

Санкт-Петербургский государственный университет

Юферова Дария Сергеевна

Выпускная квалификационная работа

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОРФЯНЫХ ГРУНТОВ КАК
ОСНОВАНИЙ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ**

Основная образовательная программа магистратуры

«Геология»

Научный руководитель: к. г.-м. н.,
доцент Корвет Надежда Григорьевна

_____ 2020
« » _____

Рецензент: канд. тех. наук
Городнова Елена Владимировна

_____ 2020
« » _____

Санкт-Петербург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Инженерно-геологические особенности торфяных грунтов и их оценка	6
Глава 2. Торфяные грунты как основания для промышленных и гражданских сооружений	10
2.1. Типы оснований	10
2.2. Свайные фундаменты	12
2.2.1. Свайные фундаменты на торфяных грунтах	13
2.2.2. Особенности работы свай при вертикальной нагрузке	15
Глава 3. Торфяные грунты как основания земляных сооружений	18
3.1. Земляное полотно как инженерная конструкция	18
3.2. Особенности строительства земляного полотна дорог на торфяных грунтах	20
3.3. Схемы возведения насыпи на торфяных грунтах	23
Глава 4. Инженерно-геологическая оценка строительства административного здания на торфяных грунтах	29
4.1. Характеристика инженерно-геологических условий площадки строительства	29
4.1.1. Местоположение и рельеф	29
4.1.2. Геологическое строение	29
4.1.3. Гидрогеологические условия	30
4.1.4. Состав и физико-механические свойства грунтов	31
4.2. Расчёт свайных фундаментов и их оснований	32
4.3. Особенности расчёта несущей способности свай в торфяных грунтах	33
4.4. Учёт изменения показателей физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов, залегающих ниже толщи болотных отложений, в расчётах несущей способности свай и свайных фундаментов	35
4.5. Расчёт несущей способности висячей забивной сваи	38
Глава 5. Инженерно-геологическая оценка участка строительства дороги на торфяных грунтах	42
5.1. Характеристика инженерно-геологических условий участка строительства	42
5.1.1. Местоположение и рельеф	42
5.1.2. Геологическое строение	42
5.1.3. Гидрогеологические условия	42

5.1.4. Состав и физико-механические свойства грунтов	43
5.2. Устойчивость торфяных оснований земляных сооружений	43
5.2.1. Расчёт устойчивости основания насыпи	44
5.2.2. Расчёт продолжительности осадки насыпи	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	53
ПРИЛОЖЕНИЯ	54

ВВЕДЕНИЕ

Значительные территории России являются заболоченными. Заболоченность в её районах составляет 14-25%, но иногда достигает 80%. В заболоченных районах ведется обширное транспортное, промышленное, гражданское, гидротехническое строительство; прокладка магистральных газопроводов и нефтепроводов.

Торф обладает исключительно плохими строительными свойствами: значительной сжимаемостью, очень малым сопротивлением сдвигу, переменной водопроницаемостью, что вызывает при проектировании и возведении сооружений определенные трудности.

Одной из важных задач современного фундаментостроения является разработка и научное обоснование методов строительства на заторфованных территориях, так как их главной особенностью являются нестабильные деформационные характеристики. При этом необходимо учитывать особенности геологического строения участков строительства, где присутствует торф, залегающий с поверхности или на глубине, открытый или погребённый торф. Также следует принимать во внимание особенности сооружения, возводимого на заторфованных территориях. Эти обстоятельства вызывают необходимость индивидуального подхода при изучении взаимодействия системы сооружение-основание, где основанием являются заторфованные грунты, которые со строительной точки зрения относятся к слабым грунтам. К торфам предъявляют определенные требования и при методиках исследования, и при методах строительства на них.

В представленной работе рассматриваются особенности взаимодействия торфяного основания с гражданскими и линейными сооружениями. Также показана специфика применяемых расчётов при оценке устойчивости различного вида сооружений на торфяных грунтах, что является актуальной задачей в связи с массовым освоением подобных территорий.

Целью данной выпускной квалификационной работы является:

- оценка взаимодействия торфяного основания с различными типами сооружений.

Для её достижения были поставлены следующие *задачи*:

- обобщить и проанализировать литературные источники, фондовые и нормативные документы по исследованию влияния особенностей торфяных грунтов на строительство сооружений;

- охарактеризовать инженерно-геологические условия площадки в Ленинградской области и обосновать выбор фундамента для административного здания;

- охарактеризовать инженерно-геологические условия строительства подъездных путей к магистральному газопроводу на территории Тюменской области, выбрать схему возведения насыпи и произвести расчёт её устойчивости;

- показать отличительные особенности строительства на торфяных грунтах различных типов сооружений и принципы расчётов при оценке их устойчивости.

Данная работа основана на материалах инженерно-геологических изысканий института «Ленгражданпроект» и КДС «Групп», где я проходила практику.

Выражаю благодарность за советы и постоянные консультации при написании магистерской работы своему научному руководителю доц. Корвет Н.Г.

Глава 1. Инженерно-геологические особенности торфяных грунтов и их оценка

Торфяным грунтом (торфом) в соответствии с ГОСТ 25100-2011 называется органический грунт, содержащий в своем составе 50 % (по массе) и более органического вещества, представленного растительными остатками и гумусом. Песчаный или глинистый грунт, содержащий в своем составе от 3 % (для песка) и от 5 % (для глинистого грунта) до 50 % (по массе) торфа называется *зоторфованным грунтом*.

Торф является основным генетическим типом болотных отложений. Если кровля торфа в природном залегании выходит на поверхность, торф называется **открытым**. Если в результате последующих отложений минеральных грунтов или искусственной подсыпки, кровля торфа находится под слоем минерального грунта, торф называется **погребённым**. Это необходимо учитывать при оценке торфяных грунтов, как оснований сооружений.

Торф – система трехфазная, состоит из следующих фаз: твёрдой, жидкой, газообразной. Границы между ними, и их соотношение, не остаются постоянными во времени, т.к. непрерывно развивающийся процесс разложения твёрдой компоненты протекает с образованием газообразных и жидких компонентов.

Твёрдая фаза торфа составляет около 0.05-0.10 его объёма. Важное значение имеет его ботанический состав. Он тесно связан с условиями питания торфа, характером дна болота, минерализацией грунтовых вод; он существенно влияет на степень разложения, влажность и физико-механические свойства торфа. В зависимости от ботанического состава растительного материала, за счёт которого происходит формирование торфов, различают: моховой (гипновый, сфагновый), травяной (осоковый, тростниковый, хвощовый и др.), кустарниковый, древесный торф. Название торфа даётся по преобладающему составу растений – торфообразователей, содержание которых составляет не менее 15%.

Так как твёрдая фаза торфа представляет собой сложную полидисперсную систему, в строении которой принимают участие частицы размером от нескольких см до долей микрона, характеризуя её, применяется понятие дисперсности, которая зависит от генезиса, ботанического состава и степени разложения торфа. Растительные остатки, образующие волокнистую массу торфа, постепенно распадаются, разлагаются, что изменяет его «зернистость», дисперсность. Характеристикой дисперсности торфа является **степень разложения D_{pd}** . – процентное содержание продуктов распада (разложения) с полной утратой клеточного строения:

$D_{pd} < 20\%$ -торф слаборазложившийся,

$D_{pd} = 20-45\%$ - среднеразложившийся,

$D_{pd} > 45\%$ - сильноразложившийся.(ГОСТ 25100-2011).

Степень разложения и обуславливает специфические инженерно-геологические особенности торфа.

Важное влияние на физико-механические свойства торфов оказывают минеральные вещества. На содержание минеральных веществ указывает их *зольность*, т.е. масса минерального остатка после прокалывания при температуре 800°C. Несгорающий остаток при сжигании торфа (зола) и характеризует в нём их содержание – *зольность*. Общая зольность торфа складывается из первичной (конституционной) и вторичной (наносной). Первая образуется из солей, содержащихся в тканях растений, и остаётся после сжигания или разложения органического вещества. Вторая образуется из привнесённого минерального вещества в болота или другие водоёмы при формировании болотных отложений. Конституционная зольность обычно составляет небольшую часть от общей. Наиболее часто общая зольность торфов изменяется в пределах от 6 до 18% (от массы сухой навески торфа) и уменьшается от древесных торфов к моховым (до 2%). В сфагновых торфах зольность более 3-5% на абсолютно сухое вещество считается уже вторичной. Обычно зольность торфа с глубиной повышается.

Жидкая фаза занимает основной объём торфа. Уровень грунтовых вод на заболоченных территориях обычно находится у поверхности, поэтому, как правило, торф является водонасыщенным. В торфе, как и в любом другом типе грунтов содержатся различные категории воды. Показатель кислотности pH водной суспензии характеризует тип торфа. В верховых торфах pH равен 3-4.2, переходных – 4.4-5.2, низинных – 5.8-7.8 и более. Кислая среда благоприятствует миграции в торфе солей двухвалентного железа совместно с органическими соединениями.

Газообразная составляющая торфов состоит в основном из метана (CH₄), водорода (H₂), аммиака (NH₃) и сероводорода (H₂S); кроме того, присутствует углекислый газ и незначительное количество кислорода.

Таким образом, состав и количественное взаимоотношение твёрдой, жидкой и газообразной компонент в торфах определяются условиями их образования и степенью их разложения, причём последний фактор играет обычно ведущую роль. Так, с увеличением степени разложения торфов увеличивается их дисперсность, заметно изменяется компонентный состав в сторону увеличения содержания гидрофобных элементов, уменьшается количество свободной воды, что приводит к соответствующему изменению физических, физико-механических свойств торфов.

Торфяные грунты характеризуются очень высокой влажностью, которая достигает в массиве 500-1000 и даже 2000 и более процентов (по отношению к весу сухого вещества). Они практически всегда полностью насыщены водой; их влажность, выраженная процентным

отношением весового количества воды всех категорий к весу общей массы торфа, составляет 90-98% (этот вид влажности называется **относительной влажностью**, как принято в торфоведении). **Абсолютная (весовая)** влажность колеблется от **550 до 1500%**, но может быть и намного больше. Степень разложения и обуславливает специфические инженерно-геологические особенности торфа (рис.1).

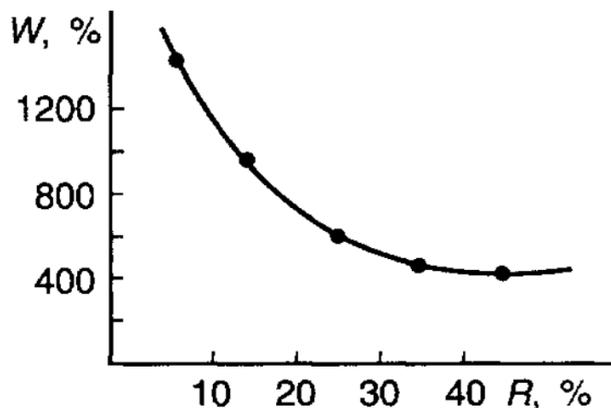


Рисунок 1. Кривая зависимости влажности от степени разложения (Трофимов и др., 2005)

Также для торфа характерны:

- высокая пористость - 80-95%;
- низкая плотность - 0,55-1,00 г/см³ (рис. 2);
- значительная усадка и сжимаемость (рис. 3).

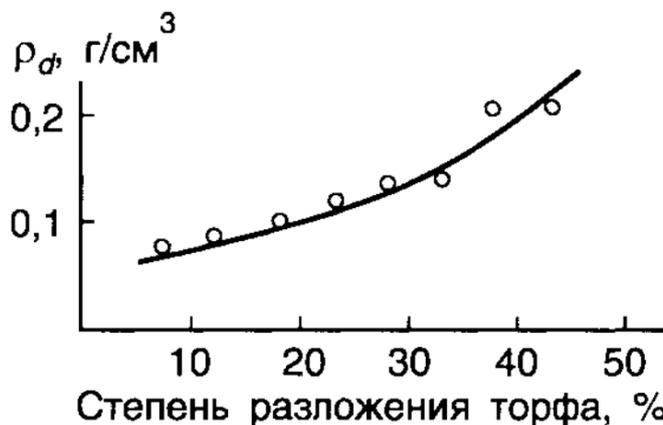


Рисунок 2. Кривая зависимости плотности от степени разложения (Трофимов и др., 2005)

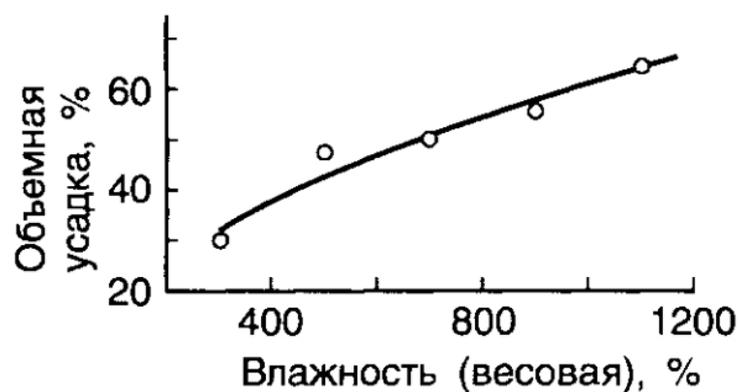


Рисунок 3. Зависимость объемной усадки торфа от влажности (Трофимов и др., 2005)

Со строительной точки зрения торф в основном относится к слабым грунтам, так как характеризуется сильной сжимаемостью, низкими прочностными характеристиками, малой несущей способностью (менее 1 кг/см^2).

Учитывая перечисленные особенности торфов, к ним предъявляют определенные требования при оценке, как оснований различных сооружений.

Глава 2. Торфяные грунты как основания для промышленных и гражданских сооружений

Как следует из предыдущей главы, торфяные грунты характеризуются многими специфическими свойствами. Они имеют весьма высокую естественную влажность, малую плотность, большую влагоемкость и чрезвычайно значительную и неравномерную сжимаемость. Все эти особенности характеризуют их как отложения слабые, малопригодные для строительства на них различных сооружений. При хозяйственном освоении территорий, сложенных этими грунтами, применяют специальные методы инженерно-геологических исследований и оценки. При необходимости строительства на них сооружений используют способы, предусматриваемые при строительстве на сильно и неравномерно сжимаемых породах.

2.1. Типы оснований

Для проектирования и устройства оснований и фундаментов в рассматриваемых условиях большое значение имеет инженерно-геологический анализ, т.е. анализ природной обстановки.

Открытый торф является очень слабым грунтом. Погребенный торф, в результате последующих отложений минеральных грунтов или искусственной подсыпки, кровля которого находится под слоем минерального грунта, обладает уже гораздо лучшими строительными свойствами. Для успешного строительства и эксплуатации промышленных и гражданских зданий и сооружений необходимы значительные изменения имеющихся природных заболоченных территорий. Для этого торф покрывается достаточно мощным слоем минерального грунта путем подсыпки и намыва. Под действием природной или искусственно созданной нагрузки торф уплотняется, и его строительные свойства изменяются, улучшаются (Морарескул, 1999).

Для промышленного и гражданского строительства предлагается классификация условий строительства на площадках с торфом, приведенных в таблице 1.

При использовании торфяных грунтов выбирают типы оснований и фундаментов, приведенные на рис. 4.

При использовании торфяных грунтов с открытым залеганием (рис. 4, а) тяжелые промышленные и гражданские здания устраивают с прорезкой торфа на минеральном грунте, на песчаных подушках или на свайном фундаменте. Прорезку торфа для заложения фундаментов на минеральном грунте можно осуществлять обычными методами при глубине подошвы слоя торфа до 3-4 м.

Классификация условий строительства на площадках с торфом (Морарескул, 1999)

Классификационные признаки		Торф	
		Открытый	Погребенный
Природные условия	Залегание торфа	На поверхности (верхний пласт)	В толще минеральных грунтов
	Мощность пласта	Максимальная и минимальная	Максимальная и минимальная
	Качество торфа	Плотный Слабый Сплавина	Плотный
	Гидрогеологические условия	Грунтовые воды Питание грунтовых вод (поверхностными и атмосферными водами; подземными водами; смешанное)	Грунтовые воды Питание грунтовых вод подземными водами
Факторы, влияющие на проектные решения	Глубина до подошвы слоя торфа	До 4 м Более 4 м	До 4 м Более 4 м
	Рельеф кровли грунтов, подстилающих торф	Ровный Неровный	Ровный Неровный
	Типы грунтов, подстилающих торф	Песчаный Глинистый	Песчаный Глинистый
Факторы, влияющие на производство работ	Древесная растительность на поверхности	Имеется Не имеется	Специальной инженерной подготовки не требуется
	Условия освоения территории	Необходима специальная инженерная подготовка территории	
	Проходимость торфа для гусеничных строительных машин	Проходим Непроходим	
	Ожидаемый приток воды в котлован	Большой Малый	

Песчаные подушки представляют собой искусственное основание, когда слабый грунт (торф) заменяется хорошим грунтом – песком, гравием и т.п. Подушку можно делать из любого грунта, но лишь песчаные сыпучие грунты быстро уплотняются до требуемой плотности сложения. При хорошем уплотнении подушка является совершенно надежным основанием, обеспечивающим малые равномерные осадки здания и их быстрое затухание.

Материал подушки непучинистый, и поэтому фундаменты закладываются независимо от глубины промерзания грунтов. В качестве песчаной подушки иногда можно использовать и мощный слой подсыпанного на торф минерального грунта.

