

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

С.И. Алексеев

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЫШТАМПОВАННЫХ
МИКРОСВАЙ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ
РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ**

Санкт-Петербург
2010

Алексеев С.И., доктор технических наук, профессор. Применение выштампованных микросвай усиления основания реконструируемых зданий: методическое пособие. – СПб.: ФГОУ ВПО ПГУПС: СПб. отд. ООФ «ЦКС», 2010. – 46 с.: ил.

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

Для слабых пылевато-глинистых оснований одним из наиболее эффективных способов их усиления, является конструктивный метод усиления с применением выштампованных микросвай.

В методическом пособии рассматривается технология изготовления выштампованных микросвай, испытание данных конструкций вертикальной статической вдавливающей нагрузкой и приводятся расчётные обоснования определения необходимого числа свай усиления основания, в зависимости от требуемой несущей способности.

Применение предлагаемого метода усиления основания позволяет не только увеличить их несущую способность, но существенно снизить процесс развития осадок, что обосновывается по результатам полевого эксперимента и данных геодезического мониторинга за реконструируемыми зданиями.

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 строительный контроль.

ISBN 978-5904362-04-1

© Алексеев С.И., 2010

© ФГОУ ВПО ПГУПС, 2010

© СПб отделение ООФ «ЦКС», 2010

Оглавление

Введение	4
Необходимость усиления оснований	4
Глава 1. Технология изготовления выштампованных микросвай	6
1.1. Оценка динамических воздействий	9
Глава 2. Испытания грунтов микросваями вертикальной статической вдавливающей нагрузкой	13
Глава 3. Увеличение несущей способности оснований	17
3.1. Расчёт необходимого количества микросвай усиления основания	17
3.2. Использование расчётного программного комплекса BRNL	20
3.2.1. Пример расчёта необходимого количества микросвай усиления основания	23
3.3. Работа ряда выштампованных микросвай как шпунтовой стенки .	25
3.3.1. Основные принятые допущения	26
3.3.2. Основные условия расчёта. Расчётная схема	27
3.3.3. Условие работы свай как конструктивной шпунтовой стенки. Решение квадратного уравнения	29
3.3.4. Примеры решения поставленной задачи	29
3.3.5. Пример использования предлагаемой методики для проектов усиления основания	31
Глава 4. Изменение модуля деформации основания усиленного выштампованными микросваями	33
4.1. Основные допущения предлагаемой методики. Вычисление осреднённого модуля деформации условного объёма уплотнённого основания	34
4.2. Штамповые испытания основания усиленного выштампованными микросваями. Пример вычисления средневзвешенного (осредненного) модуля деформации для условного объёма грунта	36
4.3. Расчёт осадки фундамента на усиленном основании	38
4.4. Мониторинг осадки сооружений на усиленном основании	39
Глава 5. Примеры проектного решения по использованию выштампованных микросвай	42
Заключение	44
Используемая литература	46

Введение

Применение предлагаемого конструктивного метода усиления основания с использованием выштампованных микросвай позволяет не только увеличить несущую способность оснований, но существенно снизить процесс развития осадок, что обосновывается по результатам полевого эксперимента и данных геодезического мониторинга за реконструируемыми зданиями.

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

Как известно, использование современных информационных технологий (интернет) позволяет передавать, получать и размещать практически любую, интересующую пользователя, информацию в сжатые сроки. Не исключение составляет и данное методические пособие, которые в первую очередь будет прочитано пользователем на интернетовском сайте автора (www.buildcalc.ru), а затем уже опубликовано в качестве отдельного издания.

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

к.т.н. Лукину В.А., к.т.н. Матвиенко Г.А., к.т.н. Куприяновой А.В;
коллегам – сотрудникам кафедры «Основания и фундаменты» Петербургского Государственного университета путей сообщения (ПГУПС), строительной компании «Подземстройреконструкция», сотрудникам Санкт-Петербургского отделения Общероссийского общественного фонда «Центр качества строительства».

Необходимость усиления оснований

Для крупных городов, с многовековой историей, реконструкция существующих зданий, получивших естественный физический износ, имеет актуальное значение. Только в одном Санкт-Петербурге больше сотни домов в год становятся на капитальный ремонт и почти такое же количество зданий подвергаются реконструкции в виде надстройки мансарды (этажей), углубления подвала.

В каждом из названных случаях происходит либо дополнительное нагружение основания, либо изменение расчётной схемы работы существующих фундаментов.

Условную схему воздействия реконструкции зданий на грунтовое основание можно представить на рис. 1.

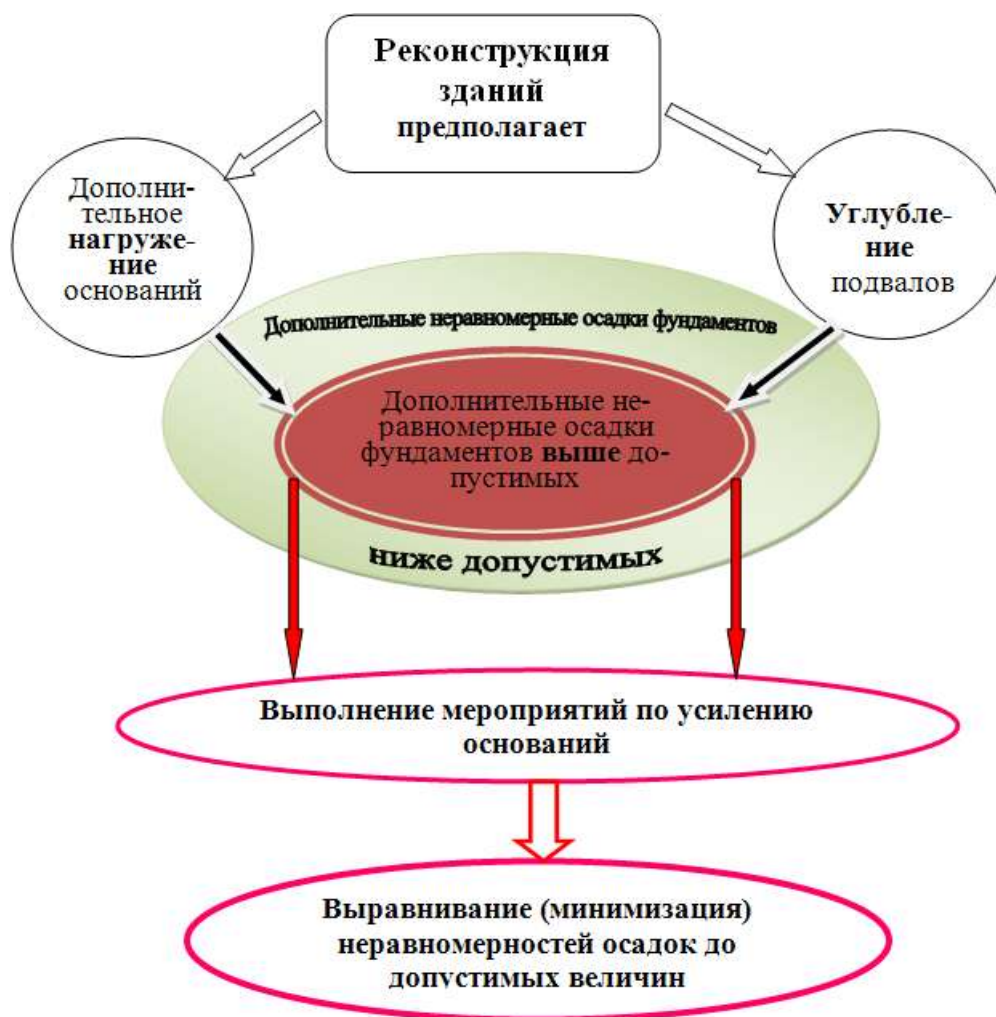


Рис. 1. Схема воздействия реконструкции зданий на работу грунтового основания и развития осадки существующих фундаментов.

Из представленной схемы видно, что реконструкция зданий предполагает два основных фактора, оказывающих влияние на основание:

Дополнительное нагружение основание (результат замены перекрытий, устройство этажа, мансарды и т. д.).

Углубление подвалов (исторически существующие подвалы, как правило, не приспособлены для эксплуатации помещений в современных условиях и нуждаются в увеличении их высоты).

Оба фактора, по результатам геотехнических расчётных обоснований, (см. далее) могут вызывать дополнительные неравномерные осадки фундаментов. Неравномерность вычисленных дополнительных неравномерных осадок существующих фундаментов может быть ниже допустимых величин (ТСН 50-302-2004 [1]). В этом, наиболее благоприятном случае, дополнительные усилия, возникающие в надземных конструкциях здания, будут восприниматься данными конструкциями без видимых разрушений и потому усиление оснований не целесообразно.

Если дополнительные неравномерные осадки существующих фундаментов окажутся выше допустимых величин, то в надземных конструкциях здания (в несущих стенах, перекрытиях) возникнут дополнительные усилия,

способные вызвать их разрушение (появление трещин). Такие условия недопустимы и требуют выполнения мероприятий по усилению оснований. Цель данных мероприятий – выравнять (минимизировать) неравномерность осадок до допустимых величин.

Таким образом, представленная схема (рис. 1) достаточно наглядно показывает основную последовательность выполнения работ, необходимых для обеспечения безопасной и долговременной эксплуатации реконструируемого сооружения, а также условия, при котором необходимо выполнение работ по усилению оснований.

Для пылевато-глинистых оснований одним из наиболее эффективных способов их усиления, является конструктивный метод усиления с применением выштампованных микросвай.

Глава 1. Технология изготовления выштампованных микросвай

Уплотнение грунта выштампованными микросваями выполняется для снижения сжимаемости и повышения несущей способности грунтов несущего слоя под ленточными и отдельно стоящими фундаментами (конструктивный метод усиления).

Способ изготовления и принципиальная конструкция микросвай представлены на рис.1.1.

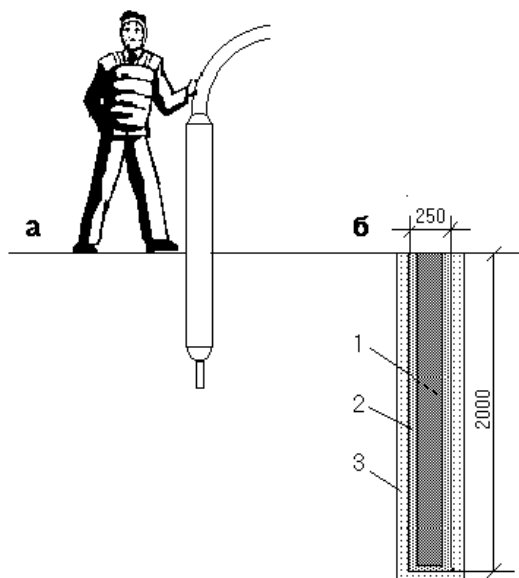


Рис. 1.1. Изготовление выштампованных микросвай:

а – пробивка скважины пневмопробойником; б – готовая микросвая. 1 – литое ядро (ствол сваи), 2 – втрамбованная бетонная (щебёночная) смесь, 3 – уплотненный грунт

Выштампованные микросваи обычно изготавливаются в следующем порядке:

1. Пневмопробойником (например, ИП 4605А), в водонасыщенном пылевато-глинистом основании, под подошвой существующих фундаментов, пробиваются скважины глубиной до 2,0 м и диаметром 135 ... 200 мм (рис. 1.2).
2. После извлечения пневмопробойника скважины засыпаются смесью щебня перемешанного с цементом в соотношении 4:1. Сквозь выполненную засыпку скважины пробиваются пневмопробойником заново.
3. Данная операция повторяется 5...10 раз в зависимости от состояния плотности окружающего глинистого грунта.
4. Образовавшаяся полость заполняется литым бетоном (В15) в который погружается арматурный каркас, образуя ствол микросваи диаметром до 220 мм. Вокруг выполненной микросваи создаётся оболочка из уплотнённого грунта с втрамбованным щебнем. В радиусе 0,6...0,8 м пористость грунта снижается, а плотность увеличивается до 10...11% [2].



Рис. 1.2. Фотографии подготовки пневмопробойника ИП 4605А к выполнению работ по устройству выштампованной микросваи

Выштампованные цементно-щебёночные микросваи выполняются чаще всего для усиления грунтов основания с двух сторон подошвы существующих ленточных фундаментов. Микросваи могут выполняться вертикально или наклонно, с углом наклона от 20° до 45° к вертикали.

Основные схемы уплотнения основания с применением выштампованных микросвай приведены на рис. 1.3. Работы можно выполнять из откопанной траншеи или из подвала.

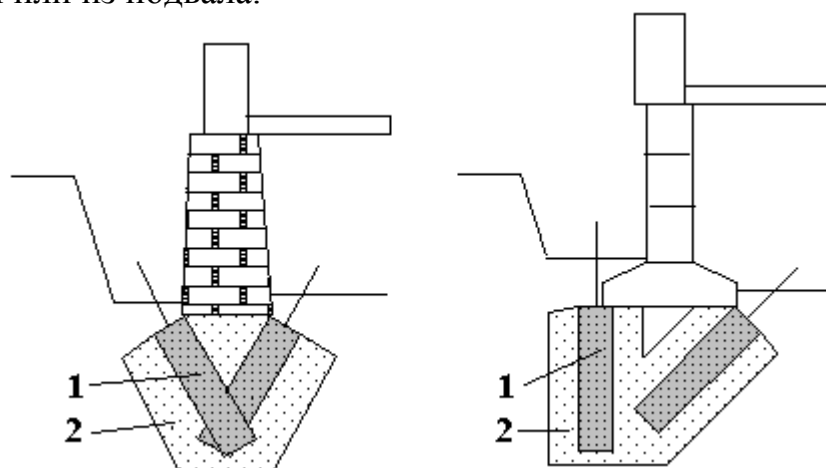


Рис. 1.3. Уплотнение грунта основания под фундаментом выштампованными микросваями: 1 – микросвая; 2 – уплотненный грунт вокруг микросвай

Пример проектного решения по армированию конструктивной выштампованной микросвай усиления основания представлен на рис. 1.4.

Обычно микросвая армируется каркасом: три продольных стержня диаметром 12 мм (А III) и поперечными кольцевыми хомутами диаметром 10 мм (А I) с шагом 200...300 мм. Арматурный каркас равный длине сваи с помощью вибратора погружается в литую бетонную смесь, образуя прочную железобетонную конструкцию.

