

На правах рукописи

МИНАЕВ
Олег Петрович

**ОСНОВЫ И МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ
ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ
ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2018

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

Научный консультант: академик РАН, доктор технических наук, профессор
Васильев Юрий Сергеевич

Официальные оппоненты:

Абелев Марк Юрьевич, доктор технических наук, профессор,
директор Центра инновационных технологий в строительстве
Национального исследовательского университета Высшая Школа Экономики;
Белаш Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Здания» Петербургского государственного университета
путей сообщения Императора Александра I;
Ставницер Леонид Рувимович, доктор технических наук, профессор,
начальник экспертно-аналитического отдела Научно-исследовательского
института оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова
ОАО «НИЦ Строительство».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный
государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), г. Хабаровск.

Защита состоится 13 февраля 2019 г. в 15:00 на заседании диссертационного
совета Д 218.005.05 на базе федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Российский университет транспорта (МИИТ)» по адресу: 127994, Москва, ул.
Образцова, д. 9, стр. 9 (7 корпус МИИТ, Минаевский пер., д. 2, ауд. 7618).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ),
www.miiit.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шавыкина Марина Витальевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований и степень её разработанности. Механическое уплотнение грунтов является эффективным способом улучшения физико-механических свойств оснований в грунтовых сооружениях. В своих работах: Герсеванов Н.М., Флорин В.А., Маслов Н.Н., Савинов О.А., Иванов П.Л., Далматов Б.И., Березанцев В.Г., Петрухин В.П., в том числе ныне работающие: Ильичев В.А., Абелев М.Ю., Тер-Мартirosян З.Г., Виноградов В.В., Шепитько Т.В., Васильев Ю.С., Бугров А.К., Мангушев Р.А., Сахаров И.И., Верстов В.В., Бадьин Г.М., Силкин А.М., Улицкий В.М., Парамонов В.Н., Шашкин А.Г., Курбацкий Е.Н., Ашпиз Е.С., Никифорова Н.С., Кузахметова Э.К., Кудрявцев С.А., Уздин А.М., Белаш Т.А., Пономарёв А.Б., Дудлер И.В., Крутов В.И. и зарубежные профессора и известные специалисты : Терцаги К. (Austria – USA), Seed H.B., Idriss I.M., Boulanger R.W. (USA), Ishihara K., Towhata I., Kokusho T., Tanaka T., Iwasaki Y. (Japan), Shin E.C. (Korea), Varaksin, S.(France), Hamidi, B.(Australia), Grabe, J., Heins, E., Hamann, T. (Germany), Dembicki E. (Poland), Никитенко М.И. (Белорусь), Жусупбеков А.Ж., Исаханов Е. А., Достанова С.Х., Хомяков В.А. (Казахстан), Усманов Р.А. (Таджикистан) и другие указывали на это обстоятельство.

Уплотнение грунтов позволяет существенно увеличить несущую способность, уменьшить осадку основания и крутизну откосов грунтовых сооружений, сократить фильтрацию как в пределах всего сооружения, так и через отдельные его элементы, обеспечить устойчивость структуры грунтов при воздействии динамических (сейсмических, волновых, фильтрационных и т.п.) нагрузок и т.д., тем самым, повысить надежность и экономичность сооружений.

При динамическом воздействии на слабосвязные, в том числе песчаные водонасыщенные грунты имеют место два ярко выраженных процесса, вначале происходит их разжижение, а затем гравитационное уплотнение. Для уплотнения грунтов основания высотой более 2 м целесообразно применять глубинные методы динамического уплотнения. Однако, технические решения по их практическому применению имеют значительные недостатки, что потребовало их совершенствования.

Автором диссертации был предложен нетрадиционный подход, состоящий в том, чтобы по величине вибродинамического воздействия выбрать метод глубинного уплотнения различных грунтов оснований и без увеличения основных параметров величин вибродинамического воздействия (массы заряда, веса и высоты сбрасывания трамбовки, вынуждающей силы вибропогружателя), происходящих в грунтах. Задача исследований состояла научно обосновать и разработать эффективные способы вибродинамического уплотнения грунтов оснований, позволяющих (увеличить глубину уплотнения и достигаемую плотность уплотнения, обеспечить равномерность уплотнения грунта по глубине уплотняемого основания) и снизить величину вибродинамического воздействия на близлежащие здания и сооружения.

На основании этого автор диссертации развил классические разработки проф. Иванова П.Л. и доказал преимущества способа последовательного

взрывания зарядов по сравнению с одновременным взрыванием зарядов при площадочном уплотнении грунтов оснований. Автор усовершенствовал метод уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками подтвердив, что предложенная им впервые двухмассная трамбовка имеет преимущества по сравнению с запатентованными традиционными, одномассными, применяемыми известной французской фирмой «Менар», усовершенствовал метод глубинного виброуплотнения грунтов оснований с использованием виброустановки конструкции ВНИИГС с уплотнителем типа «ёлочка» путем модернизации конструкции виброуплотнителя при размещении пространственных элементов в нижней его части.