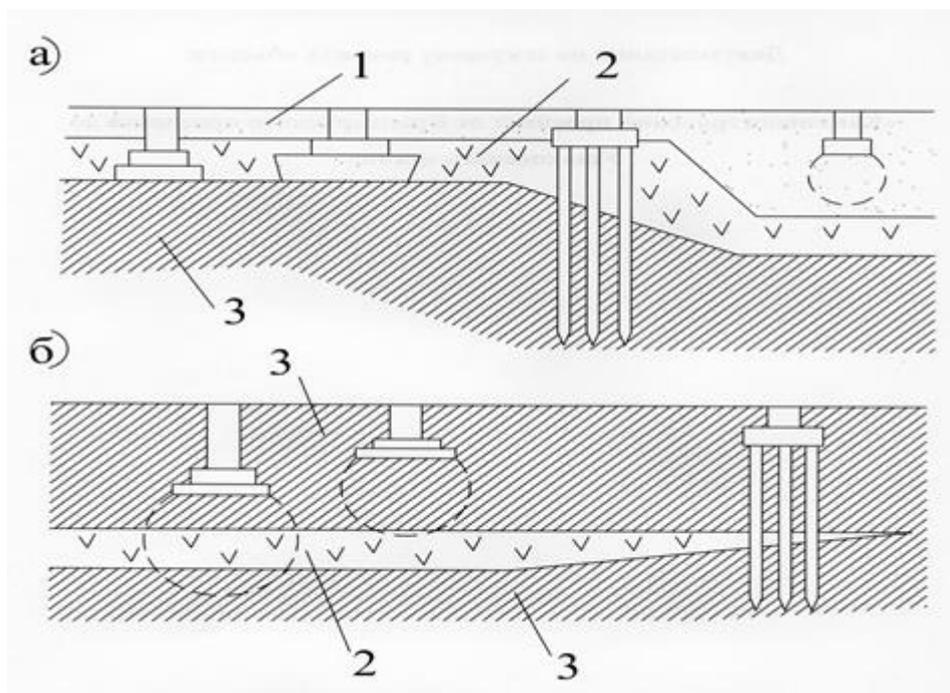


Рисунок 4. Типы оснований и фундаментов в торфяных грунтах: а - с открытым торфом и подсыпкой; б - с погребенным торфом; 1 – подсыпка; 2 – торф; 3 – минеральный грунт

Свайные фундаменты обладают большими достоинствами, особенно при глубоком залегании торфа. Устройство этих фундаментов в технологическом отношении довольно просто и доступно любой строительной организации. Сваи легко погружаются в слабые грунты. Объем земляных работ мал, водоотлива почти нет, крепления откосов не требуется.

При строительстве на погребенном торфе (рис.4, б) типы оснований и фундаментов выбирают с учетом изложенных выше соображений. Этот выбор во многом зависит от глубины залегания торфа, его сжимаемости, массы сооружения и возможных осадков. Иногда верхний слой минерального грунта можно использовать в качестве основания сооружения.

2.2. Свайные фундаменты

Свайный фундамент состоит из свай и плиты, объединяющей сваи и распределяющей на них нагрузку от сооружения – ростверка. Их применяют при залегании слабых грунтов в основании. Сваи передают нагрузку от сооружения на прочные грунты, а ростверки предназначены для распределения нагрузки между сваями от несущих конструкций сооружения. (Руководство по проектированию ...1980)

В промышленном и гражданском строительстве применяют ростверки низкие, т.е. заглубленные в грунт, и высокие, когда часть свай возвышается над поверхностью земли.

Отличительным признаком конструкции свайного фундамента является уровень расположения ростверка. В зависимости от этого различают два типа свайных фундаментов. Если ростверк заглублен в грунт ниже возможного размыва, то это *свайный фундамент с низким ростверком*. Если же ростверк расположен над поверхностью грунта, то такую конструкцию называют *свайным фундаментом с высоким ростверком*.

По условиям взаимодействия с грунтом сваи делятся на *сваи-стойки*, то есть те, которые опираются на практически несжимаемые грунты (скальные, крупнообломочные, глинистые при $E \geq 50 \text{ МПа}$) и *висячие сваи*, опирающиеся на сжимаемые грунты, которые воспринимают нагрузку за счёт сопротивления грунта по боковой поверхности и острию.

Это различие находит отражение и в формулах для расчёта несущей способности свай по условию прочности грунтов основания.

Как было рассмотрено, торф по своим строительным свойствам существенно отличается от минеральных грунтов, и этот фактор определяет качественные изменения в работе оснований и фундаментов.

При строительстве свайных фундаментов, погружение сваи в грунт – наиболее трудоёмкий, длительный и ответственный технологический процесс. Погружение должно быть организовано таким образом, чтобы свая имела заданную проектом несущую способность по грунту, чтобы были обеспечены сохранность сваи (не разрушена при погружении) и минимальные затраты труда и времени.

2.2.1. Свайные фундаменты на торфяных грунтах

В торфяных грунтах применяют забивные типовые железобетонные сваи сплошного сечения. При небольших нагрузках на фундаменты, высоком уровне грунтовых вод и малой мощности торфа могут использоваться деревянные сваи.

Слой торфа обязательно должен быть прорезан сваями. Оставление торфа ниже острия свай может привести к очень большим осадкам фундаментов, т.к. напряжения в грунтах концентрируются именно в зоне расположения нижних концов свай. Нижние концы свай должны быть заглублены в минеральный грунт на глубину не менее 2 м. Если торф подстилается малосжимаемым грунтом с показателем текучести $I_L \leq 0,1$, то минимальное заглубление можно принять 0,5 м.

Выбор глубины сваи связан также с глубиной и рельефом дна болота. Чтобы сохранить несущую способность сваи по грунту, необходимо погружать ее на требуемую величину ниже подошвы слоя торфа.

На выбор длины сваи и глубины заложения ростверка оказывает влияние *подземная часть здания, толщина песчаной подсыпки $h_{п}$ территории и толщина подсыпки под зданием.* Толщина слоя песка $h_{п.тр}$ ниже пола подвала или подполья должна быть не менее 1 м, но более точно определяется по условиям производства работ.

Рассмотрим различные варианты подземной части здания (рис. 5).

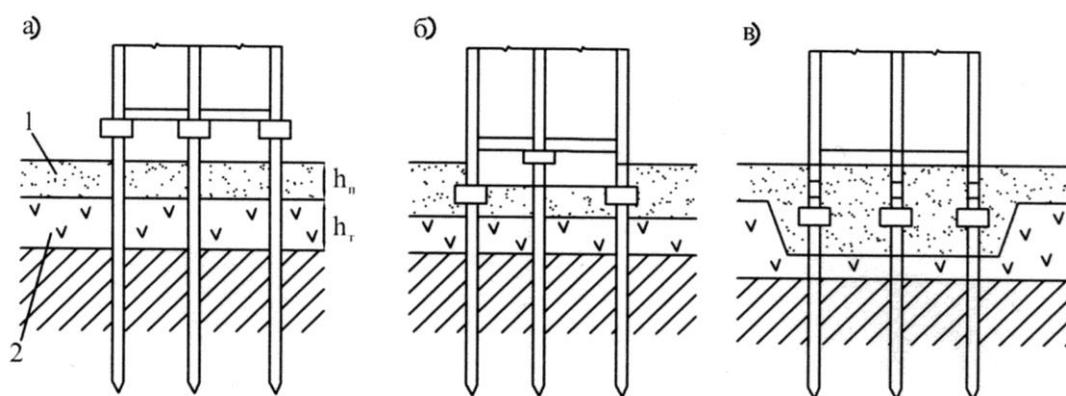


Рис. 5. Свайные ростверки и подсыпки: а – высокий ростверк; б – здание с техническим подпольем; в – здание с подвалом

Бескотлованный фундамент (рис. 5, а). При $h_{п} \geq h_{п.тр}$ земляные работы отсутствуют. Если $h_{п} < h_{п.тр}$, необходимы частичное выторфовывание и подсыпка песка в пределах здания до величины $h_{п.тр}$.

Здание с заглубленным техническим подпольем (рис. 5, б). Требуется отрывка котлована. Если оказывается, что толщина оставшегося в пределах здания слоя песка менее $h_{п.тр}$, то необходимо сделать частичное выторфовывание и подсыпку с тем, чтобы толщина песка под зданием была $h_{п} = h_{п.тр}$.

Здание с подвалом (рис. 5, в). Если пол подвала ниже кровли слоя торфа, то необходимы частичное выторфовывание и подсыпка песка до толщины $h_{п.тр}$. Если от пола подвала до кровли слоя минерального грунта расстояние менее $h_{п.тр}$, то выторфовывание будет полным, т.е. под зданием не останется торфа.

Лучшим типом ростверка для зданий с несущими стенами является высокий ростверк бескотлованного фундамента (рис. 5, а). Сваи погружаются с планировочной отметки, верх свай возвышается над поверхностью грунта на 1,5-1,8 м, затем устраивается ростверк и цокольная часть здания.

Одним из специфических требований, предъявляемых к свайному фундаменту в рассматриваемых условиях, является его способность сопротивляться горизонтальному давлению торфа на сваи. При отрывке котлованов и траншей рядом с уже забитыми сваями торфяные откосы могут сдвинуться в сторону выемки и оказать давление на сваи. Горизонтальное давление может также развиться от веса находящихся рядом строительных машин, отвалов грунта, складированных материалов и деталей. Смещение свай в горизонтальном направлении резко осложняет всю обстановку на строительстве.

Одиночные сваи не могут оказать необходимого сопротивления. Поэтому в работу нужно включать все сваи, все свайное поле. Практика показала, что необходимо делать единый монолитный железобетонный ростверк по всем сваям, т.е. устраивать горизонтальную раму. Для большей жесткости всей плоской или пространственной системы свай-ростверк необходима заделка свай в ростверк на 200 мм. Рабочая арматура ленточных ростверков должна опускаться ниже верха свай во избежание скола бетона.

Из рассмотренных вариантов подземной части здания выбираем бескотлованный фундамент. Исходя из рекомендаций, в которых указывается, что лучшим типом ростверка для зданий с несущими стенами является высокий ростверк бескотлованного фундамента (рис. 5, а), будем применять этот тип.

2.2.2. Особенности работы свай при вертикальной нагрузке

Наличие в основании сооружения торфа приводит к возникновению целого ряда факторов, ухудшающих работу свай по грунту и материалу. Поэтому свайный фундамент в таких случаях является одним из наиболее рациональных типов фундаментов, особенно при большой мощности слоя торфа.

Рассмотрим основные случаи работы свай в трехслойном основании «минеральный грунт – торф - минеральный грунт», т.е. в условиях строительства на подсыпанной (намытой) территории (рис. 6).

Действие вертикальной вдавливаемой нагрузки (рис. 6, а), когда консолидация торфа закончилась. Нагрузка уравнивается сопротивлением всех трех грунтов по боковой поверхности сваи и сопротивлением грунта под острием. Сопротивление нижнего слоя минерального грунта участвует в работе в полной мере. Сопротивление торфа по боковой поверхности сваи будет небольшим и постепенно уменьшающимся во времени ввиду ползучести торфа. Сопротивление верхнего (подсыпанного) слоя грунта зависит от осадки торфяного слоя под действием нагрузки, приложенной к свае. В зависимости от этой осадки и

некоторых других факторов сопротивление верхнего слоя изменяется от максимального до нуля.

Действие вертикальной вдавливающей нагрузки (рис. 6, б), когда консолидация торфа не закончилась, т.е. верхний слой минерального грунта и торф оседают. Сопротивление обоих грунтов по боковой поверхности сваи меняет знак. Силы трения не только не поддерживают сваю, но наоборот, пригружают ее. Возникает негативное (отрицательное) трение по боковой поверхности сваи. Нагрузке сопротивляется только часть сваи в нижнем минеральном грунте. Несущая способность сваи резко понижается.

Понижение уровня грунтовых вод (рис.6, в). Если уровень грунтовых вод (УГВ) понижается в период эксплуатации сооружения, но находится в пределах намывного слоя минерального грунта, то эффект взвешивания грунта водой пропадает, намывный слой делается «тяжелее», торф получает дополнительную осадку; в результате оседания появляется негативное трение, несущая способность сваи уменьшается.

Если уровень грунтовых вод в период эксплуатации сооружения понижается в пределах слоя торфа, то происходят те же явления, но они усиливаются аэрацией торфа, его усадкой и, как следствие, происходит дополнительная осадка и торфа, и намывного грунта.

Действие нагрузки на поверхность грунта (рис. 6, г). Этой нагрузкой могут быть подсыпка после устройства фундаментов, отвалы грунта, строительные материалы и изделия и др. Давление от этой нагрузки передается на слой торфа, вызывает его сжатие и появление негативного трения. При площадной нагрузке процессы деформации грунтов распространяются на большую глубину. Если толщина грунтов слабая, то происходит общая осадка всего массива вместе со сваями.

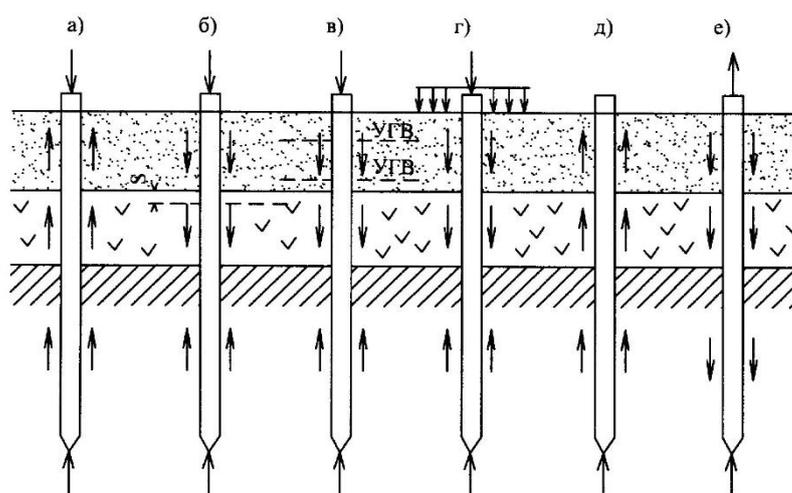


Рис. 6. Основные случаи работы сваи в трехслойном основании

Действие динамической нагрузки на сваю (рис. 6, д). Действие этой нагрузки мгновенное. Свая погружается, грунты основания не успевают уплотниться и получить осадку. Поэтому все три вида грунта участвуют в сопротивлении погружения сваи. Это может привести к ошибкам при динамических испытаниях свай. Вибрационная нагрузка может вызвать некоторые изменения прочностных и деформационных свойств грунтов.

Действие выдерживающей нагрузки (рис. 6, е). Все три вида грунта при этой нагрузке участвуют в сопротивлении сваи выдергивания; острие сваи не работает.

Таковы главные особенности работы свай при вертикальной нагрузке в условиях искусственного погребенного торфа.

Глава 3. Торфяные грунты как основания земляных сооружений

Строительство дорог на участках залегания слабых грунтов – комплексная многоплановая проблема, в состав которой входят исследование свойств грунтов и условий их образования, учет специфики работы дорожных конструкций, особенностей технологии производства работ.

3.1. Земляное полотно как инженерная конструкция

Согласно СП 34.13330.2012 п.3.64 *земляное полотно* – конструктивный элемент, служащий для размещения дорожной одежды, а также технических средств организации дорожного движения и обустройства дороги.

Является одним из основных элементов дороги. От состояния земляного полотна зависят эксплуатационные качества дороги.

При возведении земляного полотна должны обеспечиваться:

- прочность - способность сохранять, не деформируясь при действии внешних сил и природных факторов, приданные земляному полотну при строительстве форму и размеры;
- устойчивость - сохранение предусмотренного проектом положения в пространстве без смещения и просадок;
- стабильность - способность системы функционировать, не меняя собственную структуру, и находиться в равновесии.

Выполнение указанных требований достигается:

- верным выбором конструкции;
- устройством надежного водоотвода;
- своевременным устранением повреждений полотна и водоотводных сооружений.

Земляное полотно следует проектировать с учетом категории дороги, типа дорожной одежды, высоты насыпи и глубины выемки, свойств грунтов, используемых в земляном полотне, условий производства работ по возведению полотна, природных условий района строительства и особенностей инженерно-геологических условий участка строительства, опыта эксплуатации дорог в данном районе, исходя из обеспечения требуемых прочности, устойчивости и стабильности как самого земляного полотна, так и дорожной одежды при наименьших затратах на стадиях строительства и эксплуатации, а также при максимальном сохранении ценных земель и наименьшем ущербе окружающей природной среде (СП 34.13330.2012).

Как уже было сказано выше, земляное полотно служит основанием для верхнего строения пути и состоит из комплекса инженерных сооружений (рис.7), рассчитанного на длительные сроки службы.