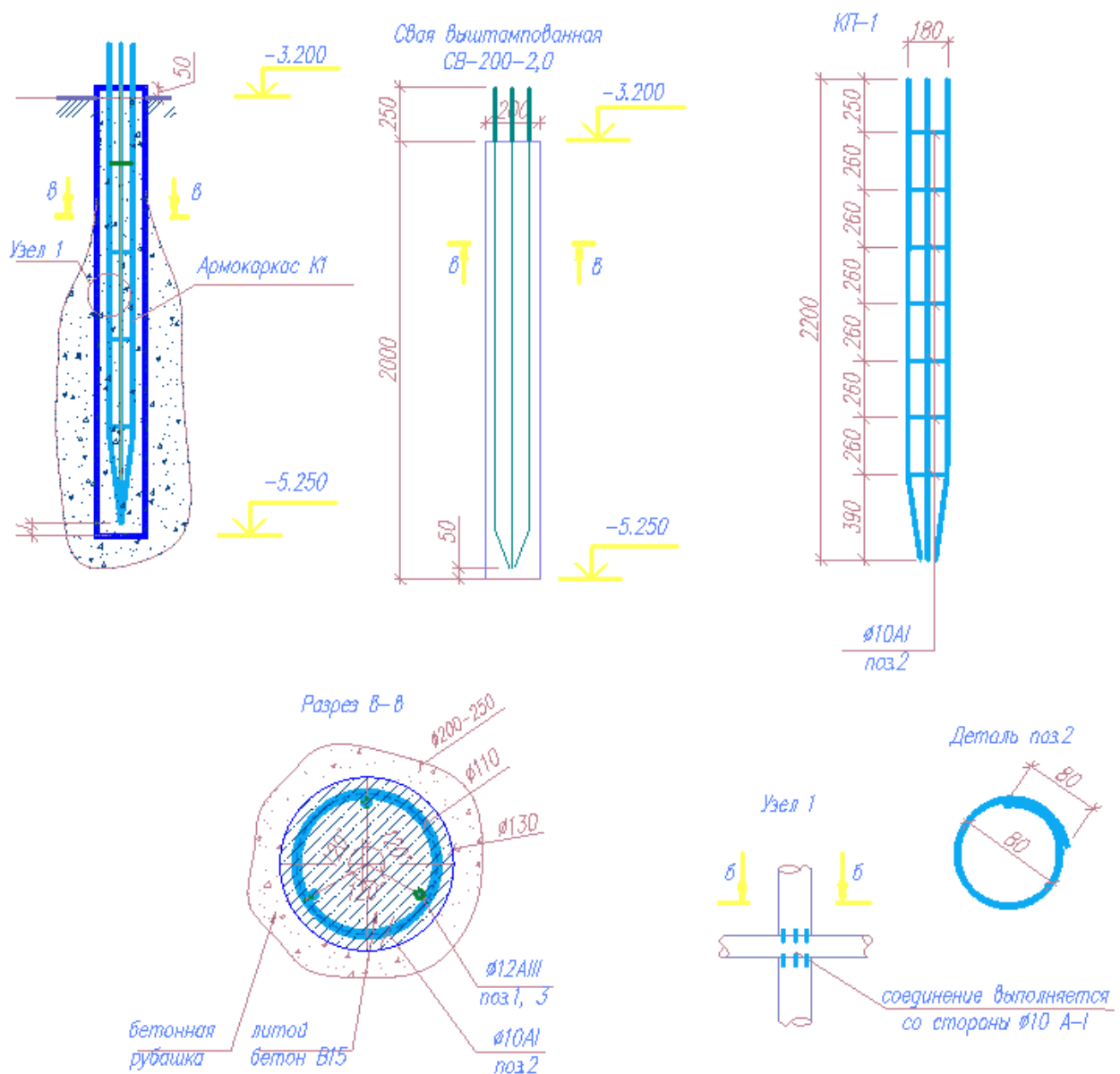


Рис. 1.4. Пример проектного решения ООО СК «Подземстройреконструкция» по конструктивному выполнению выштампованной микросвай усиления основания

Выполненные по данной технологии микросвай в слабых водонасыщенных песках (супесях) будут обладать несущей способностью не менее 8...9 тонн, что подтверждается многочисленными результатами испытаний в подобных грунтовых условиях, приведённые в 2 главе.

1.1. Оценка динамических воздействий

Технология изготовления выштампованных микросвай усиления основания предполагает при создании цилиндрической полости в грунте некоторое динамическое воздействие от работы пневмопробойника. Для оценки динамических воздействий необходимо сопоставить технические параметры механизма с грунтовыми условиями и состоянием конструкций реконструируемого здания.

Используемый чаще всего пневмопробойник - ИП 4605 А имеет следующие технические характеристики:

- Количество ударов в минуту 350...425
- Энергия удара 110 Дж
- Давление 0,6 мПа
- Частота ударов 5,5 гц

Реализация пневмопробойником энергии удара в 110 Дж с частотой в 5,5 гц позволяет выполнить в грунтовом основании цилиндрическую полость диаметром 135 мм с уплотнённой вокруг щебёночной оболочкой диаметром до 200...225 мм, при этом, как показали вибродинамические измерения, измеренная скорость колебания грунта значительно ниже допустимых значений (табл.1.3).

Допустимая скорость колебания грунта, не вызывающая негативных последствий в основании, определяется на основе результатов предшествующих обследований по состоянию конструкций реконструируемого сооружения и свойств оснований (табл. 1.1; 1.2). По представленным табличным данным [3] определяется группа здания и группа грунтов основания.

Определение группы зданий по состоянию конструкций. Таблица 1.1

Группа зданий и сооружений по состоянию конструкций	Вид зданий и сооружений	Деформации в конструкциях
I	Промышленные здания и сооружения	<p>В ж/б рамных конструкциях и несущих конструкциях бескаркасных зданий с армированными крупноблочными и кирпичными стенами, а также панельными стенами на ленточных и отдельно стоящих фундаментах (включая свайные фундаменты из висячих свай) нет видимых трещин и деформаций.</p> <p>В бескаркасных неармированных кирпичных и крупноблочных стенах трещины до 0,5 мм.</p> <p>Высокие сооружения (дымовые трубы, водонапорные башни и т.п.) не имеют наклона.</p> <p>Фундаменты в хорошем состоянии.</p>
I	Жилые и общественные здания	<p>В крупноблочных и кирпичных армированных стенах многоэтажных зданий, а также в несущих стенах крупнопанельных зданий при любом типе фундаментов отсутствуют временные</p>

		трещины и деформации, а в несущих неармированных крупноблочных и кирпичных стенах имеются трещины до 0,5 мм. Фундаменты в хорошем состоянии.
II	Промышленные здания и сооружения	В ж/б рамных конструкциях и несущих конструкциях бескаркасных зданий с армированными крупноблочными и кирпичными стенами, а также панельными стенами на ленточных и отдельно стоящих фундаментах (включая свайные фундаменты из висячих свай) трещины до 0,5 мм. В бескаркасных неармированных кирпичных и крупноблочных стенах трещины до 3 мм. Высокие сооружения (дымовые трубы, водонапорные башни и т.п.) имеют крен менее 0,004.
II	Жилые и общественные здания	В крупноблочных и кирпичных армированных стенах многоэтажных бескаркасных зданий, а также в несущих стенах крупнопанельных зданий при любом типе фундаментов трещины до 1 мм. В кирпичных неармированных крупноблочных и кирпичных стенах трещины до 3 мм. Фундаменты из бутового камня повреждены в результате разрушения раствора кладки.
III	Промышленные здания и сооружения	В ж/б рамных конструкциях и несущих конструкциях бескаркасных зданий с армированными крупноблочными и кирпичными стенами, а также панельными стенами на ленточных и отдельно стоящих фундаментах (включая свайные фундаменты из висячих свай) трещины более 0,5 мм; в бескаркасных неармированных кирпичных и крупноблочных стенах трещины более 3 мм. Высокие сооружения (дымовые трубы, водонапорные башни и т.п.) имеют отклонения от вертикали, угрожающие потери устойчивости и крен более 0,004.
III	Жилые и общественные здания	В крупноблочных и кирпичных армированных стенах многоэтажных бескаркасных зданий, а также в несущих стенах крупнопанельных зданий при любом типе фундаментов трещины более 1 мм, перекосы строительных элементов, нарушающие условия эксплуатации здания. В несущих неармированных крупноблочных и

		кирпичных стенах трещины более 3 мм. В фундаментах существующие повреждения в результате разрушения раствора и коррозии бетона.
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Определение группы (категории) грунтов основания. Таблица 1.2

Группа грунтов оснований зданий и сооружений	Пески	Супеси	Суглинки и глины	Прочие грунты
1	Плотные, кроме мелких и пылеватых водонасыщенных	Твёрдые	Твёрдые, полутвёрдые, тугопластичные	-
2	Средней плотности, кроме пылеватых водонасыщенных; плотные мелкие водонасыщенные	Пластичные	Пластичные, мягкопластичные	-
3	Рыхлые; плотные и средней плотности пылеватые водонасыщенные; мелкие средней плотности водонасыщенные	Текучие	Текучепластичные, текучие	Илы. Сильнозоторфованные грунты и торфы. Насыпной грунт.

На основе определения группы реконструируемого здания, сооружения по техническому состоянию конструкций (табл. 1.1) и группы (категории) грунтов основания (табл. 1.2), с использованием таблицы 1.3, представляется возможность определить допустимую скорость колебаний грунта (см/с) от внешнего источника.

Определение допустимой скорости колебания грунта от внешнего вибродинамического воздействия. Таблица 1.3

Наименование и конструктивные особенности сооружений	Группа сооружений по состоянию	Допустимая скорость колебаний грунта (см/с) в зависимости от группы грунтов оснований		
		1	2	3

Производственные и гражданские здания со стальным каркасом без заполнения. Здания и сооружения в которых не возникают дополнительные усилия от неравномерных осадок. Высокие жёсткие сооружения.	I	6,0	4,5	1,5
	II	4,5	3,0	1,0
	III	3,0	2,2	0,7
Производственные и гражданские здания с ж/б каркасом без заполнения и со стальным каркасом с заполнением. Бескаркасные здания с несущими стенами из кирпичной кладки и крупных блоков с армированием или ж/б поясами.	I	5,0	3,0	1,0
	II	3,5	2,2	0,7
	III	2,5	1,5	0,5
Производственные и гражданские здания с ж/б каркасом с заполнением. Бескаркасные здания с несущими стенами из крупных блоков и кирпичной кладки без армирования.	I	4,0	2,5	0,8
	II	3,0	1,5	0,5
	III	2,0	1,2	0,4
Бескаркасные крупнопанельные здания	I	3,0	2,2	0,7
	II	2,0	1,5	0,5
	III	1,5	1,0	0,4

Использование пневмопробойника для изготовления выштампованных микросвай усиления основания должно сопровождаться вибродинамическим мониторингом с контролем допустимой скорости колебания грунта по данным таблицы 1.3.

Как видно из табл. 1.3 минимально-допустимая скорость колебаний грунта в наихудших грунтовых условиях (3 группа грунтов оснований), для наиболее чувствительных бескаркасных крупнопанельных зданий (III группа сооружений), составляет 0,4 см/с.

Следует подчеркнуть, что как показал опытный мониторинг, вибродинамические колебания в грунте от работы пневмопробойника практически на порядок меньше, представленных минимально-допустимых значений (табл.1.3) и, следовательно, вполне допустимы и безопасны при условии чёткого соблюдения правил технологии производства работ (ППР).

Глава 2. Испытания грунтов микросваями вертикальной статической вдавливающей нагрузкой

В соответствие с требованиями ГОСТ 5686-94, СНиП 2.02.03-85 несущая способность выштампованных микросвай по грунту определяется статическими испытаниями вдавливающей нагрузкой. Такие испытания в грунтовых условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области проводятся «Проектно-конструкторско-технологическим институтом» (ПКТИ). Вертикальная

нагрузка при испытании микросвай создаётся при помощи гидравлического домкрата грузоподъёмностью до 100 тонн. Упором для домкрата служит обычно металлическая балка, скреплённая при помощи специальных тяжей на сварке с четырьмя анкерными микросваями. Принципиальная схема таких испытаний в виде фотографии представлена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Фотография испытания грунтов сваей вертикальной статической нагрузкой с использованием металлической балки и анкерных свай. 1- металлическая балка, 2- гидравлический домкрат, 3- крепление анкерных свай.

Несущая способность микросвай по грунту может быть определена также по результатам испытаний с использованием пригрузочной платформы, которая служит опорой домкрату для передачи нагрузки на испытываемую сваю (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Фотография испытания грунтов сваей вертикальной статической нагрузкой с использованием пригрузочной платформы. 1 – пригрузочная платформа, 2 – домкрат для передачи нагрузки на испытываемую сваю.

По результатам испытаний обычно строятся графические зависимости осадки (S) микросвай от прикладываемой нагрузки (P). Пример таких испытаний в песках средней крупности для промышленного здания в посёлке Сертолово, Ленинградской области представлен на рис. 2.3.

