

Санкт-Петербургское отделение
Общероссийского общественного фонда
«Центр качества строительства»

С.И. Алексеев

**Конструктивное усиление оснований при
реконструкции зданий**

Санкт-Петербург
2011

Алексеев С.И., доктор технических наук, профессор. Конструктивное усиление оснований при реконструкции зданий: методическое пособие. – СПб. СПб отделение ООФ «ЦКС», 2011. – 87 с.

Для крупных городов, с многовековой историей, реконструкция существующих зданий, получивших естественный физический износ, имеет актуальное значение. В большинстве случаев реконструируемые здания нуждаются в конструктивном усилении оснований.

При расчётной проверке основания и фундамента по первому предельному состоянию, часто возникают условия, когда несущая способность основания при выполнении реконструктивных работ окажется не достаточной. В этом случае возникает, так называемый, дефицит несущей способности основания. Компенсация дефицита несущей способности основания может быть восполнена устройством выштампованных микросвай усиления основания.

В методическом пособии приводятся расчётные обоснования определения необходимого числа выштампованных микросвай – конструктивных элементов усиления основания, в зависимости от требуемой несущей способности. Выполнение расчёта осуществляется по программе автора на сайте: (<http://www.buildcalc.ru>). Расчёты на данном сайте можно осуществлять бесплатно непосредственно в интернете в режиме «on-lain».

Использование данного методического пособия даёт возможность проектировщикам расчётным способом прогнозировать конструктивное усиление оснований в зависимости от условий решаемой задачи.

Методическое пособие предназначено для проектных организаций, застройщиков, инженерно-технических работников, осуществляющих строительство и технический строительный надзор за производством работ.

ISBN 978-904362-08-9

© Алексеев С.И., 2011

Оглавление

Введение	5
Основные геотехнические проблемы, возникающие при реконструкции зданий.....	5
Глава 1. Компенсация дефицита несущей способности и ограничение осадки от дополнительного нагружения основания.....	9
1.1. Усиление основания конструктивными элементами – выштампованными микросваями..	9
1.1.1. <i>Пример программного расчёта основания по двум предельным состояниям с использованием сайта: www.BuildCalc.ru.....</i>	<i>13</i>
1.1.2. <i>Пример использования программы Mathcad для расчёта необходимого количества микросвай усиления основания</i>	<i>23</i>
1.2. Определение осадки фундаментов на усиленном основании	24
1.3. Использование конструктивного ряда вертикальных микросвай усиления основания.....	34
1.3.1. <i>Пример использования программы Mathcad для расчёта оптимального расстояния между сваями в ряду.....</i>	<i>36</i>
Глава 2. Восстановление несущей способности основания при понижении отметки пола подвала.....	38
2.1. Использование конструктивной шпунтовой стенки	38
2.1.1. <i>Основные условия расчёта</i>	<i>40</i>
2.1.2. <i>Условие работы разряженного шпунта как единой конструктивной шпунтовой стенки. Решение уравнения.....</i>	<i>42</i>
2.1.3. <i>Примеры решения поставленной задачи</i>	<i>43</i>
2.1.4. <i>Пример использования программы Mathcad для расчёта оптимального расстояния между шпунтинами в ряду.....</i>	<i>45</i>
2.2. Конструктивное усиление основания использованием пригрузки.....	47
2.2.1. <i>Технологические особенности выполнения пригрузки основания</i>	<i>59</i>
2.3. Усиление основания с использованием выштампованных микросвай с различным углом наклона.....	60
2.3.1. <i>Пример использования программы Mathcad для расчёта необходимого количества микросвай усиления основания</i>	<i>69</i>

Глава 3. Восстановление несущей способности основания при понижении отметки пола подвала и возможном уменьшении ширины подошвы фундамента	71
3.1. Постановка задачи.....	71
3.2. Пример программного расчёта основания по двум предельным состояниям с использованием сайта: www.BuildCalc.ru	72
3.3. Предельное сопротивление основания, усиленного микросваями	78
3.3.1. <i>Определение необходимого количества выштампованных микросвай – конструктивных элементов усиления основания</i>	<i>80</i>
3.3.2. <i>Пример использования системы Matcad для определения необходимого числа микросвай усиления основания</i>	<i>81</i>
Заключение	83
Используемая литература.....	87

Введение

Решение вопросов конструктивного усиления оснований при реконструкции зданий, сооружений имеет большое значение, как при проведении проектных разработок, так и при их реализации. Существующие многочисленные методики конструктивного усиления оснований, в данном методическом пособии дополняются новым методом – применением конструктивных элементов - выштампованных микросвай усиления основания.

Использование данного методического пособия даёт возможность проектировщикам расчётным способом, с заданной степенью надёжности, прогнозировать конструктивное усиление оснований в зависимости от условий решаемой задачи, что имеет большое практическое значение.

Актуальность данного методического пособия подтверждается многочисленными примерами успешного использования предложенной методики расчёта конструктивного усиления основания – выштампованными микросваями, позволяющими не только повысить недостающую несущую способность оснований, но существенно снизить развитие осадок реконструируемых сооружений.

Автор выражает благодарность за поддержку и помощь в подготовке данной работы:

- к.т.н. Лукину В.А., к.т.н. Матвеевко Г.А., к.т.н. Куприяновой А.В;
- коллегам – сотрудникам кафедры «Основания и фундаменты» Петербургского Государственного университета путей сообщения (ПГУПС), строительной компании «Подземстройреконструкция» (<http://www.sk-psr.ru>), сотрудникам Санкт-Петербургского отделения Общероссийского общественного фонда «Центр качества строительства».

Основные геотехнические проблемы, возникающие при реконструкции зданий

Исторические города России располагают большим количеством зданий, со сроком эксплуатации, превышающим 100 летний период. В большинстве случаев такие здания нуждаются в проведении реконструктивных работ для их поддержания или воссоздания.

Часто реконструкция подобных зданий предусматривает замену деревянных перекрытий на металлические или железобетонные, иногда необходимость постройки дополнительного этажа или мансарды. Такое решение вызывает в первую очередь условия **дополнительного нагружения фундаментов и оснований**, что является основной геотехнической проблемой при проведении реконструктивных работ.

Другой геотехнический аспект данной проблемы заключается в устройстве или реконструкции подвальных помещений для данных зданий. В этом случае (при **углублении существующих подвалов**) меняется расчётная схема работы системы «фундамент-основание», что требует тщательного расчётного анализа и, как правило, проведение специальных мероприятий по усилению оснований.

Решение основных геотехнических проблем при реконструкции зданий, изложенных в данной монографии, могут быть схематично представлены в виде блок-схемы на рис. 1. Следует подчеркнуть, что в практике строительства существует большое количество способов усиления оснований, которые находят своё применение в различных грунтовых условиях. В данной же монографии рассматриваются лишь отдельные конструктивные методы усиления оснований, которые обладают следующими основными преимуществами:

- Возможность выполнения инженерного расчёта (с заданными условиями надёжности) в принятии проектного решения по усилению основания;
- Использование разработанного проектного решения для различных категорий грунтов в зависимости от их физико-механических характеристик.

Из представленной схемы на рисунке 1 видно, что обозначенные геотехнические проблемы при реконструкции зданий могут быть сведены к двум основным решениям:

1. Компенсации дефицита несущей способности и ограничения осадки от дополнительного нагружения (замена перекрытий, устройство мансарды и т.д.) основания.
2. Восстановление несущей способности основания при понижении отметки пола существующего подвала или устройства нового подвального помещения.

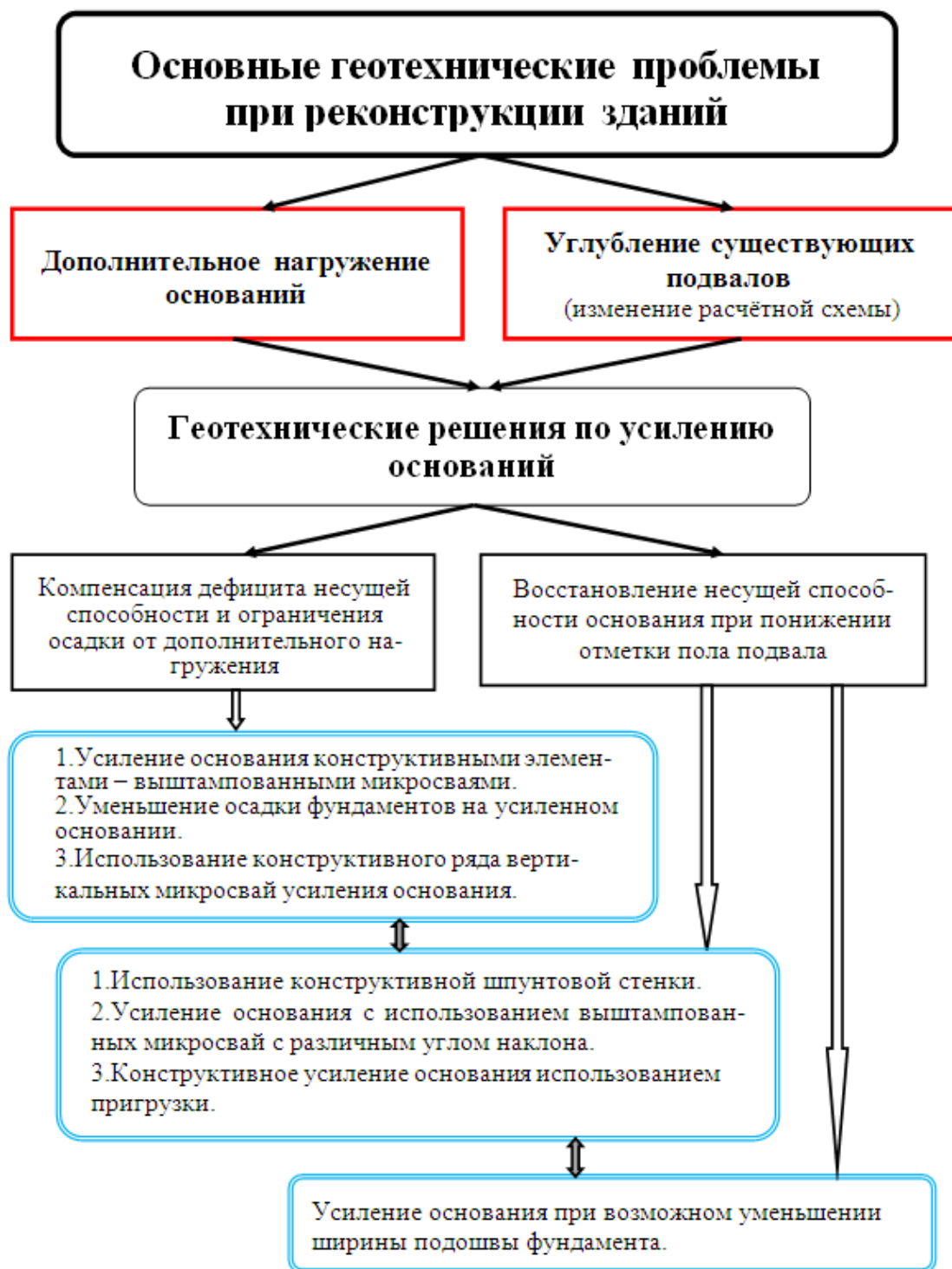


Рис. 1. Принципиальная блок-схема решения геотехнических вопросов по усилению основания.

Для реализации первого решения (случая) могут быть использованы следующие мероприятия, приводящие к необходимым (заданным) критериям по прочности (устойчивости) и деформациям [1]:

1. Усиление основания конструктивными элементами - выштампованными микросваями.
2. Уменьшение (снижение) осадки фундаментов на усиленном основании.
3. Конструктивное усиление основания использованием пригрузки.

Для реализации второго решения (случая) могут быть использованы следующие мероприятия:

1. Использование конструктивной шпунтовой стенки.
2. Использование конструктивного ряда микросвай усиления основания.
3. Увеличение несущей способности основания с использованием выштампованных микросвай усиления основания с различным углом наклона.
4. Применение выштампованных микросвай усиления основания для восстановления несущей способности, при возможным уменьшении подошвы фундамента, с целью увеличения площади реконструируемого подвала.

Представленный перечень основных необходимых мероприятий, обеспечивающий устойчивое состояние оснований и снижение дополнительных осадок до допустимых величин при реконструкции зданий, изложен в данной монографии в виде отдельных глав.

При рассмотрении отдельных мероприятий усиления оснований в представленных главах, следует иметь в виду, что во многих случаях реконструкции возникают условия, когда необходимо учитывать влияние нескольких факторов, возникающих одновременно. К примеру, дополнительное нагружение основания может сопровождаться одновременно углублением существующего подвала (или наоборот). Учёт подобных факторов усложняет геотехническую задачу реконструкции, т.к. требует комплексного подхода к решению поставленных задач, что необходимо учитывать при разработке окончательных проектных решений. Отмеченные условия на рис. 1 отражены в виде двойных (сплошных) стрелок, связывающих воедино отдельно выделенные мероприятия по конструктивному усилению оснований.

Глава 1. Компенсация дефицита несущей способности и ограничение осадки от дополнительного нагружения основания

Дополнительное нагружение основания при реконструкции зданий (см. ранее) вызывает необходимость расчётной проверки оснований по двум предельным состояниям:

1. Расчёт по прочности (устойчивости) фундамента и основания – первое предельное состояние.
2. Расчёт по деформациям – второе предельное состояние с проверкой абсолютных и относительных осадок.

При проверке основания и фундамента по первому предельному состоянию, может возникнуть условие, когда несущая способность основания при выполнении реконструктивных работ окажется не достаточной. В этом случае возникает, так называемый, дефицит несущей способности основания, который определяется как разность между требуемой несущей способностью основания (по условиям реконструкции) и её фактической величиной при существующих фундаментах и нагрузках.

Компенсация дефицита несущей способности основания может быть реализована устройством выштампованных микросвай усиления основания. Такие решения подробно представлены автором в следующих работах: «Осадки фундаментов при реконструкции зданий», ООФ «ЦКС» СПб., 2009 [2]; «Применение выштампованных микросвай усиления основания реконструируемых зданий» ООФ «ЦКС» СПб., 2010 [3].

Устройство выштампованных микросвай усиления основания как одно из действенных конструктивных мероприятий, позволяет не только повысить их несущую способность, но посредством уплотнения несущего слоя основания, увеличить его модуль деформации, что приводит к снижению осадок реконструируемых зданий.

Более подробно данные меры усиления оснований рассмотрены в ниже-следующих параграфах.

1.1. Усиление основания конструктивными элементами – выштампованными микросваями

Конструктивный метод усиления основания в виде применения специальных выштампованных микросвай – или железобетонных элементов усиления уплотняющих основание, достаточно подробно описан в работе [3], в которой детально рассмотрены такие условия, как:

- Технология изготовления выштампованных микросвай усиления оснований с учётом их динамического контроля;

- Испытания грунтов микросваями вертикальной статической вдавливающей нагрузкой;
- Расчёт необходимого количества микросвай усиления основания в зависимости от размеров, выполняемой микросваи, способной воспринять пассивный грунтовый отпор, её угла наклона к вертикали и дефицита несущей способности основания, возникающего в результате дополнительного нагружения от реконструкции здания;
- Приведены результаты полевого эксперимента по осадке фундамента и его сравнение с результатами расчёта;
- Мониторинг за осадками сооружений на усиленном основании;
- Список адресов зданий, по которым имеется положительный опыт применения конструктивного усиления основания выштампованными микросваями.

Принципиальная схема конструктивного усиления основания под ленточным (отдельно стоящим) фундаментом представлена на рис. 1.1. Необходимость усиления основания по проекту реконструкции здания (дополнительному нагружению) определяется либо не достаточной несущей способностью существующего основания, либо превышением величины дополнительной осадки.

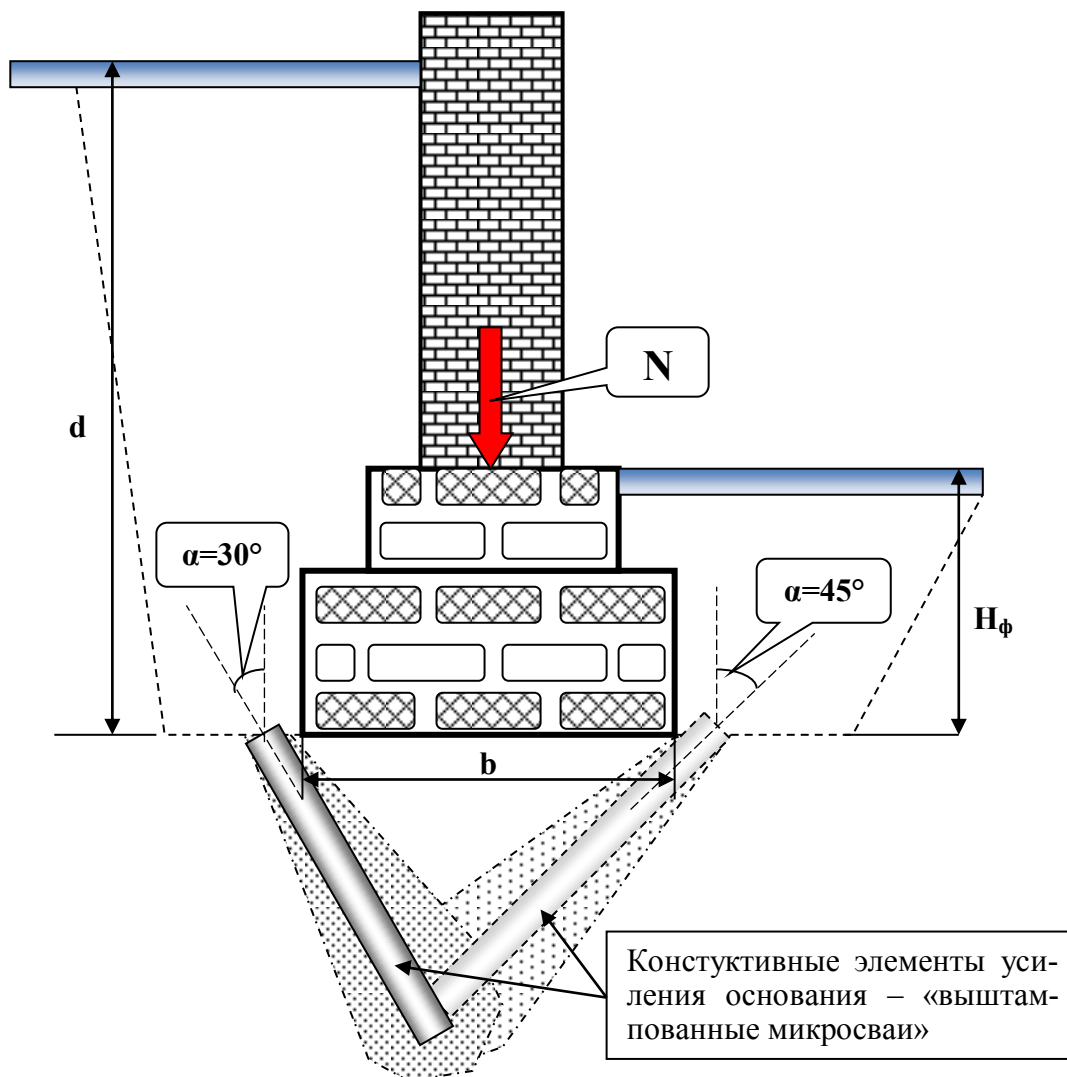


Рис. 1.1. Принципиальная схема конструктивного усиления основания под ленточным (отдельно стоящим) фундаментом

На представленной схеме (рис. 1.1.) усиление существующего основания осуществляется методом устройства конструктивных элементов усиления – выштампованных микросвай [3]. Такие элементы усиления могут быть выполнены как в вертикальном положении, так и под углом до $30^\circ \dots 45^\circ$ к вертикали (рис. 1.1, 1.2).



Рис.1.2. Фотография производства работ по использованию пробойника при выполнении выштампованных микросвай усиления основания

Необходимость и количество конструктивных элементов усиления основания – выштампованных (с использованием пневмопробойника) микросвай определяется расчётом. Такой расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента, с учётом возможной нелинейной работы основания, в результате дополнительного его нагружения от реконструкции здания, может быть выполнен по программе автора на сайте: www.BuildCalc.ru (см. раздел «Расчёты» на прилагаемой, ниже копии экрана (рис. 1.3)).



Для постройки любого дома или сооружения необходимо заранее рассчитать все элементы его конструкции. Наш проект предназначен для сбора всей информации о расчётах в строительстве и ставит цель объединить усилия проектировщиков.

К Вашим услугам книги, статьи и учебные курсы включая конспекты лекций и тесты, посвящённые расчётам в строительстве.

07.01.2010 Добавлена статья, посвящённая оценке глубины промерзания грунтов [Подробнее...](#)

07.01.2010 Добавлена статья, посвящённая усилению песчаного основания микросваями [Подробнее...](#)

25.10.2009 Первые две главы книги «Осадки фундаментов при реконструкции зданий» доступны для чтения [Подробнее...](#)

[Архив новостей...](#)

Осуществляемый расчёт

Расчёты

Проверка несущей способности существующего фундамента при реконструкции [Подробнее...](#)
Определение размеров и осадки существующего или нового фундамента с учётом нагрузок по его обрезу [Подробнее...](#)

Расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента с учётом возможной нелинейной работы основания [Подробнее...](#)

Обучение

Конспект лекций «Механика грунтов»

Предназначен для специальностей ПГС, СЖД, ВиВ дневной и вечерне-заочной формы обучения [Подробнее...](#)

Конспект лекций «Основания и фундаменты»

Является продолжением курса «Механика грунтов» [Подробнее...](#)

Краткий конспект лекций по летней полевой геологической практике [Подробнее...](#)

Книги

Курсовое проектирование по механике грунтов, основаниям и фундаментам [Подробнее...](#)

Осадки фундаментов при реконструкции зданий [Подробнее...](#)

Автоматизированный метод расчёта фундаментов по двум предельным состояниям [Подробнее...](#)

Геотехническое обоснование мансардных надстроек и углублений подвалов существующих зданий [Подробнее...](#)

Использование программного обеспечения в курсе механики грунтов, оснований и фундаментов [Подробнее...](#)

Механика грунтов, основания и фундаменты. Методические указания к проведению опроса студентов при изучении основных разделов курса. Обучающая программа AscMe. Издание второе [Подробнее...](#)

Статьи

Вероятностная оценка глубины промерзания грунта [Подробнее...](#)

Усиление песчаного основания микросваями [Подробнее...](#)

Применение выштампованных микросвай позволяет повысить предельное давление на основании (несущую способность) до 52% [Подробнее...](#)

Рис. 1.3. Временной фрагмент копии экрана главной страницы сайта: www.BuildCalc.ru

1.1.1. Пример программного расчёта основания по двум предельным состояниям с использованием сайта: www.BuildCalc.ru

Расчёты на данном сайте, в том числе и по представленной программе: <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx> можно осуществлять бесплатно непосредственно в интернете в режиме «on-lain».