Для расширения области применения вибродинамических методов уплотнения автор диссертации предложил и доказал эффективность принципиально нового решения по защите близлежащих зданий и сооружений при использовании вибродинамических методов уплотнения путем создания аэрированного слоя грунта по периметру уплотняемого основания.

Задача по подготовке песчаных грунтов оснований актуальна для возведения дамб и грунтовых плотин в гидроэнергетическом строительстве, при устройстве оснований на намывных территориях для гражданского и промышленного строительства, в мостостроении, в дорожном и других видах строительства.

Основная цель работы состоит в обосновании выбора метода и основных параметров вибродинамического уплотнения различных грунтов оснований для возведения зданий и сооружений, а также разработка их эффективных способов.

Задачи исследований.

1. Теоретическими исследованиями выбрать конкретный метод вибродинамического уплотнения и основные параметры уплотнения песчаных и других грунтов оснований для заданной глубины уплотнения основания.

2. Сравнительными теоретическими и экспериментальными исследованиями, полевыми испытаниями доказать:

а) эффективность способа последовательного взрывания зарядов по сравнению с одновременным;

б) преимущества двухмассных тяжелых трамбовок различных вариантов исполнения, в том числе по сравнению с традиционными одномассными;

в) преимущества модернизированного виброуплотнителя по сравнению с установкой конструкции ВНИИГС;

г) эффективность защиты близлежащих зданий и сооружений при аэрировании слоя грунта по периметру основания, уплотняемого глубинными динамическими методами.

3. Проанализировать результатами сравнительных полевых испытаний различные методы зондирования для оценки качества уплотнения песков в подводной зоне укладки.

4. Разработать практические рекомендации по выбору технических решений глубинных методов уплотнения песчаных и других грунтов оснований, в том числе с учетом защиты близлежащих зданий и сооружений от вибродинамического воздействия за пределами уплотняемого основания.

5. Внедрить методику выбора способов уплотнения и разработанные новые технические решения глубинного уплотнения песчаных оснований для возведения сооружений на гидротехническом объекте общегосударственного значения – комплексе защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений.

Научная новизна работы заключается в обосновании методики выбора способов вибродинамического уплотнения песчаных грунтов оснований и разработке их новых способов для возведения зданий и сооружений и конкретно состоит из следующего:

1. Обоснования методики выбора способов вибродинамического уплотнения и основных параметров уплотнения песчаных грунтов оснований по величине вибродинамического воздействия для заданной глубины уплотнения основания.

2. Последовательного взрывания зарядов при уплотнении песчаных грунтов оснований, связывающего время консолидации уплотняемого слоя грунта основания с интервалом времени между взрывами соседних зарядов для заданной массы зарядов, глубины их погружения и шага их размещения в плане и, тем самым, повышающего плотность уплотнения грунта основания.

3. Уплотнения песчаных грунтов оснований тяжелой двухмассной трамбовкой, устанавливающего соотношение между массами и площадью подошвы её ударных частей, последовательностью их воздействия на грунты основания с тем, чтобы исключить выпор и разрыхление поверхностного слоя грунта, увеличить глубину уплотнения основания и обеспечить равномерную и большую осадку грунтов основания под подошвой двухмассной трамбовки.

4. Уплотнения песчаных грунтов оснований модернизированной виброустановкой типа «ёлочка», задающего высоту размещения пространственных элементов в нижней части штанги виброуплотнителя, чтобы за счет снижения сил трения на штанге виброуплотнителя и выравнивания времени виброуплотнения по глубине уплотняемого основания увеличить глубину уплотнения и улучшить равномерность уплотнения грунта по глубине уплотняемого основания.

5. Защиты близлежащих зданий и сооружений при использовании вибродинамических методов глубинного уплотнения путем аэрирования грунта по периметру уплотняемого основания, обеспечивающего за счет отражения волн колебаний грунта от границы аэрированного слоя и их поглощения в аэрированном слое снижение параметров волн колебаний за пределами уплотняемого основания.

6. Оценки методов зондирования уплотненных водонасыщенных песков оснований и рекомендации по их применению.

На защиту выносятся:

1. Основные положения методики выбора способов вибродинамического уплотнения и параметров уплотнения песчаных грунтов оснований по величине вибродинамического воздействия для заданной глубины уплотнения основания.

2. Результаты сравнительных теоретических и экспериментальных исследований, полевых испытаний, доказывающих

а) эффективность способа последовательного взрывания зарядов по сравнению с одновременным;

б) преимущества двухмассных тяжелых трамбовок различных вариантов исполнения, в том числе по сравнению с традиционными одномассными;

в) преимущества модернизированного виброуплотнителя по сравнению с установкой конструкции ВНИИГС;

г) эффективность защиты близлежащих зданий и сооружений при аэрировании слоя грунта по периметру основания, уплотняемого глубинными динамическими методами.

3. Результаты сравнительных полевых испытаний различных методов зондирования для оценки качества уплотнения песков в подводной зоне укладки.

4. Рекомендации и итоговые выводы по результатам выполненных исследований.

5. Технология по созданию аэрированного слоя грунта и изменение динамических характеристик основания.

Степень достоверности результатов, методология и методы исследований.

