**Богомолов Владимир Александрович. Метод высоконапорной инъекции связных грунтов при устройстве и усилении оснований и фундаментов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.02.- Екатеринбург, 2002.- 120 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/414-2**

ОАО «Уральский научно-исследовательский

институт архитектуры и строительства»

*На правах рукописи*

Богомолов Владимир Александрович

**МЕТОД ВЫСОКОНАПОРНОЙ ИНЪЕКЦИИ
СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ И УСИЛЕНИИ
ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**

05.23.02 - Основания и фундаменты, подземные сооружения

Научные консультанты - д-р техн. наук, профессор В.В. Душников

- д-р техн. наук, профессор Б.В. Бахолдин

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Екатеринбург - 2002

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение: общая характеристика работы Глава 1. Характеристика метода высоконапорной инъекции связных грунтов

Глава 2. Экспериментально - теоретические исследования НДС грунта вокруг расширяющейся сферической полости

1. Полевые исследования
2. Лабораторные исследования

Глава 3. Новые технологически операции, обеспечивающие осуществление высоконапорной инъекции

1. Ослабление пристенного слоя стенок или забоя скважин
2. Технология нагнетания с опрессовкой закрепленной зоны
3. Последовательность инъекции
4. Контроль качества закрепленных массивов Глава 4. Буронабивные сваи с уплотненным забоем скважин
	1. Место свайных фундаментов в строительстве
	2. Буронабивные сваи ВНИ
	3. Пример расчета несущей способности буроинъекционной сваи ВНИ

Глава 5. Буроинъекционные сваи ВНИ

1. Традиционные буронабивные сваи
2. Предлагаемые буроинъекционные сваи ВНИ
3. Предложения по расчету буроинъекционных свай ВНИ
4. Пример вычисления модуля деформации геотехногенного массива

Глава 6. Результаты наблюдений за состоянием объектов и закрепленных оснований











21









1. 







1. 





1. Пример реализации способа последовательного закрепления грунтов

з

1. Пример контроля качества закрепленного массива 66
2. Пример ликвидации старой подземной выработки 67

Общие выводы 72

Список литературы 74

Приложение 1. Решения задач о расширении цилиндрической

и сферической полостей в связных грунтах 88

П. 1.1. Анализ процесса образования полости

вокруг забоя скважины 88

П. 1.2. Характеристика модели грунтовой среды 91

П. 1.3. НДС грунта вокруг цилиндрической полости 96

П. 1.4. НДС грунта вокруг сферической полости 101

Приложение 2. Список основных строительных объектов, на которых производилось устройство и усиление оснований и фундаментов

методом высоконапорной инъекции 106

**ВВЕДЕНИЕ: ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Сущность метода высоконапорной инъекции и опыт его применения.**

Как известно, строительные нормы и правила ограничивают использование метода инъекции цементных растворов только трещиноватыми скальными и крупнообломочными грунтами.

Между тем с использованием ряда технологических разработок, защищенных патентами автора и других сотрудников научной части института Уральский промстройниипроект (позднее - ОАО «УралНИАСцентр», затем ОАО «УралНИИАС») удается осуществлять введение закрепляющих растворов даже в слабопроницаемые (пылевато-глинистые) грунты.

Кроме того, эти и другие технологические приемы обеспечивают возможность опрессовки массива закрепляемого грунта после инъекции достаточно большим (до 1-2 МПа) давлением, что обеспечивает дополнительное уплотнение массива в период от окончания инъекции до начала схватывания закрепляющего раствора. Дополнительный эффект может быть достигнут также применением закрепляющих растворов, расширяющихся в процессе твердения (расширяющихся цементов, пеносиликатов и др.).

Совокупность этих и других технологических приемов характеризует предлагаемый метод цементационного упрочнения как развитие известного метода цементации грунтов применительно к непроницаемым и слабопроницаемым грунтам, слагающим большинство площадок строительных объектов на Урале и во многих других регионах России. В начале 90-х годов он получил название *метода высоконапорной инъекции* (метода ВНИ). Это название, как и «геомассив», «геосистема», «геоблок» и др., закрепилось в среде строителей и проектировщиков и стало «узнаваемым». Оно отличало предложенный метод от традиционных методов инъекции в грунты растворов и химикатов, в которых давление инъекции обычно было небольшим - не превышало 0.2 - 0.5 МПа. Поэтому при дальнейшем изложении существа настоящей работы автор сохраняет сложившуюся терминологию.