Рассмотрим в качестве примера один из таких расчётов более подробно. Ниже (рис. 1.4) представлен фрагмент экрана ввода данных, который определяет учётную информацию по рассчитываемому объекту и тип здания с соответствующей предельной осадкой в соответствии с требованиями [1].

Учётные данные

Пожалуйста, введите учётную информацию об объекте, для которого выполняется расчёт

Реконструкция исторического здания Санкт-Петербурга (сеч. 1-1), ось «Ж»

В качестве учётной информации может использоваться адрес строительного объекта, а также номер рассчитываемого фундамента и номер сечения на чертеже.

Укажите тип здания

Тип здания	Предельная осадка, см
Каркасные здания	
<input type="radio"/> Ж/б каркас	8
<input type="radio"/> Стальной каркас	12
Бескаркасные здания	
<input checked="" type="radio"/> Кирпичные здания без армирования	10
<input type="radio"/> Кирпичная кладка с армированием или ж/б поясами	15
<input type="radio"/> Высокие жёсткие сооружения	25

Далее

Рис. 1.4. Фрагмент копии экрана ввода данных по учётной информации строительного объекта и типе здания с предельной осадкой.

Для выбора типа здания достаточно курсором сделать отметку в выделенных круглых зонах с правой стороны первого столбца - «Тип здания». Затем курсором (левой кнопкой мыши) нажимается выделенная клавиша «Далее», расположенная в правом нижнем углу экрана.

Далее автоматически вводится таблица ввода грунтовых условий (рис. 1.5), которые берутся из результатов инженерно-геологических изысканий и испытаний в лаборатории или в полевых условиях с использованием динамического (статического) зондирования [2].

Левый столбец таблицы, представленной на рис. 1.5, позволяет удалять, вносить изменения или добавлять вводимые данные по грунтовым условиям. Единицы измерения вводимых характеристик слоёв грунтового основания соответствуют стандартным обозначениям (ГОСТ), а также легко могут быть проконтролированы с использованием опции в примечаниях к данной таблице. Тип грунта принимается в соответствии с условиями СНиП 2.02.01-83* [4], что позволяет автоматически выбрать необходимые коэффициенты усло-

вия работы при дальнейшем вычислении расчётного сопротивления грунта основания

Грунт

Слои грунта, расположенные сверху вниз.

	№	Н, м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	φ , °	С, кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
Удалить Изменить	1	1,7	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
Удалить Изменить	2	1,7	Пылеватый песок	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	29	3	0,67	-	-	17000	0,3	Таблица
Удалить Изменить	3	2	Суглесь	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	20,5	22	20	0,6	0,22	0,6	12000	0,3	Таблица
Удалить Изменить	4	1,9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	29	3	0,67	-	-	17000	0,3	Таблица
Добавить Сбросить		Н, м											
		Наименование											
		Тип грунта	Крупнообломочные с песчаным заполнителем песчаные, кроме мелких и пылеватых										
		γ , кН/м ³											
		φ , °											
		С, кПа											
		e											
		W											
		I_L											

E	<input type="text"/>
μ	<input type="text"/>
Источник данных	Эксперимент <input type="button" value="▼"/>

[Добавить верхний насыпной слой грунта мощностью 1 м.](#) Мощность этого слоя грунта можно изменить с помощью команды «Изменить».

Для получения комментария по вводимому параметру подведите указатель мыши к заголовку столбца таблицы.

<input type="button" value="Назад"/>	<input type="button" value="Далее"/>
--------------------------------------	--------------------------------------

Рис. 1.5. Фрагмент копии экрана ввода данных по грунтовым условиям.

Следует отметить, что в конце каждого экрана ввода данных, в правом нижнем углу, расположены две клавиши «Назад» и «Далее», позволяющие либо вернуться к ранее вводимым данным и выполнить их корректировку, либо перейти к вводу следующих исходных данных.

В целях учёта возможного действия грунтовых вод на конструкции фундамента (взвешивающие действие воды), дополнительно вводится положение уровня грунтовых вод (с учётом его максимально возможного подъёма), а также информация о сооружении в виде соотношения его длины к высоте (рис. 1.6).

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Учитывать действие грунтовых вод

Уровень грунтовых вод, м. Это расстояние от уровня планировки до наивысшего положения уровня грунтовой воды.

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой

Отношение длины сооружения или его отсека к высоте

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м³

Удельный вес воды, кН/м³

<input type="button" value="Назад"/>	<input type="button" value="Далее"/>
--------------------------------------	--------------------------------------

Рис. 1.6. Фрагмент копии экрана ввода данных по дополнительной информации по УГВ и жёсткости сооружения.

После ввода дополнительной информации по УГВ, вводятся основные данные по фундаменту (рис. 1.7). Обычно подобные данные берутся из материалов обследования (по результатам откопки исследовательских шурфов). В нашем примере – это ленточный фундамент под наружную стену здания с подвалом, при его высоте 0,72 м и глубине заложения 1,78 м от планировочной отметки. При этом обязательно необходимо знать точные данные по ширине подошвы фундамента и глубине подвала.

Фундамент

Основные данные фундамента

Тип фундамента	Ленточный
Тип стены	Наружняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м	0,72
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м	1,78
Ширина подошвы фундамента, м	1,42

Данные столбчатого фундамента

Соотношение сторон подошвы фундамента $N = L / B$ 1,00

Данные по подвалу

<input checked="" type="checkbox"/> Подвал есть		
Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м	0,90	
Толщина пола подвала, м	0,20	
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³	22,00	
	Назад	Далее

Рис. 1.7. Фрагмент копии экрана ввода данных по основным параметрам фундамента и конструкции подвала.

Следующий экран ввода данных (рис. 1.8) определяет степень нагружения рассчитываемого фундамента. Вводимые нагрузки, как правило, определяются по грузовым площадям и должны предшествовать данной стадии расчёта. Сбор нормативных нагрузок осуществляется до уровня обреза фундамента. Дополнительные нагрузки от веса фундамента и веса грунта на его ступенях определяются уже в программном расчёте.

Нагрузки

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N , кН	<input type="text" value="845"/>
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q_B , кН	<input type="text" value="0,00"/>
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M_B , кН*м	<input type="text" value="0,00"/>

Рис. 1.8. Фрагмент копии экрана ввода данных по нормативным нагрузкам в уровне обреза фундамента.

В рассматриваемом примере приведена только одна вертикальная нагрузка величиной 845 кН на погонный метр ленточного фундамента.

На данном этапе ввод исходных данных заканчивается, и программа выдаёт таблицу результатов расчёта (рис. 1.9).

Результаты расчёта

Учётная информация: Реконструкция исторического здания Санкт-Петербурга (сеч. 1-1), ось "Ж"

Фундамент ленточный. Ширина подошвы фундамента, м: 1,42

Расчётное сопротивление грунта R , кПа (II предельное состояние): 230,03

Предельное давление на грунт R_{pr} , кПа (I предельное состояние): 533,08

Минимальное давление под подошвой фундамента P_{min} , кПа: 624,74

Среднее давление под подошвой фундамента $P_{cp.}$, кПа: 625,33

Максимальное давление под подошвой фундамента P_{max} , кПа: 625,92

Осадка фундамента S , см: -

Коэффициент надёжности: 0,77

- Не выполнено условие первого предельного состояния (Коэффициент надёжности < 1). Устойчивость фундамента не обеспечена.

Для копирования результатов расчётов в текст отчёта используйте буфер обмена.

Рис. 1.9. Фрагмент копии экрана вывода результатов расчёта (по вводимому примеру).

В представленных результатах расчёта (рис.1.9) приводятся данные по расчётному сопротивлению грунта (расчёт по II предельному состоянию),

предельному давлению на грунт основания (расчёт по I предельному состоянию), а также средние и краевые давления под подошвой фундамента. Расчёт, исходя из двух предельных состояний грунта основания, формируется в конечном итоге в виде вывода конечной осадки фундамента и коэффициента надёжности.

Нажимая выделенную кнопку «Далее», получим окончательную (итоговую) версию проводимого расчёта для печати (рис. 1.10).



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Для возврата к списку доступных типов расчётов нажмите [здесь](#).

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	Реконструкция исторического здания Санкт-Петербурга (сеч. 1-1), ось "Ж"
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Наружная
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	0,72
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	1,78
Ширина подошвы фундамента, м:	1,42

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	0,90
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	845,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M _в , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H,	Наиме-	Тип грунта	γ,	φ,	C,	e	W	I _L	E	μ	Источ-
---	----	--------	------------	----	----	----	---	---	----------------	---	---	--------

	м	название		кН/м ³	°	кПа						ник данных
1	1,7	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	1,7	Пылеватый песок	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	29	3	0,67	-	-	17000	0,3	Таблица
3	2	Супесь	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	20,5	22	20	0,6	0,22	0,6	12000	0,3	Таблица
4	1,9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	29	3	0,67	-	-	17000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_{1r} , кН/м ³	γ_{2r} , кН/м ³	φ_{1r} , °	φ_{2r} , °	c_{1r} , кПа	c_{2r} , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,70	15,00	16,50	12,73	14,00	0,00	0,00	1,25	1,16	1,10
2	0,30	17,64	19,40	26,36	29,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,10
3	1,40	9,25	10,18	26,36	29,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,10
4	2,00	18,64	20,50	19,13	22,00	13,33	20,00	1,00	1,00	1,10
5	1,90	9,25	10,18	26,36	29,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	15,12
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	16,63
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	0,94

Рассчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	230,03
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	533,08
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	756,97
Минимальное давление под подошвой фундамента $P_{мин}$, кПа:	624,74
Среднее давление под подошвой фундамента $P_{ср.}$, кПа:	625,33
Максимальное давление под подошвой фундамента $P_{мах}$, кПа:	625,92
Осадка фундамента S , см:	-
Коэффициент надёжности:	0,77

- Не выполнено условие первого предельного состояния (Коэффициент надёжности < 1). Устойчивость фундамента не обеспечена.

Назад

Завершить

Рис. 1.10. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати). Пример выполнен по интернетовской программе BRNL (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента по оси «Ж» и заданных условий ($N=845$ кН) реконструкции здания

Как видно из представленных результатов решения (рис. 1.10), в результате реконструкции здания, основание для существующего ленточного фундамента с увеличением вертикальной нагрузки до 845 кН/м становится перегруженным. В этом случае оно переходит в не устойчивую категорию, поскольку не выполняются условия расчёта по I предельному состоянию (не выполняется условие первого предельного состояния - коэффициент надёжности $0,77 < 1$).

Для восприятия заданной нагрузки необходимо выполнить усиление основания с использованием конструктивного решения по устройству выштампованных микросвай.

Для определения необходимого количества микросвай усиления, необходимо в первую очередь определить дефицит несущей способности данного основания. С этой целью выполним предыдущий расчёт (не меняя исходные данные), но с постепенным уменьшением вертикальной нагрузки до величины, удовлетворяющей условию получения коэффициента надёжности ≥ 1 . Распечатка такого решения представлена на рис. 1.11.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания Результаты расчёта

Учётная информация: **Реконструкция исторического здания Санкт-**

Петербурга (сеч. 1-1), ось "Ж" (с допустимой нагрузкой $N=600$ кН/м)

Фундамент ленточный. Ширина подошвы фундамента, м: 1,42

Расчётное сопротивление грунта R , кПа (II предельное состояние): 230,03

Предельное давление на грунт $R_{пр}$, кПа (I предельное состояние): 533,08

Минимальное давление под подошвой фундамента R_{min} , кПа: 452,21

Среднее давление под подошвой фундамента $R_{ср.}$, кПа: 452,80

Максимальное давление под подошвой фундамента R_{max} , кПа: 453,38

Осадка фундамента S , см: 9,35

Коэффициент надёжности:

Для копирования результатов расчётов в текст отчёта используйте буфер обмена.

Назад

Далее

Рис. 1.11. Пример варианта распечатки результатов решения по интернетовской программе BRNL (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента ось «Ж» способного воспринять вертикальную нагрузку $N=600$ кН. Устойчивость данного фундамента обеспечена с минимальным коэффициентом надёжности $1,06 > 1$.

Из полученных результатов расчёта (рис. 1.11) видно, что:

1. Основание работает в нелинейной стадии деформирования, так как среднее давление под подошвой фундамента превышает расчётное сопротивление грунта основания. Однако такое использование основания вполне допустимо, поскольку конечная осадка фундамента $S=9,35$ см (расчёт по II предельному состоянию) не превышает предельно допустимое значение.
2. Грунты основания могут воспринять максимальную вертикальную нагрузку лишь в размере 600 кН (выполняются условия расчёта по I предельному состоянию, поскольку коэффициент надёжности $1,06 > 1$).

Поскольку по результатам реконструкции на основание необходимо передать нагрузку в размере 845 кН (рис. 1.10), а основание может воспринять лишь нагрузку в 600 кН (рис. 1.11), то существующий дефицит нагрузки ($845-600=245$ кН) должен быть воспринят выштампованными микросваями усиления основания.

1.1.2. Пример использования программы Mathcad для расчёта необходимого количества микросвай усиления основания

Для определения необходимого количества микросвай усиления основания, воспринимающих существующий дефицит нагрузки (245 кН – см. § 1.1.1), воспользуемся методикой, изложенной в § 3.1[2].

Предварительно задаёмся размерами выштампованной микросваи (по условиям технологии её изготовления):

- Длина, $l = 2,5\text{ м}$;
- Диаметр, $\varnothing = 220\text{ мм}$;
- Угол наклона к вертикали, $\alpha = 45^\circ$

Микросвая будет расположена под углом наклона $\alpha = 45^\circ$ в основании, расчётные характеристики которого (с учётом I предельного состояния) определены в соответствии с таблицей «Данные по грунту» (рис. 1.5).

Результаты данного решения с использованием программы (по ранее разработанной методике [2] (формула 2.14) (<http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>)), составленной в системе «Mathcad», представлены на рис. 1.12.

Представленное решение, разработанное в системе «Mathcad», следует считать универсальным инструментом, поскольку позволяет достаточно быстро определить необходимое число микросвай усиления основания, меняя исходные данные в зависимости от условий решаемой задачи.

Определение необходимого числа (n)

микросвай усиления основания в зависимости от дефицита несущей способности ($N_y - N$), свойств грунта и размеров выштампованной микросваи.

(Расчёт выполнен в соответствии с книгой Алексева С.И. "Осадки фундаментов при реконструкции зданий", СПб., ЦКС, 2009" (формула 2.14) <http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>)

Объект: Реконструкция исторического здания Санкт-Петербурга, (сеч. 1-1), ось "Ж"

γ - объёмный вес грунта основания ϕ - угол внутреннего трения грунта основания

r - радиус микросваи α - угол наклона микросваи к вертикали

Исходные данные: $\gamma := 18 \text{ кН/м}^3$ $\phi := 27^\circ$

$l := 2.5 \text{ м}$ $\pi = 3.142$ $r := 0.11 \text{ м}$ $\alpha := 45^\circ$ $N := 600 \text{ кН}$ $N_y := 845 \text{ кН}$

Результаты расчёта:

$$E_n := 0.5 \cdot 1.11 \cdot \gamma \cdot \Gamma^2 \cdot \left[\tan \left[\frac{\pi}{180} \cdot \left(45 + \frac{\delta}{2} \right) \right] \right]^2 \cdot \pi \cdot r = 57.458 \text{ кН}$$

$$n := \frac{(N_y - N)}{E_n \cdot \left[\cos \left[(a) \cdot \frac{\pi}{180} \right] + \sin \left[(a) \cdot \frac{\pi}{180} \right] \right]} = 3.015 \text{ шт}$$

Рис. 1.12. Пример программного решения по определению необходимого числа микросвай усиления основания (Mathcad) в зависимости от размеров микросвай, грунтовых условий и дефицита несущей способности усиливаемого основания.

Полученное решение по необходимому числу микросвай округляем до целого, т.е. принимает $n=3$.

Таким образом, существующие основание (пылеватые пески насыщенные водой) для восприятия проектируемой вертикальной нагрузки $N=845$ кН/м от ленточного фундамента ($b=1,42$ м), должно быть усилено на одном метре тремя выштампованными микросваями (с расчётными характеристиками – см. выше).

Принципиальное решение по усилению основания для рассмотренного примера может быть представлено на рис. 1.1.

Следует подчеркнуть, что приведённый метод расчёта по определению необходимого числа конструктивных микросвай усиления основания, позволяет обоснованно, в зависимости от проектных нагрузок, грунтовых условий, размеров фундаментов и геометрических размеров микросвай, выполнять расчёты с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых оснований.

1.2. Определение осадки фундаментов на усиленном основании

Основание усиленное выштампованными микросваями становится не однородной средой (появляются внедренные жёсткие элементы микросвай), с улучшенными деформационными характеристиками и, следовательно, с меньшими величинами расчётных осадок. Для вычисления осадки фундамента (расчёт по II предельному состоянию) на таком основании целесообразно воспользоваться методикой осреднения модуля деформации грунтового основания. Подобная методика достаточно подробно рассмотрена в статье Алексеева С.И., Лукина В.А. [5].

В качестве примера, продолжим рассмотрение выше приведённой задачи в § 1.1.2., как задачи определения осреднённого модуля деформации грунтового основания, усиленного выштампованными микросваями.

Рассмотрим решения на основе допущений, что при выполнении выштампованных микросвай усиления грунтового основания, под подошвой ленточного фундамента (рис. 1.13) в основании образуется не однородная среда, состоящая в общем случае из следующих компонентов:

1. Грунтового массива с модулем деформации $E_{гр}$ и объёмом $V_{гр}$.
2. Микросвай усиления основания (ствол сваи с модулем деформации $E_{св} \approx 100 \dots 130$ МПа, с объёмом $V_{св}$), (3 микросвай, расположенных под углом 45° к вертикали, по условиям рассматриваемого примера).
3. Уплотнённой оболочки грунта средним радиусом 0,2 м вокруг изготовленной сваи, с максимальным увеличением физико-механических характеристик грунта на 11% и, соответственно, модулем деформации $E_{угр} = 1,11E_{гр}$ и объёмом $V_{угр}$. [6] (в соответствии с обозначениями на рис. 1.14).
4. Уплотнение грунта основания происходит в основном в условном объёме $V = b^2$, определяемом как произведение ширины подошвы фундамента на глубину, равную ширине подошвы и на единицу длины (для ленточного фундамента – это 1 м) (рис. 1.13).

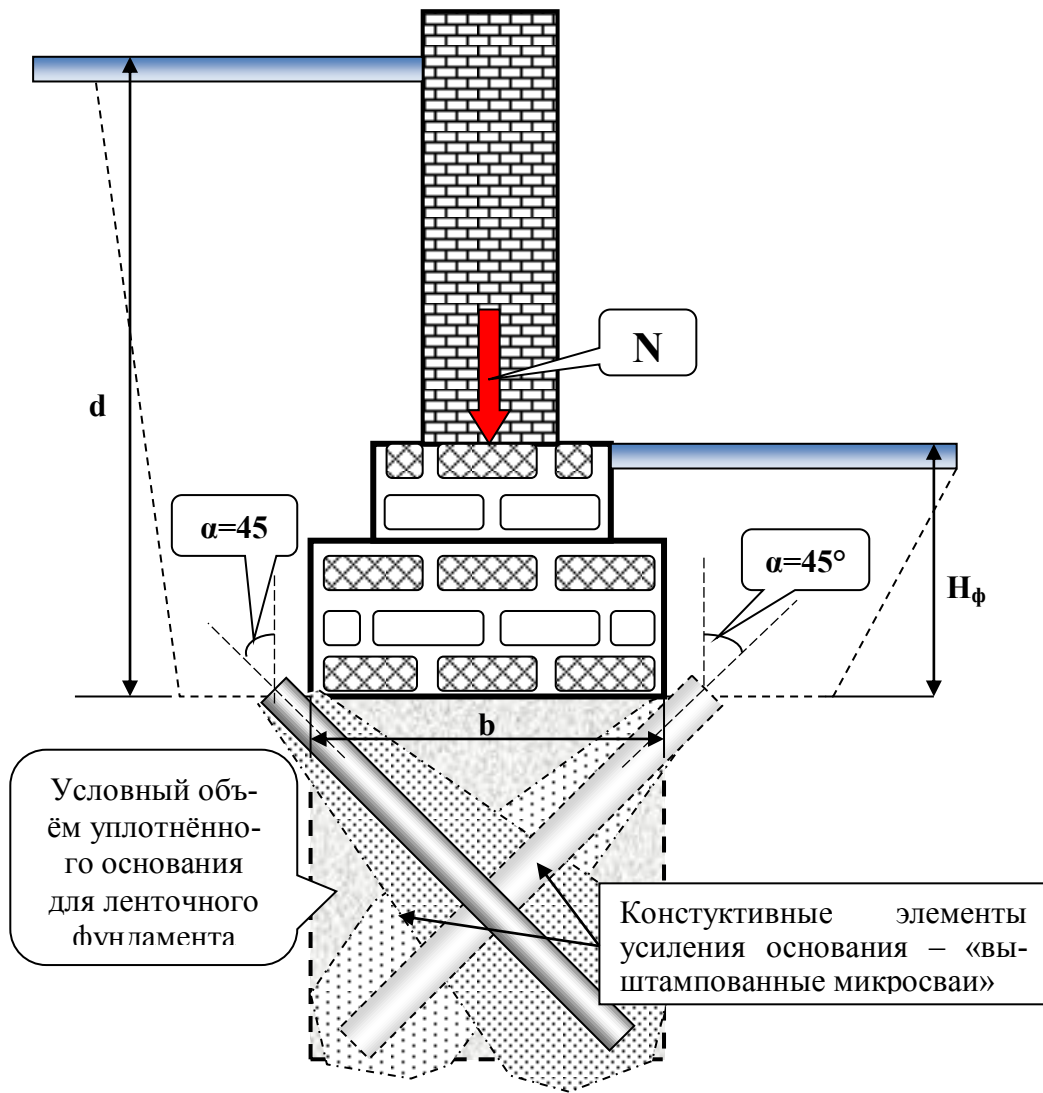


Рис. 1.13. Схема конструктивного усиления основания под ленточным фундаментом по данным результата расчёта § 1.1.2.

