

Международная научно-практическая конференция  
«ВМ-проектирование и МКЭ-анализ при проектировании  
и эксплуатации зданий и сооружений»

(г. Минск, БНТУ – 02 ноября 2018)

УДК 624.154

Результаты численного моделирования взаимодействия буроинъекционной сваи, имеющей контролируемое уширение, с пылевато-глинистым грунтовым основанием

Самохвалов М.А., Паронко А.А., Гейдт А.В.

Кафедра Геотехники Строительный институт ФГБОУ ВО ТИУ,

г. Тюмень, Российская Федерация

**Проблема: реконструкция зданий**



**Государственный уровень:** необходимость выполнения реконструкции большого количества зданий на территории РФ, в особенности сохранения объектов культурного наследия (44-я статья конституции РФ)

**Муниципальный уровень:** необходимость выполнения современной адаптации и модернизации аварийного или ограниченно-работоспособного жилищного фонда для развития инженерной и транспортной инфраструктуры;

**Социальный уровень:** сохранение богатого культурного наследия в виде исторических зданий для будущих поколений

**Уровень бизнеса:** реанимация перспективных площадок, расположенных в центральной части городов для развития и масштабирования бизнеса

**Технический уровень:** усиление фундаментов как главного элемента, отвечающего за жизнеспособность и безопасную эксплуатацию зданий

**Универсальное решение:** разработка способа усиления фундаментов, позволяющего в процессе реконструкции здания увеличивать в 2-3 раза его полезную площадь путем освоения подземного пространства и/или надстройки дополнительных этажей

2

<p>1. Устройство свай по «манжетной» инъекционной технологии</p>	<p>2. Устройство свай по технологии Jet-grouting, «Атлант», «Титан», «Буран»</p>
<p>3. Устройство металлических вдавливаемых свай</p>	<p>Распространение пылеватых-глинистых грунтов на территории РФ</p> <p>17 регионов РФ</p> <p>3</p>

Новый способ устройства буринъекционной сваи с контролируемым уширением на конце

<p>Проект нацелен на повышение качества и технологичности выполнения работ по усилению фундаментов реконструируемых зданий с возможностью дальнейшего безопасного освоения подземного пространства или надстройки дополнительных этажей.</p>	<p>4</p>



Чертеж опыт. образца мембраны-стакана



Вид грунта	Глина (полутвердая)	Суглинок (мелкопластичный)
Глубина, м	0,5-1,4	1,4-6,6
$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	17,6-18,2	18,4-19,6
$\gamma_s$ , кН/м <sup>3</sup>	14,7-15,4	13,9-15,9
$\gamma_w$ , кН/м <sup>3</sup>	27,1	26,9
W, %	18,0-20,0	26,0-32,0
$e$ , д.д.	0,76-0,84	0,7-0,8
$S_r$ , д.д.	0,55-0,76	0,87-0,97
$h_r$ , %	18,0	9,0
$E_s$ , д.д.	0,15	0,62
$\sigma_c$ , гПа	14,7-21,5	14,7-19,2
$\sigma_{ср}$ , д.д.	24,0-28,0	19,0-23,0
$E_{плотн}$ , МПа	3,3-3,4	2,2-2,3
$E$ , МПа	18,5-19,0	7,7-8,0

Гидравлические испытания опытного образца, V= 50 л



Конструкция трубы-инъектора с мембраной-стаканом



а – собранные инъекторы, б – пробка, в – схема инъектора, г – отверстия перфорации, д – манжеты и резиновая прокладка, е – закрепленная на трубе мембрана-стакан, ж – мембрана перед погружением в скважину.

5



**Вывод:** на основании показаний динамометра сжатия во время инъекции раствора в мембрану-стакан по значению реактивного отпора грунта можно утверждать что при формировании контролируемого уширения происходит включение сваи в работу ещё до приложения полезной нагрузки, что позволяет избежать появления сверхнормативных технологических осадок и является очень важным для реконструируемых зданий.