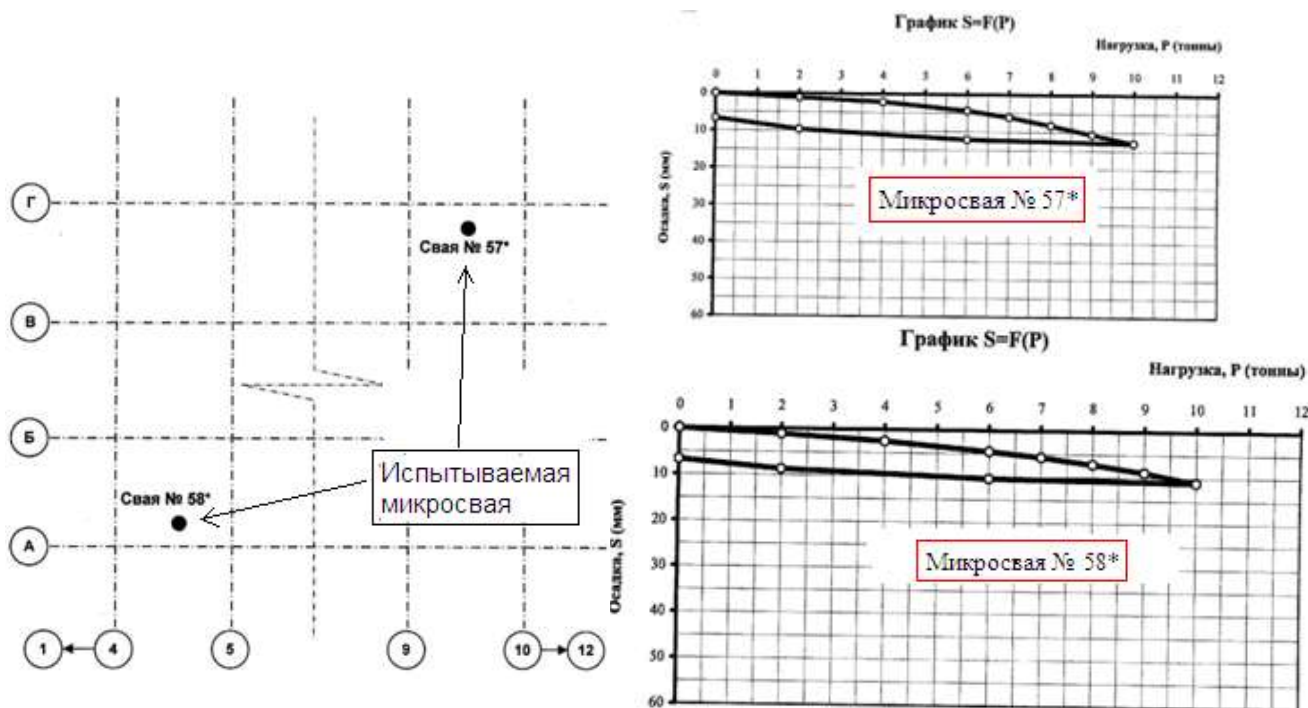


Рис. 2.3. Схема расположения испытываемых микросвай в плане сооружения и графики их результатов испытаний в виде зависимости осадки (S) от прикладываемой нагрузки (P) для промышленного здания по адресу: пос. Сертолово, Ленинградской области.

По представленным результатам испытаний (рис. 2.3) не трудно определить, что для железобетонной микросвай № 57* при нагрузке в 10 тонн осадка составила 13 мм, а для ж/б микросвай № 58* при той же нагрузке осадка не превысила 11 мм.

Таким образом, по полученным результатам испытаний можно с достаточной степенью надёжности определить несущую способность микросвай, которая может быть принята 8...9 тонн.

Другой пример испытания несущей способности выштампованных микросвай по грунту в лёгких пылеватых супесях, средней плотности, для реконструируемого здания по адресу: СПб., пр. Шаумяна д., 26, лит. А, представлен на рис. 2.4.

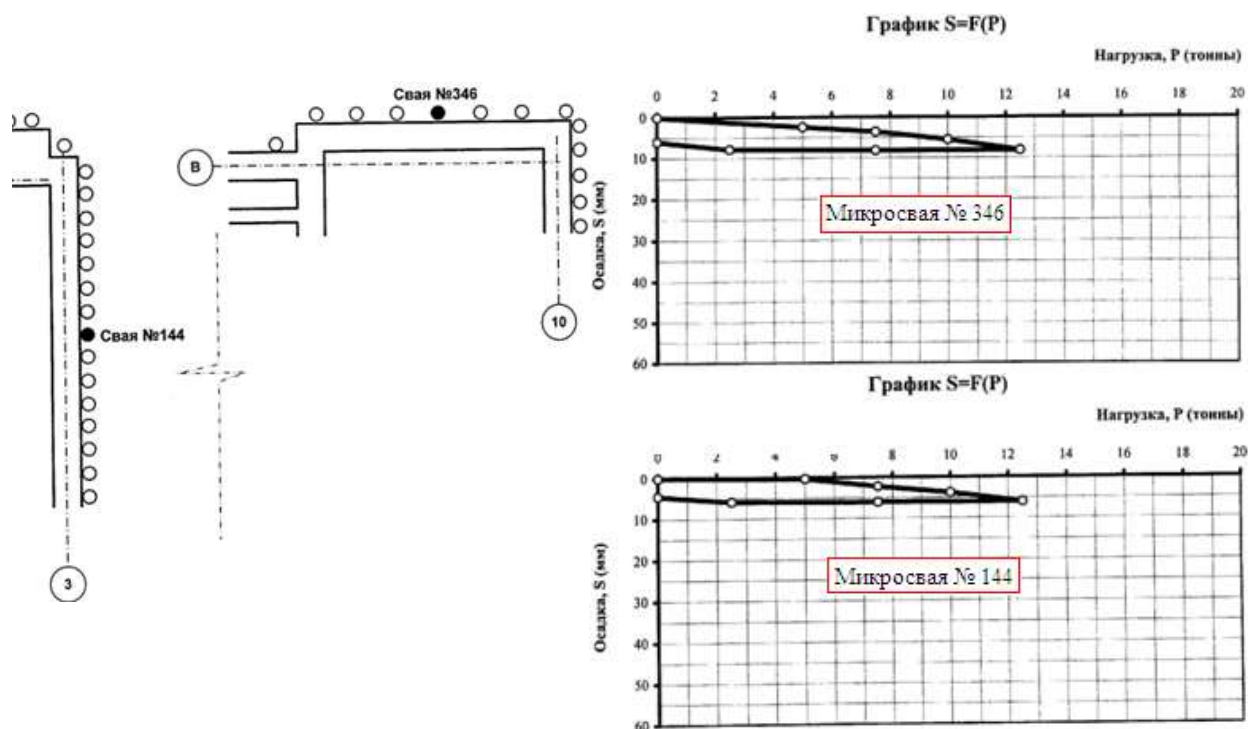


Рис. 2.4. Схема расположения испытываемых микросвай в фрагменте плана сооружения и графики их результатов испытаний в виде зависимости осадки (S) от прикладываемой нагрузки (P) на площадке усиления фундаментов здания по адресу: СПб., пр. Шаумяна, д., 26, лит. А

По представленным результатам испытаний (рис. 2.4) не трудно определить, что для железобетонной микросваи № 144 при нагрузке в 12,5 тонн осадка составила 6,1 мм, а для ж/б микросваи № 346 при той же нагрузке осадка не превысила 8,16 мм.

Таким образом, по полученным результатам испытаний можно с достаточной степенью надёжности определить несущую способность микросвай, которая в данных грунтовых условиях может быть принята 9...10 тонн.

Подобные испытания ледниковых суглинков, проводимое выштампованными микросваями на площадке реконструкции здания по адресу: СПб., Васильевский остров, ул. Детская д., 28/ ул. Канареечная д., 13, показали осадку при 10 тонной нагрузке в размере: 0,58 мм, 0,80 мм, 3,48 мм, 5,28 мм. Данные результаты испытаний дают возможность с достаточной степенью надёжности определить несущую способность микросвай по грунту в размере 8...9 тонн.

Таким образом, представленные испытания практически для всех разновидностей грунтов (пески, супеси, суглинки), расположенных в основании реконструируемых зданий, позволяют с достаточной степенью надёжности определить несущую способность выштампованных микросвай по грунту в размере 8...9 тонн.

Однако необходимо отметить, что достигнутую по результатам испытаний осадку микросвай:

- для песков средней крупности в размере 11...13 мм (рис. 2.3);

- для супесей средней плотности в размере 6...8 мм (рис. 2.4);
- для суглинков (ледниковых) в размере 0,58...5,28 мм;

следует рассматривать как незначительную величину, и потому полученную несущую способность сваи по грунту несколько заниженной (с большим запасом надёжности). Это объясняется тем, что ветвь нагружения в представленных испытаниях имеет слабую кривизну, близкую к линейной зависимости. Подобные испытания следовало бы проводить до момента «срыва» микросваи, т.е. до тех ступеней нагружения, когда деформации (осадки) начнут резко возрастать или, достигнут 40 мм. При таких условиях испытаний величина несущей способности микросваи будет фактически значительно больше по сравнению с представленными результатами.

Глава 3. Увеличение несущей способности оснований

Часто проводимая реконструкция зданий требует увеличение несущей способности оснований. Такие условия возникают обычно либо при увеличении нагрузки на фундаменты и основания, либо при выполнении работ по углублению подвала (увеличение полезной высоты существующих подвальных помещений). В том и другом случаях несущая способность оснований может быть недостаточна (не выполняется проверка основания по I предельному состоянию), тогда необходимо переходить к разработке мероприятий по увеличению несущей способности оснований.

Одним из наиболее действенных способов увеличения несущей способности оснований реконструируемых зданий, является конструктивный метод усиления с использованием выштампованных микросвай.

3.1. Расчёт необходимого количества микросвай усиления основания

Для определения степени усиления основания закреплённого микросваями, изобразим схему зон предельного состояния основания для ленточного фундамента (левая часть рисунка 3.1).

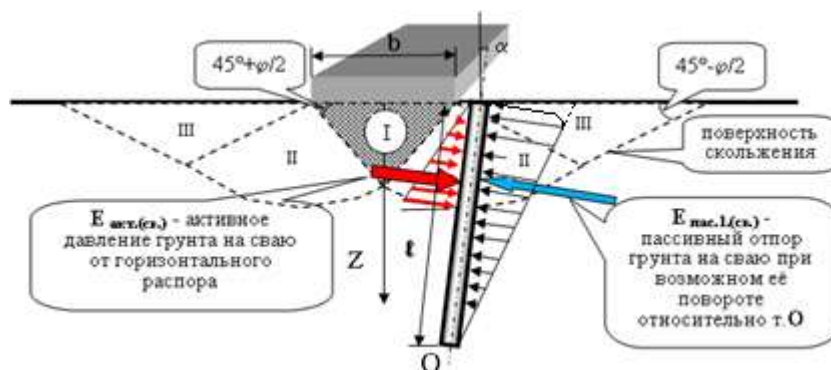


Рис.3.1. Расчётная схема формирования предельного состояния от полосовой нагрузки для основания, усиленного микро сваями, до начала поворота относительно т. О. I – зона переуплотнённого грунта в виде клина; II – зона развития пластических деформаций

ций (сдвигов в условиях предельного состояния); III – зона с непрерывными поверхностями скольжения (формирование выпора).

Как известно [7], для ленточного фундамента предельная нагрузка на основание может быть определена выражением:

$$N_u = b' \times l' \times (N_\gamma \times \xi_\gamma \times b' \times \gamma_I + N_q \times \xi_q \times d \times \gamma_I' + N_c \times \xi_c \times c_I) \quad (3.1)$$

где все обозначения приняты в соответствии со СНиП 2.02.01-83*.

В правой части рисунка 3.1 изображена расчётная схема (по Л. Прандтлю) от полосовой нагрузки для основания, в которое в качестве усиления добавлена микросвая.

Выполненные микросваи с целью усиления (увеличения силы предельного сопротивления) основания вдоль существующих фундаментов пересекают зону II (рис.3.1) и таким образом, прежде всего, создают препятствие для развития горизонтальных деформаций (зон сдвигов). В результате на часть длины микро сваи Z_{\max} будет действовать горизонтальный распор, создавая усилие в виде активного давления грунта $E_{\text{акт.св.}}$. Величина данного распора переменна в зависимости от условий нагружения фундамента и достигает максимального значения в момент нарушения равновесия жёсткой сваи (поворот относительно т. О).

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

Следует отметить, что в ряде случаев, когда пригрузки со стороны подвала в уровне головы микросваи нет, напряжения в грунте на отметке поверхности будут фактически равны нулю (проявление краевого эффекта). Тогда эпюра пассивного отпора грунта на данном участке сваи получит криволинейное очертание. Однако с глубиной этот эффект снижается и, в соответствии с основными допущениями механики грунтов, напряжения будут изменяться пропорционально перемещениям, т.е. можно использовать линейную зависимость. В этом случае в качестве допущения можно принять, что пассивный отпор будет развиваться практически линейно по всей длине l микросваи (рис. 3.1).

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

$$\sigma_{2\text{пасс}} = \gamma_{\text{yn}} \times l \times \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.2)$$

Тогда пассивный отпор может быть определён выражением:

$$E_{\text{пасс.св.}} = \frac{1}{2} \times \sigma_{2\text{пасс}} \times l \times F \quad (3.3)$$

где γ_{yn} – удельный вес грунта вокруг сваи, с учётом его уплотнения в процессе изготовления микросваи, в первом приближении допускается, что $\gamma_{yn}=1,11\gamma$ [2];

l – длина микросваи;

φ – угол внутреннего трения грунта основания;

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

r_{cv} – радиус изготовленной микросваи.

Подставляя введённые обозначения в выражение 3.3, получим:

$$\begin{aligned} E_{nac1cv} &= \frac{1}{2} \times \sigma_{2nac} \times l \times F = \frac{1}{2} \times \gamma_{yn} \times l \times \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \times l \times \pi \times r_{cv} = \\ &= \frac{1}{2} \times \gamma_{yn} \times l^2 \times \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \times \pi \times r_{cv} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Пассивный отпор E_{nac1cv} в соответствии с геометрическими построениями (рис. 3.2) может быть представлен двумя составляющими:

1 – нормальным давлением на ствол микросваи: $E_{nac1cv} \times \cos \alpha$

2 – трением грунта вдоль ствола микросваи: $E_{nac1cv} \times \sin \alpha$

где α – угол наклона микросваи к вертикали.

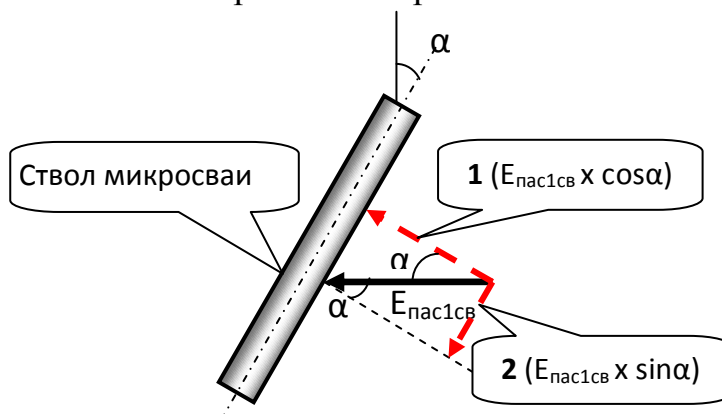


Рис.3.2. Геометрическое разложение пассивного отпора грунта на сваю на две составляющие

Определив величину пассивного отпора для микросваи в момент её предельного равновесия (возникновение поворота относительно т. О), представляется возможным вычислить дополнительную составляющую для силы предельного сопротивления основания, усиливаемого микросваями:

$$N_{ulcv} = n \times E_{nac1cv} \times (\cos \alpha + \sin \alpha) \quad (3.5)$$

где n – количество микросвай усиления на единицу расчётной длины фундамента.