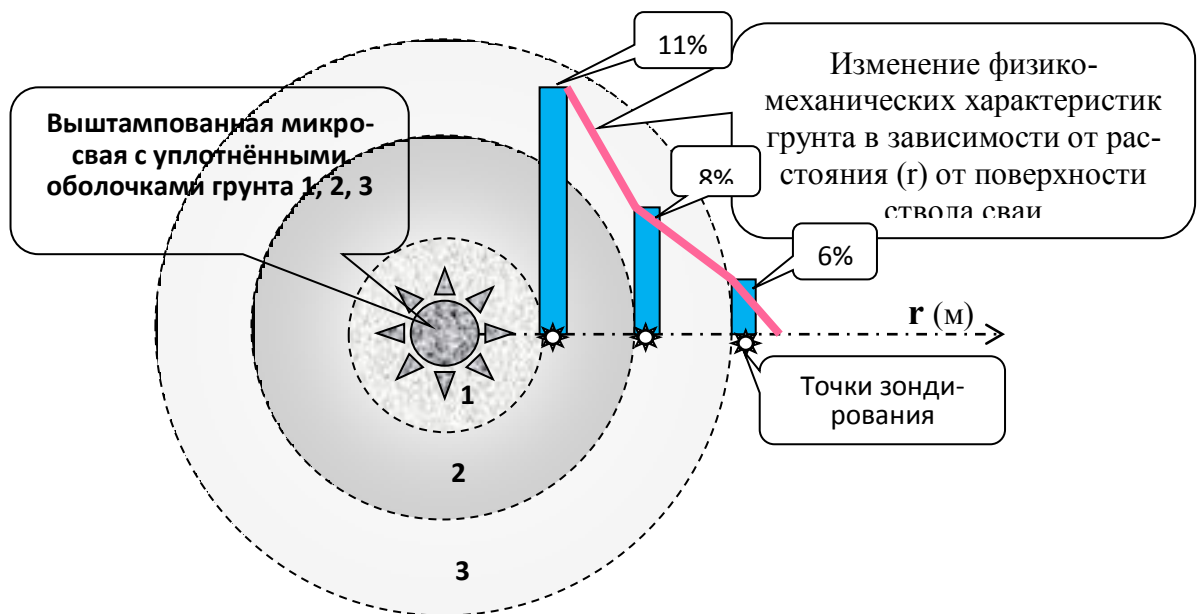


Рис. 1.14. Схема устройства выштампованной микросваи (диаметром 0,2...0,22 м) в плане с принятыми условными уплотнёнными оболочками грунта вокруг её ствола, по результатам опытного динамического зондирования [6].

1 – уплотнённая оболочка грунта на расстоянии $r=0,2$ м от поверхности ствола микросваи с увеличением физико-механических характеристик грунта на 11%. 2 - уплотнённая оболочка грунта на расстоянии $r=0,4$ м от поверхности ствола микросваи с увеличением физико-механических характеристик грунта на 8 %. 3 - уплотнённая оболочка грунта на расстоянии $r=0,6$ м от поверхности ствола микросваи с увеличением физико-механических характеристик грунта на 6 %.

Тогда, для основания усиленного микросваями, средневзвешенное (осреднённое) значение модуля деформации основания $E_{ср}$, в соответствии с принятыми допущениями, можно определить исходя из следующего выражения:

$$E_{ср} = \frac{E_{св} \cdot V_{св} + E_{угр} \cdot V_{угр} + E_{гр} \cdot V_{гр}}{V_{св} + V_{угр} + V_{гр}}, \quad (1.1)$$

где $E_{св}$, $E_{угр}$, $E_{гр}$ – соответственно модули деформации материала свай, уплотнённой оболочки грунта вокруг свай и грунтового массива; $V_{св}$, $V_{угр}$, $V_{гр}$ – объёмы, занимаемые соответственно сваями, уплотнённым грунтом вокруг свай и оставшимся грунтовым массивом в общем условном объёме $V=b^2$ уплотнённого основания на единицу длины (рис. 1.13); b – ширина подошвы ленточного фундамента.

Для n -го количества микросвай усиления основания, обычно диаметром $d=0,22$ м (из условий технологических параметров изготовления), имеющих длину $\ell=b/\cos\alpha$ (пересекающих всю условную зону основания толщиной b) и выполненных под углом (α) к вертикали, получим:

$$V_{св} = (\pi d^2/4) \cdot \ell \cdot n = (\pi d^2/4) \cdot b \cdot n / \cos\alpha \quad (1.2)$$

Для уплотнённой оболочки грунта на расстоянии 0,2 м вокруг изготовленной свай (рис. 1.14) или при $d_1=0,6$ м, получим:

$$V_{угр} = (\pi d_1^2/4 - \pi d^2/4) \cdot \ell \cdot n = (\pi d_1^2/4 - \pi d^2/4) \cdot b \cdot n / \cos\alpha = \pi/4 (d_1^2 - d^2) \cdot b \cdot n / \cos\alpha \quad (1.3)$$

Тогда $V_{гр}^*$ составит:

* при небольших размерах фундамента и частом шаге микросвай, может быть принято минимальная величина $V_{гр}$ равная 0. В этом случае весь условный объём уплотнённого основания занимают микросваи и уплотнённый грунт вокруг них.

$$V_{гр} = V - V_{св} - V_{угр} = b^2 \cdot (\pi d^2 / 4) \cdot n / \cos \alpha - (\pi d_1^2 / 4) \cdot b \cdot n / \cos \alpha + (\pi d^2 / 4) \cdot b \cdot n / \cos \alpha = \\ = b(b - \pi d_1^2 \cdot n / 4 \cdot \cos \alpha) \quad (1.4)$$

Подставляя полученные значения $V_{св}$, $V_{угр}$, $V_{гр}$ в исходную формулу (1.1) можно вычислить $E_{ср}$.

Таким образом, предложенная методика в соответствии с принятыми допущениями, для вычисления $E_{ср}$ позволяет определить осреднённую деформационную характеристику для усиленного (уплотнённого) грунтового основания в зависимости от исходных модулей деформации ($E_{св}$, $E_{угр}$, $E_{гр}$), ширины подошвы фундамента (b) и количества (n) микросвай усиления основания на единицу длины фундамента.

Данный расчётный метод осреднения модуля деформации, уплотнённого выштампованными микросваями, основания под подошвой фундамента сопоставлялся с результатами полевого штампового эксперимента [5]. Анализ результатов проведённых испытаний и расчётных значений показал удовлетворительную их сходимость, а, следовательно, возможность применения предложенной методики осреднения модуля деформации уплотнённого основания, к инженерному методу расчёта осадки.

Таким образом, принятое конструктивное решение по усилению (уплотнению) грунтового основания в виде устройства выштампованных микросвай, даёт возможность расчётным способом прогнозировать изменение модуля деформации уплотнённого основания. Полученная осреднённая характеристика модуля деформации уплотнённого основания будет определять развитие осадок реконструируемых зданий (расчёт по деформациям или по II предельному состоянию) при дополнительном их нагружении (замена перекрытий, строительство мансард или этажей и т.п.).

Продолжая рассматривать в качестве примера выше описанные условия задачи, в соответствии с принятыми допущениями, используя схемы на рис. 1.13; 1.14 и выражение (1.1), выполним вычисление средневзвешенного значения модуля деформации основания $E_{ср}$, уплотнённого микросваями, расположенными под ленточным фундаментом.

Тогда для условий рассматриваемого примера с тремя (n) микросваями уплотнения, выполненных под углом $\alpha = 45^\circ$ к вертикали, используя выражение (1.2), получим:

$$V_{св} = (\pi d^2 / 4) \cdot \ell \cdot n = (\pi d^2 / 4) \cdot b \cdot n / \cos \alpha = (3,14 \cdot 0,22^2 / 4) \cdot 1,42 \cdot 3 / 0,707 = 0,23 \text{ м}^3$$

Для вычисления уплотнённого объёма грунта вокруг выштампованных микросвай, воспользуемся выражением (1.3), тогда:

$$V_{угр} = (\pi d_1^2 / 4 - \pi d^2 / 4) \cdot \ell \cdot n = \pi / 4 (d_1^2 - d^2) \cdot b \cdot n / \cos \alpha = \\ = 3,14 / 4 (0,6^2 - 0,22^2) \cdot 1,42 \cdot 3 / 0,707 = 1,47 \text{ м}^3$$

В соответствии с выражением (1.4) $V_{гр}^*$ составит:

$$V_{гр} = V - V_{св} - V_{угр} = 1,42^2 - 0,23 - 1,47 = 0,316 \text{ м}^3$$

С учётом выше приведённых вычислений, средневзвешенный (осреднённый) модуль деформации для условного объёма грунта, уплотнённого выштампованными микросваями, (см. рис. 1.13) для условий рассматриваемой задачи (ленточный фундамент шириной подошвы 1,42 м), в соответствии с выражением (1.1), составит:

$$E_{ср} = \frac{E_{св} \cdot 0,23 + E_{угр} \cdot 1,47 + E_{гр} \cdot 0,316}{1,42^2}$$

Подставляя дополнительные данные:

- $E_{св} = 100 \text{ мПа}$;
- $E_{угр} = 1,11 E_{гр} = 1,11 \times 17 = 18,87 \text{ мПа}$,

в представленное выражение для $E_{ср}$, получим:

$$E_{ср} = \frac{100 \cdot 0,23 + 18,87 \cdot 1,47 + 17 \cdot 0,316}{2,016} = 27,8 \text{ мПа}$$

Таким образом, в результате уплотнения выштампованными микросваями основания под ленточным фундаментом (из расчёта – 3 св. на 1 п.м., по условиям рассматриваемой задачи), можно принять, что (условный объём уплотнённого основания) слой грунта по глубине мощностью до $b=1,42 \text{ м}$ будет иметь осреднённый расчётный модуль деформации $E_{ср}=27,8 \text{ мПа}$.

Создание под подошвой фундамента уплотнённого слоя грунта с более высоким модулем деформации отразится на развитии осадок реконструируемого здания. С целью определения развития прироста осадки от дополнительного нагружения по результатам реконструкции, выполним сравнительные расчёты осадки по методу послойного суммирования для одного и того же фундамента до и после реконструкции.

До уплотнения основания и дополнительного нагружения фундамента (до реконструкции) условия расчёта его осадки могут быть определены по расчётной схеме на рис. 1.15.

* при небольших размерах фундамента и частом шаге микросвай, может быть принято минимальная величина $V_{гр}$ равная 0. В этом случае весь условный объём уплотнённого основания занимают микросваи и уплотнённый грунт вокруг них.

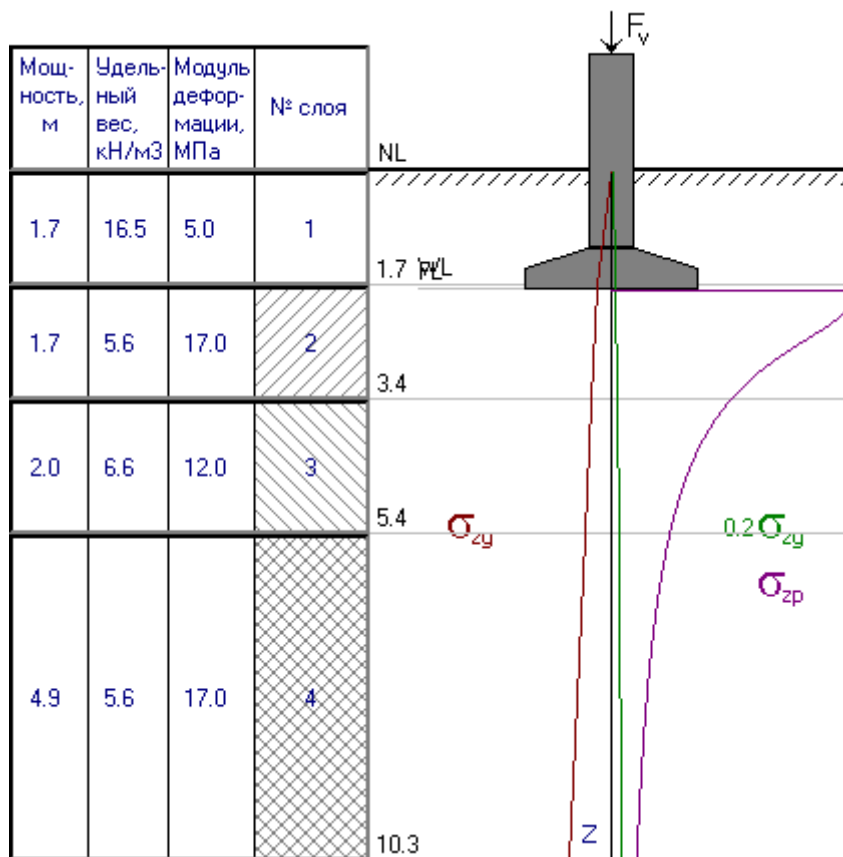


Рис. 1.15. Расчётная схема к определению осадки по методу послойного суммирования для ленточного фундамента на естественном основании, до его дополнительного нагружения в результате реконструкции.

Величина расчётной осадки представлена в табличном исчислении (таблица 1) на рис. 1.16.

Таблица 1

z, м	h, м	σ_{zg} , кПа	$0.2\sigma_{zg}$, кПа	σ_{zp} , кПа	$\sigma_{zp, ср}$, кПа	E, кПа	S, см
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00		28.5	5.7	424.9		17000	
0.54	0.54	31.5	6.3	379.2	416.5	17000	1.058
1.08	0.54	34.6	6.9	281.3	328.8	17000	0.835
1.62	0.54	37.6	7.5	211.2	242.4	12000	0.616
2.12	0.50	40.9	8.2	168.9	187.9	12000	0.626
2.62	0.50	44.2	8.8	139.9	153.1	12000	0.510
3.12	0.50	47.5	9.5	119.1	128.7	12000	0.429
3.62	0.50	50.7	10.1	103.5	110.7	17000	0.369

4.16	0.54	53.8	10.8	90.5	96.6	17000	0.247
4.71	0.54	56.9	11.4	80.4	85.1	17000	0.218
5.25	0.54	59.9	12.0	72.2	76.1	17000	0.195
5.80	0.54	63.0	12.6	65.6	68.8	17000	0.176
6.34	0.54	66.1	13.2	60.1	62.7	17000	0.161
6.89	0.54	69.1	13.8	55.4	57.6	17000	0.148
7.43	0.54	72.2	14.4	51.4	53.3	17000	0.137
7.98	0.54	75.3	15.1	47.9	49.6	17000	0.127
	0.54				46.3		0.119

Мощность сжимаемой толщи: $H_c = 8.52\text{м}$							
Полная осадка: $S = 5.97\text{см}$							

Рис. 1.16. Результаты расчёта осадки ленточного фундамента по методу послойного суммирования на естественном основании. Рассмотрены условия до момента его дополнительного нагружения вследствие реконструкции.

Как видно по результатам вычислений (таблица 1 на рис. 1.16), конечная или полная осадка фундамента на естественном основании до реконструкции здания составит $S = 5,97$ см.

По результатам реконструкции и выполненного уплотнения несущего слоя основания под подошвой фундамента с использованием выштампованных микросвай, расчётная схема для вычисления осадки может быть представлена на рис. 1.17.

В данном случае под подошвой фундамента мы получаем дополнительный слой уплотнённого грунта мощностью 1,42 м с осреднённым модулем деформации 27,8 мПа, что отразится в левой части (инженерно-геологической колонке) на рис. 1.17.

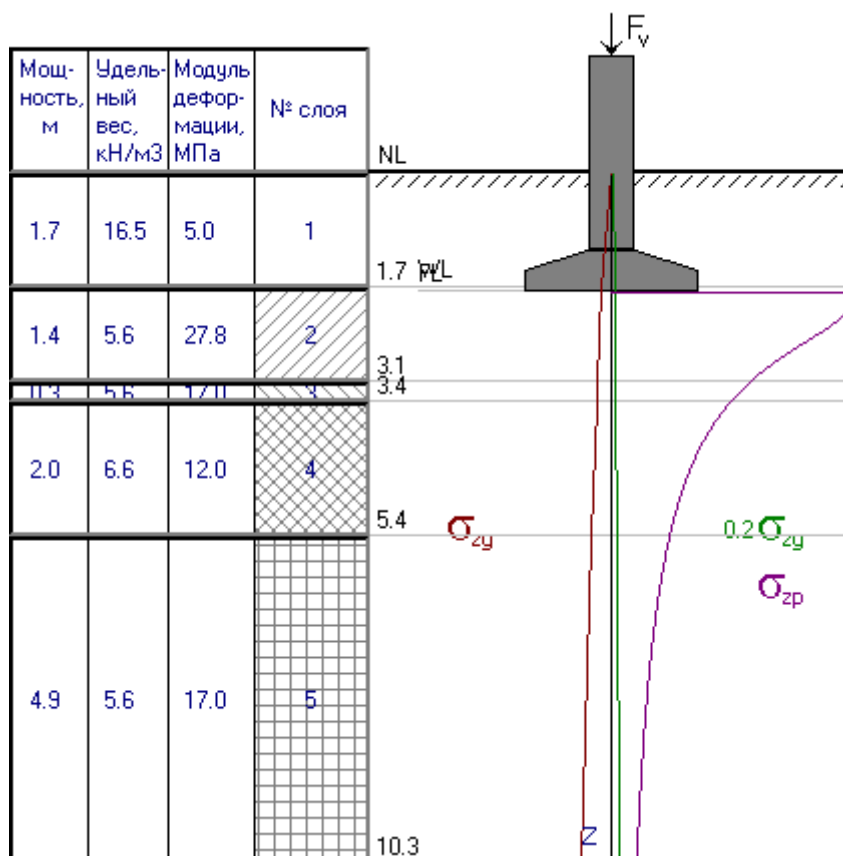


Рис. 1.17. Расчётная схема к определению осадки по методу послойного суммирования для ленточного фундамента на уплотнённом основании, после его дополнительного нагружения в результате реконструкции. Слой № 2 мощностью 1,42 м уплотнён выштампованными микросваями из условия – 3 сваи на 1 п.м. с расчётным осреднённым модулем деформации 27,8 мПа

Величина расчётной осадки для условий создания уплотнённого несущего слоя основания и дополнительного нагружения по результатам реконструкции, представлена в табличном исчислении (таблица 2) на рис. 1.18.

Таблица 2

z, м	h, м	σ_{zg} , кПа	$0.2\sigma_{zg}$, кПа	σ_{zp} , кПа	$\sigma_{zp, ср}$, кПа	E, кПа	S, см
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00		28.5	5.7	596.8		27800	
0.45	0.45	31.0	6.2	554.5	589.8	27800	0.758
0.89	0.45	33.5	6.7	440.0	499.1	27800	0.641
1.34	0.45	36.0	7.2	342.3	387.2	17000	0.498
	0.30				316.5		0.447

1.64		37.7	7.5	293.7		12000	
	0.50				261.6		0.872
2.14		41.0	8.2	235.3		12000	
	0.50				213.4		0.711
2.64		44.3	8.9	195.1		12000	
	0.50				179.6		0.599
3.14		47.6	9.5	166.2		12000	
	0.50				154.7		0.516
3.64		50.9	10.2	144.6		17000	
	0.54				135.0		0.346
4.18		53.9	10.8	126.5		17000	
	0.54				119.1		0.305
4.73		57.0	11.4	112.4		17000	
	0.54				106.5		0.273
5.27		60.1	12.0	101.1		17000	
	0.54				96.2		0.247
5.82		63.1	12.6	91.8		17000	
	0.54				87.8		0.225
6.36		66.2	13.2	84.1		17000	
	0.54				80.7		0.207
6.91		69.2	13.8	77.6		17000	
	0.54				74.7		0.191
7.45		72.3	14.5	72.0		17000	
	0.54				69.5		0.178
8.00		75.4	15.1	67.1		17000	
	0.54				64.9		0.166
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							
Мощность сжимаемой толщи: $H_c = 8.54\text{м}$							
Полная осадка: $S_1 = 7.18\text{см}$							
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							

Рис. 1.18. Результаты расчёта осадки ленточного фундамента по методу послойного суммирования на уплотнённом основании. Рассмотрены условия после его дополнительного нагружения вследствие реконструкции.

Как видно по результатам вычислений (таблица 2 на рис. 1.18), конечная или полная осадка фундамента на уплотнённом основании после реконструкции здания (дополнительного нагружения) составит $S_1 = 7,18$ см.

Сопоставляя результаты конечных (полных) осадок ленточного фундамента, полученных одним и тем же методом до реконструкции (естественное основание) и после реконструкции (уплотнённое основание и дополнительное нагружение), получим величину разности осадки или её прироста в размере:

$$\Delta S = S_1 - S = 7,18 - 5,97 = 1,2 \text{ см}$$

Полученная величина $\Delta S^* = 1,2$ см не превышает регламентаций нормативных документов [1], воспринимается жёсткостью надземных конструкций реконструируемого здания и потому вполне допустима.

* Если по результатам расчёта получится, что величина $\Delta S \leq 0$, то это соответствует условию, когда принятые меры по усилению основания по сравнению с увеличением нагрузки на фундамент являются более эффективными. Такое условие также удовлетворяет требованиям [1].

1.3. Использование конструктивного ряда вертикальных микросвай усиления основания

Как уже отмечалось ранее, конструктивные элементы усиления основания, выполненные в виде выштампованных микросвай, могут устраиваться в основании под подошвой фундамента под различными углами.

В случае выполнения вертикальных микросвай, созданный ряд свай усиления основания можно рассматривать как работу шпунтовой стенки (рис. 1.19).

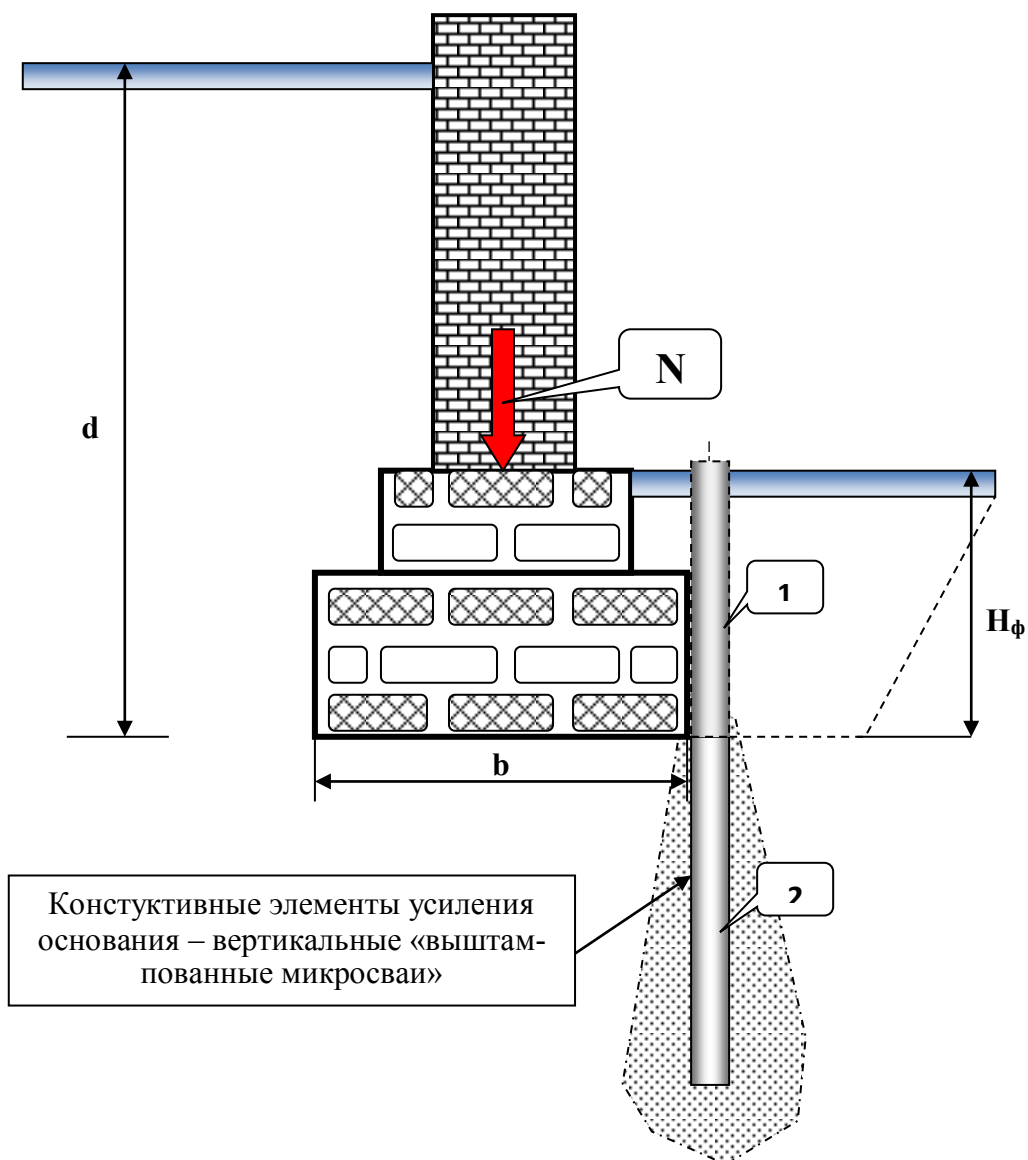


Рис. 1.19. Схема устройства конструктивных элементов усиления основания в виде вертикальных выштампованных микросвай. Рассмотрено условие для ленточного фундамента под наружную ось здания. Микросвай, как жесткие ж/б элементы могут устраиваться как с поверхности существующего подвала (1), так и из пионерной траншеи – с уровня подошвы фундамента (2).