6

## Полевые исследования (измерение напряжений)

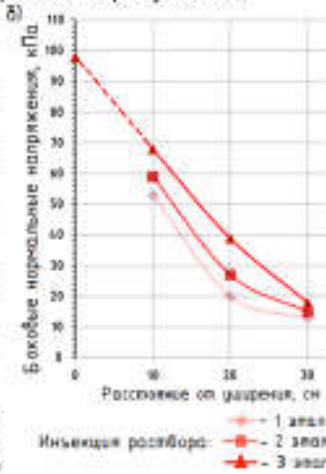
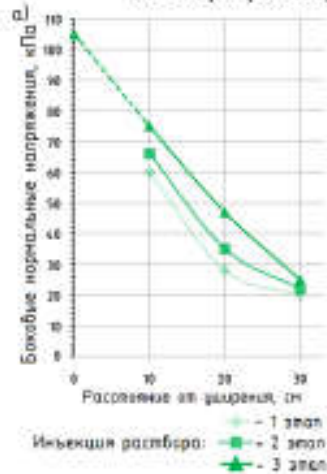
Конструкция мессдоз



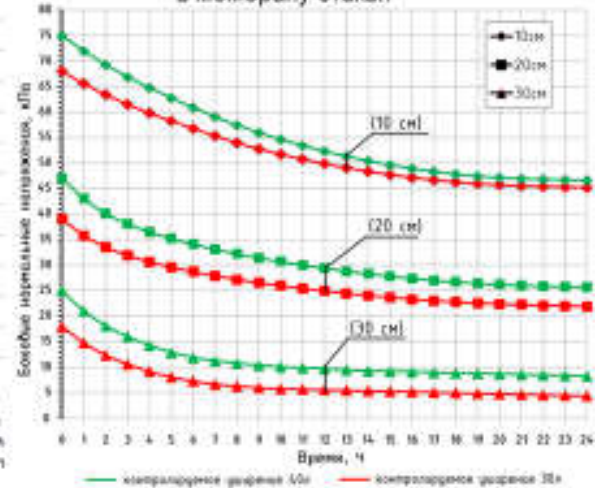
Оборудование для измерения напряжений в режиме реального времени National Instruments



Распределение напряжений во время инъекции раствора в мембрану-стакан



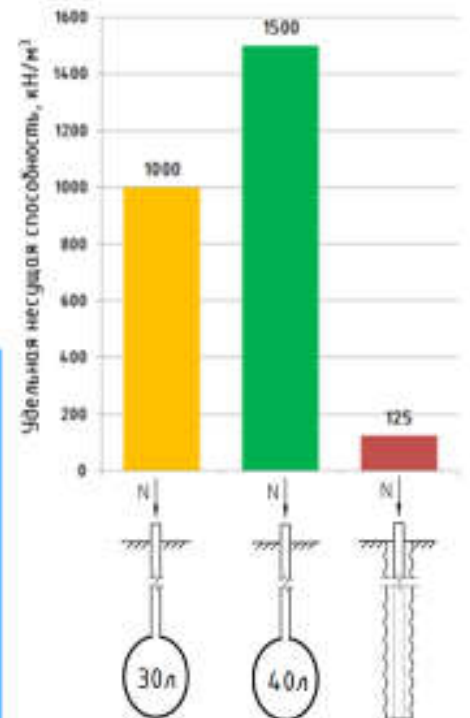
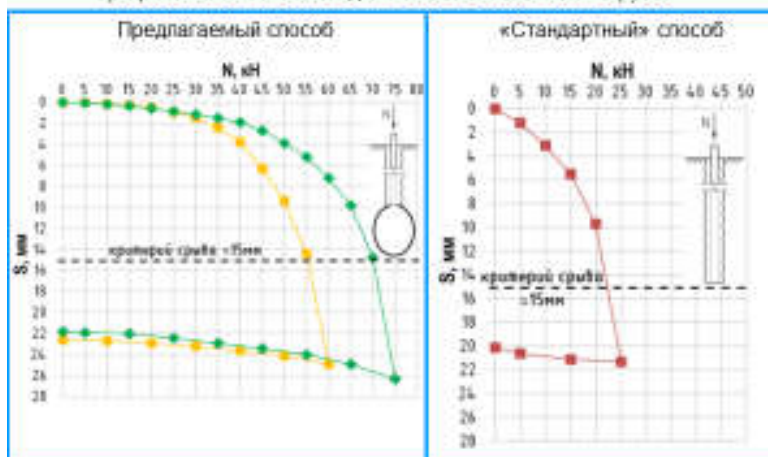
Релаксация напряжений после инъекции раствора в мембрану-стакан