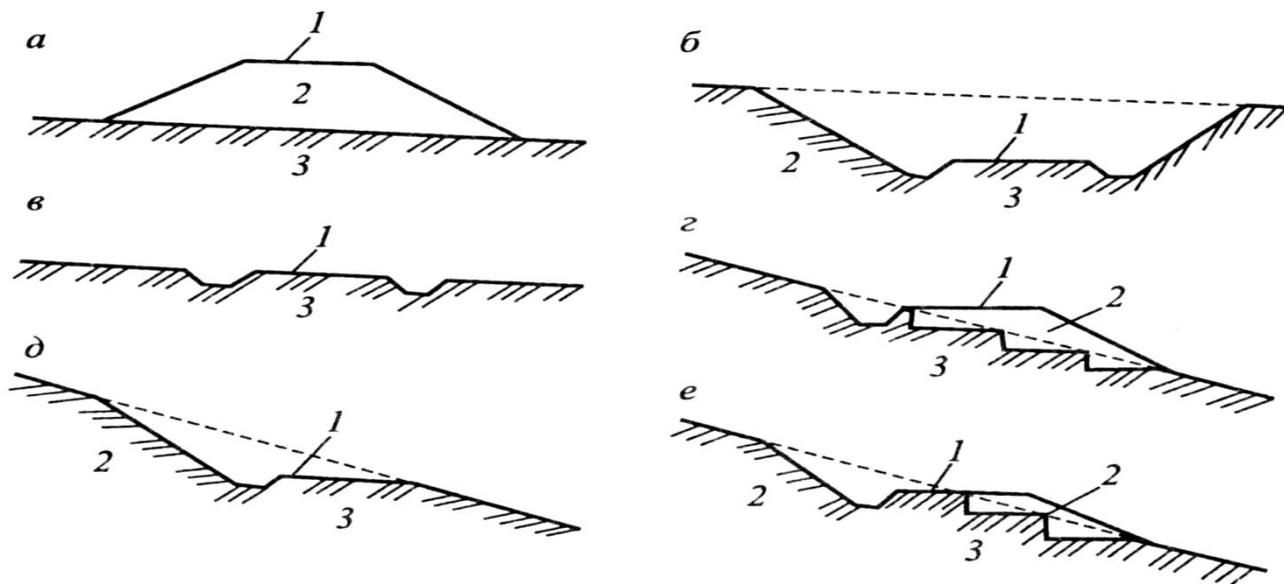


Рис. 7. Типы земляного полотна: а — насыпь; б — выемка; в — нулевое место; г — полунасыпь; д — полувыемка; е — полунасыпь-полувыемка; 1 — основная площадка; 2 — собственно земляное полотно; 3 — основание

В комплекс инженерных сооружений земляного полотна входят:

- насыпь (рис. 7, а) - основная площадка находится выше уровня земли и имеет два откоса насыпи;
- выемка (рис. 7, б) - основная площадка ниже уровня земли и имеются два откоса выемки;
- нулевое место (рис. 7, в) - место перехода от насыпи к выемке;
- полунасыпь (рис. 7, г) - основная площадка выше уровня земли, но откос один;
- полувыемка (рис. 7, д) - основная площадка ниже уровня земли, но откос у выемки один;
- полунасыпь-полувыемка (рис. 7, е) - основная площадка с одной стороны выше, а с другой ниже поверхности земли.

Конструкция земляного полотна включает также в себя:

- устройства для поверхностного водоотвода;
- устройства для понижения или отвода грунтовых вод (дренаж);
- поддерживающие и защитные геотехнические устройства и конструкции, предназначенные для защиты земляного полотна от опасных геологических процессов (эрозии, абразии, селей, лавин, оползней и т.п.).

Поперечные профили земляного полотна делят на типовые и индивидуальные. Типовые в свою очередь подразделяются на нормальные и специальные.

Типовые нормальные поперечные профили – это профили, которые применяются повсеместно при сооружении земляного полотна из обычных грунтов, в обычных условиях и проверены многолетним опытом их эксплуатации.

Типовые специальные профили применяются при наличии некоторых особенностей местных условий, но встречающихся сравнительно часто, например, при сооружении земляного полотна на вечной мерзлоте, в горных районах.

В ряде случаев нельзя использовать типовые профили земляного полотна и поэтому проектируются *индивидуальные поперечные профили* с обоснованием принятого решения технико-экономическими расчетами в следующих случаях:

- при высоте насыпей и глубине выемок свыше 12 м;
- на крутых или неустойчивых косогорах;
- при устройстве выемок в переувлажненных грунтах;
- на болотах;
- при разработке выемок способами взрыва на выброс;
- при возведении насыпей способом гидромеханизации и при прочих неблагоприятных условиях.

Поперечные профили земляного полотна характеризуются шириной и формой основной площадки, крутизной откосов, расположением водоотводных устройств, высотой насыпей и глубиной выемок, поперечным профилем земной поверхности в месте устройства земляного полотна.

3.2 Особенности строительства земляного полотна дорог на торфяных грунтах

Недостаточная несущая способность, высокая сжимаемость и другие особенности торфяных грунтов создают существенные технические трудности и требуют крупных материальных затрат при строительстве дорог. Прочность и устойчивость дорожных конструкций на таких грунтах при минимальных затратах на строительство и эксплуатацию дороги могут быть обеспечены на основе детального расчета элементов конструкции и при условии правильного выбора технологии производства работ.

Строительство дорог на участках залегания торфяных грунтов – комплексная многоплановая проблема, в состав которой входят исследование свойств грунтов и условий их образования, учет специфики работы дорожных конструкций, особенностей технологии производства работ.

Свойства торфов изменяются в широком диапазоне, по всей глубине залегания у торфов разнообразный состав и разные свойства. Все это создает множество сочетаний исходных условий для проектирования.

Как отмечалось ранее, проектирование на торфах относят к местам индивидуального проектирования, здесь даже можно говорить о принципиальных конструктивных решениях.

Практика дорожного строительства выработала два принципиальных подхода к устройству земляного полотна на торфяных грунтах:

- удаление торфяного грунта и замена его минеральными слоями;
- использование торфа в основании насыпи при условии применения соответствующих инженерных мероприятий.

Каждый из указанных подходов имеет свои достоинства и недостатки:

– при отказе от использования торфа каких-либо затруднений при проектировании не возникает, представляется возможным получить прочное и устойчивое земляное полотно с момента его возведения; однако такой подход приводит к исключительно большим объемам земляных работ (до 80 – 100 тыс. м³ на 1 км дороги) – грунт привозной; повышаются стоимость и трудоемкость, и падают темпы строительства;

– использование торфяных грунтов существенно снижает стоимость, трудоемкость работ, повышает темпы сооружения земляного полотна, но при проектировании требует детальной проработки мероприятий по обеспечению прочности и устойчивости насыпей; недостаток – нельзя сразу после возведения насыпи устроить дорожную одежду (земляное полотно нестабильно, протекают осадки основания), т.е. затягиваются сроки ввода дороги в эксплуатацию с заданными транспортно-эксплуатационными качествами.

Второй подход в последние годы стал основным, усилия научных, проектных и строительных организаций были направлены на разработку прогрессивных конструктивно-технологических решений в этом направлении, и получены хорошие результаты (Гречнева Г.И., 2018).

Опыт показывает, что при проектировании на торфяных грунтах, в проекте следует предусматривать мероприятия по предохранению земляного полотна от деформаций (ограничение по расположению и толщине слоев грунтов для насыпи, устройство защитных слоев из устойчивых грунтов, армирующие, гидроизолирующие и другие прослойки и т. д.). Но формы деформации основания могут быть различными. При определенных обстоятельствах деформация основания может иметь трагический характер и приводит к разрушению возведенной насыпи. Процесс разрушения происходит с выдавливанием грунта из-под основания насыпи или же выпячиванием грунта по поверхности скольжения, и в том и том случае образуются валы выпирания (рис. 8, а, б). Иногда в слаборазложившихся торфах

сплошных траекторий сдвига не происходит, а боковое выдавливание начинается только после существенного уплотнения торфов под насыпью, причем выдавившийся объем компенсирует боковое уплотнение зон основания, примыкающих к насыпи (рис. 8, в). Валы выпирания при этом могут быть слабо выражены.

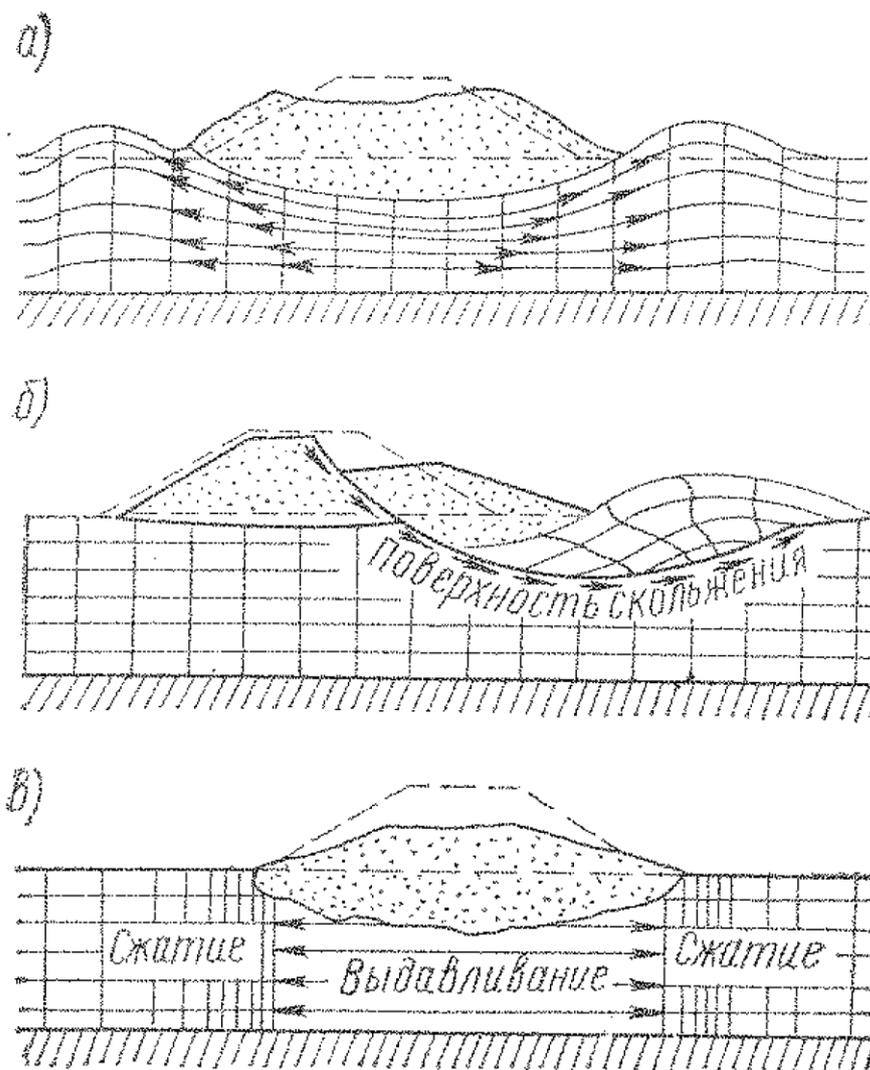


Рис. 8. Основные виды деформация земляного полотна и грунтового основания:
 а — выдавливание пластической массы; б — выпор по поверхности скольжения;
 в — выдавливание с боковым уплотнением

Боковое смещение грунта основания насыпи может носить и длительный характер, но во всех случаях оно приводит к постепенной деформации насыпи. Этот процесс деформации протекает долго, мало затухая во времени и не всегда поддается прогнозу. Но обычно боковые смещения грунта отсутствуют, деформации основания носят вертикальный характер смещений, который вызван доуплотнением грунта от веса насыпи.

Возникают задачи, с которыми приходится сталкиваться при использовании торфяных грунтов в качестве основания насыпи:

— исключение или ограничение возможности выдавливания грунта основания за пределы контура подошвы насыпи;

— оценка и учет возможной конечной величины и хода во времени осадки насыпи, вызванной уплотнением грунта ее основания под воздействием нагрузки от веса насыпи;

— учет своеобразного динамического эффекта от воздействия транспортной нагрузки, т.к. при определенных условиях под транспортной нагрузкой могут возникать чрезмерно интенсивные колебания насыпи, покрытие начинает работать в условиях знакопеременной деформации, что приводит его к преждевременному разрушению.

Решение вышеперечисленных задач требует развития соответствующих представлений о напряженном состоянии основания насыпи, об условиях нарушения его устойчивости, деформации уплотнения торфяного грунта, а также об условиях возникновения упругих колебаний насыпи.

3.3 Схемы возведения насыпи на торфяных грунтах

При сооружении земляного полотна в болотистой местности следует различать три типа болот (СП 34.13330.2012):

I – заполненные болотными грунтами, прочность которых в природном состоянии обеспечивает возможность возведения насыпи высотой до 3 м без возникновения процесса бокового выдавливания слабого грунта;

II (сапропелевые) – содержащие в пределах болотной толщи хотя бы один слой грунта, который может выдавливаться при быстром возведении насыпи высотой до 3 м, но не выдавливается при меньшей интенсивности возведения насыпи;

III (сплавинные) – содержащие в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который при возведении насыпи высотой до 3 м выдавливается независимо от интенсивности возведения насыпи.

В предыдущем пункте описывались два подхода к возведению земляного полотна на торфяных грунтах.

Итак, метод выторфовывания, применяют для дорог высших категорий при незначительной заболоченности, малой глубине болот, а также в тех случаях, когда высока стоимость мероприятий по обеспечению устойчивости, прочности и стабильности дорожной конструкции. Конструкцию земляного полотна с полным выторфовыванием применяют на болотах I – III типов (рис. 9).

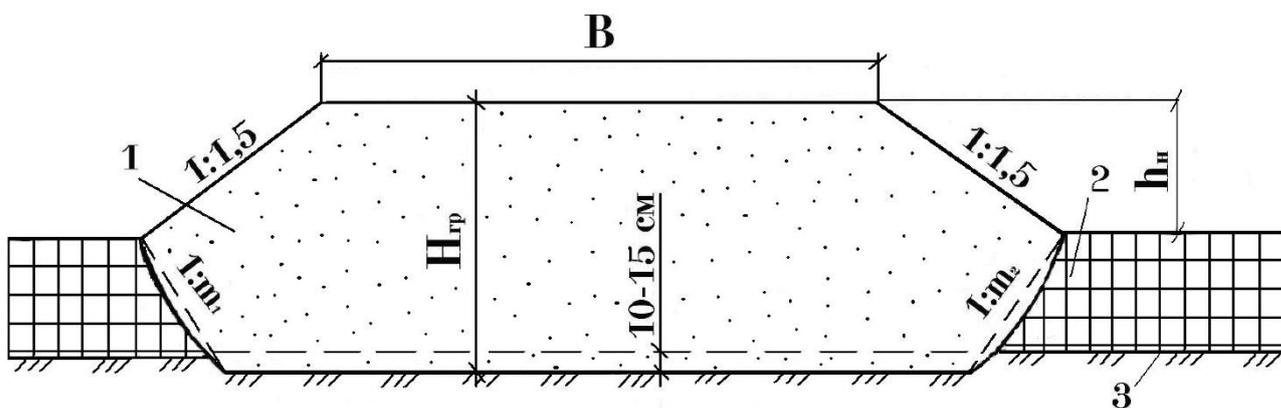


Рис. 9. Поперечный профиль насыпи на болотах I и II типов: 1 – минеральный грунт; 2 – торфяная залежь; 3 – минеральное дно болота; $m_1 > 0,5$ – на болотах II типов; $m_2 > 0,25$ – на болотах I типа

Общая толщина насыпного слоя $H_{гр} = h_n + H_b$ (h_n – проектная высота насыпи, H_b – глубина болота).

На болотах III типа обычно механическое выторфовывание не производят, а предусматривают посадку насыпи на минеральное дно болота путем выдавливания слоев текучей консистенции (рис. 10).

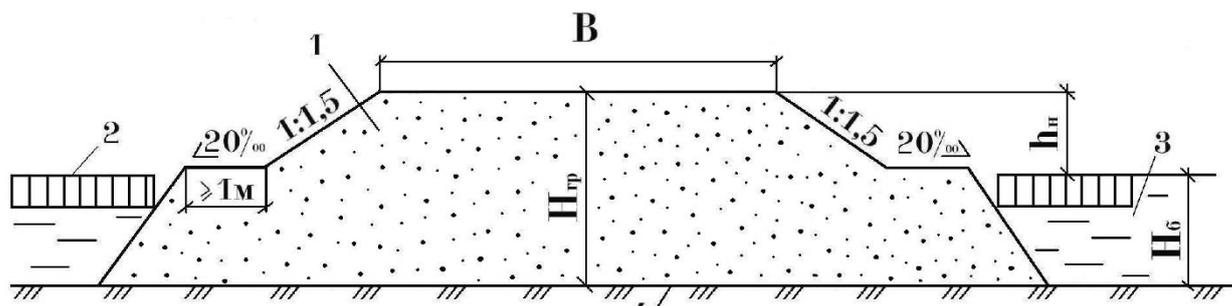


Рис. 10. Поперечный профиль насыпи на болотах III типа: 1 – минеральный грунт; 2 – торф (сплавина); 3 – жидкие образования; 4 – минеральное дно болота

Для ускорения посадки насыпи применяют метод перегрузки (насыпь возводят меньшей ширины, но большей высоты), а также поднасыпные взрывы. Это вопросы строительства.

При втором методе (использовании торфа в дорожном строительстве) применяют конструкции земляного полотна трех типов:

- 1) массивная песчаная насыпь, возводимая на поверхность болота (часто называют плавающей насыпью);
- 2) земляное полотно с использованием торфа в основании и в теле насыпи;

3) насыпь из минеральных грунтов, возводимая на предварительно намороженное торфяное основание.