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

$$N_{u(ycl)} = N_u + N_{u1cs} = N_u + n \times E_{naclcs} (\cos \alpha + \sin \alpha) \quad (3.6)$$

где N_u – сила предельного сопротивления основания, без учёта свай, определяемая выражением (3.1). N_{u1cs} – составляющая силы предельного сопротивления основания, учитывающая работу микросвай (предельное состояние микросвай относительно точки O).

Таким образом, задавшись предварительно размерами микросвай (радиусом и длиной, по технологическим особенностям изготовления), можно найти необходимое число микросвай усиления (n) (из выражения 3.7), в зависимости от требуемой (задаваемой по условиям реконструкции) величины силы предельного сопротивления усиленного основания $N_{u(ycl)}$ (из условия равновесия свай):

$$n = \frac{N_{u(ycl)} - N_u}{E_{naclcs} \times (\cos \alpha + \sin \alpha)} \quad (3.7)$$

Не трудно заметить, что разность в числителе формулы 3.7 представляет собой дефицит несущей способности основания, возникающий в результате реконструкции и воспринимаемый (n) количеством свай усиления.

Таким образом, в соответствии с решением 3.7, задавшись предварительно размерами свай, из условия их предельного равновесия, представляется возможность определять необходимое количество свай (n) усиления основания. Расчёты следует проводить в зависимости от требуемой (задаваемой проектировщиком из условий реконструкции) величины силы предельного сопротивления усиленного основания $N_{u(ycl)}$.

3.2. Использование расчётного программного комплекса BRNL

Работа оснований при его дополнительном нагружении, в результате реконструкции зданий, может быть оценена расчётом с использованием программного комплекса BRNL (расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента с учётом возможной нелинейной работы основания) на сайте: www.BuildCalc.ru. Расчёты по данной программе <http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx> можно осуществлять непосредственно в интернете в режиме «on-lain».

Пример такого решения для одного из объектов Санкт-Петербурга представлен в ниже приведённой распечатке на рис. 3.3.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания Отчёт

Учётные данные

Объект:	СПб., Лиговский пр. 1, сеч. 8П(1) (проект рекон-
---------	--------------------------------------------------

	струкции)
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:	740,0
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 _r , 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	1,7	Песок пылеватый	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

Рассчитанные 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 $R_{пд}$, кПа:	533,08
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пд}$, кН:	756,97
Минимальное давление под подошвой фундамента R_{min} , кПа:	550,80
Среднее давление под подошвой фундамента $R_{ср.}$, кПа:	551,39
Максимальное давление под подошвой фундамента R_{max} , кПа:	551,97
Осадка фундамента S , см:	-
Коэффициент надёжности:	0,87

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

Рис. 3.3. Пример итоговой распечатки результатов решения по интернетовской программе BRNL (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента в осях 8П(1) и заданных условий ($N=740$ кН) реконструкции здания

Как видно из представленных результатов решения (рис.3.3), в результате реконструкции здания, основание для существующего ленточного фундамента с увеличением вертикальной нагрузки до 740 кН/м становится перегруженным. В этом случае оно переходит в не устойчивую категорию, поскольку не выполняются условия расчёта по I предельному состоянию (коэффициент надёжности $0,87 < 1$).

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 расчёта представлена на рис. 3.4.



Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания Результаты расчёта

Учётная информация: СПб., Лиговский пр. 1, сеч. 8П(1), **N=600 кН**

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: 1,06

Для копирования результатов расчётов в текст отчёта используйте буфер обмена.

Рис. 3.4. Пример варианта распечатки результатов решения по интернетовской программе BRNL (<http://www.buildcalc.ru/Calculations/Brnl/Default.aspx>) для существующего фундамента в осях 8П(1), способного воспринять вертикальную нагрузку $N=600$ кН. Устойчивость данного фундамента обеспечена с минимальным коэффициентом надёжности $1,06 > 1$.

Из полученных результатов расчёта (рис. 3.4) видно, что 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 750 кН (рис. 3.3), а основание может воспринять лишь нагрузку в 600 кН (рис. 3.4), то существующий дефицит нагрузки ($750-600=140$ кН) должен быть воспринят выштампованными микросваями усиления основания.

3.2.1. Пример расчёта необходимого количества микросвай усиления основания

Для определения необходимого количества микросвай усиления основания, воспринимающих существующий дефицит нагрузки (140 кН – см. §

3.2), воспользуемся методикой, изложенной в § 3.1, проводя вычисления по формуле 3.7.

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

- Длина, $l = 2\text{м}$;
- Диаметр, $\varnothing = 200\text{мм}$;
- Угол наклона к вертикали, $\alpha = 30^\circ$

Микросвая будет расположена под углом наклона $\alpha = 30^\circ$ в основании, расчётные характеристики которого определены в соответствии с таблицей «Данные по грунту» (рис.3.3).

Тогда, по формуле (3.2), для условий нашего примера, получим:

$$\sigma_{2nac} = \gamma_{yn} \times l \times \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = 1,1 \cdot 19,4 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{29^\circ}{2}\right) = 122,9 \text{ кН/м}^2$$

Подставляя данные результаты в формулу (3.3), получим:

$$E_{nac\text{св}} = \frac{1}{2} \times \sigma_{2nac} \times l \times F = \frac{1}{2} \cdot 122,9 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 = 38,59 \text{ кН}$$

Воспользовавшись формулой 3.7, найдём необходимое число микросвай усиления основания:

$$n = \frac{N_{u(\text{уч1})} - N_u}{E_{nac\text{св}} \times (\cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{740 - 600}{38,59 \cdot (0,86 + 0,5)} = \frac{140}{52,48} = 2,67$$

Полученное решение округляем до целого, т.е. принимает $n=3$.

Таким образом, существующие основание (пески средней крупности, пылеватые с органикой, насыщенные водой) для восприятия проектируемой вертикальной нагрузки $N=750 \text{ кН/м}$ от ленточного фундамента ($b=1,42 \text{ м}$), должно быть усилено на одном метре тремя выштампованными микросваями (с расчётными характеристиками – см. выше).

Образец проектного решения по усилению основания для рассмотренного примера изображен на рис. 3.5. В данном проектном решении представлены не только выштампованные микросваи усиления основания, но и железобетонная обойма вдоль бутовой кладки фундамента, необходимая для создания сплошности бутовой кладки при проведении цементационной инъекции тела фундамента.

Следует подчеркнуть, что приведённая методика расчёта по определению необходимого числа микросвай усиления основания, позволяет обоснованно, в зависимости от нагрузок, грунтовых условий, размеров фундамен-

тов, выполнять расчёты с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых конструкций.

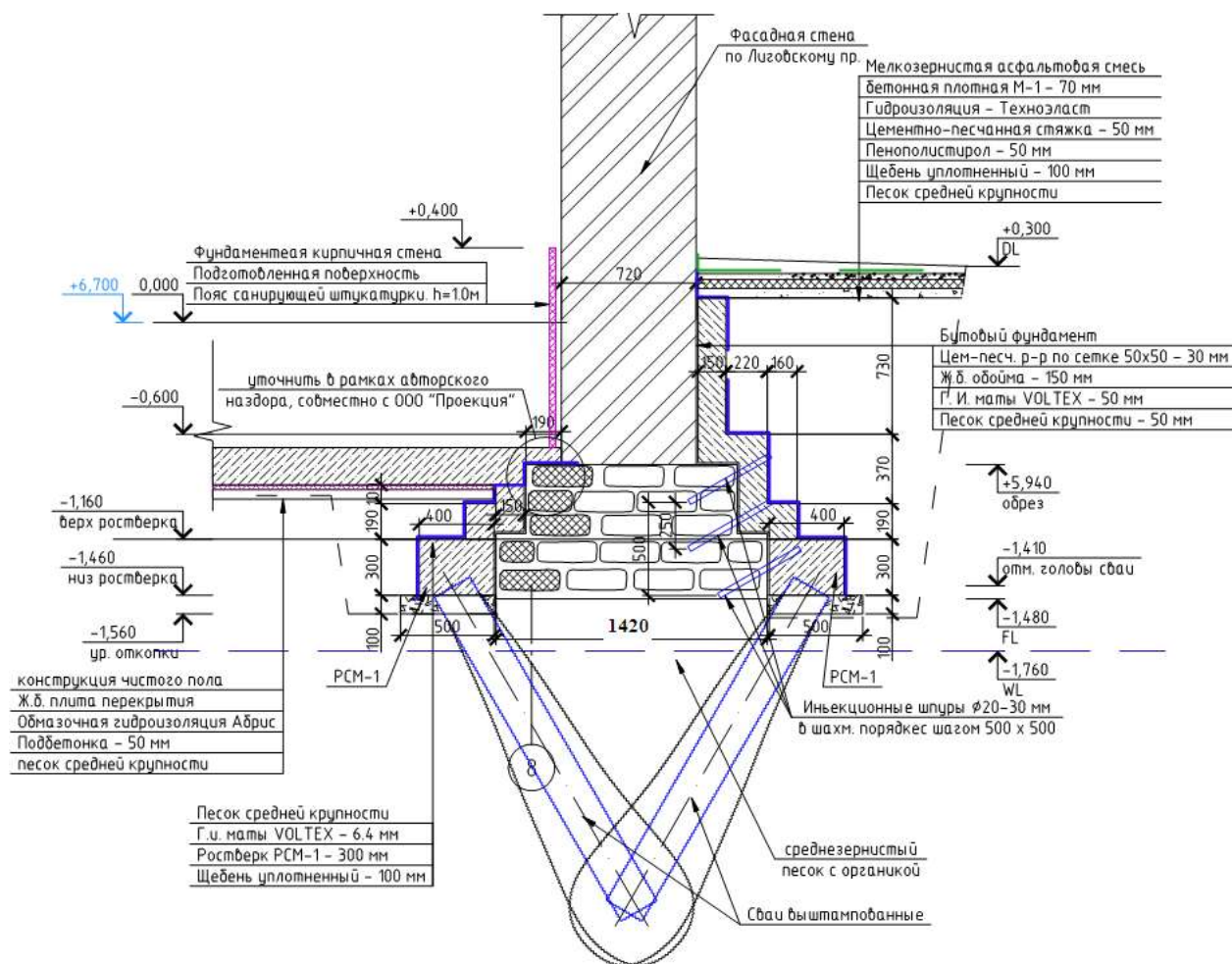


Рис.3.5. Пример проектного решения конструктивного усиления основания выштампованными микросваями

3.3. Работа ряда выштампованных микросвай как шпунтовой стенки

Найденное необходимое число выштампованных микросвай усиления основания (см. гл. 3) [4, 5], в зависимости от технологических параметров изготавливаемой сваи, позволяет восполнить дефицит несущей способности основания, возникающий в результате реконструкции и, таким образом, обеспечить условия расчёта основания по первому предельному состоянию.

В случае выполнения вертикальных микросвай, ряд свай усиления основания для ленточного фундамента, при определённых условиях можно рассматривать как работу шпунтовой стенки. Выполненный таким образом ряд свай усиления основания будет воспринимать распор в виде горизонтального давления от подошвы реконструируемого ленточного фундамента, и передавать его на окружающий грунт. Поскольку сваи устраиваются в ряд с определённым шагом, то ставиться задача определения оптимального шага свай,

при котором выполненный ряд свай усиления основания начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка.

Рассмотрим данную задачу при следующих основных допущениях (см. § 3.3.1).

3.3.1. Основные принятые допущения

Условия работы свай усиления основания рассматриваются исходя их следующих основных допущений (рис. 3.6):

1. Сваи (1) воспринимают горизонтальное давление от бокового отпора грунта (4) из-под подошвы (2) нагруженного фундамента (направление главного напряжения).
2. Максимальное давление (активное) грунта на ствол сваи 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 ствол сваи 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 на единицу длины сваи дополнительное уплотняющее давление ($\sigma_{\text{упл}}$) от одной сваи по площади, численно равной отрезку L – шагу свай.

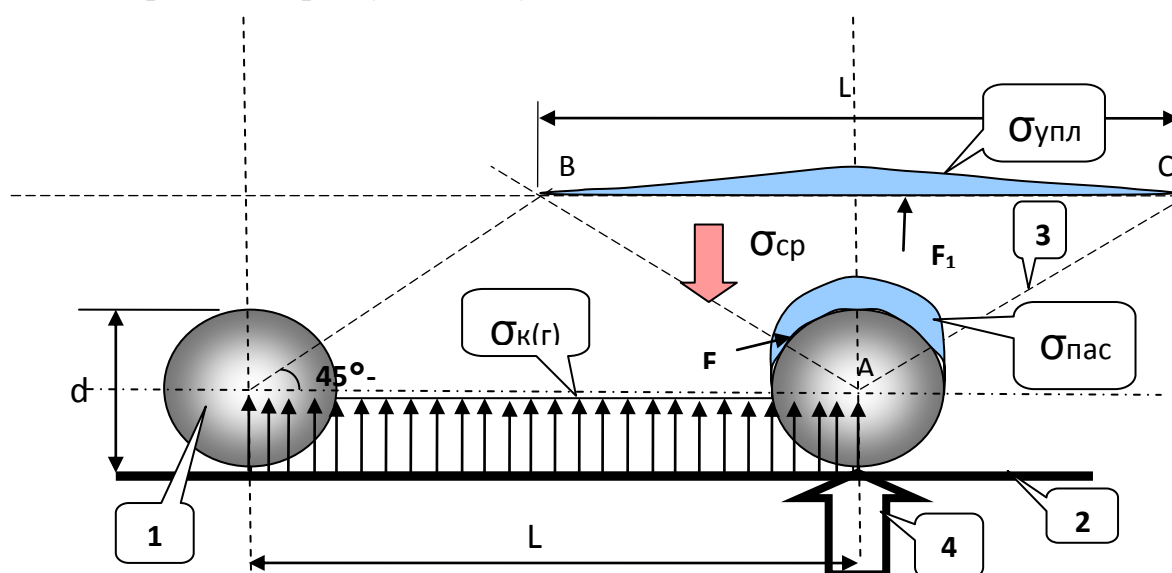


Рис. 3.6. Схема работы свай усиления основания на горизонтальную нагрузку в момент предельного состояния.