## Результаты полевых исследований (статические испытания)



Графики зависимости осадки свай от статической нагрузки



## Результаты полевых исследований (экскавация)



Стабильность технологии: 100% результат образования контролируемого уширения на конце сваи

Контролируемое уширение V=30 л  
D=340-360 мм h=410-430 мм dh=0,8



Контролируемое уширение V=40 л  
D=370-390 мм h=510-530 мм dh = 0,7



9

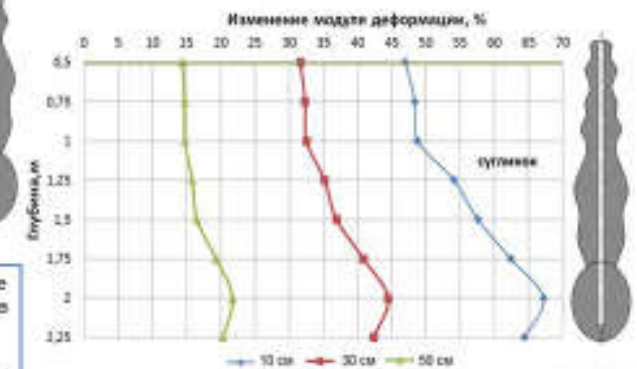
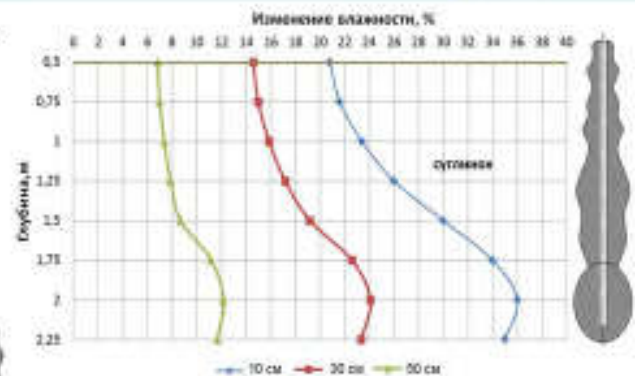
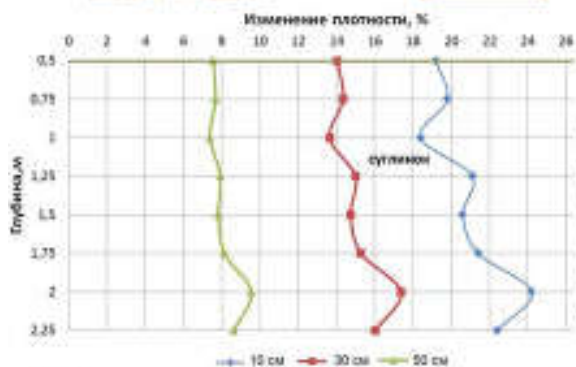
## Определение диаметра уплотненной зоны



Отбор проб грунта



Компрессионные испытания



1. Плотность грунтового массива в уплотненной зоне увеличилась в среднем на 24%, влажность уменьшилась в среднем на 36%, модуль деформации увеличился на 67%.