Насыпь с торфом в основании (плавающую насыпь) обычно используют на болотах всех типов в районах с высокой заболоченностью и большой дальностью возки минеральных грунтов (рис. 11). Общая толщина насыпного грунта $H = h_{н} + S_0$, где $h_{н}$ – проектная высота насыпи; S_0 – осадка торфяного основания по осевому сечению

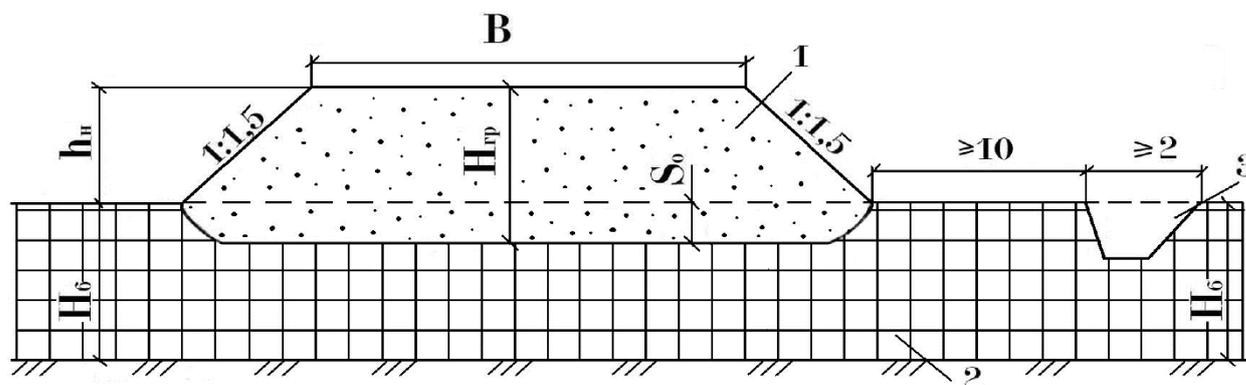


Рис. 11. Поперечный профиль насыпи на болотах I, II, III типов: 1 – минеральный грунт; 2 – торфяная залежь; 3 – торфоприемник глубиной до 1 м; S_0 – осадка насыпи

При использовании плавающей насыпи, часть насыпи, которая ниже поверхности болота, играет только роль компенсации осадки. Более того, она увеличивает расчетную нагрузку на торфяное основание. Через этот слой (толщиной S_0) происходит увлажнение верхних слоев насыпи.

Прочностные показатели минеральных грунтов ниже горизонта грунтовых вод меньше, чем у торфяных грунтов.

Рассматривая нижний слой насыпи S_0 с таких позиций, используют конструкцию земляного полотна с использованием торфа в основании и в нижней части насыпи (рис. 12) для строительства на болотах I и II типов.

Замена минеральных грунтов в нижней части насыпи торфом уменьшает потребность в привозных грунтах, снижает стоимость возведения земляного полотна, позволяет вывести минеральную часть насыпи из зоны постоянного увлажнения, снижает нагрузку на торфяное основание (уменьшает величину S_0) и повышает устойчивость нижней части ($C_{т}$ и $\phi_{т} > C_{гр}$ и $\phi_{гр}$).

Возводимая насыпь состоит из 2-х частей: верхней – из минерального грунта толщиной $h_{гр}$ и нижней – из торфа слоем $h_{т}$.

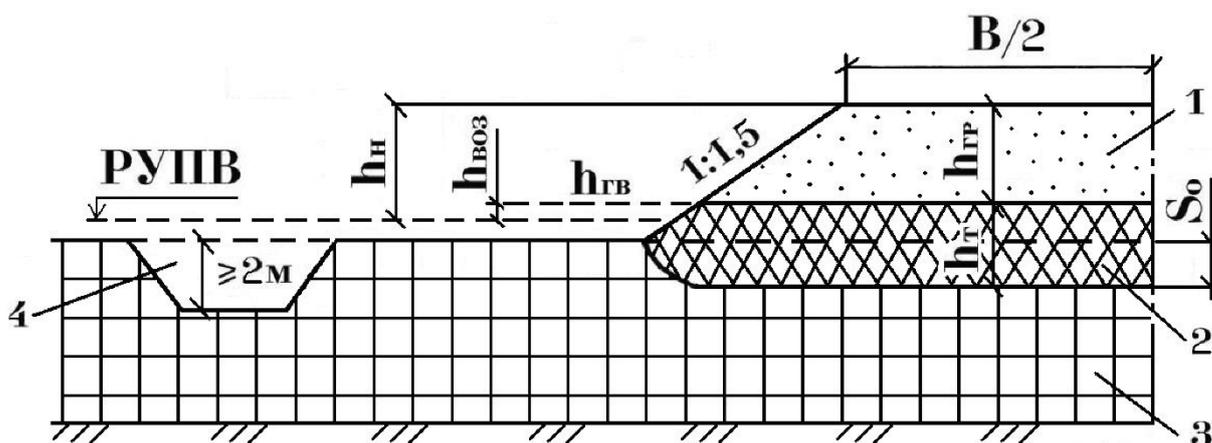


Рис. 12. Поперечный профиль насыпи с использованием торфа в основании и нижней части насыпи на болотах I, II типов: 1 – минеральный грунт; 2 – нижняя часть насыпи из торфа; 3 – торфяная залежь; 4 – боковой резерв торфа; РУПВ – расчетный уровень поверхностных вод; S_0 – осадка торфяного основания

Величину $h_{ГР}$ назначают более требуемого возвышения низа дорожной одежды от границы торфяной насыпи и принимают: крупнообломочные и песчаные грунты - 0,7 м; пески пылеватые, супеси - 1,2 м; суглинки и глины - 1,6 м. Толщину торфяной части насыпи h_T определяют по формуле

$$h_T = h_{ВОЗ} + h_{ГВ} + S_0 + S_{ТН}$$

где $h_{ВОЗ}$ – требуемое возвышение торфяной части насыпи над уровнем воды на болоте, $h_{ВОЗ} = 0,2-0,3$ м; $h_{ГВ}$ – расчетный уровень воды на болоте; при отсутствии длительно стоящих (более 30 суток) вод за уровень принимается поверхность болота, а $h_{ГВ} = 0$; S_0 – осадка торфяного основания; $S_{ТН}$ – сжатие торфяной части насыпи под нагрузкой. Обычно нижнюю часть насыпи устраивают из торфа боковых резервов (на болотах I и II типов) или из сосредоточенных торфяных карьеров, используя торф устойчивой консистенции.

Насыпь из минерального грунта, возводимая на предварительно замороженное торфяное основание, рекомендуется на болотах всех типов глубиной более 1 м в северных районах страны со среднегодовой температурой воздуха ниже 0 °С.

Идея создания такой конструкции основана на возможности использовании как бы слоя "вечной мерзлоты". Конструкция (рис. 13) обладает высокими технико-экономическими показателями и нашла широкое внедрение в Западной Сибири, т.к. в 2–3 раза дешевле метода выторфовывания, в 1,5 раза дешевле плавающей насыпи.

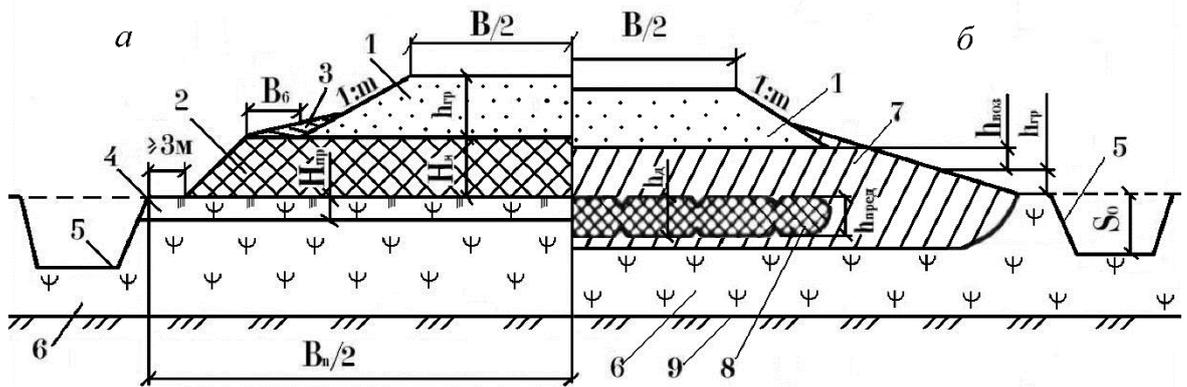


Рис. 13. Поперечный профиль насыпей на промороженных основаниях: а – в период строительства; б – в процессе эксплуатации на конец теплого периода года:

1 – минеральный грунт; 2 – намороженная торфяная плита; 3 – боковая теплоизоляционная призма из торфа; 4 – промороженный слой торфяной залежи; 5 – боковой резерв торфа; 6 – талые слои торфяной залежи; 7 – талые слои торфяной плиты; 8 – мерзлое ядро торфяной плиты; 9 – минеральное дно болота

Конструкция дорог на промороженных основаниях включает:

- торфяное основание, состоящее из талого и промороженного слоев;
- намороженную плиту из торфа в нижней части насыпи;
- верхнюю часть насыпи из минерального грунта.

Нередко на пути возведения дорог встречаются мелководные озера, расположенные на заболоченных территориях, обход которых во многих случаях оказывается экономически и технически нецелесообразен. Поэтому широко применяют пересечение таких озер дорогами.

Традиционный метод – завоз грунта автовозкой и устройство насыпи с пляжными откосами (1:10–1:25). В последние годы используют гидронамыв для возведения насыпей непосредственно на озере (1:50).

Учитывая большую дальность транспортировки грунтов, рекомендуется использовать торфяные грунты, дальность транспортировки которых не превышает полуширины озера. Конструкцию земляного полотна при прохождении мелководных озер глубиной до 1,5–2 м назначают в зависимости от несущей способности донных отложений, предусматривая устройство торфяной части насыпи в сухом котловане в зимнее время (рис. 14).

Конструкция земляного полотна на мелководных озерах включает элементы, используемые в конструкциях дорог на болотах (рис. 12 и 13): слабые донные отложения – в качестве несущего основания; торф – в нижней части насыпи.

Поэтому параметры насыпи на переходах через озера могут быть рассчитаны с учетом климатических условий района проектирования:

- в районах с отрицательными среднегодовыми температурами воздуха как конструкции на промороженных торфяных основаниях (рис. 13);

- в остальных районах как конструкции с торфом в основании и в нижней части насыпи (рис. 12).

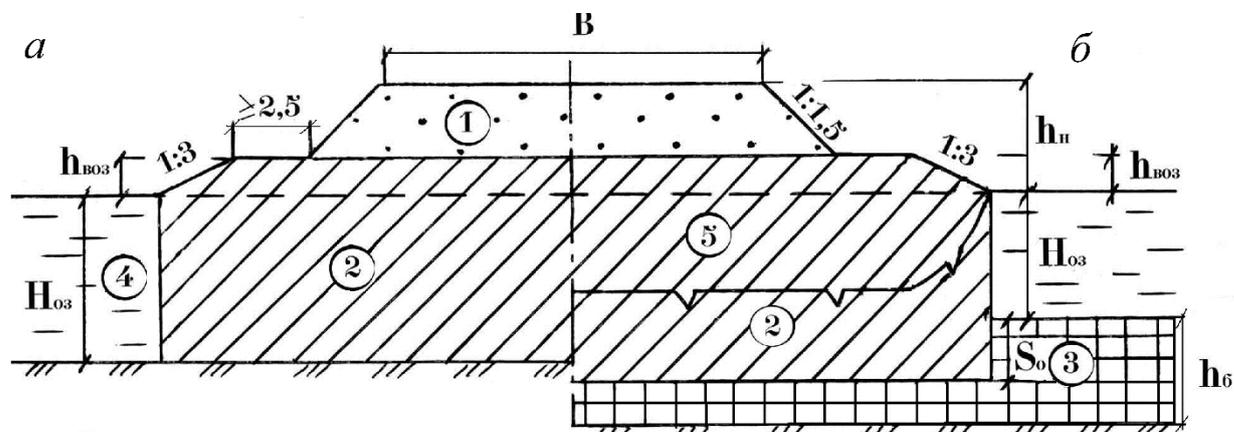


Рис. 14. Поперечный профиль насыпи на озерах: а – конструкция в период строительства; б – в процессе эксплуатации на конец теплого периода года:

1 – минеральный грунт; 2 – намороженная торфяная плита; 3 – слабые донные отложения; 4 – вода; 5 – мерзлое торфяное ядро

В последние годы при строительстве земляного полотна на болотах стали широко применять геотекстильные нетканые материалы (НСМ), с помощью которых можно: повысить устойчивость насыпей; улучшить условия отсыпки и уплотнения грунта в насыпи; разделить слои различных грунтов в насыпи; ускорить консолидацию осадок и уменьшить неравномерность осадок насыпи; получить эффект армирования, т.е. перераспределения возникающих в торфяном грунте напряжений и частичного восприятия растягивающих напряжений. Обычно прослойки из НСМ одновременно выполняют несколько функций. Конструкции прослоек представлены на рисунке:

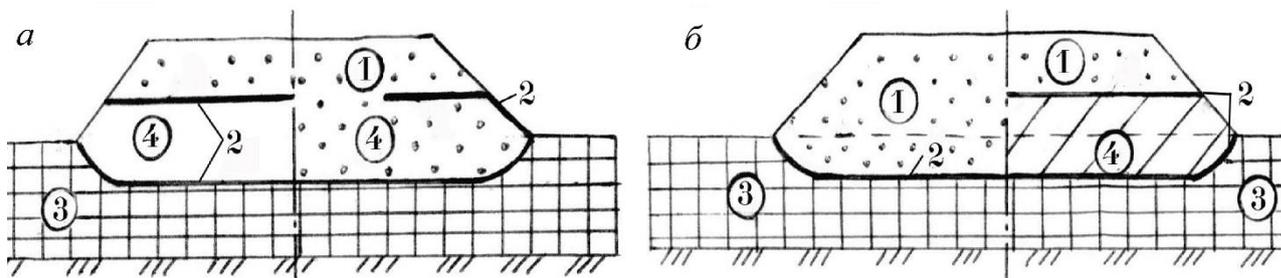


Рис. 15. Поперечные профили насыпей с использованием прослоек из НСМ:

а – в основании насыпи; б – над нижней частью насыпи из местных грунтов (торфа, глинистых грунтов): 1 – песчаный грунт; 2 – прослойка из НСМ; 3 – торфяной грунт болота; 4 – нижняя часть насыпи из местных материалов (торфа, глинистых грунтов)

Глава 4. Инженерно-геологическая оценка строительства административного здания на торфяных грунтах

Непосредственно на площадке строительства встречается торф. Торф - своеобразное, относительно молодое геологическое образование, формирующееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. На площадке он залегает либо с поверхности, либо под грунтами.

4.1. Характеристика инженерно-геологических условий площадки строительства

4.1.1. Местоположение и рельеф

Участок инженерно-геологических изысканий, где проектируется административный корпус, расположен в квартале строительства многоэтажных домов в д. Старой Всеволожского района, Ленинградской области, в Колтушском сельском поселении на незначительном удалении от восточной границы Санкт-Петербурга.

Рельеф участка холмистый. Находится на Колтушской возвышенности. Понижение рельефа идет с северо-востока на юго-запад. Абсолютные отметки геологических выработок изменяются от 39, 8 м до 32, 15 м. Перепад высот составляет 7,65 м. Территория частично заболочена, местами покрыта кустарником.

4.1.2 Геологическое строение

В геологическом строении участка изысканий на разведанную глубину до 25м принимают участие современные и верхнечетвертичные отложения.

Современный отдел (Q_{IV}) представлен почвенными (p_{IV}) и биогенными образованиями (b_{IV}), верхнечетвертичный отдел (Q_{III}) слагают озёрно–ледниковые отложения (lg_{III}).

Современный отдел - Q_{IV}

Почвенные образования - p_{IV}

Вскрыты всеми скважинами с поверхности и представлены почвенно-растительным слоем. Мощность слоя составляет 0,1-0,3 м.

Биогенные отложения - b_{IV}

Торфа слаборазложившиеся встречены скважинами №1625-1627 (в пятне административного здания) под почвенно-растительным слоем на глубине 0,1 м.

Торфа характеризуются темно-коричневым цветом, влажным, с глубины 0,4 м

водонасыщенным состоянием, содержат корни растений.

Мощность торфов в пятне застройки изменяется от 0,9 до 7,8 м.

Верхнечетвертичный отдел - Qш

Озерно-ледниковые отложения Iгш

На исследуемом участке встречены следующие грунты: пески, супеси и суглинки.

Пески встречены скважинами №1621-1624 под почвенно-растительным слоем на глубине 0,2-0,3 м в виде прослоя мощностью 0,2-0,3 м; под суглинками в скважинах №1618, 1619, 1621-1627 на глубинах 7,2, 7,3-8,0 и на глубине 9,2-12,1 м; под супесями в скважинах №1618-1620 на глубине 5,1 м и на глубине 10,2-11,0 м.

Мощность песков изменяется от 0,2-0,3 до 0,6-1,2 м и от 0,9 до 15,4 м.