Метод ВНИ, имеющий большие технические и технологические преимущества, нашел широкое применение при устройстве оснований и фундаментов (около 200 объектов различного назначения), успешно применяется при усилении фундаментов в условиях реконструкции и в аварийных ситуациях. Практика показала эффективность метода ВНИ при строительстве на больших толщах просадочных грунтов, а также при ликвидации значительных просадок зданий и сооружений. Надежность закрепления, устойчивость закрепленного массива грунта в течение, по крайней мере, 15-20-летнего периода эксплуатации зданий и сооружений подтверждается многочисленными данными длительных наблюдений.

В ряде случаев методу ВНИ попросту нет реальной альтернативы. Так, он может быть эффективно применен непосредственно в ходе строительства, если наблюдения за осадками показывают наличие неблагоприятных тенденций в развитии деформаций основания. Простота и технологичность метода делают его незаменимым компонентом такого мониторинга строящегося объекта.

В настоящей работе рассматривается технические решения, проектные и технологические разработки, относящиеся к устройству конструкций в грунтах с использованием технологии высоконапорной инъекции:

* буронабивных свай с уплотненным забоем скважин,
* буроинъекционных свай;
* массивов закрепленных грунтов в связных и просадочных грунтах.

**Актуальность работы.** Традиционные методы цементационного

закрепления оснований, в силу отмеченных выше ограничений, в состоянии обслужить лишь малую долю реальных потребностей строительства. Метод высоконапорной инъекции может быть эффективно использован в абсолютном большинстве ситуаций, где традиционные методы неприменимы.

Таким образом, вопросы экспериментально-теоретического обоснования метода ВНИ приобретают важное научное и практическое значение.

**Цель работы** состоит в экспериментально-теоретическом обосновании метода высоконапорной инъекции цементно-песчаных растворов применительно к устройству и усилению оснований и фундаментов зданий и сооружений на связных грунтах.

**Непосредственные задачи исследования:**

* разработка технологических приемов, обеспечивающих осуществление высоконапорной инъекции связных грунтов;
* экспериментальная проверка решений теоретических задач, описывающих процесс высоконапорной инъекции связных грунтов, в различных условиях;
* разработка технических и проектных решений оснований и фундаментов и их усиления применительно к методу ВНИ;
* разработка способов контроля качества работ при выполнении оснований и фундаментов методом ВНИ;
* участие в разработке нормативной базы, обеспечивающей практическое использование решений оснований и фундаментов на основе метода ВНИ.

**Методы и достоверность исследования.** В основу анализа положена модель упрочняющейся разномодульной грунтовой среды, предложенная д-ром техн. наук, проф. В.В. Лушниковым и получившая широкую экспериментальную проверку в прессиометрических опытах, при нагружении грунта штампом и в других задачах механики грунтов.

Описание решений соответствующих задач о расширении сферической и цилиндрической полостей, полученное В.В. Лушниковым, приводится в Приложении 1 к диссертации.

В экспериментальной части исследования использованы современные средства измерений (манометры, месс дозы и др.), прошедшие

соответствующую метрологическую проверку. Достоверность исследования характеризуют корректная постановка соответствующих задач, широкая проверка и наблюдения за состоянием большинства выполненных оснований и фундаментов, которые сопровождались, в частности, длительными наблюдениями за их осадками.

Сочетание экспериментального и теоретического подходов обеспечило *внутреннее единство* исследования: приведенные в работе решения задач, являющиеся «организующим началом» работы, подвергались проверке в лабораторных и полевых опытах, а также интегральной проверке (например, по соотношению ожидаемых и фактических осадок объектов) - в полевых и производственных условиях.

Надежность предложенных технических решений характеризует безотказная длительная эксплуатации всех объектов, на которых применялись предложенные разработки: ни на одном из упомянутых 200 объектов не получено рекламаций, каких-либо сведений об отказе оснований и проч.

**Научную новизну** представляют следующие элементы работы:

- предложения автора по осуществлению высоконапорной инъекции связных грунтов цементно-песчаными растворами, защищенные тремя патентами РФ;

* защищенные патентом РФ предложения по осуществлению контроля качества оснований и фундаментов, выполненных методом ВНИ;
* технические и проектные решения, методы расчета оснований и фундаментов и их усиления применительно к методу ВНИ;
* опыт применения и результаты длительных наблюдения за состоянием большого числа объектов, выполненных с использованием метода ВНИ в самых разнообразных грунтовых и климатических условиях России и других стран СНГ.