1- свая; 2 - грань подошвы ленточного фундамента. 3 – поверхности скольжения. 4 - горизонтальное давление от бокового отпора грунта из-под подошвы нагруженного фундамента, действующие на одну сваю (направление главного напряжения). $\sigma_{\text{пас}}$ - пассивный от-

пор, приложенный на ствол сваи со стороны грунта. $\sigma_{\text{упл}}$ - дополнительное уплотняющее давление от одной сваи, действующие по площади, численно равной отрезку L – шагу свай.

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

Исходя из принятых допущений, у каждой сваи усиления основания, в момент предельного состояния, со стороны грунта возникает пассивный отпор. Данный пассивный отпор ($\sigma_{\text{пас}}$), рассеиваясь в призме грунта (ABC), ограниченной поверхностями скольжения, будет передавать на единицу длины сваи дополнительное уплотняющее давление ($\sigma_{\text{упл}}$) по площади (BC), численно равной отрезку L – шагу свай. Тогда, исходя из принятого линейного закона распределения давлений, можно записать:

$$\sigma_{\text{ср}} = (\sigma_{\text{пас}} + \sigma_{\text{упл}})/2 \quad (3.8)$$

где, $\sigma_{\text{ср}}$ – средняя величина горизонтальных давлений в массиве грунта от одной сваи. Данная величина будет противодействовать краевому горизонтальному давлению ($\sigma_{\text{к(г)}}$), возникающему под подошвой фундамента или боковому отпору грунта $E_a = \sigma_{\text{к(г)}} \cdot (L-d)$, действующему на отрезке $(L-d)$, где d – диаметр сваи.

3.3.2. Основные условия расчёта. Расчётная схема

Исходя из выше изложенного, можно рассмотреть два условия:

$$E_a > 2\sigma_{\text{ср}} \quad (3.9)$$

$$E_a \leq 2\sigma_{\text{ср}} \quad (3.10)$$

В первом случае, выражение (3.9) соответствует условию, когда краевое горизонтальное давление от бокового отпора грунта из-под подошвы фундамента **превышает** среднюю величину горизонтальных давлений (сопротивлений) в массиве грунта, создаваемых сваями. В момент предельного состояния, грунт в межсвайном пространстве, как бы «обтекает» сваи, или сваи работают отдельно друг от друга.

Во втором случае, выражение (3.10) 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 сваями. В момент предельного состояния, в грунте в межсвайном пространстве создаётся своего рода «арочный» эффект и сваи начинают работать как конструктивная шпунтовая стенка.

Рассматривая условие равновесия в выражении 3.10, представляется возможным определить оптимальный шаг свайного ряда, при котором выполненный ряд свай усиления основания начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка.

Введя дополнительные обозначения $F = \pi \cdot r_{св}$ – площадь половины периметра микросваи, по которой возникает пассивный отпор; $r_{св}$ – радиус сваи; F_1 – площадь участка (BC), воспринимающие дополнительное уплотняющие давление ($\sigma_{упл}$), число равно отрезку L – шагу свай, можно (см. рис. 3.6) записать:

$$\sigma_{пасс} \cdot F = \sigma_{упл} \cdot F_1 \quad (3.11)$$

Тогда:

$$\sigma_{упл} = (\sigma_{пасс} \cdot F) / F_1 = (\sigma_{пасс} \cdot \pi \cdot r_{св}) / L \quad (3.12)$$

Пассивное давление $\sigma_{пасс}$ в грунте, действующее на сваю из условия предельного состояния может быть определено из следующего выражения (рис. 3.7):

$$\sigma_{i\grave{a}\grave{n}} = \gamma_{\acute{o}\grave{i}} \times (\ell - H) \times \text{tg}^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) \quad (3.13)$$

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

Из условий принятых обозначений, выражение (3.8) может быть записано в следующем виде:

$$\sigma_{\grave{n}\acute{o}} = \frac{\sigma_{i\grave{a}\grave{n}} + \sigma_{\acute{o}\grave{i}\grave{e}}}{2} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{i\grave{a}\grave{n}} + \frac{\sigma_{i\grave{a}\grave{n}} \cdot \pi \cdot r_{\grave{n}\acute{a}}}{L} \right) = \frac{\sigma_{i\grave{a}\grave{n}}}{2} \left(1 + \frac{\pi \cdot r_{\grave{n}\acute{a}}}{L} \right) \quad (3.14)$$

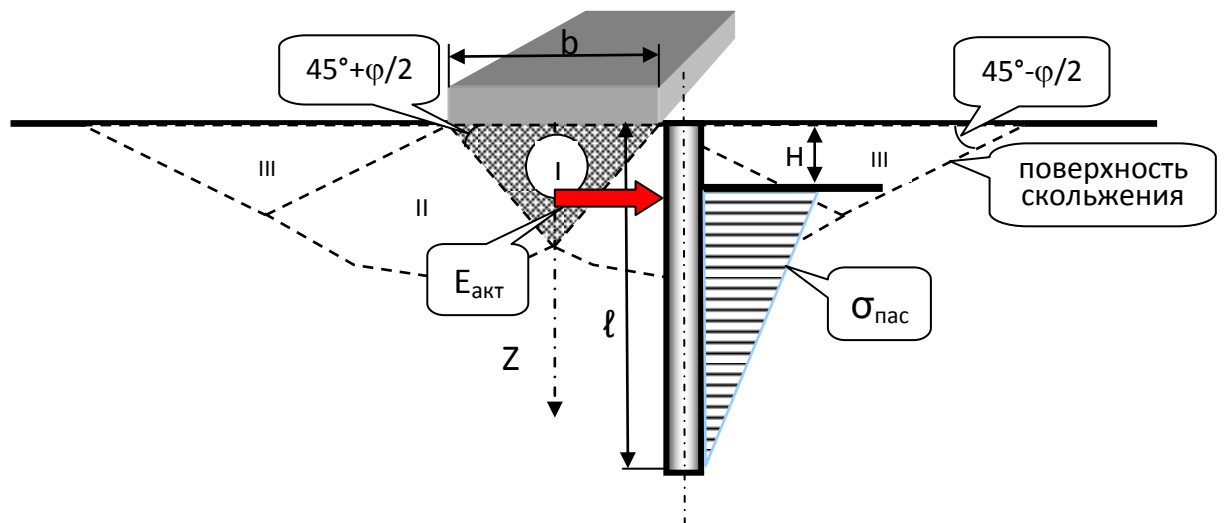


Рис. 3.7. Расчётная схема формирования предельного состояния от ленточного фундамента для основания усиленного выштампованными микросваями.

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).

Еакт – боковой распор грунта в момент его предельного состояния. Н – величина возможного понижения пола подвала ниже головы сваи (до подошвы фундамента); ℓ – длина микросваи.

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:

$$\sigma_{к(г)} = \xi \cdot \sigma_0 \quad (3.15)$$

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 $\xi = 0,11 \dots 0,82$ [6].

3.3.3. Условие работы свай как конструктивной шпунтовой стенки. Решение квадратного уравнения

Подставляя полученные значения в выражение (3.10), получим уравнение, определяющее условие вычисления оптимального шага свайного ряда, при котором выполненный ряд свай усиления основания начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка:

$$\xi \cdot \sigma_0 (L - d) = \sigma_{i\hat{a}\hat{n}} + \frac{\sigma_{i\hat{a}\hat{n}} \cdot \pi \cdot r_{\hat{n}\hat{a}}}{L} \quad (3.16)$$

Полученное уравнение (3.16) решаем относительно неизвестной величины L – шага свай.

Тогда получим квадратное уравнение следующего вида:

$$\xi \cdot \sigma_0 \cdot L^2 - (\sigma_{i\hat{a}\hat{n}} - d \cdot \xi \cdot \sigma_0)L - \sigma_{i\hat{a}\hat{n}} \cdot \pi \cdot r_{\hat{n}\hat{a}} = 0 \quad (3.17)$$

Решение уравнения (3.17) может быть представлено в следующем виде:

$$L = \frac{(\sigma_{i\hat{a}\hat{n}} - d \cdot \xi \cdot \sigma_0) \pm \sqrt{(\sigma_{i\hat{a}\hat{n}} - d \cdot \xi \cdot \sigma_0)^2 + 4\xi\sigma_0 \cdot \sigma_{i\hat{a}\hat{n}} \cdot \pi \cdot r_{\hat{n}\hat{a}}}}{2\xi\sigma_0} \quad (3.18)$$

Таким образом, используя условия равновесия в выражении (3.10) получено решение (3.18) в определении L – максимального возможного шага свай, при котором выполненный ряд свай работает как конструктивная шпунтовая стенка.

3.3.4. Примеры решения поставленной задачи

Для **примера 1**, рассмотрим воздействие степени нагружения (σ_0) основания от ленточного фундамента на изменение шага (L) свай усиления основания, при следующих исходных данных:

- Грунт основания мелкий песок со следующими характеристиками: $\varphi = 28^\circ$; $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$; $\xi = 0,3$.
- Микросвая усиления основания имеет расчётную длину ($\ell - H$)=2 м и диаметр изготовления $d=0,2$ м.

Из выражения (3.13) находим пассивное давление $\sigma_{\text{пас}}$ в грунте, действующее на сваю из условия предельного состояния, с введением понижающего коэффициента условия работы 0,8:

$$\sigma_{\text{пас}} = 0,8 \cdot \gamma_{\text{упл}} \cdot (\ell - H) \cdot \text{tg}^2(45^\circ + \varphi / 2) = 0,8 \cdot 1,1 \cdot 18 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ + 28^\circ / 2) = 87 \text{ кПа}$$

Используя выражение (3.18), определим необходимый шаг свай (L), при котором выполненный ряд свай работает как конструктивная шпунтовая стенка, при давлении под подошвой фундамента $\sigma_0 = 200$ кПа:

$$L = \frac{(87 - 0,2 \cdot 0,3 \cdot 200) \pm \sqrt{(87 - 0,2 \cdot 0,3 \cdot 200)^2 + 4 \cdot 0,3 \cdot 200 \cdot 87 \cdot 3,14 \cdot 0,1}}{2 \cdot 0,3 \cdot 200} = \frac{75 \pm 110}{120}$$

Получим $L = 1,54$ м

Проведём подобные вычисления при $\sigma_0 = 300$ кПа; 400 кПа; 500 кПа и результаты вычислений представим в табличной форме (таблица 3.1):

Результаты вычислений по примеру 3.1

Таблица 3.1

σ_0 (кПа)	200	300	400	500
L (м)	1,54	1,0	0,8	0,65

В качестве **примера 2**, рассмотрим ту же задачу, что и выше, но при несколько худших грунтовых условиях и более короткой микросвайе усиления основания:

- Грунт основания мелкий песок со следующими характеристиками: $\varphi = 25^\circ$; $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$; $\xi = 0,3$.
- Микросвая усиления основания имеет расчётную длину ($\ell - H$)=1,5 м и диаметр изготовления $d=0,2$ м.

Проведём рассмотренные выше вычисления при $\sigma_0 = 200$ кПа; 300 кПа; 400 кПа; 500 кПа и результаты вычислений представим в табличной форме (таблица 3.2):

Результаты вычислений по примеру 3.2

Таблица 3.2

σ_0 (кПа)	200	300	400	500
L (м)	1,0	0,73	0,56	0,45

Для более наглядного представления результатов расчёта по примеру 1 и 2, полученные вычисления изобразим в виде графика $L=L(\sigma_0)$ на рис. 3.8.

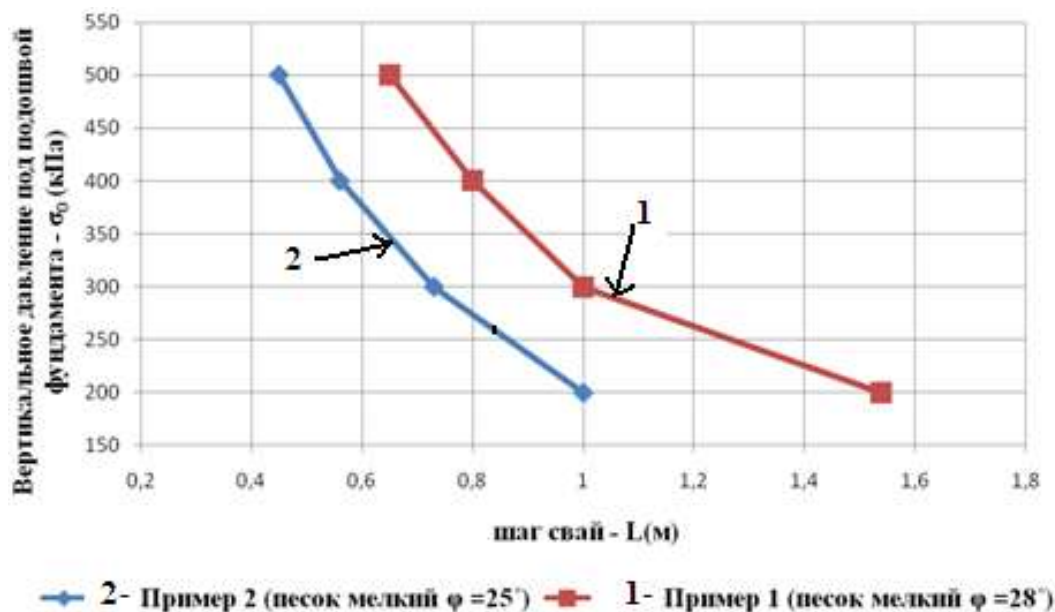


Рис. 3.8. Графическое представление результатов расчёта (пример 1, 2) в определении L – максимального возможного шага свай, при котором выполненный ряд свай работает как конструктивная шпунтовая стенка, в зависимости от вертикального давления под подошвой ленточного фундамента.

3.3.5. Пример использования предлагаемой методики для проектов усиления основания

В качестве примера выполним аналогичные вычисления в определении необходимого шага свай (L), при котором выполненный ряд свай работает как конструктивная шпунтовая стенка, для одного из реконструируемых объектов Санкт-Петербурга.

Вводим следующие исходные данные:

- Ленточный бутовый фундамент, реконструируемого подвала здания, под центральной несущей стеной по оси В передаёт давление на основание $\sigma_0=353$ кПа (рис. 3.9).
- Грунт основания мелкий песок со следующими характеристиками: $\varphi = 29^\circ$; $\gamma = 17$ кН/м³; $\xi = 0,3$.
- Микросвая имеет расчётную длину ($l - H$) = 2 м и диаметр изготовления $d=0,25$ м.