Суглинки разной степени пластичности залегают под почвенно-растительным слоем на глубине 0,3 м в скважине №1620; под песками на глубине 0,4- 0,6 м и на глубине 7,8-8,3 м в скважинах №1621-1624; под супесями на глубине 3,3- 5,2 м в скважинах №1622, 1624 и на глубине 4,8-5,7 м в скважинах №1618, 1619, 1621, 1623; под торфами на глубине 1,0-7,9 м в скважинах №1625 – 1627.

Мощность суглинков изменяется от 0,8-1,8 до 1,4-8,6 м.

Супеси встречены скважинами №1618, 1619 под почвенно-растительным слоем на глубине 0,2-0,3 м; скважинами №1618-1620 под песками на глубине 7,8-9,0 м; скважиной №1620 на глубине 5,1 м и скважинами №1621-1624 на глубине 1,3-1,6 м под суглинками.

Мощность супесей изменяется от 1,6 до 5,4 м.

4.1.3. Гидрогеологические условия

В период проведения изысканий на площадках проектируемого строительства встречены два водоносных горизонта.

Первый водоносный горизонт встречен скважинами №1625-1627 на глубине 0,4 м (абс. отм. 31,70-32,0 м) и приурочен к торфам. Зафиксированные уровни близки к среднегодовым. Амплитуда сезонных колебаний УГВ составляет около 0,5 м.

Второй водоносный горизонт встречен скважинами №1618-1624 на глубине 6,0 м (абс. отм. 26,12-29,10 м). Водовмещающими породами являются озерно-ледниковые песчаные отложения и песчаные прослои в связных грунтах этих же отложений.

На площадке проектируемого жилого дома I и II горизонтов гидравлически взаимосвязаны и образуют единый водоносный комплекс.

Питание горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка горизонтов осуществляется по рельефу в местную гидрографическую сеть и ближайшие канавы.

Амплитуда сезонных колебаний уровня подземных вод II водоносного горизонта составляет около 1,5 м.

Максимальные уровни следует ожидать вблизи дневной поверхности, на пониженных участках с образованием зеркала воды со свободной поверхностью.

Территория подтапливается.

4.1.4. Состав и физико-механические свойства грунтов

В соответствии с учётом возраста, генезиса, физико-механических свойств грунтов и анализа пространственной изменчивости частных показателей этих свойств, на участке строительства всего комплекса в пределах исследуемой толщи выделено 7 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

ИГЭ-1. Торфа тёмно-коричневого цвета, влажные, с глубины 0,4 м. водонасыщенные. Мощность торфов ИГЭ-1 изменяется от 0,9 до 7,8 м.

ИГЭ-2. Пески пылеватые, светло-коричневые, средней плотности сложения, маловлажные. Мощность песков пылеватых ИГЭ-2 изменяется от 0,2-0,3 до 0,6-1,2 м.

ИГЭ-3. Суглинки твердые пылеватые, светло-коричневые, содержат линзы и прослойки песка, редкие включения гравия и гальки, выветрелые. Мощность суглинков ИГЭ-3 изменяется от 0,8 до 1,4 м.

ИГЭ-4. Супеси пылеватые, пластичные, участками твердые. Характеризуются светло-коричневым и серым цветом, пылеватым составом, слоистостью, содержат прослойки песка пылеватого. Мощность супесей ИГЭ-4 изменяется от 1,6 до 5,4 м.

ИГЭ-5. Суглинки полутвердые пылеватые. Характеризуются серым цветом, содержат прослойки песка. Мощность суглинков ИГЭ-5 изменяется от 1,7 до 2,0 м.

ИГЭ-6. Суглинки легкие пылеватые, полутвёрдые и твёрдые с прослоями тугопластичных, серые, содержат прослойки песка. Мощность суглинков ИГЭ-6 изменяется от 1,8 до 8,6 м.

ИГЭ-7. Пески мелкие светло-коричневые, серые, средней плотности сложения, влажные. Вскрытая мощность песков ИГЭ-7 изменяется от 0,9 до 15,4 м.

В пределах возможной сферы взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой непосредственно на площадке строительства административного здания на исследуемой глубине встречаются следующие ИГЭ:

ИГЭ-1. Торфа тёмно-коричневого цвета, влажные, с глубины 0,4 м. водонасыщенные.

ИГЭ-6. Суглинки легкие пылеватые, полутвёрдые и твёрдые с прослоями тугопластичных, серые, содержат прослой песка.

ИГЭ-7. Пески мелкие светло-коричневые, серые, средней плотности сложения, влажные.

Показатели нормативных и расчетных значений физико-механических свойств грунтов представлены в приложении А. Геолого-литологический разрез представлен в приложении Б.

4.2. Расчёт свайных фундаментов и их оснований

Согласно техническому заданию, на исследуемом участке предполагается строительство административного здания высотой 5 этажей, II класса, фундамент свайный, нагрузка на сваю – 100 тс.

Расчёт производят по двум группам предельных состояний:

а) первая группа:

- по прочности свай и свайных ростверков;
- по несущей способности свай;
- по устойчивости оснований свайных фундаментов в целом при действии горизонтальных или выдёргивающих нагрузок;

б) вторая группа:

- по абсолютным осадкам и неравномерностям осадок оснований свайных фундаментов;
- по перемещениям свай от совместного действия вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов;
- по образованию и раскрытию трещин в элементах железо-бетонных конструкций.

По первой группе предельных состояний проверяется усилие, действующее в свае, согласно формуле

$$N_p \leq F_d / \gamma k = F_R,$$

где N_p – расчётная нагрузка первой группы предельных состояний, передавая на отдельную сваю, кН;

F_d – несущая способность сваи по прочности грунта основания, кН;

γk – коэффициент надёжности, зависящий от способа определения несущей способности и принимаемый равным 1,4 – для расчётного метода и динамических испытаний сваи, выполненных без учёта упругих деформаций грунта; 1,25 – для метода зондирования и динамических испытаний сваи, выполненных с учётом упругих деформаций грунта; 1,2 – для испытания сваи пробной нагрузкой;

F_R – сила расчётного сопротивления сваи (по материалу или грунту), кН.

При определении N_p учитывается нагрузка, действующая по обрезу фундамента, собственный вес ростверка и грунта на его уступах.

По второй группе предельных состояний проводится расчёт осадки основания свайных фундаментов согласно условиям:

$$S \leq S_u$$
$$(\Delta S/L) \leq (\Delta S/L)_u$$

где S_u и $(\Delta S/L)_u$ - соответственно предельные абсолютная и относительные неравномерности осадок сооружения, устанавливаемые в соответствии со СП 24.13330.2011, СП 50-102-2004.

Важнейшим этапом проектирования свайного фундамента является назначение свай по характеру их работы.

По характеру работы сваи делятся на:

– *сваи-стойки*, то есть те, которые опираются на практически несжимаемые грунты (скальные, крупнообломочные, глинистые при $E \geq 50 \text{ МПа}$), и несущая способность таких свай, ввиду отсутствия их перемещений, определяется только сопротивлением грунта по острию сваи.

– *висячие сваи*, которые воспринимают нагрузку за счёт сопротивления грунта по боковой поверхности и острию сваи, т.к. они погружены в сжимаемые грунты и имеют перемещения.

Это различие находит отражение и в формулах для расчёта несущей способности свай по условию прочности грунтов основания.

4.3. Особенности расчёта несущей способности свай в торфяных грунтах

На величину несущей способности сваи при наличии в пределах её длины сильно сжимаемого грунта (торфа) влияют силы отрицательно направленного трения.

В связи с этим, рассмотрим определение несущей способности сваи расчётным методом при возникновении отрицательного трения (Проектирование фундаментов...2006).

При наличии в пределах длины сваи слоя сильно сжимаемого грунта, отрицательно направленное трение может возникнуть тогда, когда верхние слои грунта дают осадку из-за сжимаемости слоя слабого грунта в результате следующих причин:

- при планировании территории подсыпкой;
- загрузке поверхности грунта или пола по грунту длительно действующими полезными нагрузками;
- снятии взвешивающего действия воды в результате понижения уровня грунтовых вод;

- динамических воздействиях на грунты, способные уплотняться от этих воздействий (рыхлые пески, тиксотропные грунты);

- уменьшении объема грунта, содержащегося растворимые соли и гниющие органические вещества;

- замачивании просадочных грунтов;

- незавершенном уплотнении молодых отложений.

На приведённом ниже рисунке показано влияние сил отрицательного трения на величину несущей способности сваи. Для определения точки, выше которой на величину несущей способности сваи действует отрицательное трение, по длине сваи построена прямоугольная эюра 1 с интенсивностью перемещения, равного половине предельно допустимой осадки фундамента и эюра 2 послойной осадки грунтов около боковой поверхности сваи. В точке пересечения эюр (НТ) на глубине z_0 вертикальные перемещения грунта равны осадке сваи.

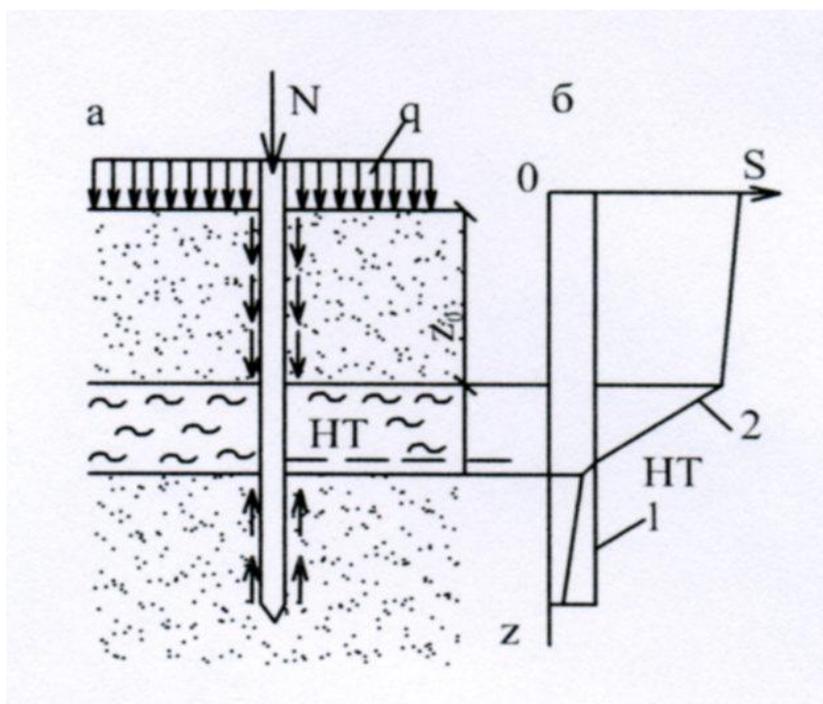


Рисунок 16. Влияние сил отрицательного трения (Проектирование фундаментов...2006).

Выше этой точки (то есть выше нижней отметки торфа) действует отрицательно направленное трение. В таком случае несущая способность сваи рассчитывается по следующей формуле:

$$F_d = \gamma_c(\gamma_{cr}RA + u\sum\gamma_{cf}f_ih_i - u\sum\gamma_{cf}f_ih_i),$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый $\gamma_c=1$;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое для забивной сваи по таблице (СП 24.13330.2011 таблица 7.2) (Приложение В);

A – площадь поперечного сечения сваи, м^2 ;

u – периметр поперечного сечения сваи, м ;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, кПа , принимаемое по таблице (СП 24.13330.2011 таблица 7.3) (Приложение Г);

h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м , принимаемая $h_i \leq 2 \text{ м}$;

$\gamma_{сR}$, γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа изготовления сваи и принимаемые для забивных свай по таблице (СП 24.13330.2011 таблица 7.4) (Приложение Д).

4.4. Учёт изменения показателей физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов, залегающих ниже толщи болотных отложений, в расчётах несущей способности свай и свайных фундаментов

Как было показано в параграфе 4.3, в схемах расчета несущей способности свай, прорезающих торфа предложено (согласно СП 24.13330.2011) вводить силы отрицательного либо нулевого трения только в пределах торфа и перекрывающих его образований – природных либо техногенных. Если в пределах длины погруженной части сваи залегают напластования торфа толщиной более 30 см и возможна планировка территории подсыпкой или иная ее загрузка, эквивалентная подсыпке, то расчетное сопротивление грунта – f_i , расположенного выше подошвы наинизшего (в пределах длины погруженной части сваи) слоя торфа, предполагается принимать:

а) при подсыпках высотой менее 2 м – для грунтовой подсыпки и слоев торфа - равным нулю;

б) при подсыпках высотой от 2 до 5 м – для грунтов, включая подсыпку - равным 0,4 значений, указанных в таблице (СП 24.13330.2011), но со знаком «минус», а для торфа - минус 0,005 МПа (отрицательные силы трения);

в) при подсыпках высотой более 5 м - для грунтов, включая подсыпку - равным значениям, указанным в таблице (СП 24.13330.2011), но со знаком «минус», а для торфа - минус 0,005 МПа.

Ниже слоя торфа, используют показатели сопротивления сдвигу неизменных отложений:

- для глинистых – в зависимости от консистенции и глубины их залегания,

- для песчаных – с учетом их гранулометрического состава, плотности и также глубины залегания.

Таким образом, в этих схемах расчёта несущей способности свай в торфяных грунтах не учитывается изменение показателей физико-механических свойств дисперсных грунтов, залегающих ниже слоя торфа.

Таблица 2

Нормативные характеристики торфов региона Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Наименование характеристик торфов	Значения нормативных характеристик различных типов торфов при степени разложения D_{pd} , %							
	Верховой			Переходной		Низинный		
	$D_{pd} < 20$	$20 \leq D_{pd} \leq 30$	$D_{pd} > 30$	$D_{pd} < 20$	$20 \leq D_{pd} \leq 30$	$D_{pd} < 20$	$20 \leq D_{pd} \leq 30$	$D_{pd} > 30$
Влажность природная W	10,6	8,4	5,1	7,1	6,5	5,7	5,3	3,5
Относительное содержание органического вещества $I_{от}$	0,93	0,95	0,96	0,88	0,88	0,74	0,70	0,44
Плотность ρ , т/м ³	0,91	0,96	1,10	0,92	0,97	0,87	0,93	1,06
Удельный вес частиц γ_g , кН/м ³	16,2	15,9	15,6	16,7	16,8	18,6	18,8	20,4
Коэффициент пористости e_0	19,6	14,6	7,6	13,7	12,0	13,3	11,7	7,7
Структурная прочность $p_{ст}$, кПа	23	17	15	21	10	28	22	-
Коэффициент фильтрации k_0 , см/с	$3,6 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$	$9,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$9,6 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-5}$
Коэффициент изменчивости водопроницаемости α_k	0,55	0,62	1,70	0,70	0,97	0,68	1,55	1,92
Коэффициент Пуассона ν	0,17	0,26	0,30	0,19	0,26	0,20	0,27	0,36
Угол внутреннего трения φ_n , град.	8	11	13	-	-	10	12	14
Удельное сцепление c_n , кПа	14	17	10	-	-	15	16	14
Модуль деформации E , кПа, при уплотняющих напряжениях p , кПа:								
10	78	82	123	117	130	128	133	150
30	73	79	116	94	106	96	120	138
80	128	131	164	155	162	160	172	180
Параметр ползучести b при уплотняющих напряжениях p , кПа:								
10	0,0067	0,0091	0,0054	0,0054	0,0063	0,0041	0,0058	0,0058
30	0,0164	0,0147	0,0121	0,0157	0,0170	0,0097	0,0179	0,0147
80	0,0257	0,0236	0,0173	0,0257	0,0220	0,0281	0,0248	0,0275

В тоже время, на основе большого объёма экспериментальных исследования и теоретических обобщений, проводимых на кафедре инженерной геологии и гидрогеологии СПбГИ (Санкт-Петербургского Государственного Горного института), установлено, что при

оценке влияния погребённых болот на преобразование грунтов в зоне их развития, необходимо учитывать:

- негативное влияние болотных отложений на изменение состояния и свойств вмещающих их песчано-глинистых пород, которое выражается в снижении устойчивости и несущей способности последних, в переходе песков различного гранулометрического состава в плавунное состояние, развитии тиксотропных свойств песчано-глинистых грунтов;

- изменение показателей физико-механических свойств дисперсных грунтов, залегающих ниже слоя погребённого торфа, при расчёте свай и свайных фундаментов (Захарова, 2006).

Проведённый анализ существующих схем расчёта несущей способности свай, прорезающих торф, в соответствии со (СП 24.13330.2011), показал необходимость внесения корректив в существующие расчёты, т.к. расчет по такой схеме предполагает получение завышенных значений несущей способности свай. Опыт строительства свайных фундаментов при наличии в разрезе торфов показывает, что во многих случаях наблюдается развитие длительных и неравномерных осадков, приводящих к переходу сооружения в аварийное либо предаварийное состояние. Для надёжности проектирования и повышения достоверности расчетов несущей способности свай рекомендуется ввести уточнение в значения расчетного сопротивления по боковой поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования, а также изучение преобразования песчано-глинистых пород под торфяными отложениями, показали, что наблюдается снижение показателей сопротивления сдвигу c и ϕ (Захарова, 2006). Это подтверждают данные, представленные в таблице 3. Согласно исследованиям СПбГГИ, проведенным на различных объектах Санкт-Петербурга, установлена закономерность изменения показателей сопротивления сдвигу песчано-глинистых отложений различного генезиса под торфяными отложениями относительно нормативных значений (ТСН 50-302-2004) (таблица 2).