**Практическое значение работы.** Метод ВНИ и конкретная его реализация в элементах буронабивных и буроинъекционных свай позволили разработать новые технические решения свай, которые имеют:

* более высокую несущую способность за счет уплотнения забоя и околосвайного пространства внутренним давлением, создаваемым при их устройстве;
* более широкий диапазон использования, например, в грунтах, неустойчивых в стенках скважин;
* как следствие, - более высокую конкурентоспособность (т.е. более высокие технико-экономические показатели) по сравнению с известными конструкциями свай и способами их устройства.

Метод ВНИ, как отмечалось, за 20-летний период его развития и постепенного совершенствования нашел применение на многих объектах промышленного и гражданского строительства. Список объектов, на которых осуществлялось внедрение метода ВНИ, приведен в Приложении 2 к настоящей работе. Наиболее сложными и интересными, по мнению автора, следует считать:

* технические решения оснований и фундаментов ряда ГКС на трассах крупнейших магистральных газопроводов, построенных в 80-е годы;
* комплекс объектов на площадке завода «Атоммаш» в г. Волгодонске, сложенной 20-30-метровой толщей просадочных грунтов;
* усиление оснований и фундаментов множества крупных объектов, получивших повреждения в результате длительной эксплуатации или воздействия каких-либо других факторов риска;
* технические решения буронабивных и буроинъекционных свай, реализованные на ряде объектов на стадии проектирования (ГКС в г. Ив деле, Цех электролитической фольги в г. Верхняя Пышма и др.) - как альтернатива другим техническим решениям на основе технико-экономической оценки.

Возможность практической реализации предложенных решений была обеспечена разработкой ряда ведомственных нормативных документов и Стандарта предприятия СТП 249479 3-01.06-91 Уральского промстройниипроекта, которые регламентируют основные этапы проектирования, строительства и контроля качества работ при устройстве буронабивных, буроинъекционных свай и геотехногенных систем (массивов) с применением технологии ВНИ.

**Апробация работы.** За длительный период разработки проблемы автор (совместно с коллегами - другими разработчиками) неоднократно представлял отдельные разделы работы для обсуждения на многих представительных научных конференциях и семинарах, в том числе - международных.

Проблема обсуждалась также на совещании в Министерстве строительства СССР (1988 г), посвященном методу ВНИ. Наиболее представительные научные конференции следующие:

* IV российская конференция с иностранным участием «Нелинейная механика грунтов». - Санкт-Петербург. 1993;
* Российская конференция по механике грунтов и фундаментостроению. - Санкт-Петербург, 1995;
* V и VI международные конференции и семинар по проблемам свайного фундаментостроения. - Тюмень, 1996; - Уфа, 1998; - Пермь, 2000;
* Международный симпозиум «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» (EngGeolCity-2001). - Екатеринбург, 2001;
* ежегодные научные семинары, проводимые ЗАО «УралТИСИЗ» (1990­2002 гг.).

Личный вклад в решение проблемы. Способ высоконапорной инъекции связных грунтов цементно-песчаными растворами разрабатывался в период 1980-1999 гг. институтом Уральский промстройниипроект, Институтом геологии и геохимии УрО РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова в рамках межведомственной программы «Г еотехногенные системы (массивы) в строительстве». Автор принимал участие на всех стадиях разработки

проблемы: сначала в качестве исполнителя, затем ответственного исполнителя и руководителя разделов проблемы.

Лично автору принадлежит выделение метода ВНИ из общей проблемы геотехногенных массивов (систем) как самостоятельного элемента проблемы, постановка и способы разрешения обсуждаемых задач.

Автор выражает благодарность своим коллегам, участвовавшим в разработке проблемы, - д-ру техн. наук. Б.Н. Мельникову, акад. РАН В.И. Осипову, канд.

техн. наук В.И. Иваненко, канд. техн. наук. 1А.И. Нестерову! д-рам техн. наук, проф. В.В. Лушникову и Б.В. Бахолдину, канд. техн. наук Ю Р. Оржеховскому и канд. техн. наук Р.Я. Оржеховской - за постоянную помощь в разрешении вопросов, возникающих в процессе исследования. Автор также благодарит руководителей института (кандидатов техн. наук О.И. Лобова, ІВ.П. Суханова

Р.С. Флорова, А.Я. Эппа, |А.В. Фриша), сотрудников отдела оснований и фундаментов - за постоянную помощь при выполнении работы.