Как видно из представленной схемы на рис. 1.19, вертикальные выштампованные микросваи – как элементы усиления основания, могут устраиваться и с отметки пола существующего подвала, и из пионерной траншеи – с отметки подошвы реконструируемого фундамента. Применение того или другого метода определяется технико-экономическими показателями и связано с особенностями с производством работ в стеснённых условиях подвальных помещений.

Если пробойник устанавливается с отметки пола подвала, то это связано с увеличением расчётной длины проходки, и ствол микросваи бетонируется, ниже отметки подошвы фундамента. В случае если выштампованная микросвая устраивается из пионерной траншеи – с уровня отметки подошвы фундамента, то требуются дополнительные затраты по устройству данной траншеи, однако уменьшаются расходы, связанные с сокращением длины проходки пневмопробойника при создании микросваи.

Выполненный, таким образом ряд микросвай конструктивного усиления основания, при определённых условиях позволяет рассматривать его как работу конструктивной шпунтовой стенки. Такие условия подробно рассмотрены в монографии [3], а также в статье [7].

В развитии выполненных исследований [3, 7], следует добавить, что оптимальный шаг вертикального свайного ряда (L), при котором выполненный ряд свай усиления основания начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка, может быть определён следующим выражением:

$$L = \frac{\sigma_{nac} \cdot \pi \cdot r + \xi \cdot \sigma_0 \cdot d}{\xi \cdot \sigma_0}; \quad (1.5)$$

где, σ_{nac} - пассивное давление в грунте, действующее на сваю из условия предельного состояния может быть определено из следующего выражения:

$$\sigma_{nac} = \gamma_{yn} \times (\ell - H) \times tg^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (1.6)$$

где H – величина возможного понижения пола подвала ниже головы сваи (до подошвы фундамента); ℓ - длина микросваи; γ_{yn} – удельный вес грунта вокруг сваи, с учётом его уплотнения в процессе изготовления микросваи, в первом приближении принято $\gamma_{yn} = 1,1 \cdot \gamma$; γ - удельный вес грунта; φ - угол внутреннего трения грунта;

σ_0 – максимальная величина вертикальных уплотняющих давлений под подошвой фундамента; ξ - коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя; r, d – соответственно радиус и диаметр изготавливаемой микросваи.

1.3.1. Пример использования программы Mathcad для расчёта оптимального расстояния между сваями в ряду

Решения (1.5) по определению оптимального шага вертикального свайного ряда (L), при котором выполненный ряд свай усиления основания начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка, как правило, выполняются в переменном виде в зависимости от выбранной длины микросвай.

Рассмотрим тестовый программный пример такого решения, выполненный в системе «Mathcad» и представленный на рис. 1.20.

Определение максимально возможного (оптимального) расстояния между микросваями L_c ,

при котором разряженный ряд микросвай усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка

Объект: Тестовый пример определения L_c в зависимости от длины микросвай

Условные обозначения:

γ - объёмный вес грунта основания ϕ - угол внутреннего трения грунта основания

H - величина возможного понижения пола подвала (м)

ξ - коэффициент бокового давления грунта d - диаметр микросвай (м)

σ_0 - давление под подошвой фундамента (кПа)

Исходные данные:

$$\gamma := 18 \text{ кН/м}^3 \quad \phi := 25^\circ \quad d := 0.2 \quad \xi := 0.3$$

$$H := (1.6 \ 1.8 \ 2.0 \ 2.2 \ 2.4) \quad H_c := 0 \quad \sigma_0 := 300 \quad r := \frac{d}{2}$$

Результаты расчёта:

$$\sigma_{\text{н}}(H) := 0.8 \cdot \gamma \cdot (H - H_c) \cdot \left[\tan \left[\frac{\pi}{180} \cdot \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \right]^2$$

$$\sigma_{\text{н}}(H) = (56.769 \ 63.865 \ 70.961 \ 78.057 \ 85.153)$$

$$L(H) := \frac{\sigma_{\text{н}}(H) \cdot \pi \cdot r + \xi \cdot \sigma_0 \cdot d}{\xi \cdot \sigma_0} \quad *$$

$$L(H) = (0.398 \ 0.423 \ 0.448 \ 0.472 \ 0.497) \quad L_c(H) := L(H) - d$$

$$L_c(H) = (0.198 \ 0.223 \ 0.248 \ 0.272 \ 0.297)$$

Рис. 1.20. Тестовый пример решения по определению оптимального расстояния между вертикальными микросваями (L_c) (формула 1.5) в зависимости от длины выполняемых микросвай (l).

Как видно из представленного решения (рис. 1.20), для конкретных грунтовых условий (γ , Φ , ξ) и нагруженного основания (σ_0), моделировалась работа микросвай длиной (l) 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4 м. В результате получены соответствующие решения по определению оптимального шага между осями свай $L_c(l)$ и расстояния между данными сваями в свету $L_c(l)$.

Для более наглядного представления полученных решений, приведён график рассчитанных величин зависимости шага микросвай $L_c(l)$ от их длины (l) (рис. 1.21).

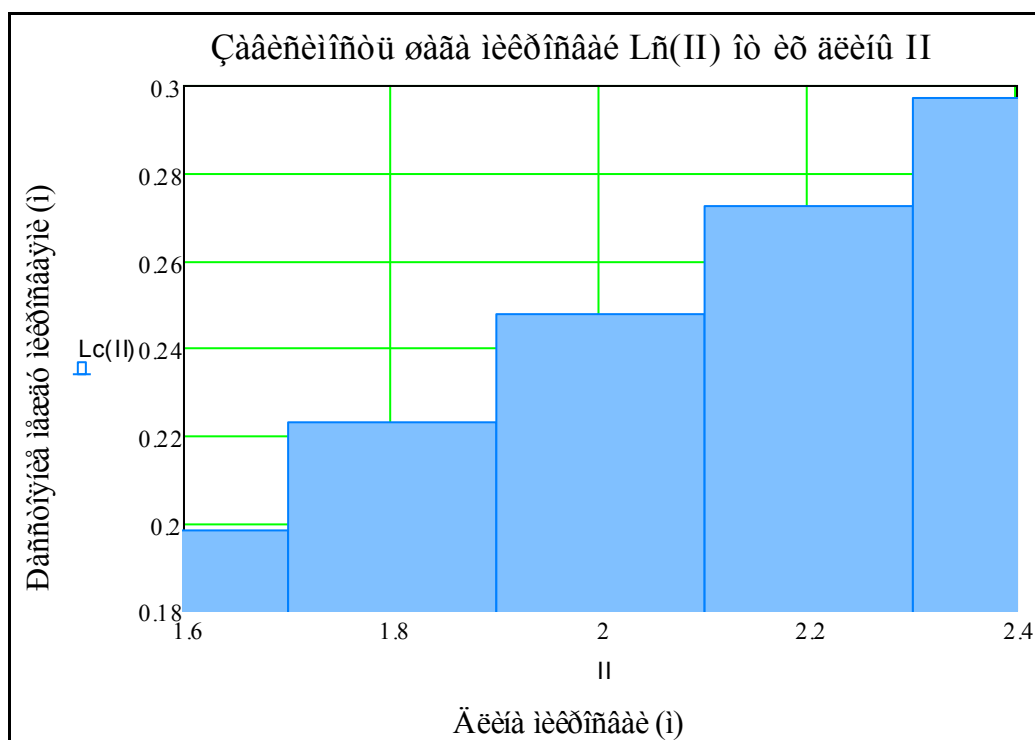


Рис. 1.21. Графическое представление результатов расчёта по формуле 1.5.

Как видно из представленных решений (рис. 1.20, 1.21), для микросвай длиной 1,6 м, для того чтобы свайный ряд работал, как конструктивная шпунтовая стенка необходимо выполнить их на расстоянии не более 0,4 м между осями или не более 0,2 м в свету.

Для микросвай длиной 2,4 м при выполнении тех же условий, необходимо выполнить их уже на расстоянии не более 0,5 м между осями или не более 0,3 м в свету.

Остальные решения имеют промежуточные значения, что не трудно видеть из результатов представленных расчётов (рис. 1.21).

Таким образом, конструктивные элементы усиления основания - выштампованные микросваи при вертикальном их выполнении вдоль боковых поверхностей ленточного фундамента, целесообразно выполнять с определённым (оптимальным) шагом (см. выше), что позволяет рассматривать их работу как конструктивной шпунтовой стенки. Окончательное решение в выборе длины и шага микросвай, для каждой конкретной задачи определяется на основе вариантных расчётов по результатам сравнения технико-экономических показателей.

Глава 2. Восстановление несущей способности основания при понижении отметки пола подвала

Часто реконструкция сооружений сопровождается понижением отметки пола существующего подвала, или увеличением глубины подвала, возможно создание новых подвальных помещений. Такие проектные решения (см. рис. 1) создают условия, изменяющие расчётную схему системы «фундамент-основание», что вызывает необходимость выполнения обязательной расчётной проверки по I предельному состоянию – несущей способности основания.

Для решения поставленных проектных задач для подвальных помещений реконструируемых зданий в ряде случаев используют конструктивный металлический шпунт. Обычно такой способ усиления основания требует выполнения вдоль подошвы фундамента шпунтового ряда, что создаёт повышенную несущую способность основания. Чаще всего, из-за малых габаритов подвальных помещений, используют в качестве шпунтин металлический прокат - швеллер длиной порядка до 3...3,5 м, вдавливая его в основание вдоль кромки подошвы усиливаемого фундамента. Минимально необходимая длина шпунта определяется на основе расчёта его устойчивости, который может быть выполнен в соответствии с ранее изложенной методикой [9].

Спроектированная по результатам расчёта конструктивная шпунтовая стенка в зависимости от геологических условий грунтового основания и давления под подошвой фундамента, позволяет повысить несущую способность основания и, таким образом, обеспечить условия расчёта основания по первому предельному состоянию.

2.1. Использование конструктивной шпунтовой стенки

Выполненный шпунтовый ряд усиления основания будет воспринимать распор в виде горизонтального давления от подошвы реконструируемого ленточного фундамента, и передавать его на окружающий грунт.

Создаваемая шпунтовая стенка может быть выполнена как сплошная конструкция, в этом случае шпунтины (отрезки швеллера) погружаются вплотную друг к другу, так и с разрывом – погружение шпунтин осуществляется с определённым шагом. В последнем случае, представляет интерес задача определения максимально возможного шага шпунтин, при котором создаваемая разряженная шпунтовая стенка продолжает работать как сплошная конструкция за счёт «арочного» эффекта, возникающего между соседними шпунтинами.

Условия работы разряженной шпунтовой стенки усиления основания могут быть рассмотрены исходя из следующих основных допущений (рис.2.1):

1. Отдельные шпунтины воспринимают горизонтальное давление от бокового отпора грунта (4) из-под подошвы нагруженного фундамента (направление главного напряжения).
2. Максимальное давление (активное) грунта на отдельную шпунтину возникает в момент предельного состояния.
3. Исходя из условия равновесия в момент предельного состояния, активному давлению грунта будет противодействовать пассивный отпор ($\sigma_{\text{пас}}$), приложенный на отдельную шпунтину со стороны грунта.
4. Согласно теории предельного равновесия связно-сыпучей среды сдвиговые деформации в области предельно напряженной среды всегда происходят по двум семействам поверхностей скольжения (3), располагающихся симметрично относительно направления главного напряжения.
5. Пассивный отпор ($\sigma_{\text{пас}}$), рассеиваясь в призме грунта, ограниченной поверхностями скольжения, будет передавать дополнительное уплотняющее давление ($\sigma_{\text{упл}}$) от одной шпунтины по площади, численно равной отрезку L – шагу погружённого разряженного шпунта.

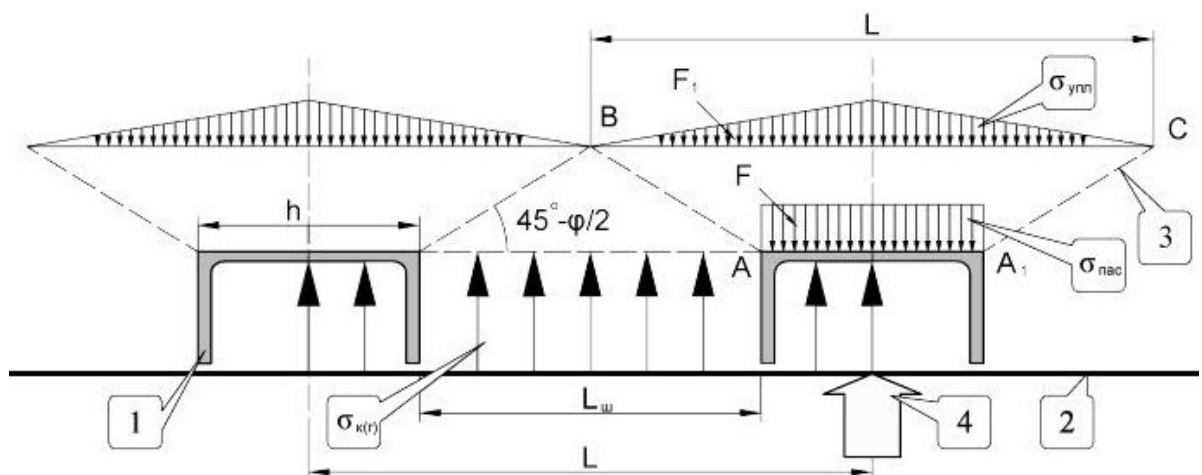


Рис. 2.1. Схема работы разряженного шпунта усиления основания на горизонтальную нагрузку в момент предельного состояния.

1- отдельная шпунтина 2 - грань подошвы ленточного фундамента. 3 – поверхности скольжения. 4 - горизонтальное давление от бокового отпора грунта из-под подошвы нагруженного фундамента, действующие на одну шпунтину (направление главного напряжения). $\sigma_{\text{пас}}$ - пассивный отпор, приложенный на поверхность шпунтины со стороны грунта. $\sigma_{\text{упл}}$ - дополнительное уплотняющее давление от одной шпунтины, действующие по площади, численно равной отрезку L – шагу погружённого разряженного шпунта.

$\sigma_{\text{к(г)}}$ – краевое горизонтальное давление от бокового отпора грунта из-под подошвы нагруженного фундамента, действующее в межшпунтовом пространстве по длине, численно равной отрезку L – шагу погружённого разряженного шпунта.

Исходя из принятых допущений, у каждой отдельной шпунтины усиления основания, в момент предельного состояния, со стороны грунта возникает пассивный отпор. Данный пассивный отпор ($\sigma_{\text{пас}}$), рассеиваясь в массиве грунта ограниченном поверхностями скольжения (AB и A₁C), будет передавать дополнительное уплотняющее давление ($\sigma_{\text{упл}}$) по площади (BC), численно равной отрезку L – шагу погружённого разряженного шпунта.

Дополнительное уплотняющее давление ($\sigma_{\text{упл}}$) будет противодействовать краевому горизонтальному давлению ($\sigma_{\text{к(г)}}$), возникающему под подошвой фундамента или боковому отпору грунта $E_a = \sigma_{\text{к(г)}} \cdot (L-h)$, действующему на отрезке $(L-h)$, где h – ширина полки шпунта (швеллера).

2.1.1. Основные условия расчёта

Исходя из выше изложенного, можно рассмотреть два условия:

$$E_a > \sigma_{\text{упл}} \cdot L \quad (2.1)$$

$$E_a \leq \sigma_{\text{упл}} \cdot L \quad (2.2)$$

В первом случае, выражение (2.1) соответствует условию, когда краевое горизонтальное давление от бокового отпора грунта из-под подошвы фундамента **превышает** среднюю величину горизонтальных давлений (сопротивлений) в массиве грунта, создаваемых шпунтинами. В момент предельного состояния, грунт в межшпунтовом пространстве, как бы «оптикает» отдельные шпунтины, или разряженные шпунтины работают отдельно (не зависимо) друг от друга.

Во втором случае, выражение (2.2) соответствует условию, когда краевое горизонтальное давление от бокового отпора грунта из-под подошвы фундамента **меньше или равно** средней величине горизонтальных давлений (сопротивлений) в массиве грунта, создаваемых шпунтинами. Тогда, в момент предельного состояния, в грунте - в межшпунтовом пространстве создаётся своего рода «арочный» эффект и разряженные или отдельные шпунтины начинают работать как единая конструктивная шпунтовая стенка.

Рассматривая условие равновесия в выражении 2.2, представляется возможным определить оптимальный шаг погружённого разряженного шпунта, при котором выполненные разряженные или отдельные шпунтины уси-

ния основания начинают работать как единая конструктивная шпунтовая стенка.

Введя дополнительные обозначения F – площадь полки шпунтины (швеллера), по которой возникает пассивный отпор, числом равная h – ширине полки шпунта (на единицу длины); F_1 – площадь участка (BC), воспринимающие дополнительное уплотняющее давление ($\sigma_{упл}$), числом равная отрезку L – шагу погружённого разряженного шпунта (на единицу длины), можно (см. рис.2.1) записать:

$$\sigma_{пас} \cdot F = \sigma_{упл} \cdot F_1 \quad (2.3)$$

Тогда:

$$\sigma_{упл} = (\sigma_{пас} \cdot F) / F_1 = (\sigma_{пас} \cdot h) / L \quad (2.4)$$

В первом приближении пассивное давление $\sigma_{пас}$ в грунте, действующее на отдельную (не раскреплённую) шпунтину при возможном повороте её относительно точки O , из условия предельного состояния, может быть определено из следующего выражения (рис. 2.2):

$$\sigma_{пас} = \gamma \times (\ell - H) \times \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.5)$$

где H – величина возможного понижения пола подвала ниже верхней отметки шпунта; ℓ – длина шпунтины; γ – удельный вес грунта; φ – угол внутреннего трения грунта.

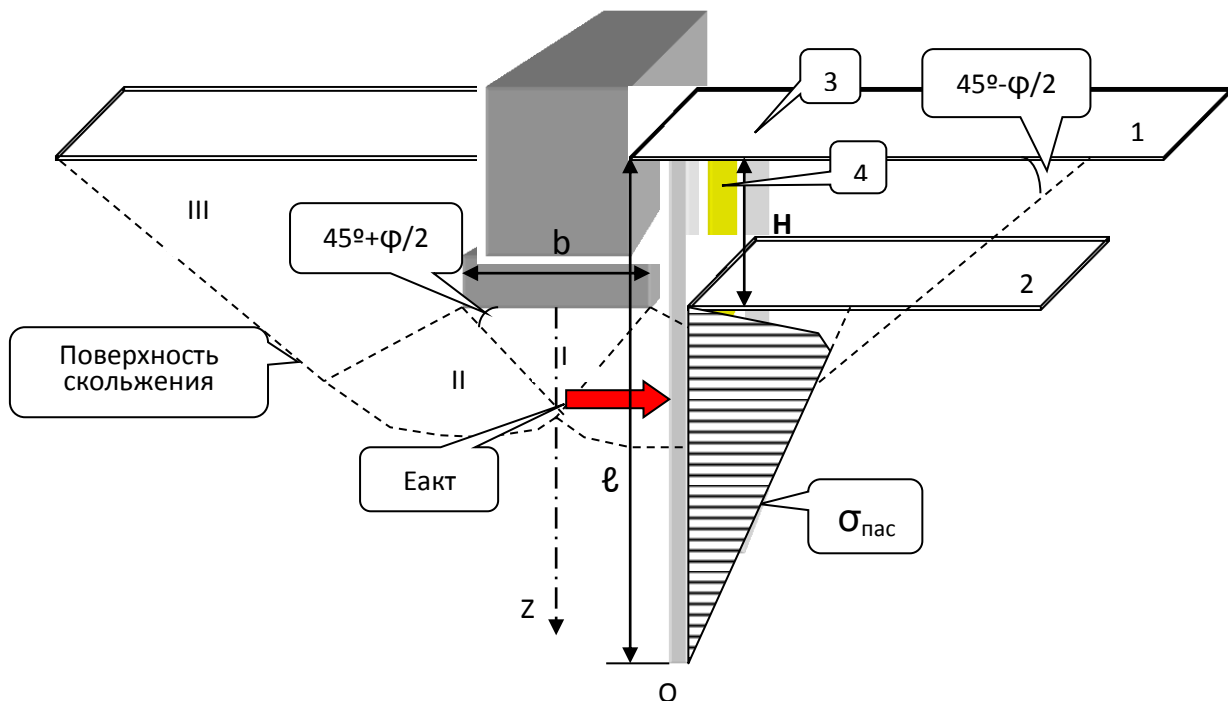


Рис. 2.2. Расчётная схема формирования предельного состояния от ленточного фундамента для основания усиленного конструктивным разряженным шпунтом.

I – зона переуплотнённого грунта в виде клина; II – зона развития пластических деформаций (сдвигов в условиях предельного состояния); III – зона с непрерывными поверхностями скольжения (формирование выпора).

1 – плоскость существующего пола подвала (до реконструкции); 2 – плоскость проектируемого подвала после его углубления; 3 – отдельные шпунтины (разряженный шпунт с шагом L ; 4 – укороченная забирка между шпунтинами для восприятия бокового давления грунта; Еакт – боковой распор грунта в момент его предельного состояния. H – величина возможного понижения пола подвала ниже верхней отметки шпунта; l – длина шпунтины.