Таблица 3

Сравнительная оценка показателей сопротивления сдвигу для песчано-глинистых отложений, служащих основанием зданий и сооружений в Санкт-Петербурге

Тип отложений	Изменение показателя текучести	с, МПа		φ, град	
		ТСН 50-302-2004	Опытные данные*	ТСН 50-302-2004	Опытные данные*
Озерно-ледниковые	$0 < I_L \leq 0,5$	0,035-0,023	0,028-0,018	17-12	0-3
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,021-0,015	0,016-0,012	17-12	0-2
	$1,1 < I_L \leq 1,7$	0,013-0,007	0,01-0,009	17-12	0-2
Моренные	$0 < I_L \leq 0,5$	0,030-0,017	0,026-0,02	24-22	0-5
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,015-0,01	0,02-0,017	24-22	0-4

В связи с этим рекомендуется в глинистых отложениях одного и того же генезиса, возраста и консистенции, залегающих ниже слоя торфа использовать постоянное значение f . Для песков, залегающих под торфами, следует снижать величину угла внутреннего трения по результатам экспериментальных исследований их прочности при минимальных нормальных давлениях, обеспечивающих отсутствие уплотнения. Для повышения достоверности расчетов несущей способности висячих свай требуется ввести изменения в значения расчетного сопротивления по боковой поверхности сваи для различных типов отложений под торфяными отложениями (таблица 4).

Таблица 4

Сопротивление по боковой поверхности сваи с учетом преобразования песчано-глинистых отложений Санкт-Петербурга под влиянием торфяных отложений

Тип отложений	Изменение показателя текучести	Сопротивление по боковой поверхности свай, МПа
Озерно-ледниковые	$0 < I_L \leq 0,5$	0,028-0,018
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,016-0,012
	$1,1 < I_L \leq 1,7$	0,01-0,009
Моренные	$0 < I_L \leq 0,5$	0,026-0,02
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,02-0,017

4.5. Расчёт несущей способности висячей забивной сваи

С целью оценки влияния изменения свойств дисперсных грунтов, расположенных под торфом (установленного в СПбГГИ), на результаты расчёта несущей способности висячей забивной сваи, расчёт проводился двумя способами. Принята висячая свая, т.к. разрез сложен сжимаемыми грунтами, которые воспринимают нагрузку за счёт сопротивления грунта по боковой поверхности и острию.

Для расчёта несущей способности грунта основания была использована информация по скважине № 1626. Согласно техническому заданию - нагрузка на сваю – 100 тс, свая квадратная, сечением 0,40х0,40 м. В связи с этим, для расчёта была использована квадратная свая со стороной 0,4 м, погружённая на глубину 19 м.

Важно учесть, что в соответствии с рекомендациями, предусмотренными при строительстве на торфяных грунтах, необходима предварительная подготовка территории (Морарескул, 1999). На данной площадке рекомендуется подготовка территории методом

подсыпки песка мощностью 2м. Схематический разрез с подсыпанным песком представлен на рисунке 17.

Результаты расчёта №1.

Расчёт производится в соответствии с «Определением несущей способности свай расчётным методом при возникновении отрицательного трения» по формуле:

$$F_d = \gamma_c \cdot \left(\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i - u \sum \gamma_{cf} f_i h_i \right)$$

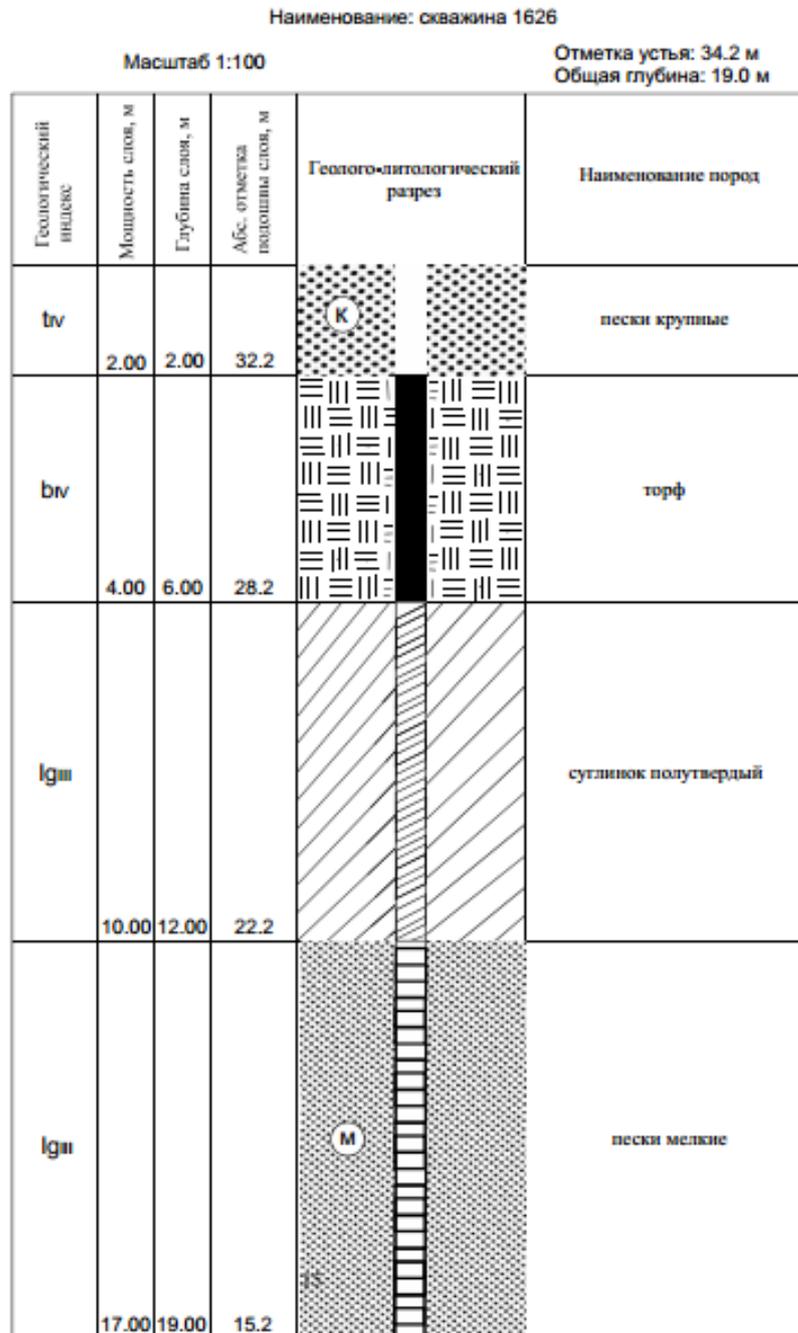


Рисунок 17. Инженерно-геологическая колонка скв. №1626 (выполнена с помощью программы CorelDRAW)

Составляем таблицу для расчетов:

скв. 1626				
	l, м	h _i , м	f _i , тс/м ²	γ _{cf} *f _i *h _i
пески к/з	1	2	-3,5	-7
бIV	3	2	-0,5	-1
	5	2	-0,5	-1
Σ				-9
суглинки	7	2	6	12
	9	2	6,35	12,7
	11	2	6,64	13,28
пески м/з	13	2	4,8	9,6
	15	2	5,1	10,2
	17	2	5,3	10,6
	18,5	1	5,41	5,41
Σ				73,79
γ _{cR}	1			
γ _{cf}	1			
γ _c	1			
R, тс/м ²	314			
A м ²	0,16			
u	1,6			
γ _k	1,4			

$$F_d = 1 \cdot (1 \cdot 314 \cdot 0,16 + 1,6 * 73,79 - 1,6 \cdot (-9)) = 182,7 \text{ тс}$$

$$F_R = \frac{182,7}{1,4} = 130,5 \text{ тс}$$

$$N_p = 100 \text{ тс} \leq F_R = 130,5 \text{ тс}$$

Результаты расчёта №2.

Расчет производится в соответствии с параграфом 4.4. (с учетом изменения сопротивления по боковой поверхности f_i (таблица 4)).

Составляем таблицу для расчетов:

скв. 1626				
	l, м	h _i , м	f _i , тс/м ²	γ _{cf} *f _i *h _i
пески к/з	1	2	-3,5	-7
bIV	3	2	-0,5	-1
	5	2	-0,5	-1
Σ				-9
суглинки	7	2	2,6	5,2
	9	2	2,6	5,2
	11	2	2,6	5,2
пески м/з	13	2	4,8	9,6
	15	2	5,1	10,2
	17	2	5,3	10,6
	18,5	1	5,41	5,41
Σ				51,41
γ _{cR}	1			
γ _{cf}	1			
γ _c	1			
R, тс/м ²	314			
A м ²	0,16			
u	1,6			
γ _k	1,4			

$$F_d = 1 \cdot (1 \cdot 314 \cdot 0,16 + 1,6 * 51,41 - 1,6 \cdot (-9)) = 146,89 \text{ тс}$$

$$F_R = \frac{146,89}{1,4} = 104,92 \text{ тс}$$

$$N_p = 100 \text{ тс} \leq F_R = 104,92 \text{ тс}$$

Расчеты показали, что в целом результаты определения несущей способности сваи по предложенным методам имеют близкие значения.

По первому методу $F_d = 182,7$ тс, по второму $F_d = 146,89$ тс. Расчетные нагрузки с учетом коэффициента надежности 1.4 составили по первому методу $F_R = 130,5$ тс, по второму методу $F_R = 104,92$ тс. Значения не превышают проектной расчетной нагрузки на сваю 100 тс.

Глава 5. Инженерно-геологическая оценка участка строительства дороги на торфяных грунтах

5.1. Характеристика инженерно-геологических условий участка строительства

5.1.1. Местоположение и рельеф

Участок инженерно-геологических изысканий, где проектируется строительство подъездных путей к магистральному газопроводу, расположен в Советском районе Ханты-Мансийского автономного округа-Югра Тюменской области на территории Потанай-Картопьянского лицензионного участка ООО «ЛУКОЙЛ - Западная Сибирь», в 100 км юго-восточней города Советский.

Рельеф участка на большей части значительно расчлененный, полого-увалистый, местами холмисто-увалистый, характеризуется грядами, морфологически разнообразными. Территория приурочена к интенсивно заболоченной водно-ледниковой низменности, осложненной долинами рек Бол-Тол и Лова. Понижение рельефа идет с юго-запада на северо-восток. Абсолютные отметки геологических выработок изменяются от 72,33 м до 114,14 м. Перепад высот составляет 41,81 м. Территория частично заболочена, местами покрыта лесными массивами.

5.1.2 Геологическое строение

В геологическом строении участка изысканий на разведанную глубину до 15 м принимают участие современные и среднечетвертичные отложения.

Современный отдел (Q_{IV}) представлен техногенными (tiv), почвенными (piv), и биогенными образованиями (biv), среднечетвертичный отдел (Q_{II}) слагают водно-ледниковые отложения (fl_{II}).

5.1.3. Гидрогеологические условия

Подземные воды вскрыты от 0.2 до 7.4 м на всех исследуемых участках. Водовмещающими породами являются торфы, пески и суглинки.

Непосредственно при подходе к ручьям, рекам и озерам подземные воды сливаются с поверхностными.

Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, талых вод. Разгрузка подземных вод происходит в ближайшие водотоки и нижележащие водоносные горизонты.

5.1.4. Состав и физико-механические свойства грунтов

В соответствии с учётом возраста, генезиса, физико-механических свойств грунтов и анализа пространственной изменчивости всего комплекса частных показателей этих свойств, на участке строительства в пределах исследуемой толщи выделено 9 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

ИГЭ-1. Торфа слаборазложившиеся

ИГЭ-2. Торфа среднеразложившиеся

ИГЭ-3. Торфа сильноразложившиеся

ИГЭ-4. Глины тугопластичные,

ИГЭ-5. Суглинки тугопластичные

ИГЭ-6. Суглинки мягкопластичные

ИГЭ-7. Суглинки текучепластичные

ИГЭ-8. Пески мелкие, средней плотности, средней степени водонасыщения

ИГЭ-9. Пески мелкие, средней плотности, водонасыщенный

В пределах возможной сферы взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой непосредственно на площадке строительства подъездных путей на исследуемой глубине встречаются следующие ИГЭ:

ИГЭ-2. Торфа среднеразложившиеся

ИГЭ-4. Глины тугопластичные

ИГЭ-5. Суглинки тугопластичные

ИГЭ-6. Суглинки мягкопластичные

Показатели нормативных и расчетных значений физико-механических свойств грунтов представлены в приложении Е. Геолого-литологический разрез представлен в приложении Ж.

5.2. Устойчивость торфяных оснований земляных сооружений

Для осуществления дополнительных требований, предъявляемых к земляному полотну с использованием торфяных грунтов в основании и в нижней части насыпей, необходимо в рассматриваемой задаче обеспечить:

- *устойчивость основания*, т.е. исключить боковое выдавливание слабого грунта из-под насыпи;

- *стабильность основания*, т.е. интенсивная часть осадки (90% консолидации) должна завершиться до устройства покрытия (за исключением сборных покрытий), чтобы упругие колебания земляного полотна при движении транспортных средств не превышали значений,

допускаемых для данного типа покрытий (2 см – для цементобетонных, 4 см – для асфальтобетонных, 6 см – для дорожных одежд переходного типа).

Эти требования проверяют расчётами.

5.2.1. Расчёт устойчивости основания насыпи

В задачу расчета устойчивости основания насыпи входит выявление возможности и степени опасности бокового выдавливания слабого грунта из-под подошвы. На основе результатов расчета устойчивости должен быть сделан вывод о возможности использования торфяных грунтов в основании, даны рекомендации по режиму (темпу) отсыпки земляного полотна. В качестве критерия обеспечения устойчивости основания принимают отсутствие областей разрушения, т. е. областей, где сопротивляемость сдвигу ниже величины опасных касательных напряжений.

Устойчивость основания оценивается через коэффициент безопасности, определяемый по формуле

$$K_{\text{без}} \geq 1, \quad (1)$$

где

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{расч}}}, \quad (2)$$

$P_{\text{без}}$ – безопасная нагрузка на основание, $P_{\text{расч}}$ – расчётная нагрузка на основание. Если условие (1) выполнено, то устойчивость основания обеспечена.

Определение безопасной нагрузки

Введём систему координат, как показано на рис. 1.

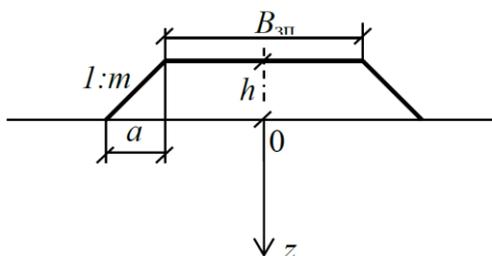


Рисунок 18. Схема к определению расчётного горизонта

Безопасную нагрузку определяют по формуле, МПа:

$$P_{\text{без}} = 0,001 \cdot \left[\frac{c + \gamma_T \cdot z \cdot \text{tg}\varphi}{\beta} \right]_{\text{min}} + q, \quad (3)$$

где c – сцепление торфа на расчётном горизонте z , кПа; φ – угол внутреннего трения торфа на расчётном горизонте z , °; γ_t – удельный вес торфа, кН/м³; β – функция глубины расположения расчётного горизонта z , геометрических параметров насыпи и расчётного угла внутреннего трения грунта основания.

При известном отношении геометрических параметров насыпи $\frac{2a}{B_{зп}} < 3$ (наиболее часто встречающемся) функция β может быть задана зависимостью

$$\beta = 0,310 - 0,09 \frac{2a}{B} - 0,06\varphi, \quad (4)$$

где a – проекция откоса насыпи на горизонтальную плоскость, м,

$$a = m \cdot h, \quad (5)$$

m – заложение откоса, h – высота насыпи, м; B – ширина земляного полотна, м; q – расчётная нагрузка на толщу болота от пригрузочных призм при их наличии, МПа. Если высота насыпи менее 2,5-3,5 м, то функция имеет вид

$$\beta = 0,31 - 0,06\varphi, \quad (6)$$

Знак «min» в формуле (3) означает, что должен быть найден такой горизонт z , для которого отношение, стоящее в скобках, имеет минимальное значение.

Нахождение расчётной нагрузки

При расчёте осадки насыпи учитывают временную нагрузку от подвижного транспорта. Она включает в себя равномерно распределённую нагрузку q и одну двухосную тележку с нагрузкой на ось $10K$ (рис. 19). В расчётах осадки насыпи равномерно распределённую составляющую нагрузки при этом не учитывают. Нагрузку от тележки приводят к эквивалентной равномерно распределённой нагрузке P_{AK} интенсивностью, МПа:

$$P_{AK} = 0,001 \frac{7,4n}{B_{зп}} K, \quad (7)$$

где n – число полос движения; $B_{зп}$ – ширина земляного полотна, м; K – класс нагрузки АК. Для автомобильных дорог с капитальными дорожными одеждами (обычно это дороги I и II категории) – $K = 11,5$; с облегченными и переходного типа дорожными одеждами (дороги III-V категорий) – $K = 10$.

Эквивалентную равномерно распределённую нагрузку P_{AK} следует располагать по всей ширине земляного полотна. Вдоль земляного полотна эквивалентная равномерно распределённая нагрузка располагается на неограниченную длину.