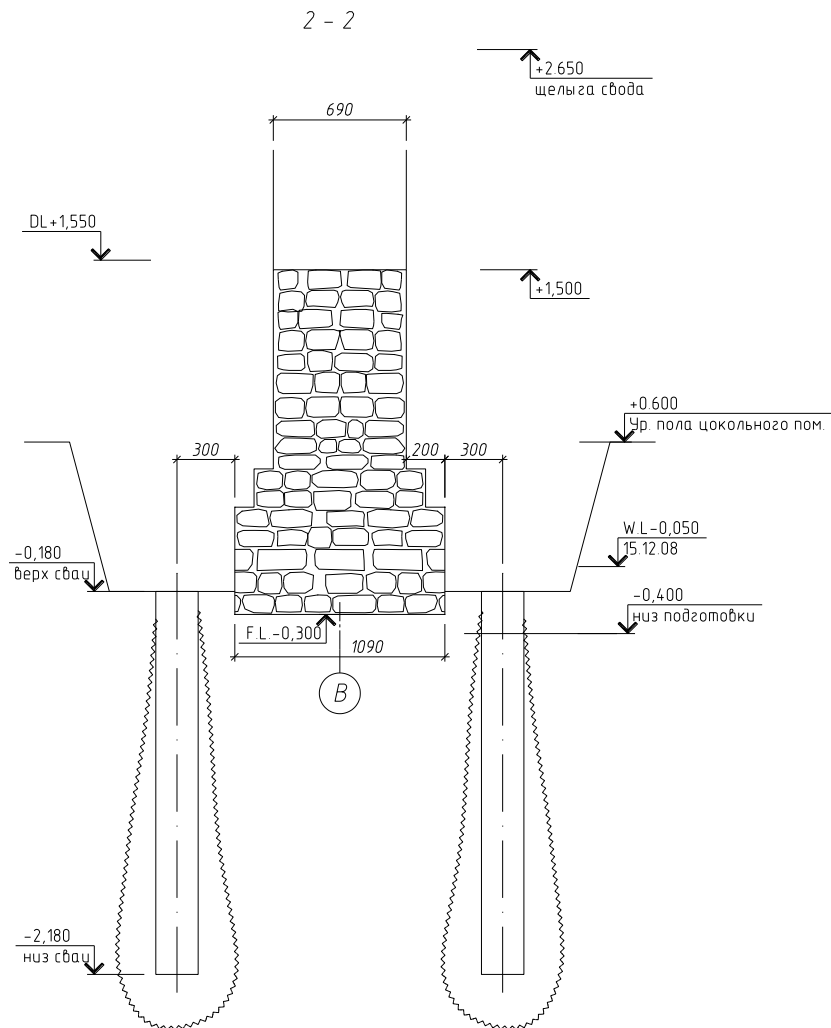


Рис.3.9. Пример проектного решения (поперечное сечение 2-2) по усилению основания выштампованными микросваями для фундамента по оси В (см. рис. 3.10)

Из выражения (3.13) находим пассивное давление $\sigma_{пас}$ в грунте, действующее на сваю из условия предельного состояния, с введением понижающего коэффициента условия работы 0,8:

$$\sigma_{пас} = 0,8 \cdot \gamma_{упл} \cdot (\ell - H) \cdot \text{tg}^2(45^\circ + \varphi / 2) = 0,8 \cdot 1,1 \cdot 17 \cdot 2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ + 29^\circ / 2) = 86 \text{ кПа}$$

Используя выражение (3.18), определим необходимый шаг свай (L), при котором выполненный ряд свай работает как конструктивная шпунтовая стенка, при давлении под подошвой фундамента $\sigma_0 = 353 \text{ кПа}$:

$$L = \frac{(86 - 0,25 \cdot 0,3 \cdot 353) \pm \sqrt{(86 - 0,25 \cdot 0,3 \cdot 353)^2 + 4 \cdot 0,3 \cdot 353 \cdot 86 \cdot 3,14 \cdot 0,125}}{2 \cdot 0,3 \cdot 353} = \frac{59 \pm 133}{211,8}$$

Получим $L = 0,91 \text{ м}$. Принимаем расчётный шаг свай 900 мм и размещаем сваи в плане согласно рис. 3.10.

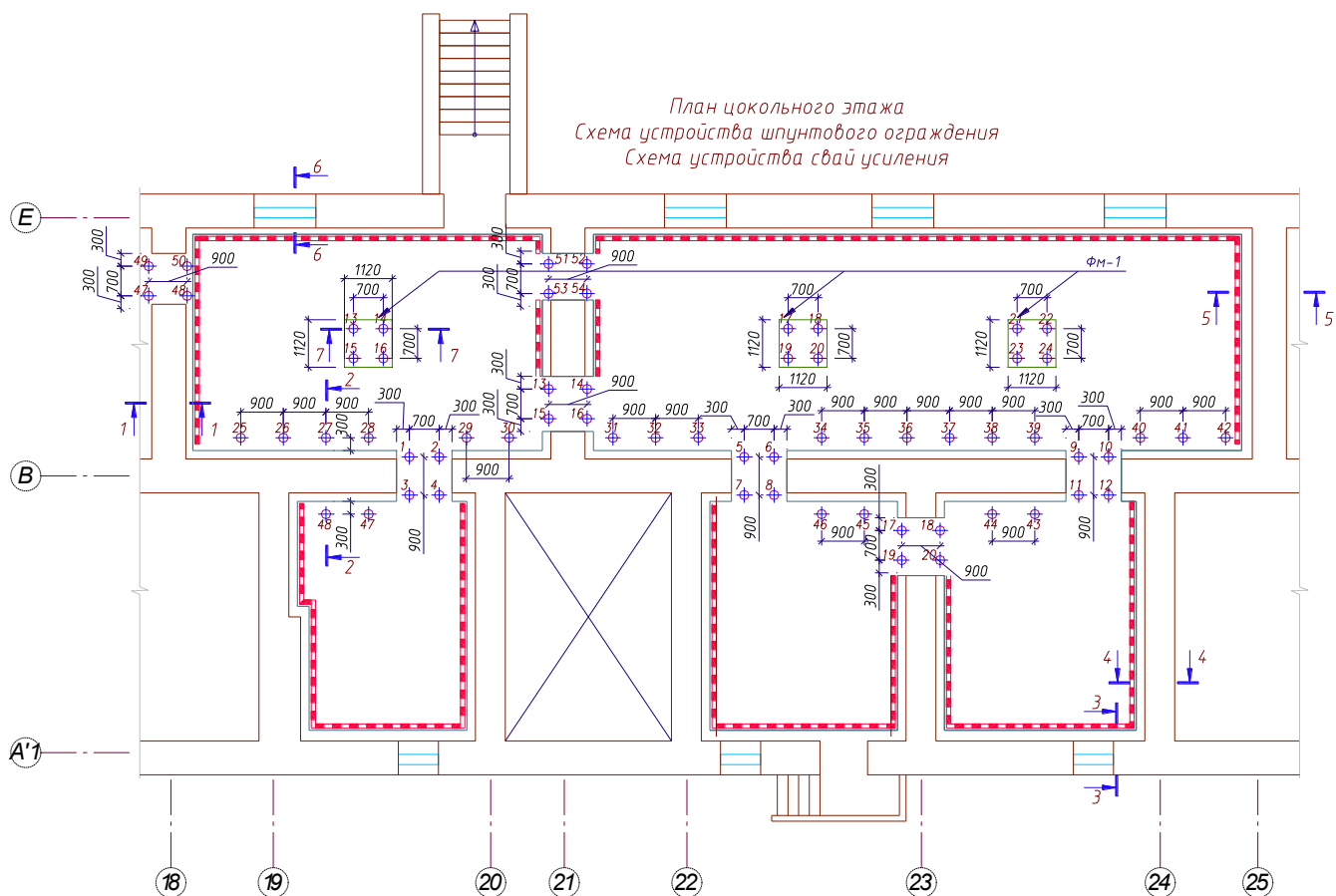


Рис. 3.10. Пример фрагмента плана подвала реконструируемого здания с размещением микросвай усиления основания в виде шпунтовой стенки вдоль оси В с расчётным шагом 900 мм.

Представленное расчётное обоснование решаемой инженерной задачи и приведённые численные примеры позволяют сделать следующие выводы:

1. Решена задача определения оптимального шага свай, при котором выполненный ряд свай усиления основания для ленточного фундамента начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка.
2. Рассчитываемая величина шага свай зависит:
 - от степени нагружения основания усиливаемого ленточного фундамента,
 - размеров микросвай,
 - физико-механических свойств грунтов основания (ϕ , γ , ξ)
3. Практическое применение данной задачи, с использованием полученной формулы (3.18), позволяет достаточно просто достигать поставленной цели в проектных разработках.

Глава 4. Изменение модуля деформации основания усиленного выштампованными микросваями

Выштампованные цементно-щебёночные микросваи выполняются чаще всего для усиления грунтов основания с двух сторон подошвы существующего фундамента.

ющих ленточных фундаментов. Угол наклона свай их может составлять от 20° до 45° к вертикали.

Основание усиленное выштампованными микросваями становится не однородной средой (внедрение жёстких элементов микросвай), с улучшенными деформационными характеристиками и, следовательно, с меньшими величинами осадок. Для вычисления осадки фундамента на таком основании целесообразно воспользоваться методикой осреднения модуля деформации грунтового основания.

4.1. Основные допущения предлагаемой методики. Вычисление осреднённого модуля деформации условного объёма уплотнённого основания

Рассмотрим задачу определения осреднённого модуля деформации грунтового основания, усиленного выштампованными микросваями, на основе допущения, что при выполнении данных микросвай усиления грунтового основания [4] (<http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>), под подошвой ленточного фундамента (рис. 4.1) 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 $V_{св}$), расположенных под различным углом.
3. Уплотнённой оболочки грунта радиусом 0,2 м вокруг изготовленной сваи, с втрамбованным щебнем и модулем деформации $E_{угр} = 1,11E_{гр}$ и объёмом $V_{угр}$ [2].

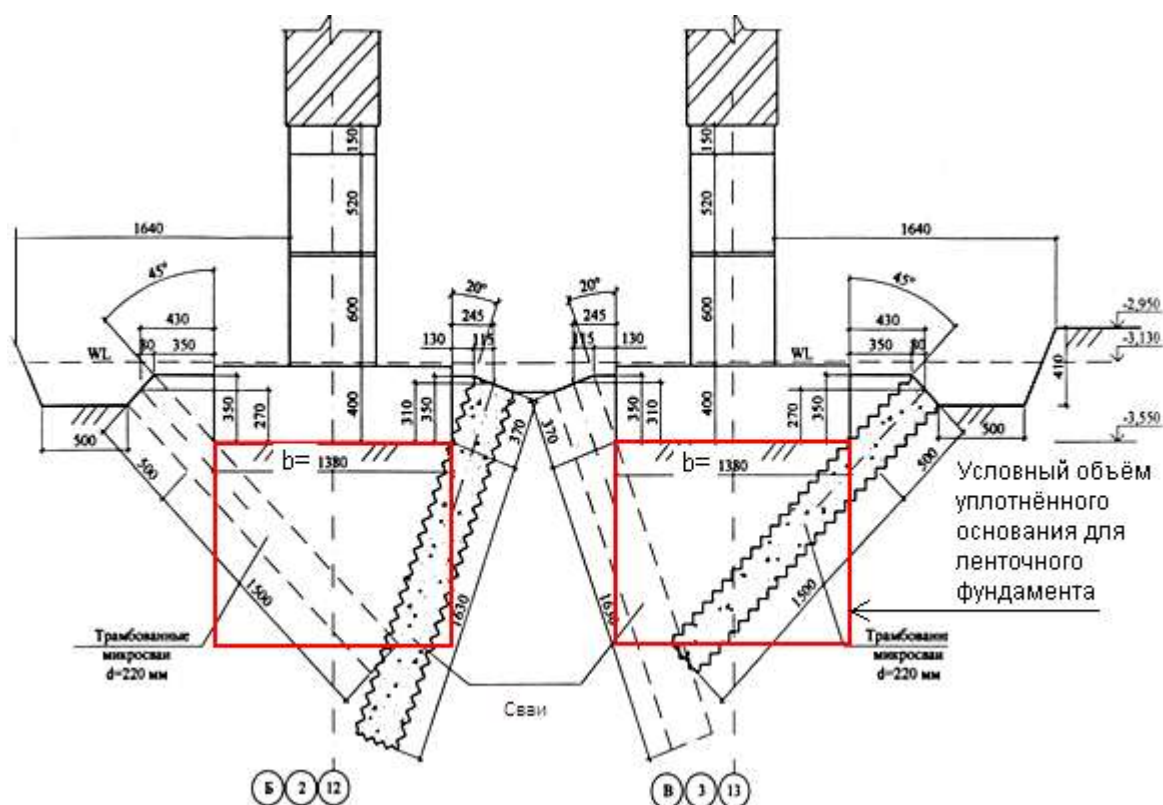


Рис. 4.1. Пример проектного решения по устройству выштампованных микросвай усиления основания под внутреннюю стену реконструируемого здания.

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

$$E_{ср} = \frac{E_{св} \cdot V_{св} + E_{угр} \cdot V_{угр} + E_{гр} \cdot V_{гр}}{V_{св} + V_{угр} + V_{гр}}, \quad (4.1)$$

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. 4.1); 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:

$$V_{св} = (\pi d^2/4) \cdot \ell \cdot n = (\pi d^2/4) \cdot b \cdot n / \cos\alpha \quad (4.2)$$

Для уплотнённой оболочки грунта радиусом 0,2 м вокруг изготовленной сваи или при $d_1=0,6$ м, получим:

$$V_{\text{угр}}=(\pi d_1^2/4 - \pi d^2/4) \cdot \ell \cdot n=(\pi d_1^2/4 - \pi d^2/4) \cdot b \cdot n/\cos\alpha=\pi/4(d_1^2 - d^2) \cdot b \cdot n/\cos\alpha \quad (4.3)$$

Тогда $V_{\text{гр}}^*$ составит:

$$V_{\text{гр}}=V-V_{\text{св}}-V_{\text{угр}}=b^2-(\pi d^2/4) \cdot b \cdot n/\cos\alpha-(\pi d_1^2/4) \cdot b \cdot n/\cos\alpha+(\pi d^2/4) \cdot b \cdot n/\cos\alpha= \\ =b(b-\pi d_1^2 \cdot n/4 \cdot \cos\alpha) \quad (4.4)$$

Подставляя полученные значения $V_{\text{св}}, V_{\text{угр}}, V_{\text{гр}}$ в исходную формулу (4.1) можно вычислить $E_{\text{ср}}$.