Исходя из максимальных величин вертикальных уплотняющих давлений под подошвой фундамента (σ_0), можно определить краевое горизонтальное давление ($\sigma_{к(г)}$), возникающее под подошвой фундамента, в следующем виде:

$$\sigma_{к(г)} = \xi \cdot \sigma_0 \quad (2.6)$$

где ξ – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя, принимаемый для песков $\xi = 0,25 \dots 0,37$, для глинистых грунтов в зависимости от консистенции $\xi = 0,11 \dots 0,82$ [8].

2.1.2. Условие работы разряженного шпунта как единой конструктивной шпунтовой стенки. Решение уравнения

Подставляя полученные значения в выражение (2.2), получим уравнение, определяющие условие вычисления оптимального расстояния отдельных шпунтин ряда (шага шпунта), при котором выполненный разряженный ряд шпунта усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка:

$$\xi \cdot \sigma_0 (L - h) = \sigma_{nac} \cdot h \quad (2.7)$$

Полученное уравнение (2.7) решаем относительно неизвестной величины L – шага погружённого разряженного шпунта.

После преобразования (2.7) получим:

$$\xi \cdot \sigma_0 \cdot L = \sigma_{nac} \cdot h + \xi \cdot \sigma_0 \cdot h \quad (2.8)$$

Решение уравнения (2.8) может быть представлено в следующем виде:

$$L = \frac{\sigma_{nac} \cdot h + \xi \cdot \sigma_0 \cdot h}{\xi \cdot \sigma_0} \quad (2.9)$$

Таким образом, используя условия равновесия в выражении (2.2) получено решение (2.9) в определении L – максимального возможного шага погружённого разряженного шпунта, при котором выполненный разряженный

ряд шпунта усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка.

2.1.3. Примеры решения поставленной задачи

В качестве **примера 1**, рассмотрим воздействие степени нагружения основания (σ_0) на изменение (L) максимального возможного шага погружённого разряженного шпунта, при следующих исходных данных:

- грунт основания мелкий песок со следующими характеристиками: $\varphi = 24^\circ$; $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$; $\xi = 0,3$.
- Шпунт – металлический швеллер № 16 ($h=0,16 \text{ м}$) имеет расчётную длину ($\ell-H$) = 2 м.

Из выражения (2.5) находим пассивное давление $\sigma_{\text{пас}}$ в грунте, действующее на отдельную (не раскреплённую) шпунтину при возможном повороте её относительно точки O , из условия предельного состояния, с введением понижающего коэффициента условия работы 0,8:

$$\sigma_{\text{пас}} = 0,8 \cdot \gamma \cdot (\ell - H) \cdot \text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) = 0,8 \cdot 18 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ + 24^\circ/2) = 68,3 \text{ кПа}$$

Используя выражение (2.9), определим максимально возможный шаг шпунтин (L), при котором выполненный разряженный ряд шпунта усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка, при давлении под подошвой фундамента $\sigma_0 = 200 \text{ кПа}$:

$$L = \frac{68,3 \cdot 0,16 + 0,3 \cdot 200 \cdot 0,16}{0,3 \cdot 200} = 0,34$$

Таким образом, получили шаг шпунта $L = 0,34 \text{ м}$. Тогда расстояние между отдельными шпунтинами (см. рис. 2.1) составит:

$$L_{\text{ш}} = L - h = 0,34 - 0,16 = 0,18 \text{ м}$$

Проведём подобные вычисления при $\sigma_0 = 300 \text{ кПа}$; 400 кПа ; 500 кПа и результаты вычислений представим в табличной форме (таблица 2.1):

Результаты вычислений по примеру 1

Таблица 2.1.

σ_0 (кПа)	200	300	400	500
$L_{\text{ш}}$ (м)	0,18	0,12	0,10	0,07

В качестве **примера 2**, рассмотрим ту же задачу, что и выше, но при более коротком шпунте:

- грунт основания мелкий песок со следующими характеристиками: $\varphi = 24^\circ$; $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$; $\xi = 0,3$.

- Шпунт – металлический швеллер № 16 ($h=0,16$ м) имеет расчётную длину ($l-H$) =1,5 м.

Проведём рассмотренные выше вычисления при $\sigma_0=200$ кПа; 300 кПа; 400 кПа; 500 кПа и результаты вычислений представим в табличной форме (таблица 2.2):

Результаты вычислений по примеру 2

Таблица 2.2

σ_0 (кПа)	200	300	400	500
$L_{ш}$ (м)	0,14	0,09	0,07	0,05

Для более наглядного представления результатов расчёта по примеру 1 и 2, данные вычисления изобразим в виде графика $L_{ш}=L_{ш}(\sigma_0)$ на рис. 2.3.

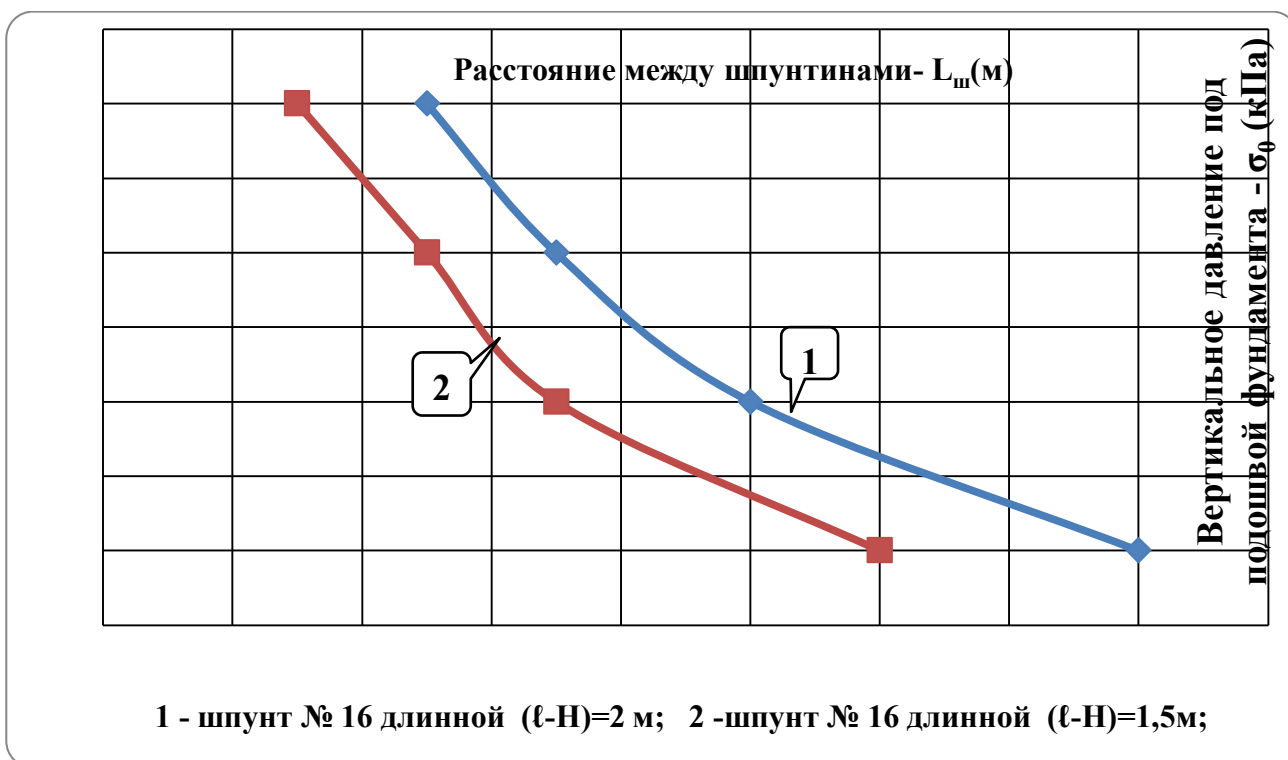


Рис. 2.3. Графическое представление результатов расчёта (пример 1, 2) в определении $L_{ш}$ – максимального возможного расстояния между шпунтинами, при котором выполненный разряженный ряд шпунта усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка в зависимости от вертикального давления под подошвой ленточного фундамента.

Из результатов расчёта, представленных на рис. 2.3 видно, что максимального возможный шаг погружённого разряженного шпунта (или расстояние между шпунтинами), при котором выполненный разряженный ряд шпунта усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка, зависит как от свойств грунта (φ , γ , ξ), так и от вертикального давления (σ_0) под подошвой фундамента.

2.1.4. Пример использования программы Mathcad для расчёта оптимального расстояния между шпунтинами в ряду

Решения по определению максимально возможного шага шпунтин, при котором создаваемая разряженная шпунтовая стенка продолжает работать как сплошная конструкция за счёт «арочного» эффекта, возникающего между соседними шпунтинами, как правило, выполняются в варибельном виде в зависимости от выбранной длины шпунта.

Рассмотрим тестовый программный пример такого решения, выполненный в системе «Mathcad» и представленный на рис. 2.4.

Определение максимально возможного расстояния между шпунтинами $L_{ш}$,

при котором разряженный ряд шпунта усиления основания начинает работать как единая конструктивная шпунтовая стенка

Объект: ул. Шпалерная 34, лит. Б, сеч 2-2

Условные обозначения:

γ - объёмный вес грунта основания ϕ - угол внутреннего трения грунта основания

II – äëèà ðíóáà (ì) H - величина возможного понижения пола подвала (м)

ξ - коэффициент бокового давления грунта h - размер полки шпунта (м)

σ_0 - давление под подошвой фундамента (кПа)

Исходные данные: $\gamma := 10 \text{ кН/м}^3$ $\phi := 28^\circ$ $h := 0.1\text{м}$ $\xi := 0.3$

$II := (2.9 \ 3.0 \ 3.1 \ 3.2 \ 3.3)$ $H := 0.8$ $\sigma_0 := 24\text{кПа}$

Результаты расчёта:

$$\sigma_{\text{àñ}}(II) := 0.8 \cdot \gamma \cdot (II - H) \cdot \left[\tan \left[\frac{\pi}{180} \cdot \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \right]^2$$

$$\sigma_{\text{àñ}}(II) = (46.533 \ 48.749 \ 50.965 \ 53.181 \ 55.397)$$

$$L_m(II) := \frac{\sigma_{\text{àñ}}(II) \cdot h + \xi \cdot \sigma_0 \cdot h}{\xi \cdot \sigma_0}$$

$$L_m(II) = (0.261 \ 0.266 \ 0.27 \ 0.275 \ 0.28)$$

$$L_{\phi}(II) := L_m(II) - h$$

$$L_{\phi}(II) = (0.101 \ 0.106 \ 0.11 \ 0.115 \ 0.12)$$

Рис. 2.4. Тестовый пример решения по определению оптимального расстояния между шпунтинами (L_m) (формула 2.9) в зависимости от длины погружаемого шпунта (II).

Как видно из представленного решения (рис. 2.4), для конкретных грунтовых условий (γ , Φ , ξ) и нагруженного основания (σ_0), моделировалась работа шпунта (швеллер № 16) длиной (II) 2,9; 3,0; 3,1; 3,2; 3,3 м. В результате получены соответствующие решения по определению оптимального шага между осями шпунта $L(m)$ и расстояния между данными шпунтинами в свету $Lш(II)$.

Для более наглядного представления полученных решений, приведён график рассчитанных величин зависимости шага шпунта $Lш(II)$ (расстояние между шпунтинами в свету) от его длины (II) (рис. 2.5).

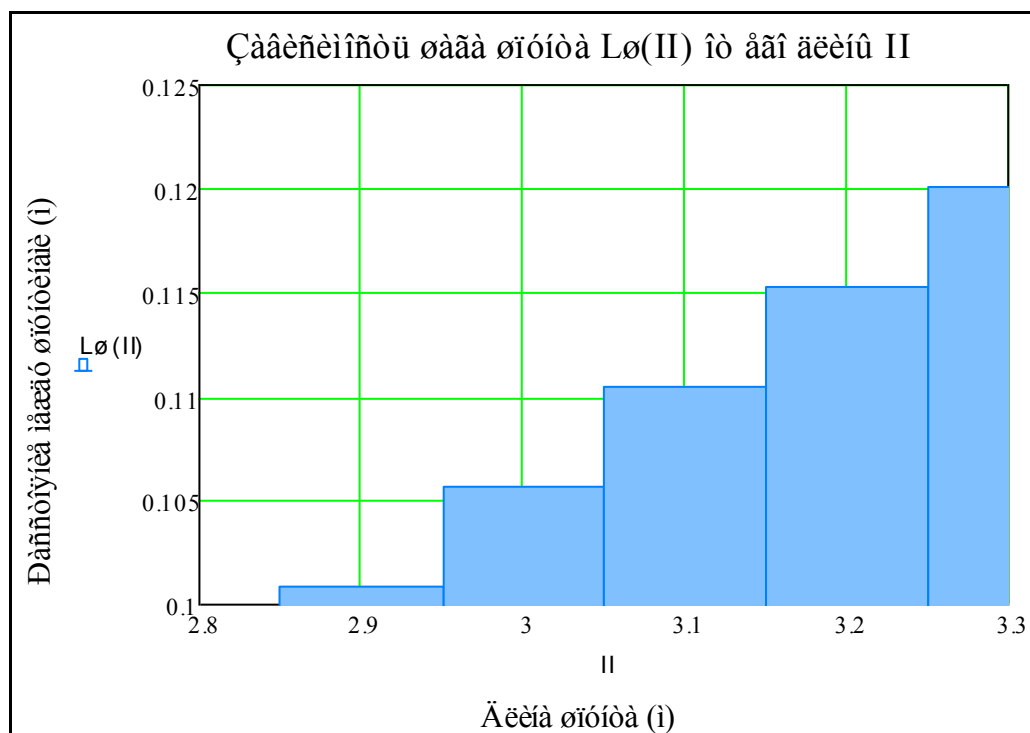


Рис. 2.5. Графическое представление результатов расчёта по формуле 2.9.

Как видно из представленных решений (рис. 2.4, 2.5), для шпунта длиной 2,9 м, для того чтобы шпунтовой ряд работал, как единая конструктивная шпунтовая стенка необходимо установить отдельные шпунтины на расстоянии не более 0,26 м между осями или не более 0,1 м в свету.

Для шпунтин длиной 3,3 м при выполнении тех же условий, необходимо расставить их уже на расстоянии не более 0,28 м между осями или не более 0,12 м в свету.

Остальные решения имеют промежуточные значения, что не трудно видеть из результатов представленных расчётов (рис. 2.5).

Таким образом, при выполнении вдоль боковых поверхностей подошвы ленточного фундамента конструктивного шпунтового ряда, целесообразно выполнять погружение шпунтин с определённым (оптимальным) шагом (см.

выше), что позволяет рассматривать их работу как единой конструктивной шпунтовой стенки.

Необходимо отметить, что в проектом решении, в производственных целях для обеспечения устойчивости верхнего слоя грунта при его выборки, следует предусматривать устройство «забирки» (рис. 2.2). Такая конструкция, выполняемая из листового железа и расположенная за шпунтинами, позволяет удержать стенку разрабатываемого котлована при производстве работ в вертикальном положении.

Представленное решение по устройству разряженной конструктивной шпунтовой стенки, позволяет получить наиболее экономичное проектное решение на основе выполненных расчётов а, следовательно, существенно снижает расход металла, идущего на выполнение шпунта.

2.2. Конструктивное усиление основания использованием пригрузки

При реконструкции зданий часто возникает необходимость углубления существующих подвалов, используя подземное пространство для производственных целей. Следует учесть, что подобного рода работы требуют тщательного геотехнического обоснования, включающего, в том числе обследования состояния здания, фундаментов, оценку состояния гидроизоляции, установления геологических условий и т.д. Несомненно, эти работы должны выполняться специализированными фирмами, имеющими опыт выполнения подобного вида работ.

Необходимость углубления подвалов может возникнуть и при выполнении реконструктивных работ, связанных с устройством пристроек.

Любое углубление отметки пола существующего подвала неизбежно связано с изменением расчетной схемы для системы «фундамент – основание». Чаще всего в подобных случаях не выполняются условия расчета по первому предельному состоянию или по устойчивости оснований.

В этом случае необходимо внесение конструктивных изменений в расчетную схему и выполнение контрольных проверочных расчетов.

Рассмотрим, к примеру, современный объект, где торгово-бытовые помещения представляют собой двухэтажное сооружение с подвалом, которое по нескольким осям вплотную примыкают к возводимому многоэтажному дому. Фундаменты здания сборные железобетонные с глубиной заложения 2,2 м от планировочной отметки и 0,88 м от пола подвала.

Относительная отметка уровня пола подвала -2,65 м (для помещений, примыкающих к осям жилого дома). Относительная отметка низа перекрытия над подвалом -0,85 м.

Таким образом, в проектом решении высота подвала составляет:

$2,65 - 0,85 = 1,8$ м, (см. рис. 2.6) что не удовлетворяет Заказчика.

Была поставлена задача по углублению пола подвала, таким образом, чтоб высота подвала составляла 2,4 м. Данное решение может быть реализовано только углублением пола на 0,6 м, т.е. относительная отметка пола подвала должна составлять -3,25 м. Изменение глубины заложения пола подвала приведет к изменению расчетной схемы работы фундаментов и основания.

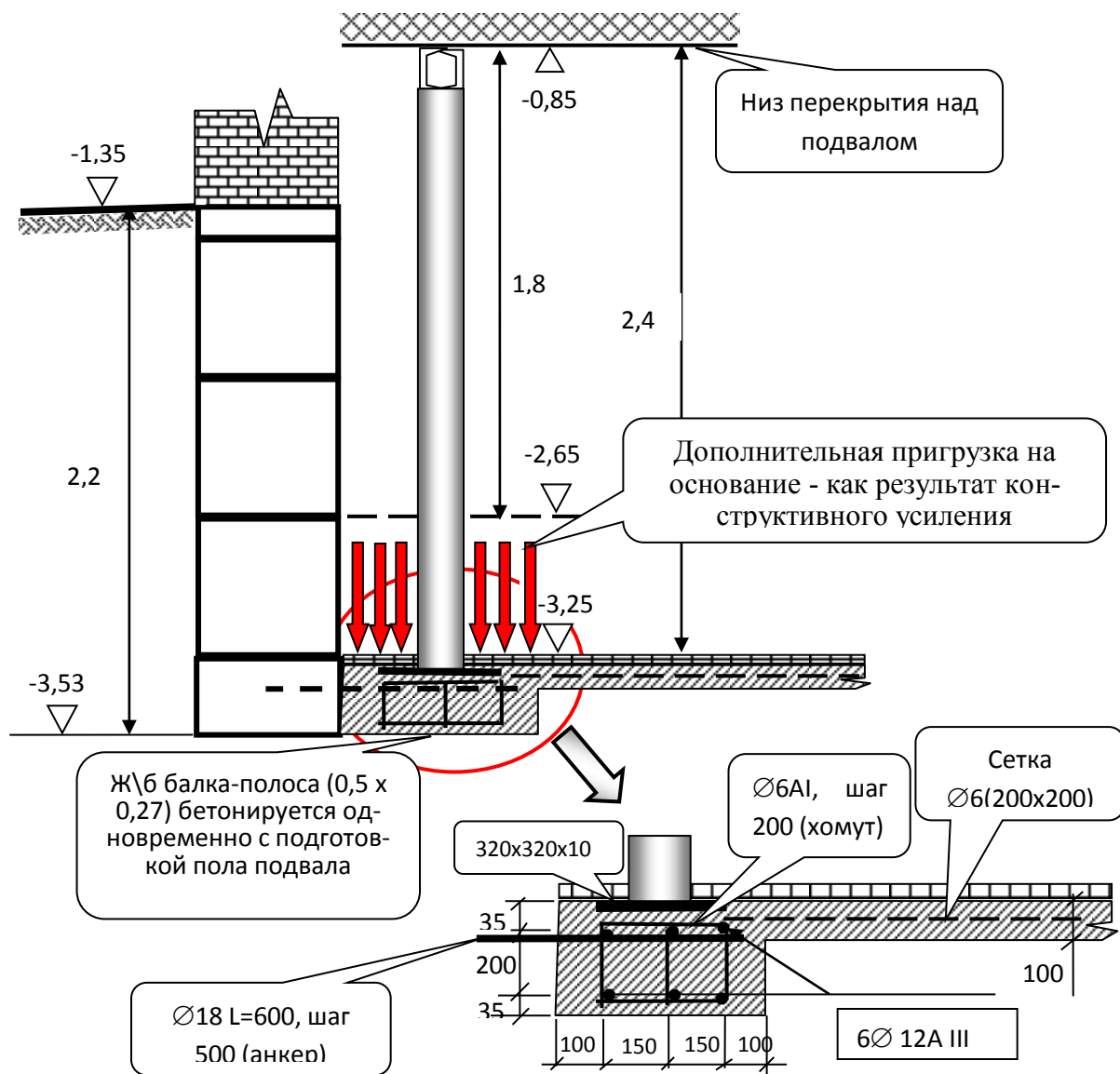


Рис. 2.6. Схема принципиального конструктивного усиления основания пригрузкой (с использованием металлических стоек) при углублении подвала (по условиям рассматриваемого примера)

Выполнение расчетов фундаментов здания пристроенного магазина, с учетом понижения отметки уровня пола подвала, т.е. изменения расчетной

схемы, было выполнено по программному комплексу <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx> (расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания), позволяющему рассчитывать фундаменты с учетом двух предельных состояний (рис. 2.7).

Представленные результаты расчёта (версия для печати) на рис. 2.7 по рассматриваемому примеру в сечении 3-3 показывают, что углубление подвала для данных геологических условий и конструктивных особенностей здания не отвечают требованиям условий расчёта по первому предельному состоянию.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	Торгово-бытовые помещения в пристройке к многоквартирному дому (углубление подвала в сечении 3-3)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича с армированием или железобетонными поясами

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Наружная
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	2,20
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,20
Ширина подошвы фундамента, м:	0,60

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	1,90
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	122,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M _в , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H	Наиме-	Тип грунта	γ	φ	C	e	W	I _L	E	μ	Источник
---	---	--------	------------	---	---	---	---	---	----------------	---	---	----------

	м	нование		кН/м ³	°	кПа						данных
1	1	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16	17	2	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	7	Супесь	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	20	24	13	0,77	0,4	0,25	10000	0,3	Таблица
3	9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	17,1	26	2	0,75	-	-	11000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_{1r} , кН/м ³	γ_{2r} , кН/м ³	ϕ_{1r} , °	ϕ_{2r} , °	c_{1r} , кПа	c_{2r} , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,00	14,55	16,00	15,45	17,00	1,33	2,00	1,25	1,16	1,10
2	1,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
3	6,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
4	9,00	8,83	9,71	23,64	26,00	1,33	2,00	1,10	1,16	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	16,53
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	18,18
Приведённая глубина заложения фундамента d_{1r} , м:	0,34

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	264,74
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	256,05
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	153,63
Минимальное давление под подошвой фундамента $P_{min,r}$, кПа:	120,24
Среднее давление под подошвой фундамента $P_{ср,r}$, кПа:	240,73
Максимальное давление под подошвой фундамента $P_{max,r}$, кПа:	361,22
Осадка фундамента S , см:	-
Коэффициент надёжности:	0,96

- Не выполнено условие первого предельного состояния (Коэффициент надёжности < 1). Устойчивость фундамента не обеспечена.