2. в ИГЭ (суглинок) плотность увеличилась в среднем на 14%, влажность уменьшилась в среднем на 17%, модуль деформации увеличился в среднем на 34%.

10

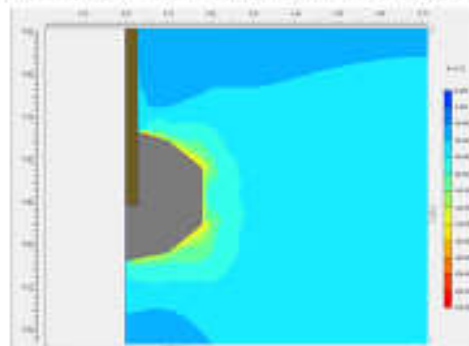
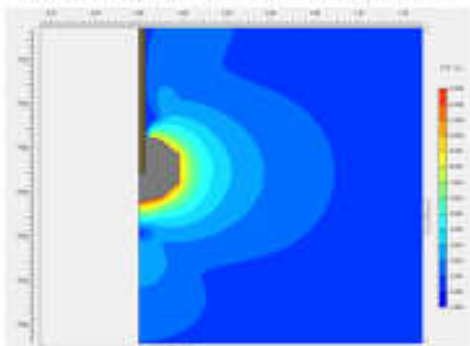
## Результаты численного моделирования



Моделирование образования уширения с помощью расширения кластера на 3%

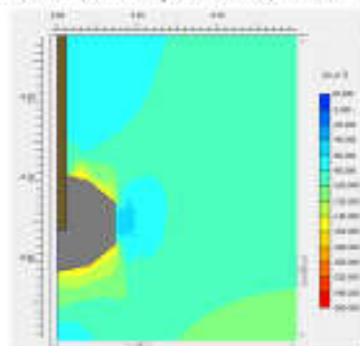
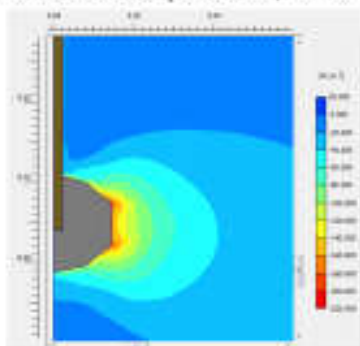
Радиус уплотненной зоны 820 мм

Общие средние напряжения, Max=200 кПа



Горизонтальные напряжения, Max=180 кПа

Вертикальные напряжения, Max=180 кПа



11

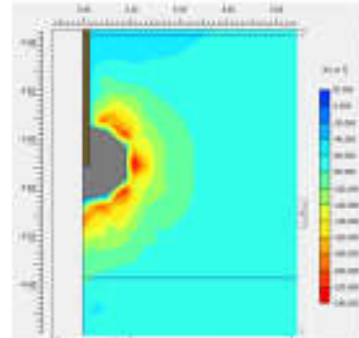
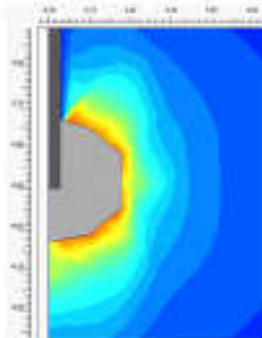
## Результаты численного моделирования



Моделирование образования уширения при давлении P=1,2 МПа

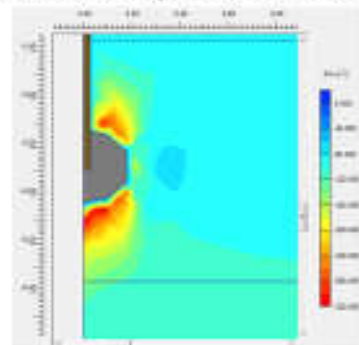
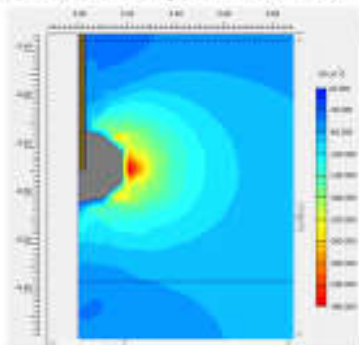
Радиус уплотненной зоны 560 мм