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

В результате, принятое конструктивное решение по усилению грунтового основания в виде устройства выштампованных микросвай, даёт возможность расчётным способом прогнозировать изменение модуля деформации уплотнённого основания. Полученная осреднённая характеристика модуля деформации усиленного 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).

4.2.Штамповые испытания основания усиленного выштампованными микросваями. Пример вычисления средневзвешенного (осредненного) модуля деформации для условного объёма грунта

В целях проверки предложенной методики осреднения модуля деформации грунтового основания (§ 4.1), были выполнены полевые штамповые испытания закреплённого основания. Для проведения испытания, в подвале реконструируемого здания была подготовлена (вырезана) часть существующего ленточного фундамента размерами в плане 0,8 м на 0,6 м и высотой 0,6 м. Этот фундамент служил в качестве штампа с заглублением 0,3 м в основание. Основание под штампом предварительно было усилено выштампованными микросваями в количестве двух штук диаметром 220 мм и длиной 2 м, выполненных под углом $\alpha=20^\circ$ к вертикали.

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

На рис. 4.2 показан общий вид штампа на момент проведения испытаний с установленным домкратом и прогибомерами. Штамповые испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 20276-99.

Основанием в штамповых испытаниях служили Озёрные-ледниковые отложения $Q^{lg}III$ Балтийского ледникового озера – представленные суглинками пылеватыми, слоистыми, сильно выветрелыми, мягкопластичными, общей мощностью до 8 м. Со следующими характеристиками:

- влажность $W = 0,3...0,38$;
- плотность $\rho = 1,85...1,89 \text{ г/см}^3$;
- коэффициент пористости $e = 0,943...1,045$;
- показатель текучести $J_L = 0,85...0,92$;
- модуль общей деформации $E_0=5 \text{ мПа}$.

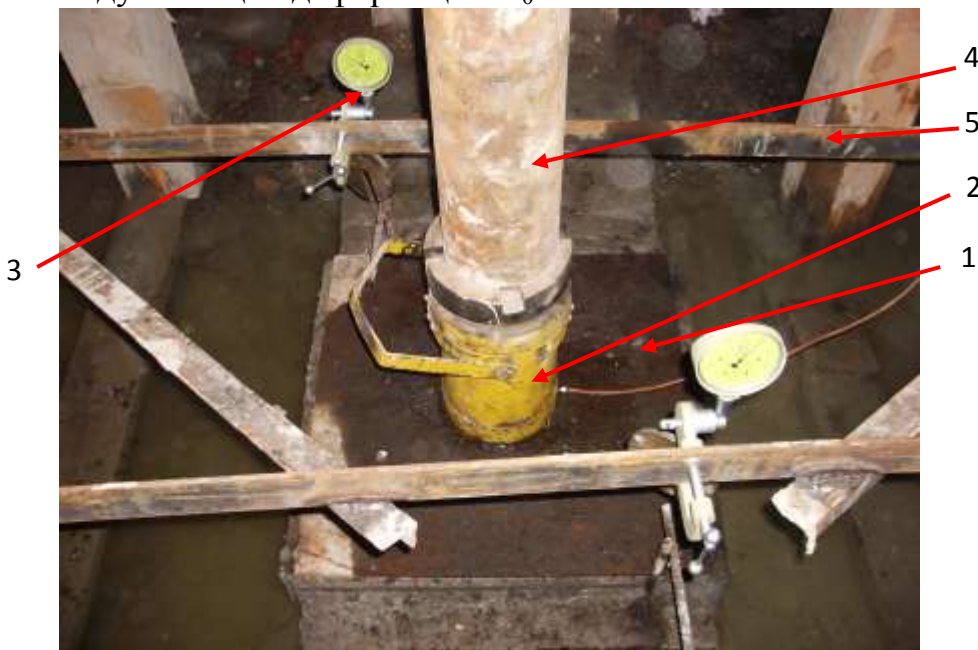


Рис. 4.2. Фотография общего вида проведения испытаний.

1 – штамп (ж/б фундамент) размерам 0,8 x 0,6 м; 2 – домкрат; 3 – прогибомеры; 4 – металлическая труба-стойка $\varnothing 150 \text{ мм}$; 5 – реперная система.

В соответствии с принятыми допущениями, используя схему на рис. 4.1 и выражение (4.1), выполним вычисление средневзвешенного значения модуля деформации основания E_{cp} , усиленного микросваями, расположенными под штампом.

Тогда для условий проведённого эксперимента и микросвай, выполненных под углом $\alpha=20^\circ$ к вертикали, используя выражение (4.2), получим:

$$V_{св}=(\pi d^2/4) \cdot l \cdot n=(\pi d^2/4) \cdot b \cdot n/\cos\alpha=(3,14 \cdot 0,22^2/4) \cdot b \cdot n/0,939= 0,04 \cdot b \cdot n$$

Для вычисления уплотнённого объёма грунта вокруг изготовленных микросвай, воспользуемся выражением (4.3), тогда:

$$V_{урп}=(\pi d_1^2/4 - \pi d^2/4) \cdot l \cdot n= \pi/4(d_1^2 - d^2) \cdot b \cdot n/\cos\alpha = 3,14/4(0,6^2 -$$

$$-0,22^2) \cdot b \cdot n / 0,939 = 0,26 \cdot b \cdot n$$

В соответствии с выражением (4.4) $V_{гр}^*$ составит:

$$V_{гр} = V - V_{св} - V_{угр} = b^2 - 0,04 \cdot b \cdot n - 0,26 \cdot b \cdot n = b(b - 0,3n)$$

С учётом выше приведённых вычислений, средневзвешенный (осреднённый) модуль деформации для условного объёма грунта, усиленного выштампованными микросваями, (см. рис. 4.1) для штампового эксперимента, в соответствии с выражением (4.1), составит:

$$E_{ср} = \frac{E_{св} \cdot 0,04n + E_{угр} \cdot 0,26n + E_{зр}(b - 0,3n)}{b}$$

Подставляя дополнительные данные:

- $E_{св} = 100$ мПа;
- $E_{угр} = 1,11E_{зр} = 1,11 \times 5 = 5,5$ мПа,

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

$$E_{ср} = \frac{100 \cdot 0,04 \cdot 2 + 5,5 \cdot 0,26 \cdot 2}{0,6} = \frac{8 + 2,86}{0,6} = 18 \text{ мПа}$$

Таким образом, в результате усиления выштампованными микросваями основания под штампом, можно принять, что (условный объём уплотнённого основания) слой грунта мощностью до $b=0,6$ м будет иметь осреднённый расчётный модуль деформации $E_{ср}=18$ мПа.

4.3. Расчёт осадки фундамента на усиленном основании

С целью проверки представленной расчётной методики по определению осреднённого модуля деформации условного объёма грунта, для основания усиленного выштампованными микросваями под штампом (см. выше), приведём результаты эксперимента в виде графической зависимости осадки штампа от прикладываемого давления (рис. 4.3).

* 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.

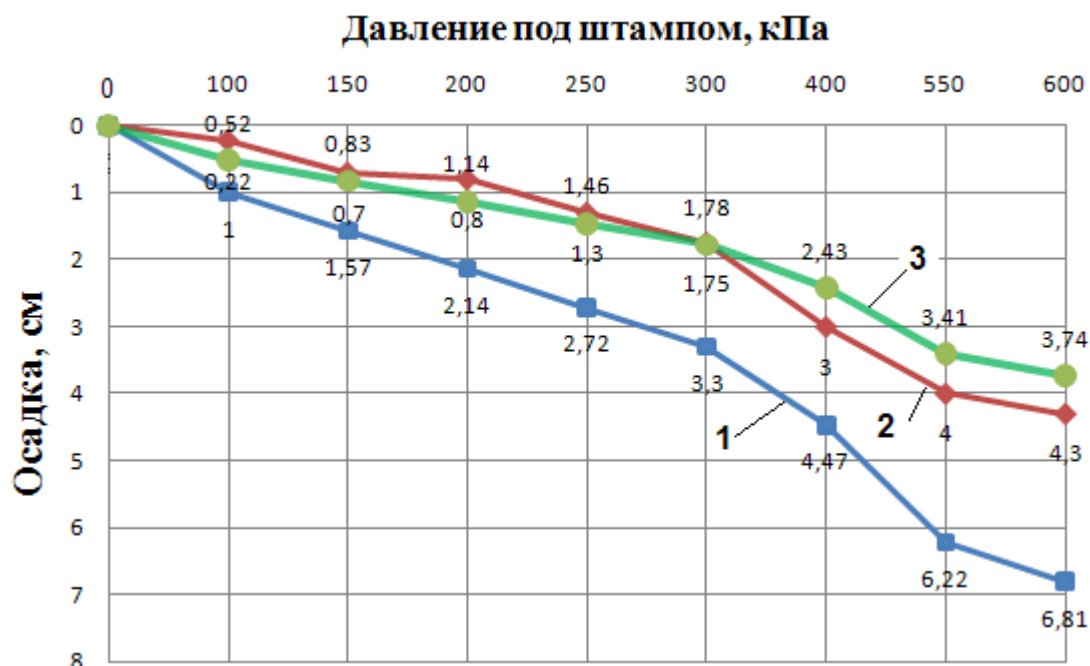


Рис. 4.3. Графические зависимости осадки штампа от прикладываемого давления. 1 – расчётная, для штампа на естественном основании; 2 – измеренная по результатам испытаний на уплотнённом выштампованными микросваями основании; 3 – расчётная, для штампа на уплотнённом выштампованными микросваями основании.

Представленные зависимости 1 и 2 на рис. 4.3 убедительно показывают эффективность применяемого метода усиления основания выштампованными микросваями. Осадки, полученные по результатам испытаний для основания уплотнённого выштампованными микросваями (кривая 2) существенно (на 40%...60%) меньше, чем осадки (метод послойного суммирования) при тех же давлениях, но для штампа на естественном основании (кривая 1). Анализ же представленных зависимостей 2 и 3 на рис. 4.3 показывает, что расчётные данные осадки с использованием осреднённого модуля деформации (кривая 3) отличаются от результатов испытаний в пределах до 13%...15%, что можно считать вполне приемлемым для инженерного метода расчёта.

4.4. Мониторинг осадки сооружений на усиленном основании

Снижение абсолютных и относительных осадок реконструируемых зданий, основания которых были усилены устройством выштампованных микросвай, подтверждается по результатам мониторинга, проводимого для конкретных объектов. Так, на рис. 4.4 представлены результаты абсолютных осадок и построены эпюры относительных осадок для реконструируемого здания по адресу: СПб., Васильевский остров, ул. Детская д., 28/ул. Канаречная д., 13.

Для данного здания (оздоровительного центра) проводилась реконструкция в виде надстройки двух этажей и углубления подвала.

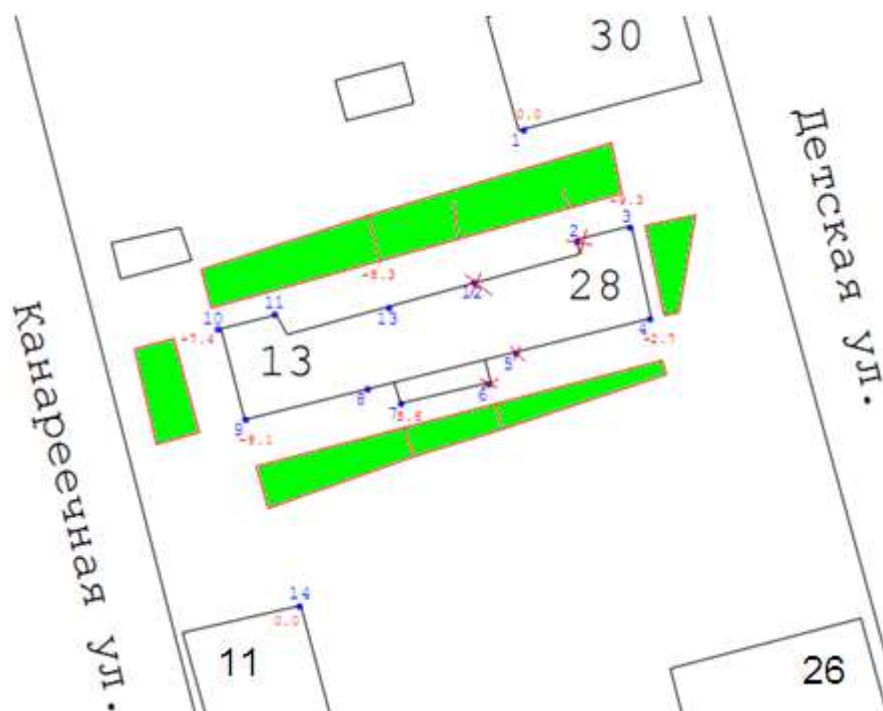


Рис. 4.4. Схема расположения реконструируемого здания с измеренными величинами абсолютных осадок и построенными эпюрами неравномерности осадок для реконструируемого здания по адресу: СПб., Васильевский остров, ул. Детская д., 28/ул. Канареечная д., 13.

После выполнения работ по усилению основания (пылеватый песок) данного здания выштампованными микросваями, по результатам мониторинга, проводимого по 14 установленным маркам, с 5.05.2007 г. по 28.03. 2008 г. величины абсолютных осадок составили 2,7...9,3 мм, что значительно меньше предельно допустимых значений для данного класса сооружения [1]. Следовательно, применённый метод усиления основания следует считать достаточно эффективным для практического применения.

Следует привести пример использования выштампованных микросвай усиления основания для реконструируемого здания (надстройка мансарды) по адресу: г. СПб., ул. Шаумяна д., 26 (рис. 4.5). Для данного здания, по результатам выполненных работ, проводился мониторинг за осадками не только для реконструируемого объекта, но также и для окружающей застройки. Так, на рис. 4.5 представлены результаты абсолютных осадок и построены эпюры относительных осадок по 32 маркам.