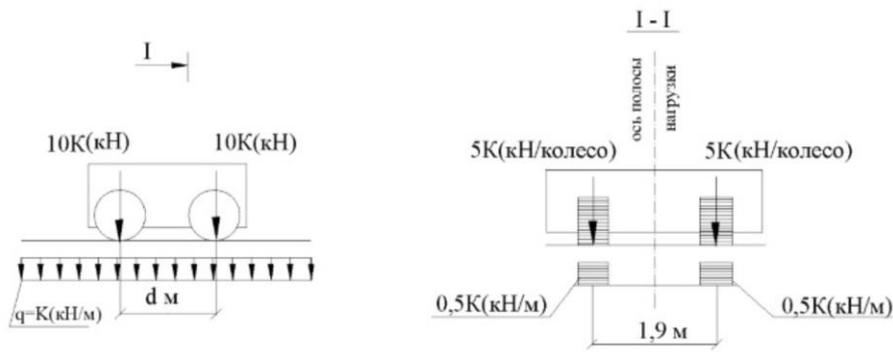


Рисунок 19. Нормативная нагрузка от автомобилей АК

Порядок расчёта следующий.

- 1) Задают высоту насыпи h .
- 2) Определяют давление на торф от собственного веса насыпи в МПа:

$$P_{\text{нас}} = 0,001\gamma_{\text{гр}}h, \quad (8)$$

- 3) Находят давление от подвижного транспорта в МПа по формуле (7).
- 4) Вычисляют суммарное давление от веса насыпи и подвижной нагрузки:

$$P = P_{\text{АК}} + P_{\text{нас}}, \quad (9)$$

- 5) Учитывают дополнительное давление от веса грунта, погруженного в торфяной массив насыпи, МПа:

$$P_{\text{ос}} = 0,001\gamma_1 S, \quad (10)$$

где γ_1 – удельный вес грунта, кН/м^3 , уменьшенный за счёт объёмной силы воды в торфе, S – величина осадки, м, происходящей в результате уплотнения торфа. Удельный вес грунта определяют следующим образом

$$\gamma_1 = (1 - n_{\text{гр}})(\gamma_{\text{гр}} - \gamma_{\text{в}}), \quad (11)$$

где $\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес воды, равный 10 кН/м^3 ; $n_{\text{гр}}$ – пористость грунта насыпи, связанная с коэффициентом пористости зависимостью

$$n_{\text{гр}} = \frac{e_{\text{нас}}}{e_{\text{нас}} + 1}, \quad (12)$$

Осадку определяют по зависимости

$$S = H \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_p}{\varepsilon_0 + 1}, \quad (13)$$

где H – мощность торфяной залежи, м; ε_0 – коэффициент пористости торфяного грунта в естественном состоянии; ε_p – коэффициент пористости торфяного грунта при нагрузке P , определяемый по упрощённому компрессионному уравнению

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 - z_{\text{T}} \cdot \ln(10P), \quad (14)$$

где z_T – постоянный коэффициент, зависящий от вида торфа (коэффициент сжимаемости или компрессии); ε_1 – коэффициент пористости торфяного грунта при давлении $P=0,1$ МПа. Значения z_T приведены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристики торфа

Вид торфа	z_T	ε_1	C , кПа	φ , °
Травяно-осоковый	0,8	3,18	32	15
Осоково-тростниковый	1,2	6,9	29	25
Тростниково-лесной	2,0	5,36	78	14

6) Находят расчётное давление

$$P_{\text{расч}} = P + P_{\text{ос}}, \quad (15)$$

7) Проверяют условие (1).

Результаты расчета

Исходные данные: конструкция земляного полотна – плавающая насыпь (см. рис.11): высота насыпи $h = 1,3$ м; $B_{\text{зп}} 4,26$ м; откосы 1:1,5; грунт насыпи – песок средней крупности; средняя плотность грунта насыпи $\gamma_{\text{гр}} = 19,5$ кН/м³. Основание насыпи – торфяная залежь болота мощностью $H = 1,65$ м; сопротивление сдвигу торфа по крыльчатке $C = 7$ кПа; средняя плотность скелета торфа $\gamma_T = 14,6$ кН/м³; начальный коэффициент пористости $\xi_0 = 10,83$.

$$\beta = 0,31 - 0,06\varphi = 0,31 - 0,06 \cdot 0 = 0,31$$

$$P_{\text{без}} = 0,001 \cdot \left[\frac{c + \gamma_T \cdot z \cdot \text{tg}\varphi}{\beta} \right] + q = 0,001 \cdot \left[\frac{7 + 14,6 \cdot 1,65 \cdot 0}{0,31} \right] + 0,017 = 0,04$$

1) $h = 1,3$ м;

2) $P_{\text{нас}} = 0,001\gamma_{\text{гр}}h = 0,001 \cdot 19,5 \cdot 1,3 = 0,025$

3) $P_{\text{АК}} = 0,001 \frac{7,4n}{B_{\text{зп}}} K = 0,001 \frac{7,4 \cdot 1}{4,26} 10 = 0,017$

4) $P = P_{\text{АК}} + P_{\text{нас}} = 0,017 + 0,025 = 0,042$

5) $\gamma_1 = (1 - n_{\text{гр}})(\gamma_{\text{гр}} - \gamma_{\text{в}}) = (1 - 0,40)(19,5 - 10) = 5,7$

$$S = H \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_p}{\varepsilon_0 + 1} = 1,65 \frac{10,83 - 7,04}{10,83 + 1} = 0,53$$

$$P_{\text{ос}} = 0,001\gamma_1 S = 0,001 \cdot 5,7 \cdot 0,53 = 0,003$$

6) $P_{\text{расч}} = P + P_{\text{ос}} = 0,042 + 0,003 = 0,045$

7) $K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{расч}}} = \frac{0,04}{0,045} = 0,89$

$K_{\text{без}} < 1$ – в таких условиях слабую толщю можно использовать в качестве основания лишь при обеспечении необходимого режима отсыпки насыпи (можно использовать в качестве основания при медленной отсыпке насыпи).

Для обеспечения устойчивости таких оснований необходимо предусматривать специальные технологические и конструктивные мероприятия: возведение насыпи с определенной интенсивностью; уположение откосов насыпи; частичное выторфовывание; использование торфа в нижней части насыпи; применение саней. Для торфяных оснований данного типа необходимо, кроме компрессионных и консолидационных, проводить сдвиговые лабораторные испытания и окончательно устанавливать устойчивость оснований с учетом повышения сопротивляемости сдвигу в процессе уплотнения торфа под нагрузкой от веса насыпи.

5.2.2. Расчёт продолжительности осадки насыпи

Оценка времени, необходимого для достижения 90-процентной консолидации торфяного основания

Пусть задан трёхслойный массив торфяной залежи.

1) Находят осредненный по слоям болота коэффициент пористости

$$\varepsilon_{0,\text{cp}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{\frac{H_1}{1 + \varepsilon_{0,1}} + \frac{H_2}{1 + \varepsilon_{0,2}} + \frac{H_3}{1 + \varepsilon_{0,3}}}, \quad (16)$$

где H_1, H_2, H_3 – толщины соответствующих слоёв болота; $\varepsilon_{0,1}, \varepsilon_{0,2}, \varepsilon_{0,3}$ – коэффициенты пористости слоёв грунтов болота в естественном состоянии.

2) Вычисляют коэффициент сжимаемости для каждого слоя болота ($i=1,2,3$).

$$\alpha_i = \frac{\varepsilon_{0,i} - \varepsilon_{p,i}}{P_{\text{расч}}}, \quad (17)$$

3) Определяют осреднённый по слоям болота коэффициент сжимаемости

$$\alpha_{\text{cp}} = \frac{1 + \varepsilon_{0,\text{cp}}}{H} \cdot \left(\frac{\alpha_1 \cdot H_1}{1 + \varepsilon_{0,1}} + \frac{\alpha_2 \cdot H_2}{1 + \varepsilon_{0,2}} + \frac{\alpha_3 \cdot H_3}{1 + \varepsilon_{0,3}} \right), \quad (18)$$

где $H=H_1+H_2+H_3$. Если торфяная залежь однослойная, то $\alpha_{\text{cp}} = \alpha_1$.

4) Находят осреднённый по слоям болота коэффициент вертикальной фильтрации

$$K_{\text{вер}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{\frac{H_1}{K_{\text{в1}}} + \frac{H_2}{K_{\text{в2}}} + \frac{H_3}{K_{\text{в3}}}}, \quad (19)$$

где $K_{\text{в1}}, K_{\text{в2}}, K_{\text{в3}}$ – коэффициенты вертикальной фильтрации для каждого слоя торфа.

5) Вычисляют коэффициент вертикальной консолидации $C_{\text{в}}$, [м²/сут].

$$C_{\text{в}} = \frac{8,64 K_{\text{вер}} (1 + \varepsilon_{0,\text{cp}})}{\alpha_{\text{cp}} \rho}, \quad (20)$$

где ρ – плотность воды, г/см³, равная 1.

б) Определяют время, необходимое для достижения 90% степени консолидации

$$t_{90} = T \frac{H^2}{C_B}, \quad (21)$$

где T – фактор времени, соответствующий 90% степени консолидации, и равный 0,85.

Результаты расчета

Исходные данные: начальный коэффициент пористости $\xi_0 = 10,83$;

конструкция земляного полотна – плавающая насыпь (см. рис.11): высота насыпи $h = 1,3$ м; ВЗП 4,26 м; откосы 1:1,5; грунт насыпи – песок средней крупности; средняя плотность грунта насыпи $\gamma_{гр} = 19,5$ кН/м³. Основание насыпи – торфяная залежь болота мощностью $H = 1,65$ м; сопротивление сдвигу торфа по крыльчатке $C = 7$ кПа; средняя плотность скелета торфа $\gamma_T = 14,6$ кН/м³; начальный коэффициент пористости $\xi_0 = 10,83$.

$$1) \quad \varepsilon_{0,ср} = \frac{H_1}{\frac{H_1}{1+\varepsilon_{0,1}}} = \frac{1,65}{\frac{1,65}{1+10,83}} = 11,83$$

$$2) \quad \alpha = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_p}{P_{расч}} = \frac{10,83 - 7,04}{0,045} = 84,22$$

3) На рассчитываемом участке торфяная залежь однослойная: $\alpha_{ср} = \alpha_1 = 84,22$

$$4) \quad K_{вер} = \frac{H_1}{\frac{H_1}{K_{в1}}} = \frac{1,65}{\frac{1,65}{0,09}} = 0,09$$

$$5) \quad C_B = \frac{8,64 K_{вер} (1 + \varepsilon_{0,ср})}{\alpha_{ср} \rho} = \frac{8,64 \cdot 0,09 (1 + 11,83)}{84,22 \cdot 1} = 0,11$$

$$6) \quad t_{90} = T \frac{H^2}{C_B} = 0,85 \frac{1,65^2}{0,11} = 21 \text{ сут}$$

То есть 90-процентная консолидация произойдет через 21 сутки. Следовательно, дорожная одежда может быть устроена лишь по истечении трех недель. Если необходимо ускорить консолидацию основания, то можно применить метод временной пригрузки, сущность которого заключается в том, что временно возводят насыпь большей высоты, чем это требуется по проекту. После достижения проектной осадки избыток грунта убирают и используют для сооружения насыпей на соседних участках.

Как можно судить из результатов оценки особенностей взаимодействия торфяных грунтов с различными типами сооружениями (административного здания и подъездных путей), необходим индивидуальный подход. Прежде всего, отмечается особенность в использовании торфяных грунтов, как основания рассматриваемых сооружений. Большая сжимаемость торфа исключает его использование, как основания зданий, даже

приспособленных к большим неравномерным осадкам. Земляные сооружения, к которым относится земляное полотно, к осадкам менее чувствительны, и изменение мощности торфа можно еще в процессе строительства компенсировать досыпкой, в тоже время земляные сооружения своим весом уплотняют торф и тем самым улучшают его строительные качества до начала эксплуатации сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлены геологические строения и инженерно-геологические особенности исследуемых участков.

Площадка изысканий под строительство административного здания сложена современными биогенными и верхнечетвертичными ледниковыми и озерно-ледниковыми отложениями.

По результатам лабораторных исследований и по данным бурения были выделены 7 ИГЭ.

Строительные условия рассматриваемого участка являются неблагоприятными вследствие залегания с поверхности мощной толщи сильносжимаемых слаботорфов. В таких условиях наиболее целесообразным является устройство бескотлованного свайного фундамента с высоким ростверком. Для исключения нежелательных деформаций основания во время устройства свайного фундамента рекомендуется сделать подсыпку из крупнозернистого песка мощностью 2 м.

С целью проверки надежности, выбранного типа свайного фундамента были произведены расчеты несущей способности свай с учетом слоя песка двумя способами:

- первый способ - расчет несущей способности свай при возникновении отрицательного трения;
- второй способ - расчет с учетом внесения коррективов в расчетную схему, предложенный СПбГИ (Захарова, 2006).

Результаты определения несущей способности свай (F_d) по предложенным двум методам имеют близкие значения: по первому способу $F_d = 182,7$ тс, по второму $F_d = 146,89$ тс. Расчетные нагрузки с учетом *коэффициента надежности 1.4* составили по первому способу $F_R = 130,5$ тс, по второму $F_R = 104,92$ тс. Значения не превышают проектной расчетной нагрузки на сваю 100 тс.

Второй способ является более точным и надежным при проектировании, т.к. он учитывает негативное влияние болотных отложений на толщину грунтов, залегающих ниже болотных отложений, что приводит к снижению устойчивости и несущей способности грунтов.

Площадка изысканий под строительство подъездных путей к магистральному газопроводу сложена современными биогенными и среднечетвертичными водно-ледниковыми отложениями.

По результатам лабораторных исследований и по данным бурения были выделены 9 ИГЭ.

Строительные условия рассматриваемого участка являются неблагоприятными вследствие заболоченности части территории. В таких условиях наиболее целесообразным будет использовать торф в качестве основания возведения насыпи.

Для обеспечения требований, которые предъявляются к земляному полотну с использованием торфяных грунтов в основании были произведены расчеты по устойчивости основания. И так как после возведения насыпи нельзя сразу же устроить дорожную одежду (земляное полотно не стабильно) была рассчитана продолжительность осадки насыпи.

Таким образом, можно сделать вывод, что при разнообразии различных типов заторфованных грунтов и различных типов сооружений, невозможно дать единые рекомендации по устройству сооружений на торфах, схемы расчета. Всегда необходимо индивидуальное проектирование, а также сравнение вариантов по технико-экономическим показателям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Монографии:

1. В.Трофимов, В.А.Королёв, Е.А.Вознесенский и др., Грунтоведение. Издание шестое. М.: Изд-во Наука. 2005, - 1024с.
2. Морарескул Н.Н. Основания и фундаменты в торфяных грунтах. Учебное пособие. - СПб: Петербургский гос.ун-т путей сообщения. 1999. - 49 с.
3. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1980, 201 с.
4. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений/ Под ред. Б.И.Далматова; - М.: Изд-во АСВ; СПб., СПбГАСУ, 2006. - 428 с.
5. Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д., Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. М.: Изд-во Транспорт, 1976. – 271 с.
6. Гречнева Г.И., Акимова В.С., Проектирование земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Учебно-методическое пособие. – Омск: СибАДИ, 2018, 59 с.