Общие средние напряжения, Max=230 кПа



Горизонтальные напряжения, Max=370 кПа

Вертикальные напряжения, Max=310 кПа



12

1. Разработан новый эффективный способ усиления ленточных фундаментов зданий и сооружений, в основании которых залегают преимущественно пылевато-глинистые грунты, позволяющий объединить устройство буринъекционных свай с контролируемым уширением на конце, использование манжетной технологии инъекции раствора в режиме «гидроразрывов» и восстановление конструкции фундамента в одну технологическую операцию;

2. На основе результатов полевых исследований были выделены основные параметры предлагаемых свай и предложены расчётные способы их определения;

3. Изучение формирования контролируемого уширения в грунтовом массиве:

- с помощью функции объемного расширения кластера позволяет с достоверной точностью исследовать напряженно-деформируемое состояние грунта при изменении объема закаченного раствора;
- при наложении равномерно распределенной нагрузки, расширяющей оболочку изнутри, позволяет анализировать напряженно-деформируемое состояние грунтового массива при различных давлениях нагнетания раствора.

## Промышленное внедрение (НИОКР «ТюмГАСУ»)

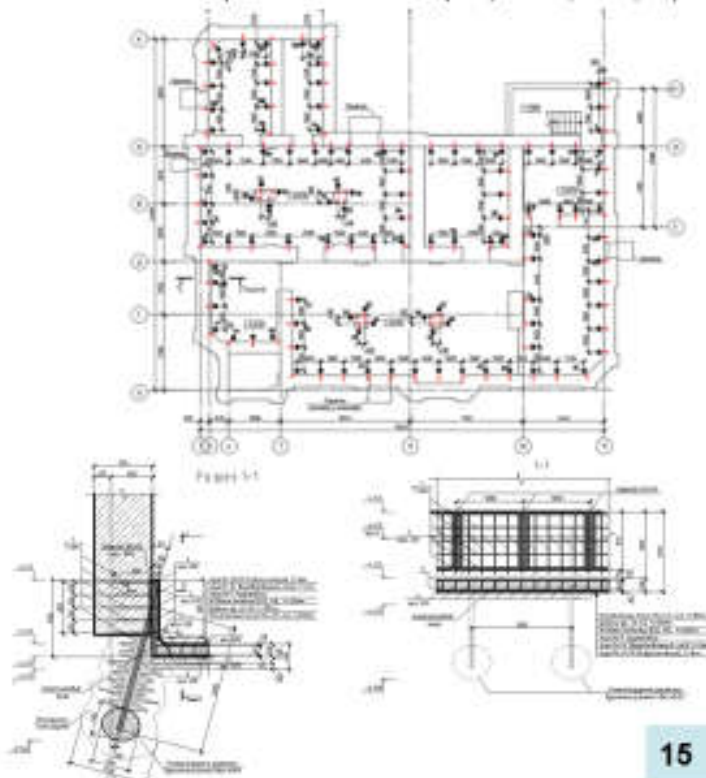
ОКН «Дом В.В. Князева», г.Тюмень, ул. Ленина, 10  
Объект до реконструкции



Эскизный проект здания после реконструкции



Схема расположения инъекторов (114 шт., шаг 1,5 м)