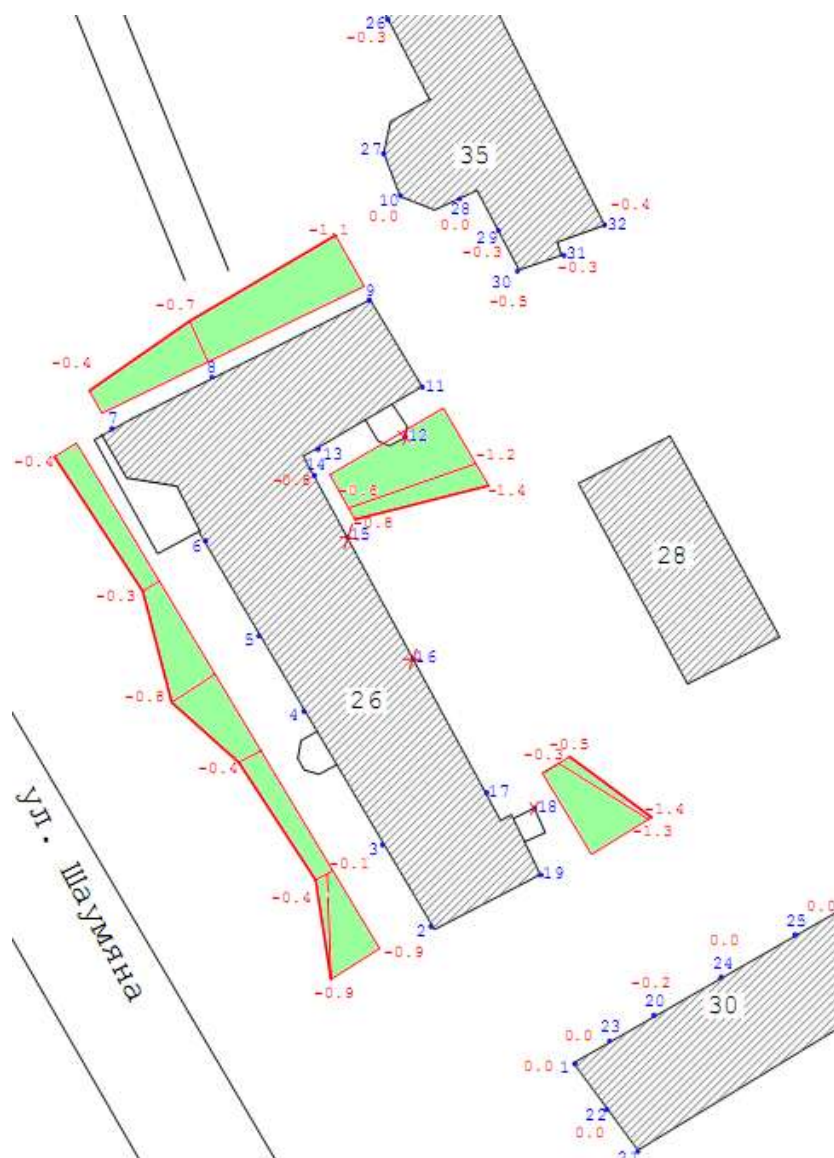


Рис. 4.5. Схема расположения реконструируемого здания с измеренными величинами абсолютных осадок (включая окружающую застройку) и построенными эпюрами неравномерности осадок для реконструируемого здания по адресу: СПб., ул. Шаумяна д., 26

Геодезические наблюдения, проводимые на данном объекте в период с февраля по октябрь 2007 г. показали, что абсолютные осадки на реконструируемом здании составили 0,3...0,9 мм. Окружающая застройка получила осадки в пределах 0,3...0,5 мм. Очевидно, что данные деформации существенно меньше предельно допустимых величин [1] и потому вполне приемлемы, поскольку не окажут негативного влияния на надземные конструкции.

Выводы:

1. Осадки основания, усиленные выштампованными микросваями, рассчитанные с использованием предложенной методики осреднения модуля деформации условного объема грунта, имеют расхождения с результатами испытаний в пределах до 15%, что можно считать вполне приемлемым для инженерного метода расчёта.
2. Конструктивное решение по усилению грунтового основания в виде устройства выштампованных микросвай, даёт возможность расчёт-

ным способом прогнозировать изменение модуля деформации уплотнённого основания.

3. Процесс развития осадок реконструируемых зданий на основаниях, закреплённых микросваями, может быть прогнозирован на стадии принятия проектных решений, критерием которых является величины абсолютных и относительных деформаций (по условиям ТСН 50-302-2004).

Глава 5. Примеры проектного решения по использованию выштампованных микросвай

Разработанная методика расчёта усиления оснований с использованием выштампованных микросвай нашла своё успешное применение на ряде объектов реконструкции и нового строительства, как в Санкт-Петербурге, так и Ленинградской области.

Основной ведущей организацией, выполняющей данные виды работ является ООО СК «Подземстройреконструкция» (<http://www.sk-psr.ru>), которая, только за последние четыре года осуществила работы, связанные с устройством выштампованных микросвай усиления основания, почти на 50 объектах:

1. Проект усиления фундаментов здания (надстройка 2-х этажей) по адресу: СПб, ул. М. Морская, 14, 2004 г.
2. Проект свайных фундаментов ж/б ростверков и балок под колонны каркаса в здании по адресу: СПб, ул. Уральская, 19, корп. 4, лит. Б, 2004 г.
3. Рабочий проект "Усиление основания фундаментов гостиницы «Турист» (надстройка 2-х этажей) по адресу: СПб, ул. Севостьянова, 3, 2005 г.
4. Проект фундаментов под котельную и дымовую трубу по адресу: СПб, ул. Подковырова, 43, 2005 г.
5. Проект устройства монолитной ж/б плиты и свайного основания производственного корпуса лимонадного завода в г. Тихвин Ленинградской обл., 2005 г.
6. Проект "Уплотнения грунтового основания СТО" по адресу: СПб, пр. Софийская, 8, корп. 3, 2005 г.
7. Цех по переработке стружки в пос. Невская Дубровка, Ленинградской области, 2006 г.
8. Рабочий проект фундаментов под блочную котельную и дымовую трубу высотой 14 м. в г. СПб, Глиняная, 5, 2006 г.
9. Устройство свайного фундамента и ростверков под коттедж в пос. Ильичево Ленинградской области, 2006 г.
10. Усиление фундаментов торгово-развлекательного центра в г. СПб, Обводный канал, д.130, 2007 г.

11. Проект реконструкции подпорных стен в г. Ломоносов, ул. Жоры Антоненко, 6, 2008 г.
12. Рабочий проект усиление основания фундамента резервуара МУП ЖКХ Вологдагороводоканал в г. Вологда, ул. Клубова д., 54, 2008 г.
13. Рабочий проект «Углубление и гидроизоляция помещений подвала здания г. СПб, ул. Итальянская, 33», 2008 г.
14. Реконструкция части здания оздоровительного комплекса со встроенной котельной с устройством шпунтирования и техподполья в пос. Рошино, Первомайское шоссе д.2, Ленинградской области, 2008 г.
15. Рабочий проект углубление помещений подвала, усиление перекрытия первого этажа в здании в г. СПб, ул. Шпалерная, 34, 2008 г.
16. Проект входа в подвал музея истории религии в г. СПб, ул. Почтамтская, 14, 2009 г.
17. Индивидуальный дом в г.Петродворец, ул. Николаевская, д. 1Б, 2009 г.
18. Реконструкция подвальных помещений здания. г. Санкт-Петербург Большой пр.27, 2006 г.
19. Устройство фундаментов под весовую КПП по адресу: Ленинградская обл., Всеволожский район, деревня Янино. 2005 г.
20. Рабочий проект устройства бассейна по адресу: г. Петродворец, ул. Нахимова д. 5. 2005 г.
21. Устройство фундаментов под оборудование в коттедже. г.Всеволожск Усадьба Кенша. 2005 г.
22. Рабочий проект устройства свайного фундамента под коттедж. Ленинградская обл., г. Всеволожск, "Коттедж 5М-2", 2006 г.
23. Реконструкция Церковного флигеля Екатерининского дворца. ГМЗ "Царское Село" Екатерининский дворец, г. Пушкин, ул. Садовая д., 9 А. 2006 г.
24. Рабочий проект усиления фундаментов. г. Санкт-Петербург, Приморский пр. д.29 лит.А, 2006 г.
25. Рабочий проект реконструкции фундамента. Ленинградская обл., п. Репино, ул. Лесная д.9. 2006 г.
26. Физкультурно-оздоровительный комплекс. г. Санкт-Петербург, Кв. 17, ВВЖД, ул. Софийская, д.40, к.4. 2006 г.
27. Рабочий проект "Усиление несущих конструкций церкви Иоанна Предтечи в Рошенье" г.Вологда, Советский пр., д.1. 2007 г.
28. Усиление фундаментов здания банка. г. Вологда, Кремлевская пл. д.12. 2007 г.
29. Рабочий проект "Дноуглубление подвала объекта "Реконструкция здания под аудиторный корпус" г Санкт-Петербург, Москательный пер.д.4, 2007 г.
30. Рабочий проект "Устройство фундаментов под балкон" г. С.-Петербург Невский пр. д.47. 2007 г.
31. Усиление несущих конструкций при реконструкции здания г. Н. Петергоф, Санкт-Петербургский пр., д. 40/16. 2008 г.

32. Усиление несущих конструкций при реконструкции здания г. Н. Петергоф, Петродворцовый район, ул. Правленская д., 18. 2008 г.
33. Рабочий проект "Реконструкция зданий под "Лечебно-оздоровительный центр". Усиление основания и фундаментов здания" г. Санкт-Петербург, Чебоксарский пер., д.1, лит.А. 2008 г.
34. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, Невский пр., д.5 2008 г.
35. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, Б.Конюшенная д. 13, лит. А, 2008 г.
36. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, пер. Ульяны Громовой, д.5., 2008 г.
37. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, Михайловская ул, д.2. 2008 г.
38. Углубление и гидроизоляция помещений подвала в части здания. г. Санкт-Петербург, ул. Восстания д., 40, лит. А. 2009 г.
39. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, ул. Лахтинская, 1/60, лит.А, помещения 1-Н, 16Н. 2009 г.
40. Углубление и гидроизоляция помещений цокольного этажа в здании. г. Санкт-Петербург, ул. Зайцева д. 8, корп.1. 2009 г.
41. Углубление и гидроизоляция помещений подвала, с учетом усиления фундаментов. г. Санкт-Петербург, Рижский пр., д.52, помещение 1-Н. 2009 г.
42. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, Свечной пер., д.7/11, пом. 5-Н., 2009 г.
43. Углубление и гидроизоляция помещений подвала. г. Санкт-Петербург, Большой пр., д. 27, 2008 г.

Приведённый список объектов различного назначения, для которых с успехом был использован метод усиления оснований выштампованными микросваями, свидетельствует об эффективности предложенной методики расчёта. Данная методика позволяет существенно улучшить свойства оснований, приспособивая их к восприятию новых нагрузок.

Заключение

1. Уплотнение грунта выштампованными микросваями выполняется для снижения сжимаемости и повышения несущей способности грунтов несущего слоя под ленточными и отдельно стоящими фундаментами (конструктивный метод усиления). Вибродинамические колебания возникающие в грунте от работы пневмопробойника практически на порядок меньше, минимально-допустимых значений и, следовательно, вполне допустимы и безопасны при условии чёткого соблюдения правил технологии производства работ (ППР).

2. Представленные полевые испытания статическим нагружением практически для всех разновидностей грунтов (пески, супеси, суглинки), расположенных в основании реконструируемых зданий, позволяют с достаточной степенью надёжности определить несущую способность выштампованных микросвай по грунту в размере 8...9 тонн.
3. Приведена методика расчёта по определению необходимого числа микросвай усиления основания, которая позволяет обоснованно, в зависимости от нагрузок, грунтовых условий, размеров фундаментов, выполнять расчёты с заданным коэффициентом надёжности, обеспечивая устойчивое состояние усиливаемых конструкций.
4. Программный комплекс (расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента с учётом возможной нелинейной работы основания (www.buildCalc.ru)) может быть использован как расчётное обоснование при проверке несущей способности оснований, требующих усиления при реконструкции сооружений.
5. Решена задача определения оптимального шага свай, при котором выполненный ряд свай усиления основания для ленточного фундамента начинает работать как конструктивная шпунтовая стенка. Рассчитываемая величина шага свай зависит:
 - от степени нагружения основания усиливаемого ленточного фундамента,
 - размеров микросвай,
 - физико-механических свойств грунтов основания (φ , γ , ξ)
6. Конструктивное решение по усилению грунтового основания в виде устройства выштампованных микросвай, даёт возможность расчётным способом прогнозировать изменение модуля деформации уплотнённого основания.
7. Полученная по результатам расчёта осреднённая характеристика модуля деформации усиленного 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).
8. Процесс развития осадок реконструируемых зданий на основаниях, закреплённых микросваями, может быть прогнозирован на стадии принятия проектных решений, критерием которых является величины абсолютных и относительных деформаций (по условиям ТСН 50-302-2004).
9. Положительные примеры практического использования усиления оснований реконструируемых зданий выштампованными микросваями, с минимальным развитием дополнительных осадок зданий, подтверждаются результатами длительного мониторинга, как за реконструируемыми объектами, так и за окружающей застройкой.
10. Успешный опыт использования выштампованных микросвай усиления оснований, как для реконструируемых, так и новых зданий, при-

обретенный за последние четыре года, практически по 50 объектам г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ООО СК «Подзем-стройреконструкция» <http://www.sk-psr.ru>), позволяет рекомендо-вать рассмотренную методику усиления основания к дальнейшему широкому применению.

Используемая литература

1. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург. СПб., 2004, 58 с.
2. Алексеев С.И., Мирошниченко Р.В. Исследование зон уплотнения грунтового основания вокруг выштампованных микросвай. Межвузовский тематический сборник трудов. СПб., СПб ГАСУ. 2009.
3. ВСН 358-76. Инструкция по забивке свай вблизи зданий и сооружений. ММСС СССР. М., 1976.
4. Алексеев С.И. Осадки фундаментов при реконструкции зданий. Санкт-Петербургское отделение Общероссийского общественного фонда «Центр качества строительства», СПб., 2009 г., 83 с. <http://www.buiLdcaLc.ru/Books/2009062801/DeFauLt.aspx>.
5. Алексеев С.И., Мирошниченко Р.В. Влияние выштампованных микросвай на несущую способность фундамента мелкого заложения. <http://www.buiLdcaLc.ru/AticLes/Open.aspx?id=2009062801>.
6. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. М. Стройиздат, 1981г. - 316 с.
7. СНиП 2.02.01-83* Проектирование оснований зданий и сооружений. М., 1983.