Фондовые материалы:

7. Захарова Е.Г. «Влияние погребенных болот на формирование инженерно-геологических и геоэкологических условий в подземном пространстве Санкт-Петербурга». Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Санкт-Петербург. 2006
8. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях, выполненных на площадке проектируемого строительства Всеволожского района Ленинградской области. Фонды ОАО «Ленгражданпроект». 2016
9. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях, выполненных на площадке проектируемого строительства сооружения обустройства нефтяного месторождения в Советском районе Ханты-Мансийского автономного округа-Югра Тюменской области. Фонды ООО КДС «Групп». 2017

Нормативные документы:

10. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. 2004
11. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85. 2012
12. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. 2011

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А [8]

Нормативные и расчетные значения физико-механических характеристик грунтов, слагающих разрез площадки

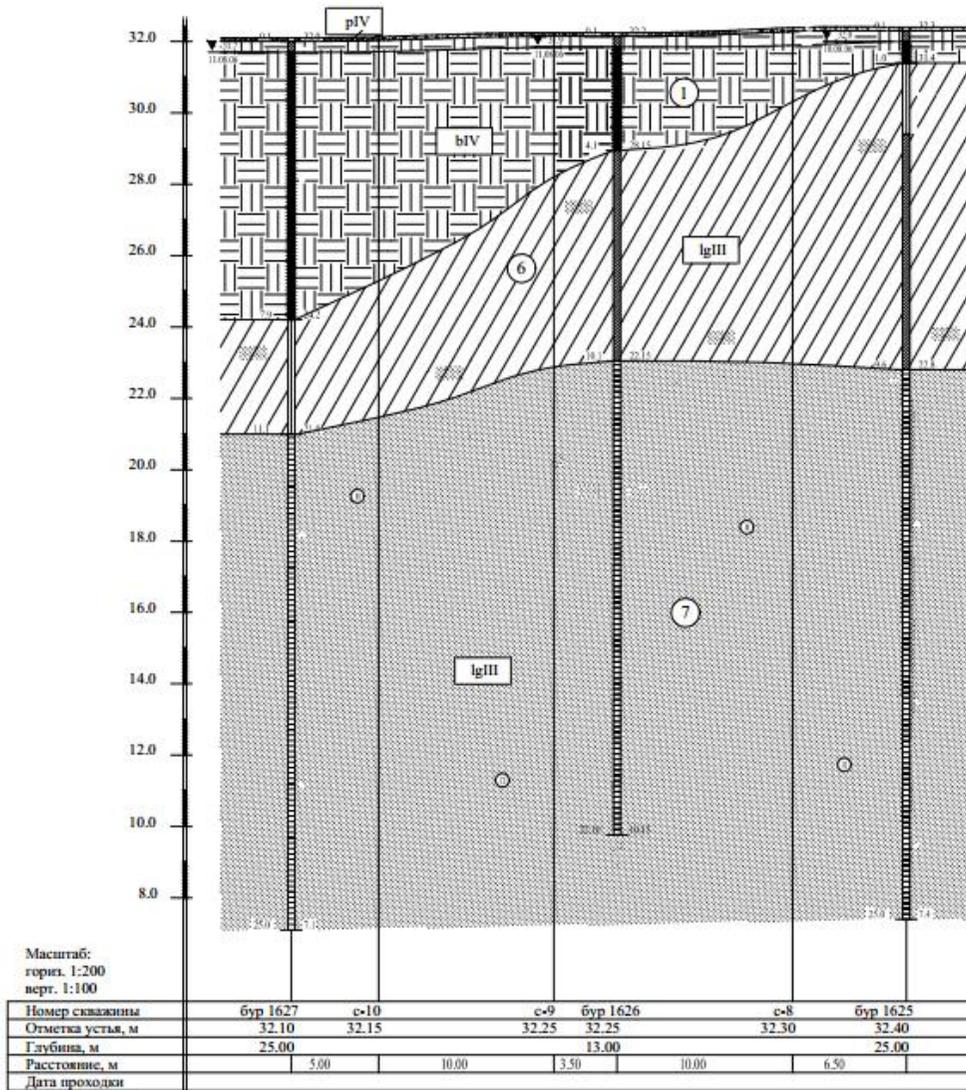
№ ИЭ	Наименование грунтов	Геологический индекс	Плотность грунта, г/см ³			Коэффициент пористости	Естественная влажность, дол.ед	Число пластичности	Показатель текучести	Прочностные характеристики						Модуль деформации, МПа кгс/см ²	Коэф. фильтрации м/сут	Метод определения расчетных характеристик
										угол внутреннего трения, [°]			сцепление, МПа кгс/см ²					
			ρ _n	ρ _{II}	ρ _I	e	We	I _p	I _L /C _B	φ _n	φ _{II}	φ _I	C _n	C _{II}	C _I	E	K _ф	
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
1	Торф	b _{IV}					1,83	В качестве естественного основания не рекомендуется										
6	Суглинки полутвердые с прослоями тугопластичных	lg III	2.08	2.08	2.06	0.587	0.21	0.13	<u>0.01</u> -0.20	16	15	14	<u>0.038</u> 0.38	<u>0.036</u> 0.36	<u>0.032</u> 0.32	<u>16</u> 160	<0.001	φ, с – лабораторные данные E – статическое зондирование
7	Пески мелкие	lg III	1.83	1.83	1.81	0.800	влажные	-	-	28	27	25	<u>0.000</u> 0.00	<u>0.000</u> 0.00	<u>0.000</u> 0.00	<u>12</u> 120	4.0*	φ, с, E – прим. к СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83*) прил.Б, табл.Б.1 с учетом стат. зондирования

Примечание:

1) доверительная вероятность принята равной при расчете: ρ_{II}, φ_{II}, C_{II} - α = 0.85; ρ_I, φ_I, C_I - α = 0.95;

2) K_ф - принят по "Справочнику строителя" («Стройиздат», Москва, 1983г), *K_ф - лабораторные данные

Геолого-литологический разрез

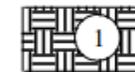


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Четвертичная система - Q
 Современные отложения - Q IV
 Почвенные образования - pIV



Почвенно-растительный слой



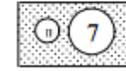
Биогенные отложения - bIV

ИГЭ - 1. Торфа слаборазложившиеся, темно-коричневые, с гл. 0,4 м - водонасыщенные

Верхнечетвертичный отдел - Q III
 Озерно-ледниковые отложения - Ig III



ИГЭ - 6. Суглинки пылеватые тугопластичные, мягкопластичные, (в скв.1621 с гл.6,5 м - текучепластичные), серые, слоистые, с прослоями песка



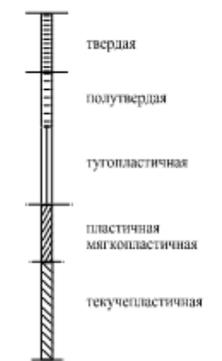
ИГЭ - 7. Пески мелкие светло-коричневые, серые, средней плотности слоистая

Подземные воды

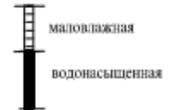


26.05
08.08.06 Слева:
абсолютная отметка уровня воды, м
Дата замера

Консистенции для связных грунтов



Консистенции для несвязных грунтов



Литологическая граница
 Стратиграфическая граница



Номер инженерно-геологического элемента

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, R , кПа						
	песков средней плотности						
	гравелистых	крупных	-	средней крупности	мелких	пылеватых	-
	глинистых грунтов при показателе текучести I_L , равном						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	7500	$\frac{6600}{4000}$	3000	$\frac{3100}{2000}$	$\frac{2000}{1200}$	1100	600
4	8300	$\frac{6800}{5100}$	3800	$\frac{3200}{2500}$	$\frac{2100}{1600}$	1250	700
5	8800	$\frac{7000}{6200}$	4000	$\frac{3400}{2800}$	$\frac{2200}{2000}$	1300	800
7	9700	$\frac{7300}{6900}$	4300	$\frac{3700}{3300}$	$\frac{2400}{2200}$	1400	850
10	10500	$\frac{7700}{7300}$	5000	$\frac{4000}{3500}$	$\frac{2600}{2400}$	1500	900
15	11700	$\frac{8200}{7500}$	5600	$\frac{4400}{4000}$	2900	1650	1000
20	12600	8500	6200	$\frac{4800}{4500}$	3200	1800	1100
25	13400	9000	6800	5200	3500	1950	1200
30	14200	9500	7400	5600	3800	2100	1300
≥ 35	15000	10000	8000	6000	4100	2250	1400

Примечания

1 Над чертой даны значения R для песков, под чертой - для глинистых грунтов.

2 В таблицах 7.2 и 7.3 глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта при планировке территории срезкой, подсыпкой, намывом до 3 м следует принимать от уровня природного рельефа, а при срезке, подсыпке, намыве от 3 м - от условной отметки, расположенной соответственно на 3 м выше уровня срезки или на 3 м ниже уровня подсыпки.

Глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта в водоеме следует принимать от уровня дна после общего размыва расчетным паводком, на болотах - от уровня дна болота.

При проектировании путепроводов через выемки глубиной до 6 м для свай, забиваемых молотами без подмыва или устройства лидерных скважин, глубину погружения в грунт нижнего конца сваи в таблице 7.2 следует принимать от уровня природного рельефа в месте сооружения фундамента. Для выемок глубиной более 6 м глубину погружения свай следует принимать как для выемок глубиной 6 м.

3 Для промежуточных глубин погружения свай и промежуточных значений показателя текучести I_L глинистых грунтов значения R и f_i в таблицах 7.2 и 7.3 определяют интерполяцией.

4 Для плотных песков, плотность которых определена по данным статического зондирования, значения R по таблице 7.2 для свай, погруженных без использования подмыва или лидерных скважин, следует увеличить на 100%. При определении плотности грунта по данным других видов инженерных изысканий и отсутствии данных статического зондирования для плотных песков значения R по таблице 7.2 следует увеличить на 60%, но не более чем до 20000 кПа.

5 Значения расчетных сопротивлений R по таблице 7.2 допускается использовать при условии, если заглубление свай в неразмываемый и несрезаемый грунт составляет не менее, м:

4,0 - для мостов и гидротехнических сооружений;

3,0 - для зданий и прочих сооружений.

6 Значения расчетного сопротивления R под нижним концом забивных свай сечением 0,15x0,15 м и менее, используемых в качестве фундаментов под внутренние перегородки одноэтажных производственных зданий, допускается увеличивать на 20%.

7 Для супесей при числе пластичности $I_p \leq 4$ и коэффициенте пористости $e < 0,8$ расчетные сопротивления R и f_i следует определять как для пылеватых песков средней плотности.

8 При расчетах показатель текучести грунтов следует принимать применительно к прогнозируемому их состоянию в период эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

Средняя глубина расположения слоя грунта, м	Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек f_i , кПа								
	песков средней плотности								
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых	-	-	-	-	-	-
	глинистых грунтов при показателе текучести I_L , равном								
	$\leq 0,2$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	9	8	7	5
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	6
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7
≥ 35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Примечания
1 При определении расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности свай f_i следует учитывать требования, изложенные в примечаниях 2, 3 и 8 к таблице 7.2.
2 При определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай f_i пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 м.
3 Значения расчетного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай f_i следует увеличивать на 30% по сравнению со значениями, приведенными в таблице.
4 Расчетные сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости $e < 0,5$ и глин с коэффициентом пористости $e < 0,6$ следует увеличивать на 15% по сравнению со значениями, приведенными в таблице 7.3, при любых значениях показателя текучести.

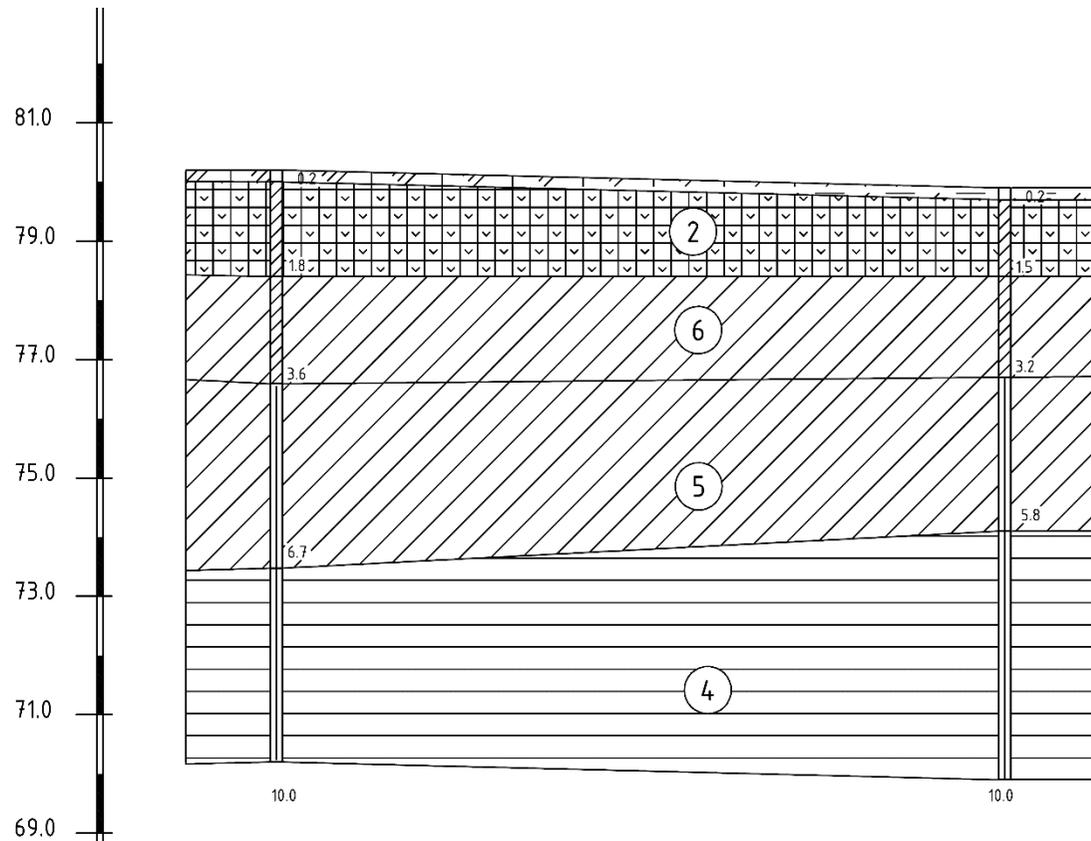
Способы погружения забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, и виды грунтов	Коэффициенты условий работы грунта при расчете несущей способности свай	
	под нижним концом γ_{cR}	на боковой поверхности γ_{cf}
1 Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механическими (подвесными), паровоздушными и дизельными молотами	1,0	1,0
2 Погружение забивкой и вдавливанием в предварительно пробуренные лидерные скважины с заглублением концов свай не менее 1 м ниже забоя скважины при ее диаметре: а) равном стороне квадратной сваи б) на 0,05 м менее стороны квадратной сваи в) на 0,15 м менее стороны квадратной или диаметра сваи круглого сечения (для опор линий электропередачи)	1,0 1,0 1,0	0,5 0,6 1,0
3 Погружение с подмывом в песчаные грунты при условии добивки свай на последнем этапе погружения без применения подмыва на 1 м и более	1,0	0,9
4 Вибропогружение свай-оболочек, вибропогружение и вибровдавливание свай в грунты: а) пески средней плотности: крупные и средней крупности мелкие пылеватые б) глинистые с показателем текучести $I_L = 0,5$: супеси суглинки глины в) глинистые с показателем текучести $I_L \leq 0$	1,2 1,0 1,0 0,9 0,8 0,7 1,0	1,0 1,0 1,0 0,9 0,9 0,9 1,0
5 Погружение молотами полых железобетонных свай с открытым нижним концом: а) при диаметре полости сваи менее 0,4 м б) то же, от 0,4 до 0,8 м	1,0 0,7	1,0 1,0
6 Погружение любым способом полых свай круглого сечения с закрытым нижним концом на глубину 10 м и более с последующим устройством в нижнем конце свай камуфлетного уширения в песчаных грунтах средней плотности и в глинистых грунтах с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при диаметре уширения, равном: а) 1,0 м независимо от указанных видов грунта б) 1,5 м в песках и супесях в) 1,5 м в суглинках и глинах	0,9 0,8 0,7	1,0 1,0 1,0
7 Погружение вдавливанием свай: а) в пески крупные, средней крупности и мелкие б) в пески пылеватые в) в глинистые грунты с показателем текучести $I_L < 0,5$ г) то же, $I_L \geq 0,5$	1,1 1,1 1,1 1,0	1,0 0,8 1,0 1,0
Примечание Коэффициенты γ_{cR} и γ_{cf} по поз.4 для глинистых грунтов с показателем текучести $0,5 > I_L > 0$ определяют интерполяцией.		

Нормативные и расчетные значения физико-механических характеристик грунтов, слагающих разрез площадки

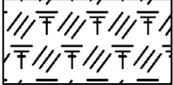
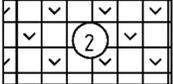
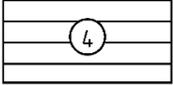
№ ИГЭ	Наименование грунтов	Геологический индекс	Плотность грунта, г/см ³			Коэффициент пористости e	Естественная влажность, дол.ед We	Число пластичности I _p	Показатель текучести I _L	Прочностные характеристики						Модуль деформации, МПа кгс/см ² E	Метод определения расчетных характеристик
			ρ _n	ρ _{II}	ρ _I					угол внутреннего трения, [°]			сцепление, МПа кгс/см ²				
										φ _n	φ _{II}	φ _I	C _n	C _{II}	C _I		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Торф	b _{IV}	0.99	0.99	0.99	10.83	7.06	-	-	0	0	0	<u>0.007</u> 0.07	<u>0.007</u> 0.07	<u>0.007</u> 0.07	<u>0.23</u> 2,3	φ, с – лабораторные данные E – нормативные данные
4	Глина тугопластичная	fl _{II}	1.94	1.93	1.93	0.786	0.28	0.20	0.3	18	17	16	<u>0.034</u> 0.34	<u>0.033</u> 0.33	<u>0.030</u> 0.30	<u>12.8</u> 128	φ, с – лабораторные данные E – статическое зондирование
5	Суглинки тугопластичные	fl _{II}	1.87	1.93	1.93	0.807	0.25	0.14	0.36	21	20	19	<u>0.023</u> 0.23	<u>0.022</u> 0.22	<u>0.021</u> 0.21	<u>13.7</u> 137	φ, с – лабораторные данные E – статическое зондирование
6	Суглинки мягкопластичные	fl _{II}	1.83	1.86	1.85	0.870	0.27	0.13	0.67	20	20	19	<u>0.020</u> 0.20	<u>0.019</u> 0.19	<u>0.019</u> 0.19	<u>10.3</u> 103	φ, с – лабораторные данные E – статическое зондирование

Примечание:
доверительная вероятность принята равной при расчете: ρ_{II}, φ_{II}, C_{II} - α = 0.85; ρ_I, φ_I, C_I - α = 0.95;

Геолого-литологический разрез



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

-  Почвенно-растительный слой
hQIV
-  Торф среднеразложившийся
bQIV
-  Глина тугопластичная
fIaQII
-  Суглинок тугопластичный
fIaQII
-  Суглинок мягкопластичный
fIaQII

Масштабы :
гориз. 1:1000
верт. 1:100

Номер скважины	Скв.108	Скв.109
Отметка устья, м	80.19	79.91
Расстояние, м	124.0	