## Промышленное внедрение (процесс выполнения работ)



Расположение инъекторов с шагом 1,5 м

Процесс сборки трубы-инъектора с мембраной-стаканом



Контрольные испытания



16

## Промышленное внедрение (НИОКР «ТюмГАСУ» )



Вид подвала здания до устройства свай

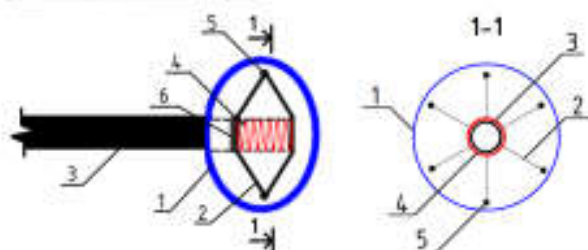


Вид подвала здания после устройства свай



17





- 1 – мембрана-стакан;
- 2 – армирующие стержни;
- 3 – труба-инъектор; 4 – пружина;
- 5 – шарнирное соединение;
- 6 – кольцо со свободным ходом.

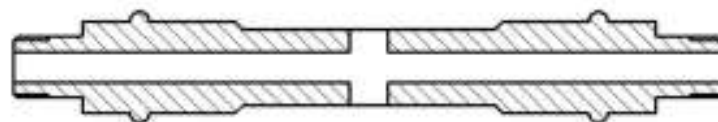


Параметр	Предлагаемый способ устройства свай	Устройство свай по «манжетной» инъекционной технологии	Устройство свай по технологии jet grouting, «Атлант», «Титан», «Буран»	Устройство вдавливаемых свай
Обеспечение контроля за распространением раствора	Да	Нет	Нет	Не требуется
Включение свай «на работу» после их устройства	Не требуется	Требуется	Требуется	Не требуется
Формирование уширения на конце свай	Да	Нет	Нет	Нет
Выполнение сразу нескольких технологических операций	Да	Нет	Нет	Нет
Технологические осадки здания в процессе выполнения работ, мм	0-5	20-50	50-100	0-5
Время выполнения работ по устройству одной свай, час	1-2	6-8	8-16	24-48
Технологические паузы при выполнении работ	Не требуются	Требуется	Требуется	Требуется
Время твердения (набора прочности) раствора, сутки	7-10	14-28	28-56	5-7
Использование пакера	Требуется	Требуется	Не требуется	Не требуется
Трудоёмкость выполнения работ	Средняя	Средняя	Низкая	Очень высокая
Расход раствора на 1 м.п. свай, л	50-70	500-700	700-1000	100-150



№ п/п	Вид изделия	Наименование	Размеры трубы в зависимости от диаметра скважины		
			Ø50-60	Ø60-70	Ø80-100
1		Торцевая секция (прижим. фитинг)	Ø34мм	Ø34мм	Ø34мм
2		Торцевая секция (фиксац. фитинг)	Ø42мм, длина 30мм	Ø62мм, длина 30мм	Ø72мм, длина 30мм
3		Центральная секция (с отверстием)	Ø33мм, длина 38мм	Ø43мм, длина 38мм	Ø63мм, длина 38мм
4		Центральная секция (без отверстия)	Ø33мм, длина 39мм	Ø43мм, длина 39мм	Ø63мм, длина 39мм
5		Рабочая секция	Ø24мм, длина 236мм	Ø34мм, длина 236мм	Ø54мм, длина 236мм
6		Заглушка	Ø34мм	Ø34мм	Ø34мм <b>20</b>

## Порядок сборки пакера



### Достоинства конструкции гидравлического пакера

1. Возможность инъекции раствора (специальной жидкости) по любому горизонту;
2. Раскрытие пакера происходит под давлением насоса, подающего раствор;
3. После выполнения инъекции внутренняя полость трубы-инъектора полностью остаётся свободной от раствора, что позволяет осуществлять повторную и многократную инъекцию;
4. Модульная конструкция позволяет свободно наращивать пакер по глубине и легко производить замену повреждённых элементов.

Патенты на изобретения и полезные модели РФ



Акты промышленного внедрения