**На защиту выносятся:**

1. Способы осуществления высоконапорной инъекции связных грунтов цементно-песчаными растворами;
2. Способ контроля качества закрепленных грунтов путем поэтапного измерения характеристик закрепленного грунта в процессе его твердения;
3. Результаты экспериментальной проверки решений задач о НДС грунтовой среды при образовании в массиве цилиндрической и шаровой полостей;
4. Технические и проектные решения оснований и фундаментов (в виде геоблоков, геомассивов) на основе метода ВНИ;
5. Результаты длительных наблюдений за состоянием объектов, выполненных с использованием метода ВНИ.

Публикации. Материалы исследований опубликованы в 39 печатных работах и в 17-ти зарегистрированных отчетах по результатам выполненных НИР. Получено 6 патентов РФ на изобретения. Отдельные результаты

включены в 4 ведомственные нормативные документы по расчету, проектированию и устройству оснований и фундаментов и в проект ТСН для г. Ханты-Мансийска.

Структура работы. Диссертация состоит из введения (1-я глава), в котором приведена характеристика метода ВНИ, пяти глав (2-я...6-я), заключения (общих выводов), списка литературы (129 наименований источников) и двух приложений: Приложение 1 - решения осесимметричных задач о расширении цилиндрической и сферической полостей и Приложение 2 - список промышленных и гражданских объектов, на которых были использованы разработки автора.

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

1. Совокупность выполненных исследований позволяет обосновать выделение высоконапорной инъекции в самостоятельный способ закрепления связных грунтов, значительно расширяющий область применения известных способов цементации.
2. Расширение диапазона использования способа ВНИ обусловлено созданием таких условий инъекции, при которых закрепляющие растворы не растекаются произвольно в случайные области грунтового массива, а проникают в заданные его области, создавая пространственную подземную систему с заданными свой­ствами.
3. Принципиальное отличие способа ВНИ от известных состоит в том, что инъекция рассматривается не только и не столько как фильтрационный процесс, но в большей степени - как процесс расширения цилиндрической или сфериче­ской полостей, сходный по природе с процессом прессиометрического нагруже­ния; при этом в массиве образуется цементно-песчаное ядро или ствол, которые вместе с окружающим уплотненным массивом осуществляют армирование грун­та, превращая массив в сложную композитную систему с улучшенными свойст­вами.
4. Экспериментальными исследованиями установлено, что решения соответ­ствующих задач механики грунтов позволяют правильно описать процесс рас­ширения цилиндрической и сферической полостей и на их основе - процесс вве­дения раствора в массив грунта и образования ядра и / или ствола заданных раз­меров.
5. Возможность целенаправленного введения растворов обеспечивается новы­ми технологическими приемами:
* применением для инъекции вязких цементно-песчаных растворов с до­бавками;
* предварительным ослаблением пристенного слоя скважины для форми­рования вокруг скважины оболочки из слабого грунта, заполняющей трещины гидроразрывов в массиве;

- инъекцией закрепляющего раствора под давлением, соответствующим

образованию гидроразрывов в грунте.

1. Дополнительные резервы увеличения несущей способности закрепленных массивов обусловлены возможностью опрессовки окружающего массива высо­ким давлением (2 МПа и более).
2. Предложенные способы вычисления деформационных и прочностных ха­рактеристик закрепленных массивов позволяют прогнозировать деформации и несущую способность закрепленных оснований; достоверность вычисляемых характеристик подтверждена результатами лабораторных и полевых испытаний, а также многочисленными измерениями осадок закрепленных объектов.
3. Способ контроля качества закрепленных оснований путем установления пространственного положения, размеров и формы отдельных элементов геосис­темы в процессе образования существенно расширяет возможности средств гео­контроля.
4. Способ последовательного закрепления основания (начиная с участков с наименьшими осадками), позволяет снизить риск для строений, вызываемый ос­лаблением оснований после введения в грунт растворов, которое возникает до начала процесса их твердения, и тем самым - повысить надежность закрепления.
5. К практическому применению рекомендуются указанные выше технологи­ческие приемы и способы расчетов, конструктивные решения отдельных элемен­тов усиления оснований и фундаментов; результаты наблюдений за состоянием большого числа объектов, выполненных с использованием метода ВНИ и опро­бованных в самых разнообразных грунтовых и климатических условиях.
6. Внедрение предложенных решений обеспечено разработкой с участием ав­тора трех ведомственных нормативных документов и Стандарта предприятия СТП 249479 3-01.06-91; завершена работа над проектом ТСН для г. Ханты- Мансийска.