Рис. 2.7. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати). Пример выполнен по интернетовской программе BRNL (расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания), (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента в сеч. 3-3 при углублении подвала на 60 см.

Представленное решение (рис. 2.7.) с коэффициентом надёжности 0,96 < 1 свидетельствует о том, что устойчивость фундамента (в сеч. 3-3-) в данном случае не обеспечена. Необходимо выполнение конструктивных мер усиления основания с использованием пригрузки (рис. 2.6.).

Подобные расчёты, представленные (версия для печати) на рис. 2.8 по рассматриваемому примеру в сечении 13-13 также показывают, что углубление подвала для данных геологических условий и конструктивных особенностей здания не отвечают требованиям условий расчёта по первому предельному состоянию.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	Торгово-бытовые помещения в пристройке к многоквартирному дому (углубление подвала в сечении 13-13 без усиления)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича с армированием или железобетонными поясами

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Наружная
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	2,20
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,20
Ширина подошвы фундамента, м:	0,80

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	1,90
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N , кН:	185,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q_B , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M_B , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	Φ , °	C , кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
1	1	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16	17	2	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	7	Супесь	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	20	24	13	0,77	0,4	0,25	10000	0,3	Таблица
3	9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	17,1	26	2	0,75	-	-	11000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_{1r} , кН/м ³	γ_{2r} , кН/м ³	Φ_{1r} , °	Φ_{2r} , °	C_{1r} , кПа	C_{2r} , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,00	14,55	16,00	15,45	17,00	1,33	2,00	1,25	1,16	1,10
2	1,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
3	6,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
4	9,00	8,83	9,71	23,64	26,00	1,33	2,00	1,10	1,16	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	16,53
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	18,18
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	0,34

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	268,27
---	--------

Предельное давление (несущая способность) грунта основания $P_{пр}$, кПа:	286,84
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	229,47
Минимальное давление под подошвой фундамента $P_{мин}$, кПа:	200,87
Среднее давление под подошвой фундамента $P_{ср.}$, кПа:	268,65
Максимальное давление под подошвой фундамента $P_{мах.}$, кПа:	336,43
Осадка фундамента S , см:	-
Коэффициент надёжности:	0,96

- Не выполнено условие первого предельного состояния (Коэффициент надёжности < 1). Устойчивость фундамента не обеспечена.

Рис. 2.8. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати). Пример выполнен по интернетовской программе BRNL (расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания), (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента в сеч. 13-13 при углублении подвала на 60 см.

Представленное решение (рис. 2.8.) с коэффициентом надёжности 0,96 < 1 свидетельствует о том, что устойчивость фундамента (сеч. 13-13) в данном случае также не обеспечена. Необходимо выполнение конструктивных мер усиления основания с использованием пригрузки (рис. 2.6.).

Таким образом, условие понижения уровня пола подвала в рассматриваемом примере для расчетных сечений 3-3 и 13-13 не обеспечивает устойчивости (не выполнение условий расчета по первому предельному состоянию). *Необходимо выполнить расчет с учетом усиления, повышающего несущую способность основания.*

Такое условие может быть осуществлено путём устройства дополнительной пригрузки со стороны пола подвала на основание в виде железобетонной (ж/б) полосы - балки.

Для того чтобы пригрузка от ж/б полосы-балки сечением ($b \times d_1$) 0,5 x 0,27 м (по данным рассматриваемого примера) давала необходимый эффект, ее необходимо закрепить неподвижно металлическими стойками (кирпичными пилонами), упирающимися в ж/б перекрытие над подвалом (рис. 2.6, 2.9). Данные стойки, являясь опорами для железобетонной неразрезной балки, создают условия работы для этой конструкции, эквивалентные работе слоя бетона (эквивалентная пригрузка).

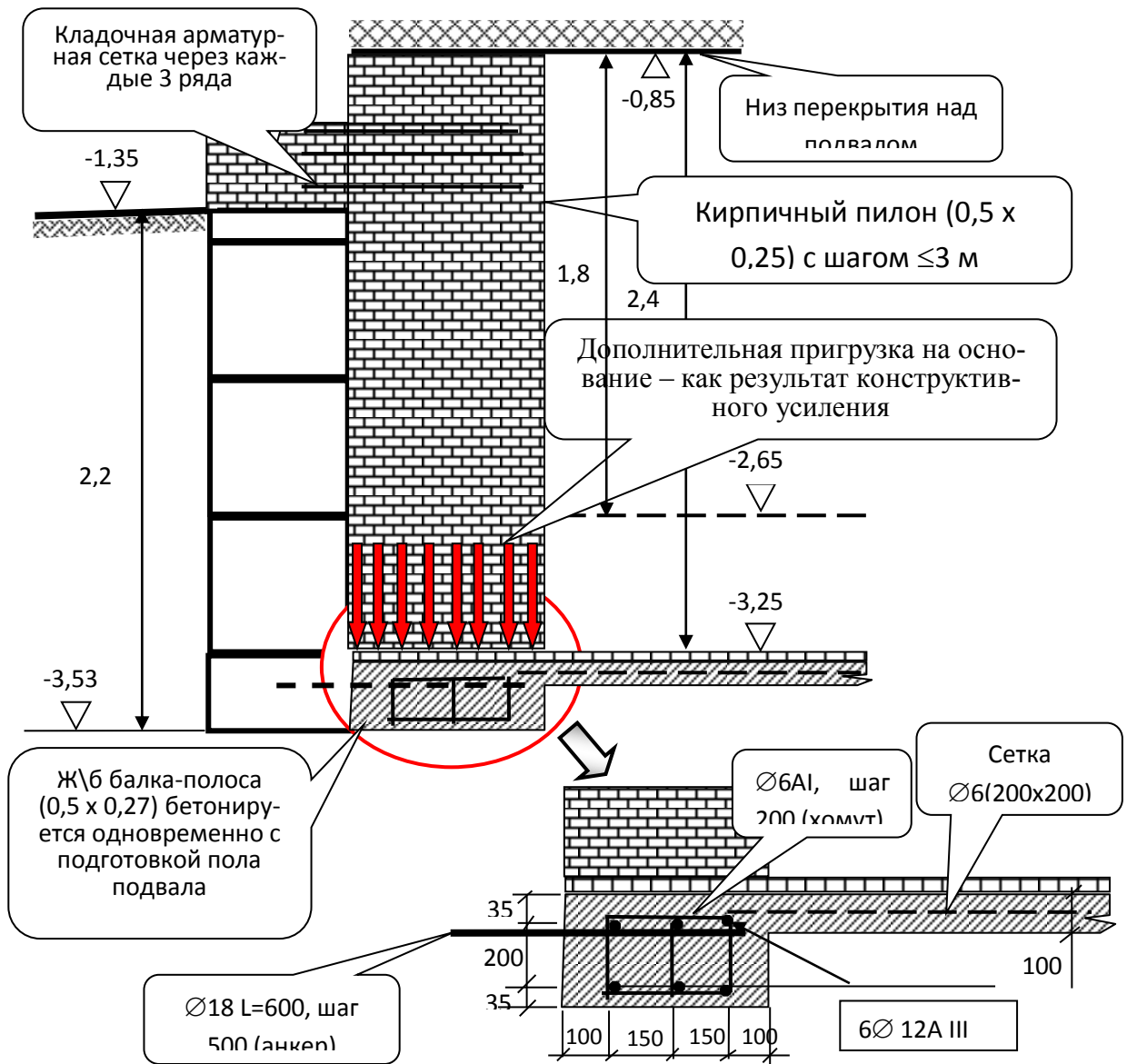


Рис. 2.9. Схема принципиального конструктивного усиления основания пригрузкой (с использованием кирпичных пилонов) при углублении подвала (по условиям рассматриваемого примера)

В результате, созданная эквивалентная пригрузка на основание со стороны подвала (рис. 2.8, 2.9), приведёт к увеличению приведённой глубины заложения подошвы существующего фундамента и изменит расчётную глубину подвала.

Величина дополнительной пригрузки, найденная из условия работы грунтового основания в предельном состоянии для фундаментов с наименьшей шириной подошвы, в первом приближении может быть принята 20 кН/м. Данная пригрузка должна восприниматься конструкцией ж/б перекрытия над подвалом, заделанного в наружные стены.

Тогда, при величине $q = 20 \text{ кН/м}$ получим приведенную толщину бетонного слоя для $\gamma = 22 \text{ кН/м}^3$:

$$h_{\text{пр}} = 20/22 = 0,9 \text{ м}$$

Следовательно, работа ж/б балки-полосы, с опорами в виде металлических стоек или кирпичных пилонов, будет эквивалентна работе слоя бетона толщиной 0,9 м. Тогда в расчетной схеме глубина подвала может быть уменьшена на 0,9 м и составит:

$$H_{\text{п}} = 1,9 - 0,9 = 1,0 \text{ м}$$

Учёт этих конструктивных изменений, в программном решении для условий рассматриваемого примера, представлен в распечатках на рис. 2,10, 2,11.

Измененные расчетные условия вводим в исходные данные и решаем задачу заново (см. распечатку программного решения для конструктивно усиленных сечений фундамента 3-3(усилен.), 13-13(усилен.)) (рис. 2,10, 2,11.).



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	Торгово-бытовые помещения в пристройке к многоквартирному дому (углубление подвала в сечении 3-3 с конструктивным усилением)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича с армированием или железобетонными поясами

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Наружная
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	2,20
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,20
Ширина подошвы фундамента, м:	0,60

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	1,00
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	122,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M _в , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ, кН/м ³	φ, °	C, кПа	e	W	I _L	E	μ	Источник данных
1	1	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16	17	2	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	7	Супесь	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	20	24	13	0,77	0,4	0,25	10000	0,3	Таблица
3	9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	17,1	26	2	0,75	-	-	11000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ ₁ , кН/м ³	γ ₂ , кН/м ³	φ ₁ , °	φ ₂ , °	C ₁ , кПа	C ₂ , кПа	γ _{c1}	γ _{c2}	K
1	1,00	14,55	16,00	15,45	17,00	1,33	2,00	1,25	1,16	1,10
2	1,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
3	6,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
4	9,00	8,83	9,71	23,64	26,00	1,33	2,00	1,10	1,16	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	16,53
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	18,18
Приведённая глубина заложения фундамента d ₁ , м:	1,24

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R, кПа:	284,83
--	--------

Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	455,37
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	273,22
Минимальное давление под подошвой фундамента $R_{мин}$, кПа:	206,32
Среднее давление под подошвой фундамента $R_{ср.}$, кПа:	240,73
Максимальное давление под подошвой фундамента $R_{мах.}$, кПа:	275,15
Осадка фундамента S , см:	2,79
Коэффициент надёжности:	1,70

Рис. 2.10. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати). Пример выполнен по интернетовской программе BRNL (расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания), (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента в сеч. 3-3 с конструктивным усилением при углублении подвала на 60 см.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	Торгово-бытовые помещения в пристройке к многоэтажному дому (углубление подвала в сечении 13-13 с конструктивным усилением)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича с армированием или железобетонными поясами

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Наружная
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	2,20
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,20
Ширина подошвы фундамента, м:	0,80

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	1,00
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N , кН:	185,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q_B , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M_B , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	Φ , °	C, кПа	e	W	I _L	E	μ	Источник данных
1	1	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16	17	2	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	7	Супесь	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	20	24	13	0,77	0,4	0,25	10000	0,3	Таблица
3	9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	17,1	26	2	0,75	-	-	11000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_1 , кН/м ³	γ_2 , кН/м ³	Φ_1 , °	Φ_2 , °	C ₁ , кПа	C ₂ , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,00	14,55	16,00	15,45	17,00	1,33	2,00	1,25	1,16	1,10
2	1,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
3	6,00	18,18	20,00	20,87	24,00	8,67	13,00	1,25	1,08	1,10
4	9,00	8,83	9,71	23,64	26,00	1,33	2,00	1,10	1,16	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	16,53
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	18,18
Приведённая глубина заложения фундамента d ₁ , м:	1,24

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R, кПа:	288,35
Предельное давление (несущая способность) грунта основания R _{пр} , кПа:	516,49
Предельная нагрузка на фундамент N _{пр} , кН:	413,19
Минимальное давление под подошвой фундамента R _{мин} , кПа:	249,29
Среднее давление под подошвой фундамента R _{ср.} , кПа:	268,65
Максимальное давление под подошвой фундамента R _{макс} , кПа:	288,01

Осадка фундамента S, см:	4,15
Коэффициент надёжности:	1,73

Рис. 2.11. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати). Пример выполнен по интернетовской программе BRNL (расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания), (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента в сеч. 13-13 с конструктивным усилением при углублении подвала на 60 см.

Полученные решения (рис. 2.10, 2.11) позволяют рассматривать данные расчетные сечения фундаментов как надежные конструкции, отвечающие необходимым требованиям СНиП [4].

Таким образом, для рассмотренных расчетных сечений фундаментов 3-3, 13-13 и др., расположенных вдоль основных наружных стен подвала, необходимо выполнить пригрузку основания в виде устройства ж/б балки-полосы сечением ($b \times d_1$) 0,5 x 0,27 м. Данная балка-полоса с опорами в виде металлических колон или кирпичных пилонов, упирающихся в ж/б перекрытие над подвалом, будет работать как неразрезная конструкция.

Следует подчеркнуть, что в представленных численных примерах рассмотрена конкретная геотехническая задача и намечены пути её решения. В общем же случае данная задача для различных геологических условий и конструктивных особенностей здания, решается индивидуально.

2.2.1. Технологические особенности выполнения пригрузки основания

Технологический процесс производства работ, по конструктивному усилению основания (по рассматриваемому примеру) при понижении отметки пола подвала до относительной отметки -3,25 м (углубление подвала на 0,6 м) для расчетных сечений фундаментов 3-3, 13-13 и др. (см. § 2.2) следует выполнять в определённой последовательности. Технологическая последовательность выполнения работ, в каждом расчётном случае может быть конкретизирована в зависимости от результатов индивидуального решения, однако, в общем случае, порядок выполнения работ может быть определён следующей последовательностью:

1. С внутренней стороны фундаментов (со стороны подвала) расчищается полоса шириной 0,5 м и производится установка на цементном растворе анкеров $\varnothing 18$ АIII длиной 600 мм с шагом 500 мм. Анкера устанавливаются в предварительно просверленные отверстия в фундаментных подушках на глубину не менее 200 мм.
2. Для создания ж/б балки-полосы размером 0,5 x 0,27 м производится установка арматурного каркаса с рабочей арматурой $6\varnothing 12$ АIII (по расчету) и хомутами $\varnothing 6$ АI с шагом 200 мм.

3. При бетонировании данной балки-полосы (В20) устанавливаются металлические трубы – стойки $\varnothing 100$ мм с шагом ≤ 3 м, опирающиеся на стальные пластины (320x320x10) – по низу и балку из 2 швеллеров № 16 – по верху, с распором в перекрытие над подвалом.
4. Бетонирование балки-полосы производить одновременно с устройством ж/б плиты пола подвала, армированного сеткой $\varnothing 6$ АІ с шагом ячейки 200 мм (рис.2.6).
5. Как вариант устройства опор для балки-полосы, вместо (вместе) металлических трубчатых столбов $\varnothing 100$ мм, могут быть использованы кирпичные пилоны (0,5 x 0,25) с шагом ≤ 3 м, выложенные в распор с перекрытием над подвалом. Для связи пилонов с кирпичной кладкой стен следует использовать металлическую сетку, с её установкой через каждые 3 ряда кладки (см. рис. 2.9). ее

2.3. Усиление основания с использованием выштампованных микросвай с различным углом наклона.

Очень часто в проектных решениях при реконструкции зданий предусматриваются работы, связанные с углублением существующих подвалов. Такие проектные решения должны сопровождаться необходимым расчётным обоснованием, поскольку углубление подвалов, прежде всего, связано с изменением расчётной схемы системы «основание-фундамент».

Понижение отметки пола подвала относительно существующего положения, или увеличение высоты подвальных помещений, приводит к уменьшению величины «пригрузки» для фундамента со стороны подвальных помещений. В этом случае, чаще всего, возникают условия возможности выпора грунта основания из-под подошвы фундамента, т.е. не соблюдения требований расчёта по I предельному состоянию (низкая несущая способность).

Для повышения несущей способности основания в таких случаях рекомендуется выполнение конструктивного усиления основания в виде устройства конструктивных элементов усиления – выштампованных микросвай.

Применение выштампованных микросвай позволяет воспринять существующий дефицит несущей способности, обеспечив, таким образом, условия расчёта по несущей способности основания (I предельному состоянию). Этот же способ усиления основания даёт возможность повысить модуль деформации уплотнённого основания и, следовательно, снизить развитие возможных дополнительных осадок фундамента (сооружения) до допустимых значений (соблюдение требований расчёта по II предельному состоянию).

Таким образом, на основе выше сказанного, очевидно, что при понижении отметки пола подвала возникает необходимость выполнять расчётные

обоснования с использованием вычислений, учитывающих работу системы «основание-фундамент» одновременно по двум предельным состояниям.

Примеры таких расчётных обоснований представлены ниже в распечатках программного решения на рис. 2.13, 2.14. Данные вычисления выполнены для одного из реконструируемых объектов г. Санкт-Петербурга (ул. Кировная д. 7). Схема проектного решения по изменению (понижению) отметки пола подвала с основными размерами одного из фундаментов по центральной оси здания, представлена на рис. 2.12.

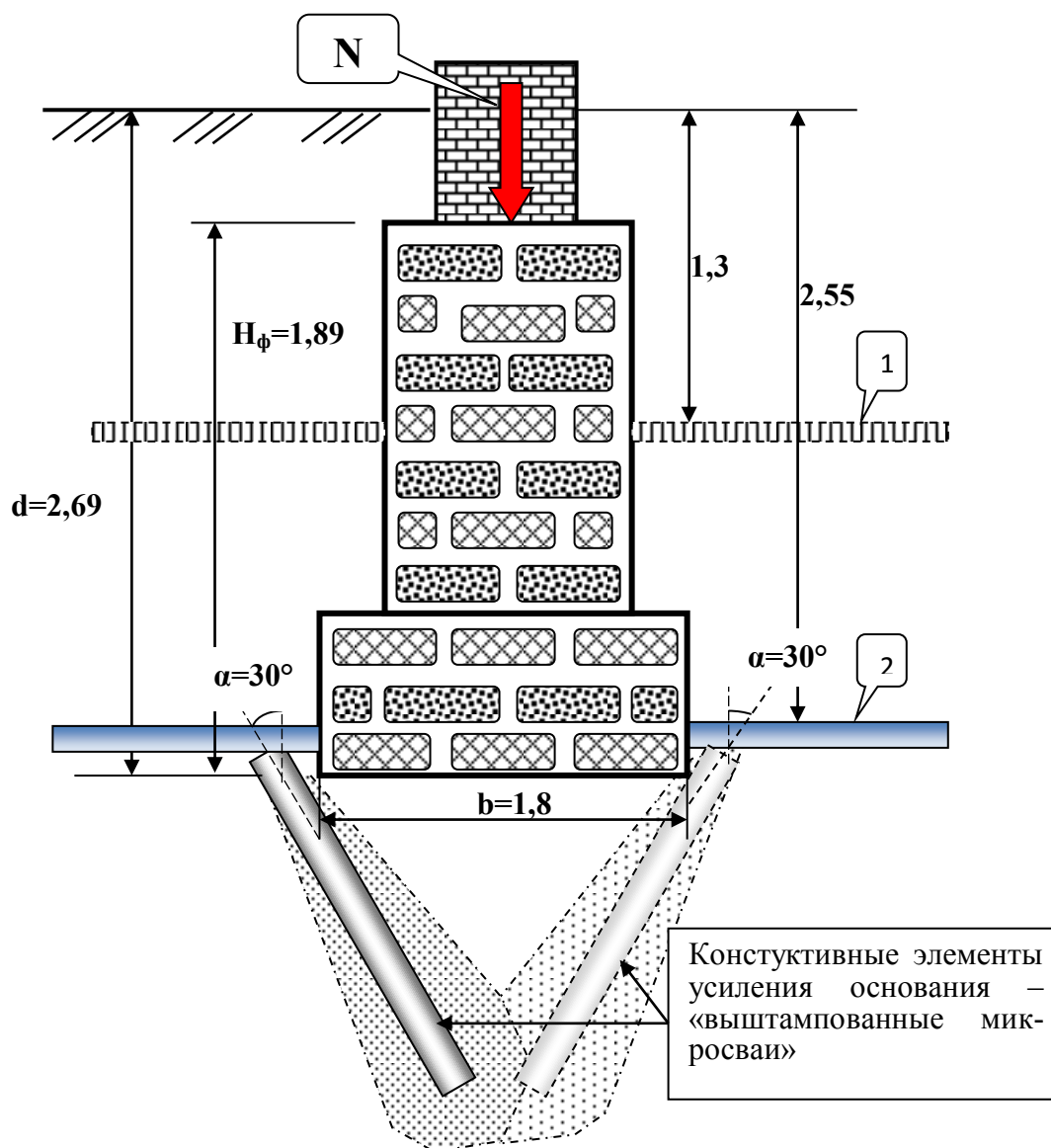


Рис. 2.12. Схема поперечного сечения фундамента реконструируемого здания для расчётного обоснования возможности понижения отметки пола существующего подвала, с конструктивными элементами усиления основания.

1 – положение пола подвала до реконструкции здания; 2 – положение пола подвала после реконструкции здания.

Из представленной схемы (рис. 2.12) видно, что для существующего подвала (1) расстояние от планировочной отметки до пола подвала составляет всего 1,3 м. По эксплуатационно-технологическим требованиям данная высота является недостаточной. Необходимо увеличение высоты подвала на 1,25 м, т.е. таким образом, чтобы расстояние от планировочной отметки до нового пола подвала (2) составляло 2,55 м.

Расчётное обоснование данных условий реконструкции выполним с использованием сайта: <http://www.buildcalc.ru>, по программе: <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>.

