic Conditions)*. Krasnoyarsk, 1966. (rus)
10. *Shusharina E.P.* O metodike opredeleniya soprotivleniya sdvigu ottayavshih gruntov [Method of determining shear resistance of thawed soil]. In: *Merzlotnye issledovaniya*. V. VII, Moscow: MSU, 1967. (rus)
11. *Tsytoich N.A.* Mekhanika merzlykh gruntov. Uchebnoe posobie [Mechanics of frozen soils]. 2nd ed., Moscow: Librokom, 2010. 448 p. (rus)
12. *Orlov V.O.* Rekomendacii po uchyotu i preduprezhdeniyu deformacij i sil moroznogo pucheniya gruntov [Recommendations on accounting and prevention of deformations and forces of frost heaving of soils]. Moscow: Stroizdat, 1986. 72 p. (rus)
13. Rekomendacii po opredeleniju znachenij modulja deformacii gruntov po rezul'tatam kompressionnykh ispytaniy s ispol'zovaniem regional'nykh korrekcirovocnykh koefitsientov. Regional'nye normativy gradostroitel'nogo proektirovaniya Tomskoj oblasti. [Recommendations for determining values of modulus of deformation of soil according to results of compression tests using regional correction factors. Regional standards of urban design of the Tomsk region Administration]. Tomsk, 2007. 22 p. (rus)
14. *Fursov V.V., Malyshev M.A.* Deformacii sooruzhenij, svyazannye s sezonnym promerzaniem i ottaivaniem puchinistykh gruntov v Tomskoj oblasti [Deformations of structures associated with seasonal freezing and thawing of heaving soils in the Tomsk region]. In: *Problemy gidrogeologii, inzhenernoj geologii, osnovanij i fundamentov*. Tomsk: TSU, 1988, Pp. 105–115. (rus)
15. *Rukovodstvo po proektirovaniyu osnovanij i fundamentov na puchinistykh gruntah* [Guidelines for design of bases and foundations on heaving soils]. Moscow: Stroizdat, 1979. 39 p. (rus)

Сведения об авторах

Таюкин Геннадий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgi52@mail.ru

Фурсов Владимир Валентинович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, v_fursov_tomsk@mail.ru

Балюра Мария Васильевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ofis-tgasu@mail.ru

Authors Details

Gennadiy I. Tayukin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tgi52@mail.ru

Vladimir V. Fursov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, v_fursov_tomsk@mail.ru

Mariya V. Balura, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ofis-tgasu@mail.ru