Первоначально выполним вычисления с конструктивными размерами фундамента (рис. 2.12) в положении отметки пола подвала до его реконструкции. В этом случае при вертикальной нагрузке в 386 кН и при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 1,3 м, получим решение, представленное на рис. 2.13.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б) (до углубления подвала)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Внутренняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	1,89
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,69
Ширина подошвы фундамента, м:	1,80

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	1,30
Толщина пола подвала, м:	0,10
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	386,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M _в , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ_1 , кН/м ³	ϕ_1 , °	c_1 , кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
1	1,7	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	4	Песок пылеватый	Пески пылеватые маловлажные и влажные	19,4	28	3	0,65	-	-	15000	0,3	Эксперимент
3	9	Суглинок	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	18,1	5	5	1,11	0,4	0,94	6000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_{1r} , кН/м ³	γ_{2r} , кН/м ³	ϕ_{1r} , °	ϕ_{2r} , °	c_{1r} , кПа	c_{2r} , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,70	15,00	16,50	12,73	14,00	0,00	0,00	1,25	1,16	1,10
2	0,30	17,64	19,40	25,45	28,00	2,00	3,00	1,25	1,16	1,00
3	3,70	9,37	10,30	25,45	28,00	2,00	3,00	1,25	1,16	1,00
4	9,00	16,45	18,10	4,35	5,00	3,33	5,00	1,00	1,00	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	13,85
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	15,23
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	1,43

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	327,92
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	555,97
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	1 000,74
Минимальное давление под подошвой фундамента R_{min} , кПа:	260,17
Среднее давление под подошвой фундамента $R_{ср.}$, кПа:	260,17
Максимальное давление под подошвой фундамента R_{max} , кПа:	260,17

Осадка фундамента S, см:	6,02
Коэффициент надёжности:	1,92

Рис. 2.13. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати), при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 1,3 м (до углубления подвала).

Как видно из представленных результатов расчёта (рис. 2.13), конструкция рассчитываемого фундамента до реконструкции или до выполнения работ по углублению подвала, вполне надёжна. В этом расчёте выполняются требования ТСН 50-302-2004 [1] как по I предельному состоянию (коэффициент надёжности $K_n=1,92>1$), так и по II предельному состоянию (рассчитанная осадка фундамента $S=6,02 \text{ см} < S_u^*$).

Проектируемая реконструкция подвала (его углубление см. на рис. 2.12) изменит расчётную схему работы системы «фундамент-основание», что отразится на результатах расчёта. В этом случае для рассматриваемого фундамента (центральная ось «Б») при существующей вертикальной нагрузке в 386 кН и при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 2,55 м, получим решение, представленное на рис. 2.14.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б) (проектное углубление)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Внутренняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	1,89
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,69
Ширина подошвы фундамента, м:	1,80

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	2,55
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

* S_u – предельная величина осадки для рассматриваемого типа сооружений

Вертикальная нагрузка N , кН:	386,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q_B , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M_B , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H , м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	ϕ , °	C , кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
1	1,7	Насыпной слой	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	-	-	5000	0,3	Таблица
2	4	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	28	3	0,65	-	-	15000	0,3	Эксперимент
3	9	Суглинок	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	18,1	5	5	1,11	0,4	0,94	6000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H , м	γ_{1r} , кН/м ³	γ_{2r} , кН/м ³	ϕ_{1r} , °	ϕ_{2r} , °	C_{1r} , кПа	C_{2r} , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,70	15,00	16,50	12,73	14,00	0,00	0,00	1,25	1,16	1,10
2	0,30	17,64	19,40	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
3	3,70	9,37	10,30	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
4	9,00	16,45	18,10	4,35	5,00	3,33	5,00	1,00	1,00	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	13,85
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	15,23
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	0,23

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	226,47
---	--------

Предельное давление (несущая способность) грунта основания $P_{пр}$, кПа:	173,45
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	312,21
Минимальное давление под подошвой фундамента P_{min} , кПа:	260,17
Среднее давление под подошвой фундамента $P_{ср.}$, кПа:	260,17
Максимальное давление под подошвой фундамента P_{max} , кПа:	260,17
Осадка фундамента S , см:	-
Коэффициент надёжности:	0,60

- Не выполнено условие первого предельного состояния (Коэффициент надёжности < 1). Устойчивость фундамента не обеспечена.

Рис. 2.14. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати), при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 2,55 м (проектное углубление подвала с расчётной нагрузкой 386 кН).

Как видно из представленных результатов расчёта (рис. 2.14), при неизменных грунтовых условиях, конструкция рассчитываемого фундамента после реконструкции или после выполнения работ по углублению подвала (проектное углубление подвала), становится не надёжной. В этом расчёте не выполняются требования ТСН 50-302-2004 [1] по I предельному состоянию (коэффициент надёжности $K_n=0,6<1$), т.е. устойчивость фундамента не обеспечена.

Следовательно, несущий слой основания, в данном случае это пылеватые водонасыщенные пески, для конструктивных условий заглублённого подвала, не могут воспринять существующую проектную вертикальную нагрузку в 386 кН. Тогда, ставится задача определения предельно-допустимой нагрузки на данный фундамент. Решение такой задачи может быть выполнено по выше приведённой методике расчёта, но при вводе измененных (уменьшенных) исходных данных по нагрузкам, последние постепенно снижаются до получения удовлетворительного решения с коэффициентом надёжности ≥ 1 .

В качестве примера, рассмотрим предыдущие условия расчёта (рис. 2.14), но со сниженной вертикальной нагрузкой до 198 кН. Данные решения представлены на рис. 2.15.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания
Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б) (проектное углубление)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Внутренняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	1,89
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,69
Ширина подошвы фундамента, м:	1,80

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	2,55
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	198,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M _в , кН*м:	0,00

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ _г , кН/м ³	φ _г , °	C _г , кПа	e	W	I _L	E	μ	Источник данных
1	1,7	Насыпной слой	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	-	-	5000	0,3	Таблица
2	4	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	28	3	0,65	-	-	15000	0,3	Эксперимент
3	9	Суглинок	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	18,1	5	5	1,11	0,4	0,94	6000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ _{1г} , кН/м ³	γ _{2г} , кН/м ³	φ _{1г} , °	φ _{2г} , °	C _{1г} , кПа	C _{2г} , кПа	γ _{с1}	γ _{с2}	K
1	1,70	15,00	16,50	12,73	14,00	0,00	0,00	1,25	1,16	1,10
2	0,30	17,64	19,40	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
3	3,70	9,37	10,30	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
4	9,00	16,45	18,10	4,35	5,00	3,33	5,00	1,00	1,00	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	13,85
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	15,23
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	0,23

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	226,47
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	173,45
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	312,21
Минимальное давление под подошвой фундамента R_{min} , кПа:	155,73
Среднее давление под подошвой фундамента $R_{ср.}$, кПа:	155,73
Максимальное давление под подошвой фундамента R_{max} , кПа:	155,73
Осадка фундамента S , см:	3,61
Коэффициент надёжности:	1,00

Рис. 2.15. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати), при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 2,55 м (проектное углубление подвала с предельно-допустимой нагрузкой 198 кН).

Как видно из представленных результатов расчёта (рис. 2.15), конструктивная система «фундамент-основание» при проектном углублении подвала, может удовлетворительно воспринять проектную вертикальную нагрузку лишь в 198 кН. В этом расчёте выполняются требования ТСН 50-302-2004 [1] как по I предельному состоянию (коэффициент надёжности $K_H=1$), так и по II предельному состоянию (расчитанная осадка фундамента $S=3,61 \text{ см} < S_u^*$).

Поскольку по результатам реконструкции (углубления подвала) на основание должна передаваться вертикальная нагрузка в размере 386 кН (рис. 2.14), а основание может воспринять лишь нагрузку в 198 кН (рис. 2.15), то существующий дефицит нагрузки ($386-198=188 \text{ кН}$) должен быть воспринят выштампованными микросваями – конструктивными элементами усиления основания. Схема такого принципиального конструктивного решения показана на рис. 2.12.

* S_u – предельная величина осадки для рассматриваемого типа сооружений

2.3.1. Пример использования программы Mathcad для расчёта необходимого количества микросвай усиления основания

Для определения необходимого количества конструктивных элементов - микросвай усиления основания, воспринимающих существующий дефицит нагрузки (188 кН – см. § 2.3), возникшей в результате проектируемого понижения пола подвала, воспользуемся методикой, изложенной в § 3.1[2].

Предварительно задаёмся размерами выштампованной микросвай (по условиям технологии её изготовления):

- Длина, $l = 2,0\text{м}$;
- Диаметр, $\varnothing = 220\text{мм}$;
- Угол наклона к вертикали, $\alpha = 30^\circ$

Микросвая будет расположена под углом наклона $\alpha = 30^\circ$ в основании, расчётные характеристики которого (с учётом I предельного состояния) определены в соответствии с таблицей «Данные по грунту» (рис.2.15).

Результаты данного решения с использованием программы (по ранее разработанной методике [2] (формула 2.14) (<http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>)), составленной в системе «Mathcad», представлены на рис. 2.16.

Представленное решение, разработанное в системе «Mathcad», следует считать универсальным инструментом, поскольку позволяет достаточно быстро определить необходимое число микросвай усиления основания, меняя исходные данные в зависимости от условий решаемой задачи.

Определение необходимого числа (n)

микросвай усиления основания в зависимости от дефицита несущей способности ($N_y - N$), свойств грунта и размеров выштампованной микросвай.

(Расчёт выполнен в соответствии с книгой Алексева С.И. "Осадки фундаментов при реконструкции зданий", СПб., ЦКС, 2009" (формула 2.14)
<http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>)

Объект: Реконструкция исторического здания Санкт-Петербурга, ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б)

γ - объёмный вес грунта основания ϕ - угол внутреннего трения грунта основания

l - радиус микросвай r - радиус микросвай α - угол наклона микросвай к вертикали

Исходные данные: $\gamma := 19.4 \text{ кН/м}^3$ $\phi := 28^\circ$

$l := 2 \text{ м}$ $\pi = 3.142$ $r := 0.1 \text{ м}$ $\alpha := 30^\circ$ $N := 198 \text{ кН}$ $N_y := 386 \text{ кН}$

Результаты расчёта:

$$E_n := 0.5 \cdot 1.11 \cdot \gamma \cdot l^2 \cdot \left[\tan \left[\frac{\pi}{180} \cdot \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \right]^2 \cdot \pi \cdot r = 37.476 \text{ кН}$$

$$n := \frac{(N_y - N)}{E_n \cdot \left[\cos \left[\left(\alpha \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right] + \sin \left[\left(\alpha \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right] \right]} = 3.672 \text{ шт}$$

Рис. 2.16. Пример программного решения по определению необходимого числа микросвай усиления основания (Mathcad) в зависимости от размеров микросвай, грунтовых условий и дефицита несущей способности усиливаемого основания.

Полученное решение по необходимому числу микросвай (рис. 2.16) округляем до целого, т.е. принимает $n=4$.

Таким образом, существующее основание (пылеватые пески насыщенные водой) для восприятия проектируемой вертикальной нагрузки $N=386$ кН/м от ленточного фундамента ($b=1,8$ м), при проектном понижении пола подвала (см. ранее), должно быть усилено на одном метре четырьмя наклонными, под углом 30° к вертикали, выштампованными микросваями (с расчётными характеристиками – см. выше).

Принципиальное решение по усилению основания для рассмотренного примера представлено на рис. 2.12. При этом в плане конструктивные элементы усиления основания – выштампованные микросвай должны располагаться в шахматном порядке с двух сторон подошвы фундамента, т.е. с шагом 0,3 м.

Следует подчеркнуть, что приведённый метод расчёта по определению необходимого числа конструктивных микросвай усиления основания, позволяет обоснованно, в зависимости от проектных (существующих) нагрузок, грунтовых условий, конструктивных условий углубления подвала, размеров фундаментов и геометрических размеров микросвай, выполнять расчёты с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых оснований.

Глава 3. Восстановление несущей способности основания при понижении отметки пола подвала и возможном уменьшении ширины подошвы фундамента

3.1. Постановка задачи

В ряде случаев реконструкции зданий возникают вопросы, связанные с необходимостью не только углубить существующий подвал, но с целью увеличения площадей вновь создаваемых подвальных помещений, выполнить подрезку краевых частей подошв существующих фундаментов. Выполнение подобного вида работ приводит к изменению расчётной схемы системы «фундамент-основание», а также вызывает увеличение напряжений под подошвой реконструируемых фундаментов. Вновь созданные искусственные изменения (вызванные, как правило, технологическими условиями) приводят к необходимости выполнения тщательного расчётного обоснования.

Такие расчётные обоснования, учитывающие работу основания с учётом двух предельных состояний, могут быть выполнены с использованием интернет сайта автора <http://www.buildcalc.ru> по программе <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx> (расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента с учётом возможной нелинейной работы основания). Основной порядок расчёта и правила ввода по данной программе подробно изложены в § 1.1.1. данной монографии.

В качестве примера рассмотрим решение поставленной задачи по условиям ранее рассмотренного примера в § 2.3, но с дополнительным изменением – это подрезка краевых частей подошвы существующего фундамента, с целью увеличения площадей вновь создаваемых подвальных помещений. Схема данного фундамента для решения поставленной задачи представлена на рис. 3.1.

Как видно из представленной схемы (рис. 3.1.), особенностью реконструкции является срезка части подошвы фундамента с одной из его сторон. Такое решение, асимметрично уменьшающее ширину подошвы фундамента с $b=1,8$ м до $b_1=1,6$ м с одной стороны, приводит к созданию не симметричного фундамента, т.е. появлению в уровне подошвы фундамента дополнительного

усилия в виде изгибающего момента (M) относительно центра тяжести подошвы, от действия вертикальной силы (N).

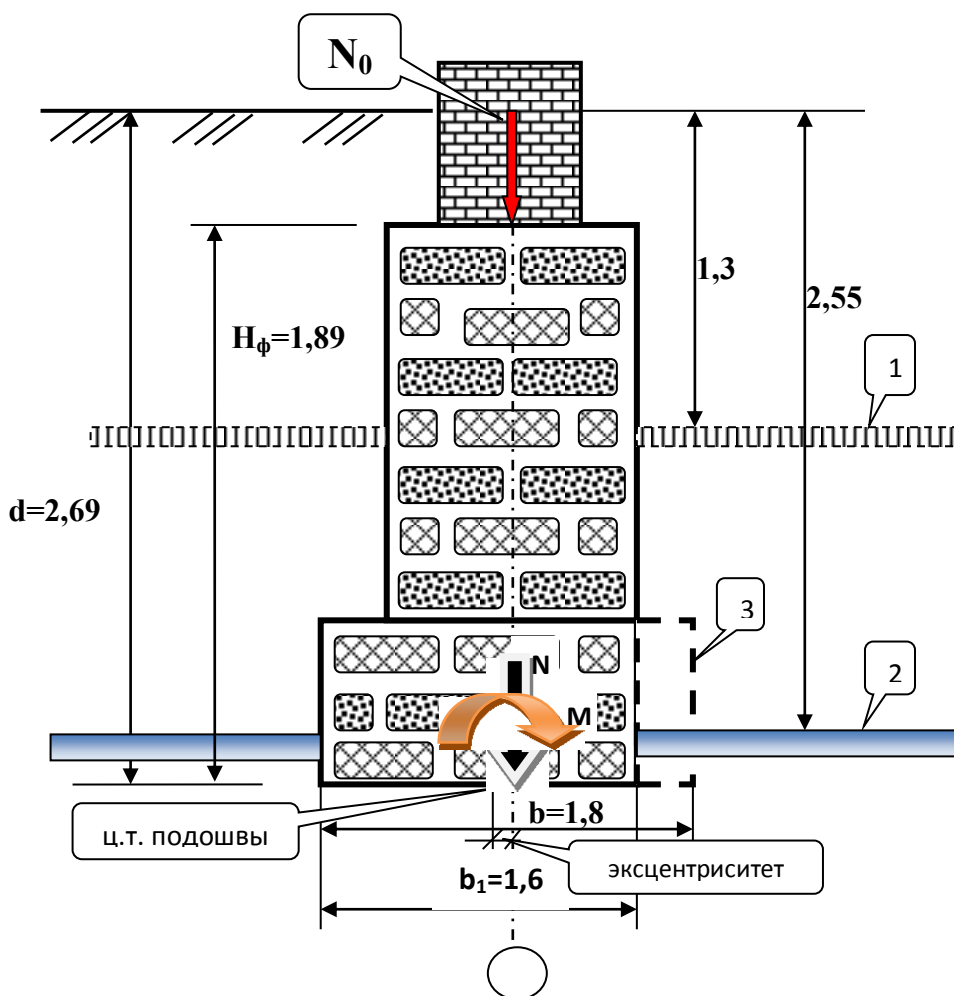


Рис. 3.1. Схема поперечного сечения фундамента реконструируемого здания для расчётного обоснования возможности понижения отметки пола существующего подвала, и частичной подрезки подошвы фундамента.

1 – положение пола подвала до реконструкции здания; 2 – положение пола подвала после реконструкции здания. 3 - подрезка краевых частей подошвы существующего фундамента, с целью увеличения площадей вновь создаваемых подвальных помещений.

3.2. Пример программного расчёта основания по двум предельным состояниям с использованием сайта: www.BuildCalc.ru

Используя рисунок 3.1 как расчётную схему, производим вычисления по программе <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx> (в соответствии с методикой, подробно изложенной в § 1.1.1). Рассмотрим исходные параметры предыдущей задачи, но при дополнительном условии - односторонней подрезкой подошвы фундамента с 1,8 м до 1,6 м. Результаты данных вычислений представлены на рис. 3.2.

Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б) (проектное углубление с подрезкой фундамента)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Внутренняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	1,89
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,69
Ширина подошвы фундамента, м:	1,60

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	2,55
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	386,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в , кН:	0,00
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M _в , кН*м:	38,60

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ _г , кН/м ³	φ _г , °	c, кПа	e	W	I _L	E	μ	Источник данных
1	1,7	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	4	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	28	3	0,65	-	-	15000	0,3	Эксперимент
3	9	Суглинок	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	18,1	5	5	1,11	0,4	0,94	6000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ _{1г} , кН/м ³	γ _{2г} , кН/м ³	φ _{1г} , °	φ _{2г} , °	c _{1г} , кПа	c _{2г} , кПа	γ _{c1}	γ _{c2}	K
---	------	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------	-----------------	---

1	1,70	15,00	16,50	12,73	14,00	0,00	0,00	1,25	1,16	1,10
2	0,30	17,64	19,40	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
3	3,70	9,37	10,30	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
4	9,00	16,45	18,10	4,35	5,00	3,33	5,00	1,00	1,00	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	13,85
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	15,23
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	0,23

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	223,89
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	189,37
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	302,99
Минимальное давление под подошвой фундамента R_{min} , кПа:	196,51
Среднее давление под подошвой фундамента $R_{ср.}$, кПа:	286,98
Максимальное давление под подошвой фундамента R_{max} , кПа:	377,45
Осадка фундамента S , см:	-
Коэффициент надёжности:	0,59

- Не выполнено условие первого предельного состояния (Коэффициент надёжности < 1). Устойчивость фундамента не обеспечена.

Рис. 3.2. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати), при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 2,55 м (проектное углубление подвала и односторонней подрезкой подошвы фундамента с 1,8 м до 1,6 м, с расчётной вертикальной нагрузкой 386 кН и изгибающим моментом 38,6 кН м).

Как видно из представленных результатов расчёта (рис. 3.2), при неизменных грунтовых условиях (см. предыдущий расчёт), конструкция рассчитываемого фундамента после реконструкции или после выполнения работ по углублению подвала (проектное углубление подвала, с односторонней подрезкой подошвы фундамента), становится не надёжной. В этом решении не

выполняются требования ТСН 50-302-2004 [1] по I предельному состоянию (коэффициент надёжности $K_n=0,59<1$), т.е. устойчивость фундамента не обеспечена.

Следовательно, несущий слой основания, в данном случае это пылеватые водонасыщенные пески, для проектируемых конструктивных условий, не могут воспринять существующую проектную вертикальную нагрузку в 386 кН (с изгибающим моментом 38,6 кН м). В этом случае, ставится задача определения предельно-допустимой нагрузки на данный фундамент. Решение такой задачи может быть выполнено по выше приведённой методике расчёта, но при вводе измененных (уменьшенных) исходных данных по нагрузкам, последние постепенно снижаются до получения удовлетворительного решения с коэффициентом надёжности ≥ 1 .

В качестве примера, рассмотрим предыдущие условия расчёта (рис. 3.2), но со сниженной вертикальной нагрузкой до 198 кН. Данные решения представлены на рис. 3.3.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б) (проектное углубление с подрезкой фундамента)
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Внутренняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	1,89
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2,69
Ширина подошвы фундамента, м:	1,60

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	2,55
Толщина пола подвала, м:	0,20
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22,00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	198,00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль ширины подошвы фундамента Q _в ,	0,00

кН:	
Изгибающий момент, приложенный вдоль ширины подошвы фундамента M_B , кН*м:	19,80

Данные по грунту

Введённые данные

№	H, м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	ϕ , °	c , кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
1	1,7	Насыпной грунт	Пески пылеватые маловлажные и влажные	16,5	14	0	0,7	0	-	5000	0,3	Таблица
2	4	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19,4	28	3	0,65	-	-	15000	0,3	Эксперимент
3	9	Суглинок	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	18,1	5	5	1,11	0,4	0,94	6000	0,3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_1 , кН/м ³	γ_2 , кН/м ³	ϕ_1 , °	ϕ_2 , °	c_1 , кПа	c_2 , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1,70	15,00	16,50	12,73	14,00	0,00	0,00	1,25	1,16	1,10
2	0,30	17,64	19,40	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
3	3,70	9,37	10,30	25,45	28,00	2,00	3,00	1,10	1,16	1,00
4	9,00	16,45	18,10	4,35	5,00	3,33	5,00	1,00	1,00	1,10

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	2,00

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2,00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27,00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10,00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешанное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	13,85
Средневзвешанное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	15,23
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	0,23

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	223,89
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	189,37

Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	302,99
Минимальное давление под подошвой фундамента P_{min} , кПа:	123,07
Среднее давление под подошвой фундамента $P_{ср.}$, кПа:	169,48
Максимальное давление под подошвой фундамента P_{max} , кПа:	215,89
Осадка фундамента S , см:	3,49
Коэффициент надёжности:	1,01

Рис. 3.3. Фрагмент копии экрана вывода результатов окончательного расчёта (версия для печати), при расстоянии от планировочной отметки до пола подвала в 2,55 м (проектное углубление подвала и с односторонней подрезкой подошвы фундамента с 1,8 м до 1,6 м, с предельно-допустимой нагрузкой 198 кН и изгибающим моментом 19,8 кН м).

Как видно из представленных результатов расчёта (рис. 3.3), конструктивная система «фундамент-основание» при проектном углублении подвала, может удовлетворительно воспринять проектную вертикальную нагрузку лишь в 198 кН. В этом расчёте выполняются требования ТСН 50-302-2004 [1] как по I предельному состоянию (коэффициент надёжности $K_n=1,01$), так и по II предельному состоянию (рассчитанная осадка фундамента $S=3,49 \text{ см} < S_u^*$).

Поскольку по результатам реконструкции (углубления подвала, с односторонней подрезкой подошвы фундамента) на основание должна передаваться вертикальная нагрузка в размере 386 кН (рис. 3.2), а основание может воспринять лишь нагрузку в 198 кН (рис. 3.3), то существующий дефицит вертикальной нагрузки ($386-198=188$ кН) должен быть воспринят выштампованными микросваями – конструктивными элементами усиления основания. Схема такого принципиального конструктивного решения показана на рис. 3.4.

* S_u – предельная величина осадки для рассматриваемого типа сооружений

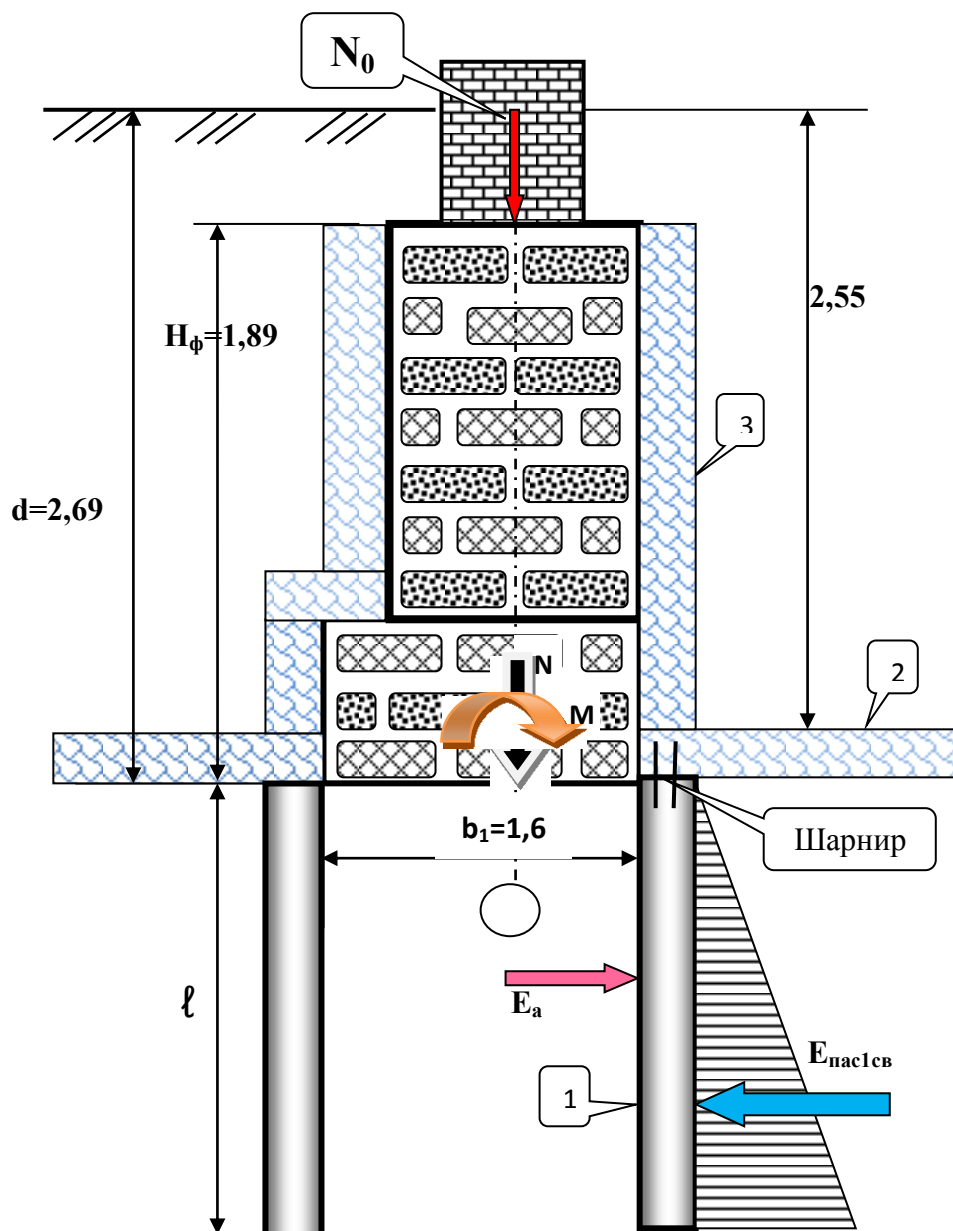


Рис.3.4. Схема поперечного сечения фундамента реконструируемого здания, с понижением отметки пола существующего подвала, и частичной подрезкой подошвы фундамента, (использованы конструктивные элементы усиления основания).

1 – конструктивный элемент усиления основания – выштампованная микросвая; 2 – железобетонная конструкция пола подвала после реконструкции здания. 3 - железобетонная конструкция прижимной стенки подвального помещения.

3.3. Предельное сопротивление основания, усиленного микросваями

Выполненные микросваи (рис. 3.4) с целью усиления (увеличения силы предельного сопротивления) основания вдоль существующих фундаментов, прежде всего, создают препятствие для развития горизонтальных деформаций (зон сдвигов). В результате на часть длины микросваи будет действовать горизонтальный распор, создавая усилие в виде активного давления грунта E_a .

Величина данного распора переменна в зависимости от условий нагружения фундамента и достигает максимального значения в момент нарушения равновесия жёсткой сваи (поворот относительно шарнирного закрепления).

Противодействовать силе активного давления грунта будет пассивный отпор $E_{\text{пасс1св}}$, развитие которого может быть в первом приближении определено исходя из условия возможности перемещений микросваи относительно шарнира (до момента предельного равновесия $E_a = E_{\text{наслсв}}$).

В этом случае в качестве допущения можно принять, что пассивный отпор будет развиваться практически линейно по всей длине l микросваи (рис. 3.4).

Для определения $E_{\text{пасс1св}}$ вычислим вначале пассивное давление $\sigma_{2\text{пас}}$ в грунте, действующее на сваю из условия предельного состояния:

$$\sigma_{2\text{пас}} = \gamma_{\text{yn}} \times l \times \text{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (3.1)$$

Тогда пассивный отпор может быть определён выражением:

$$E_{\text{наслсв}} = \frac{1}{2} \times \sigma_{2\text{пас}} \times l \times F \quad (3.2)$$

где γ_{yn} – удельный вес грунта вокруг сваи, с учётом его уплотнения в процессе изготовления микросваи, в первом приближении допускается, что $\gamma_{\text{yn}} = 1,1\gamma$ [6];

l – длина микросваи;

φ – угол внутреннего трения грунта основания;

$F = \pi \cdot r_{\text{св}}$ – площадь половины периметра микросваи, по которой возникает пассивный отпор;

$r_{\text{св}}$ – радиус изготовленной микросваи.

Подставляя введённые обозначения в выражение 3.2, получим:

$$\begin{aligned} E_{\text{наслсв}} &= \frac{1}{2} \times \sigma_{2\text{пас}} \times l \times F = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{yn}} \times l \times \text{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \times l \times \pi \times r_{\text{св}} = \\ &= \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{yn}} \times l^2 \times \text{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \times \pi \times r_{\text{св}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Определив величину пассивного отпора для микросваи в момент её предельного равновесия (возникновение поворота относительно шарнира),

представляется возможным вычислить дополнительную составляющую для силы предельного сопротивления основания, усиленного микросваями:

$$N_{u1cс} = n \times E_{naclcс} \times (\cos \alpha + \sin \alpha) \quad (3.4)$$

где n – количество микросвай усиления на единицу расчётной длины фундамента; α – угол наклона микросвай к вертикали.

Тогда для основания, усиленного микросваями, сила предельного сопротивления (из условия равновесия свай) составит:

$$N_{u(ycl)} = N_u + N_{u1cс} = N_u + n \times E_{naclcс} (\cos \alpha + \sin \alpha) \quad (3.5)$$

где N_u – сила предельного сопротивления основания, без учёта свай, определяемая по СНиП 2.02.01-83* [4]; $N_{u1cс}$ – составляющая силы предельного сопротивления основания, учитывающая работу микросвай (предельное состояние микросвай относительно точки поворота).

3.3.1. Определение необходимого количества выштампованных микросвай – конструктивных элементов усиления основания

Таким образом, задавшись предварительно размерами микросвай (радиусом и длиной, по технологическим особенностям изготовления), можно найти необходимое число микросвай усиления (n) (из выражения 3.5), в зависимости от требуемой (задаваемой по условиям реконструкции) величины силы предельного сопротивления усиленного основания $N_{u(ycl)}$ (из условия равновесия свай):

$$n = \frac{N_{u(ycl)} - N_u}{E_{naclcс} \times (\cos \alpha + \sin \alpha)} \quad (3.6)$$

Не трудно заметить, что разность в числителе формулы 3.6 представляет собой дефицит несущей способности основания, возникающий в результате реконструкции (углубление подвала, подрезка подошвы фундамента, дополнительное нагружение основания и т.д.) и воспринимаемый (n) количеством свай усиления.

Таким образом, в соответствии с решением 3.6, задавшись предварительно размерами свай, из условия их предельного равновесия, представляется возможность определять необходимое количество (n) микросвай - конструктивных элементов усиления основания.

3.3.2. Пример использования системы **Matcad** для определения необходимого числа микросвай усиления основания

Для определения необходимого количества конструктивных элементов - микросвай усиления основания, воспринимающих существующий дефицит нагрузки (188 кН – см. § 3.2), возникшей в результате проектируемого понижения пола подвала, воспользуемся методикой, изложенной в § 3.1[2].

Предварительно задаёмся размерами выштампованной микросваи (по условиям технологии её изготовления):

- Длина, $l = 2,0\text{м}$;
- Диаметр, $\varnothing = 200\text{мм}$;
- Угол наклона к вертикали, $\alpha = 0^\circ$

Микросвая будет расположена в основании под углом наклона $\alpha = 0^\circ$ (т.е. вертикально), расчётные характеристики которого (с учётом I предельного состояния) определены в соответствии с таблицей «Данные по грунту» (рис.3.2, 3.3).

Результаты данного решения, с использованием программы по ранее разработанной методике (§ 3.3.1) (формула 3.6), составленной в системе «Mathcad», представлены на рис. 3.5.

Представленное решение, разработанное в системе «Mathcad», следует считать универсальным инструментом, поскольку позволяет достаточно быстро определить необходимое число микросвай усиления основания, меняя исходные данные в зависимости от условий решаемой задачи.

Определение необходимого числа (n)
 микросвай усиления основания в зависимости от дефицита
 несущей способности ($N_y - N$), свойств грунта и размеров
 выштампованной микросвай.

(Расчёт выполнен в соответствии с разработанной методикой (§ 3.3.1) (формула 3.6)

Объект: **Реконструкция исторического здания Санкт-Петербурга, ул. Кирочная, д., 7/2 (ось Б) (углубление подвала с подрезкой фундамента)**

γ - объёмный вес грунта основания ϕ - угол внутреннего трения грунта основания

l – радиус микросвай r - радиус микросвай α - угол наклона микросвай к вертикали

Исходные данные: $\gamma := 19.4 \text{ кН/м}^3$ $\phi := 28^\circ$

$l := 2 \text{ м}$ $\pi = 3.142$ $r := 0.1 \text{ м}$ $\alpha := 0^\circ$ $N := 198 \text{ кН}$ $N_y := 386 \text{ кН}$

Результаты расчёта:

$$E_n := 0.5 \cdot 1.11 \cdot \gamma \cdot l^2 \cdot \left[\tan \left[\frac{\pi}{180} \cdot \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \right]^2 \cdot \pi \cdot r = 37.476 \quad \text{кН}$$

$$n := \frac{(N_y - N)}{E_n \cdot \left[\cos \left[\alpha \cdot \frac{\pi}{180} \right] + \sin \left[\alpha \cdot \frac{\pi}{180} \right] \right]} = 5.016 \quad \text{шт}$$

Рис. 3.5. Пример программного решения по определению необходимого числа микросвай усиления основания (Mathcad) в зависимости от размеров микросвай, грунтовых условий и дефицита несущей способности усиливаемого основания.

Полученное решение по необходимому числу микросвай округляем до целого, т.е. принимает $n=5$.

Таким образом, существующее основание (пылеватые пески насыщенные водой) для восприятия проектируемой вертикальной нагрузки $N=386$ кН/м от ленточного фундамента ($b=1,6$ м), при проектном понижении пола подвала и подрезки подошвы фундамента (см. ранее), должно быть усилено на одном метре пятью вертикальными, выштампованными микросваями (с расчётными характеристиками – см. выше).

Принципиальное решение по усилению основания для рассмотренного примера представлено на рис. 3.4. При этом в плане конструктивные элементы усиления основания – выштампованные микросвай должны располагаться в шахматном порядке с двух сторон подошвы фундамента, т.е. с шагом 0,2 м (фактически создаётся вертикальная шпунтовая стенка из выштампованных микросвай, см. решение в § 1.3).

Реализация подобного решения, с устройством прижимной вертикальной стенки, представлена в виде фотографии на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Фотография внутренней кирпичной стены подвала здания после реконструктивных работ по углублению подвала с устройством железобетонной вертикальной прижимной стенки (см. расчётную схему на рис. 3.4). Выполнение подобного вида работ успешно осуществляется ООО СК «Подземстройреконструкция» (<http://www.sk-psr.ru>)

Следует подчеркнуть, что приведённый метод расчёта по определению необходимого числа выштампованных микросвай - конструктивных элементов усиления основания, позволяет обоснованно, в зависимости от проектных (существующих) нагрузок, грунтовых условий, конструктивных условий углубления подвала, размеров фундаментов и геометрических размеров микросвай, выполнять расчёты с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых оснований.

Заключение

Выполненный расчётный анализ конструктивных методов усиления основания реконструируемых зданий, позволяет сделать следующие выводы:

1. При расчётной проверке основания и фундамента по первому предельному состоянию, может возникнуть условие, когда несущая способ-

ность основания при выполнении реконструктивных работ окажется не достаточной. В этом случае возникает, так называемый, дефицит несущей способности основания. Компенсация дефицита несущей способности основания может быть реализована устройством выштампованных микросвай усиления основания.

2. Устройство выштампованных микросвай усиления основания как одно из действенных конструктивных мероприятий, позволяет не только повысить их несущую способность, но посредством уплотнения несущего слоя основания, увеличить его модуль деформации, что приводит к снижению осадок реконструируемых зданий.
3. Необходимость и количество конструктивных элементов усиления основания – выштампованных (с использованием пневмопробойника) микросвай определяется расчётом. Такой расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента, с учётом возможной нелинейной работы основания, в результате дополнительного его нагружения от реконструкции здания, может быть выполнен по программе автора на сайте: (<http://www.buildcalc.ru>). Расчёты на данном сайте, в том числе по представленной программе: <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx> можно осуществлять бесплатно непосредственно в интернете в режиме «on-lain».
4. В представленных программных результатах расчёта приводятся данные по расчётному сопротивлению грунта (расчёт по II предельному состоянию), предельному давлению на грунт основания (расчёт по I предельному состоянию), а также средние и крайние давления под подошвой фундамента. Расчёт, исходя из двух предельных состояний грунта основания, формируется в конечном итоге в виде вывода конечной осадки фундамента и коэффициента надёжности.
5. Приведённый метод расчёта с использованием программы в системе «Matcad» по определению необходимого числа конструктивных микросвай усиления основания, позволяет обоснованно, в зависимости от проектных нагрузок, грунтовых условий, размеров фундаментов и геометрических размеров микросвай, выполнять расчёты с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых оснований.
6. Принятое конструктивное решение по усилению (уплотнению) грунтового основания в виде устройства выштампованных микросвай, даёт возможность расчётным способом прогнозировать изменение модуля

деформации уплотнённого основания. Полученная осреднённая характеристика модуля деформации уплотнённого основания определяет развитие осадок реконструируемых зданий (расчёт по деформациям или по II предельному состоянию) при дополнительном их нагружении (замена перекрытий, строительство мансард или этажей и т.п.).

7. Конструктивные элементы усиления основания - выштампованные микросваи при вертикальном их выполнении вдоль боковых поверхностей ленточного фундамента, целесообразно выполнять с определённым (оптимальным) шагом, что позволяет рассматривать их работу как конструктивной шпунтовой стенки. Окончательное решение в выборе длины и шага микросвай, для каждой конкретной задачи (с использованием программы в системе «Matcad») определяется на основе вариантных расчётов по результатам сравнения технико-экономических показателей.
8. Выполнение вдоль подошвы фундамента шпунтового ряда создаёт повышенную несущую способность основания. Шпунтовая стенка может быть выполнена как сплошная конструкция, в этом случае шпунтины (отрезки швеллера) погружаются вплотную друг к другу, так и с разрывом – погружение шпунтин осуществляется с определённым шагом, что позволяет снизить материалоемкость создаваемой конструкции.
9. Разработано решение определения оптимального шага конструктивных шпунтин, при котором погружённые отдельные шпунтины усиления основания для ленточного фундамента начинают работать как единая конструктивная шпунтовая стенка. Рассчитываемая (оптимальная) величина шага шпунтин зависит:
 - ✓ от степени нагружения основания усиливаемого ленточного фундамента,
 - ✓ размеров шпунта,
 - ✓ физико-механических свойств грунтов основания (φ , γ , ξ)
10. Конструктивное усиление основания при понижении отметки пола подвала или увеличение его высоты, возможно с использованием пригрузки основания в виде устройства скрытой ж/б балки вдоль подошвы ленточного фундамента. Проектное решение для каждого из рассматриваемых случаев определяется расчётом, на основе программного ком-

плекса (<http://www.buildcalc.ru>), с проверкой основания и фундамента по I и II предельным состояниям.

11. Углубление подвалов, неизбежно, связано с изменением расчётной схемы системы «основание-фундамент». При понижении отметки пола подвала возникает необходимость выполнять расчётные обоснования с использованием вычислений, учитывающих работу системы «основание-фундамент» одновременно по двум предельным состояниям. Компенсация дефицита несущей способности основания может быть реализована устройством конструктивных элементов - выштампованных микросвай усиления основания.
12. Предложенный метод расчёта по определению необходимого числа выштампованных микросвай - конструктивных элементов усиления основания, позволяет обоснованно, в зависимости от проектных (существующих) нагрузок, грунтовых условий, конструктивных условий углубления подвала, размеров фундаментов и геометрических размеров микросвай, выполнять расчёты, проекты и реализовывать данные работы с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых оснований.
13. На всех этапах производства работ должен осуществляться особый контроль с чётким техническим надзором и контролем качества за процессом выполнения работ по усилению оснований реконструируемых зданий. Подобные работы должны выполняться специализированными фирмами геотехнического профиля, имеющие соответствующие лицензии и опыт производства (см. (<http://www.sk-psr.ru>)).

Используемая литература

1. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. - СПб., 2004.- 58 с.
2. Алексеев С.И. Осадки фундаментов при реконструкции зданий, ООФ «ЦКС» СПб., 2009. – 82 с.
(<http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>).
3. Алексеев С.И. Применение выштампованных микросвай усиления основания реконструируемых зданий, ООФ «ЦКС» СПб., 2010. – 55 с.
4. СНиП 2.02.01-83* Проектирование оснований зданий и сооружений. М., 1983.
5. Алексеев С.И., Лукин В.А. Определение осреднённого модуля деформации грунтового основания, усиленного выштампованными микросваями для ленточного фундамента. В кн.: Известия Петербургского университета путей сообщения. Выпуск 2, 2010 г.
6. Алексеев С.И., Мирошниченко Р.В. Исследование зон уплотнения грунтового основания вокруг выштампованных микросвай. Межвузовский тематический сборник трудов. СПб., СПб ГАСУ. 2009.
7. Алексеев С.И. Работа ряда микросвай усиления песчаного основания как конструктивной шпунтовой стенки. В кн.: Известия Петербургского университета путей сообщения. Выпуск 1, 2010 г. с. 61-71.
8. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. М. Стройиздат, 1981 г. – 316 с.
9. Алексеев С.И. Геотехническое обоснование мансардных надстроек и углублений подвалов существующих зданий. Приложение к Интернет-журналу «Реконструкция городов и геотехническое строительство», тетрадь № 5, 2005 г. - 57 с. (www.georec.spb.ru).

ООО «СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ «ПОДЗЕМСТРОЙРЕКОНСТРУКЦИЯ»



«Underground Engineering Ltd»
Санкт-Петербург, 197183, ул. Полевая Сабиrowsкая, д.43,
лит. А Тел/факс: (812)4300485, 4303390,
E-mail: podz@narod.ru; www.sk-psr.ru

р/с 40702810855090106747 Северо-Западный банк
Сбербанка РФ г.СПб Центральное ОСБ
№.1991/01107, к/с 30101810500000000653, БИК
044030653, ИНН 7806043250,
ОКОНХ 61121, 61122, ОКПО 25886878



Одна из ведущих компаний, квалифицированно работающих «ниже уровня земли». Специалистами фирмы освоены многие современные технологии в области геотехники и наработан богатый опыт в этой области. Имеются все необходимые допуски СРО, включая лицензию Министерства культуры РФ по работе на памятниках истории и культуры федерального значения.

Компания стремится предоставить своим клиентам весь комплекс услуг, а именно:

- **Усиление оснований фундаментов, аварийно-деформированных конструкций зданий.**
- **Специальные работы в грунтах:**
 - устройство буроинъекционных и буронабивных свай, как при реконструкции, так и при новом строительстве;
 - устройство виброштампованных свай;
 - противофильтрационных завес;
 - закрепление грунтов;
 - погружение и извлечение шпунта
- **Наземные конструкции усиливаются методами:**
 - торкретирования;
 - инъекции закрепляющих растворов;
 - подведением новых или дополнительных несущих конструкций.
- **Углубление и гидроизоляция подвалов и подземных сооружений.**
- **Защита стен зданий от грунтовой влаги по усовершенствованной технологии с использованием собственного материала «СУПЕРИЗОЛ» и saniрующей штукатурки.**
- **Инженерные изыскания с выдачей экспертных заключений и рекомендаций.**
- **Архитектурно-строительное проектирование и конструирование.**

Проектные работы в комплексе со строительно-монтажными работами.

Минимальные сроки. Разумные и обоснованные цены.

Надежная защита от грунтовых вод для обитателя индивидуального малоэтажного жилища имеет гораздо более важное значение, чем для жильца многоэтажного дома.

Исправление дефектов устройства гидроизоляции, ее повреждений или замена из-за естественного старения всегда связаны со сложными и дорогими работами. Поэтому **идеальная гидроизоляция – это такая, которая:**

- не теряет и не изменяет своих водозащитных свойств во времени, не старится;
- экологична, не выделяет вредных веществ;
- проста в укладке;
- в местах случайных повреждений самозалечивается;
- укладка производится при любой погоде и температуре.

Всем перечисленным требованиям удовлетворяет бентонитовая гидроизоляция **VOLCLAY**, семейство гидроизоляционных материалов XXI века.

➤ **“VOLTEX”** – двухслойное синтетическое полотно толщиной 6 мм с наполнением из гранул высокоактивной глины. При контакте с водой набухает, образует непроницаемый слой. Маты **“VOLTEX”** идеально подходят для гидроизоляции фундаментных плит, подвалов, подземных гаражей, бассейнов при строительстве коттеджей.⁸⁸

➤ **“WATERSTOP”** – гидропрокладка герметизации холодных швов при бетонировании.

Материалы просты в применении. При этом трудозатраты составляет приблизительно 30% в сравнении с традиционными технологиями. Преимущества бентонитовых материалов обеспечили им буквально триумфальное шествие по стройкам мира.