Достоверность и обоснованность полученных результатов основаны на соответствии теоретических разработок данным лабораторных и полевых исследований в практике строительства.

Теория построена на известных результатах ведущих российских и зарубежных ученых В.А.Флорина – П.Л.Иванова, Н.В.Seed (USA) , К. Ishihara (Japan), Г.М.Ляхова, О.А.Савинова и В.Г.Березанцева, О.А.Савинова – И.И.Блехмана и Л.Р.Ставицера и др., проверенных экспериментальными данными, практикой их применения в области динамики грунтов, устройства оснований и фундаментов, в том числе с динамическими нагрузками.

Диссертация базируется на обобщении передового, в том числе зарубежного опыта и анализе практики собственного опыта применения автором методов глубинного уплотнения песчаных грунтов оснований.

При анализе использованы авторские данные и данные, полученные ранее другими авторами по рассматриваемой тематике, в том числе зарубежных авторов из США, Японии, Франции, Германии др. стран. В результате установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по применению основных методов вибродинамического уплотнения оснований, выявлены их недостатки.

Результаты экспериментальных исследований получены на сертифицированной измерительной аппаратуре и оборудовании, на лабораторной и производственной базе ведущих научных и изыскательских и строительных организаций. Получено соответствие аналитических разработок и результатов полевых экспериментальных исследований в широком диапазоне гранулометрического состава песчаных грунтов оснований.

В диссертации использованы многочисленные данные полевых исследований, в том числе замеров осадок грунтов оснований; лабораторного определения гранулометрического состава намывных (или насыпных) песчаных грунтов оснований; непосредственного определения плотности скелета песчаных

грунтов основания, в том числе в подводной зоне после водопонижения; данных зондирования (ориентировочно более 1000 точек зондирования), в том числе статического, ударного, вибрационного и взрывного; более 200 осциллограмм фиксации ускорений колебаний в лабораторных опытах. В диссертации представлены либо средние значения полученных данных, либо выборочные материалы характерных данных; отклонение полученных данных от расчетных или данных полевых исследований в сторону уменьшения не превышает 10% в соответствии с требованиями проекта по существующим строительным нормам на приемку работ.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке методики выбора способов и основных параметров уплотнения песчаных грунтов оснований по величине вибродинамического воздействия для обеспечения заданной глубины уплотнения основания, в проведении модернизации существующих математических моделей и разработке новых расчетных моделей действия взрыва на грунты основания, динамики системы «двухмассная трамбовка – грунт» и «вибропогружатель – виброуплотнитель – грунт основания» с учетом затухания волн деформаций от центра вибродинамического воздействия, в том числе при создании аэрированного слоя по периметру уплотняемого основания, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации, в разработке методики расчета глубины и радиуса зоны уплотнения, достигаемой плотности грунтов основания для заданных параметров вибродинамического воздействия и практических рекомендаций по выбору метода и основных параметров вибродинамического глубинного уплотнения песчаных грунтов оснований на коренных породах подстилаемого основания, в том числе с учетом снижения величины вибродинамического воздействия на близлежащие здания и сооружения, а также коренные породы подстилаемого основания, и широком внедрении методов глубинного уплотнения песчаных грунтов оснований (способом последовательного взрывания зарядов, тяжелыми двухмассными трамбовками, глубинного виброуплотнения модернизированной виброустановкой) на строительстве комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений с реальной перспективой их внедрения на строительстве различных объектов гражданского, промышленного, гидротехнического, дорожного, железнодорожного и других видах строительства.

Основные положения разработанной методики выбора способов уплотнения и новые технические решения вибродинамических методов и контроля их качества использованы для укладки более 10.0 млн. м³ песчаных грунтов оснований и сооружений на строительстве КЗС, в том числе песчаных подушек при замене слабых глинистых грунтов оснований, тела дамб в основании высокоскоростной автодороги, опор мостов и зданий и др.

Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в анализе недостатков известных глубинных методов уплотнения грунтов оснований и обосновании преимуществ предложенных технических решений глубинного уплотнения песчаных оснований, а также в обосновании методики выбора способов уплотнения и разработке новых

технических решений глубинных вибродинамических методов уплотнения песчаных оснований, контроле качества укладки песчаных грунтов оснований и сооружений, включая личные разработки автора или непосредственное участие на всех этапах выполнения работы: в получении исходных данных, теоретических разработках и научных экспериментах, в широкой апробации результатов исследований, разработке лабораторных и опытно-производственных экспериментальных стендов и установок, обработке и сравнении экспериментальных данных и данных теоретических разработок, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Апробация работы. Результаты и положения диссертационных исследований представлялись и докладывались автором на VI и VII Всесоюзных конференциях «Динамика оснований, фундаментов и надземных сооружений» (г. Нарва, 1-3 октября 1985 г. и г. Днепропетровск, 25-27 сентября 1989г.); на VIII Международной конференции «Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений» (г. Ташкент, 25-27 сентября 1994г.); на заседании объединенного Совета лабораторий № 136 и 137 ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева (04 сентября 1987 г.); на заседании секции «Основания и грунтовые сооружения» ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева (27 декабря 1993 г.); на вторых – седьмых Савиновских чтениях в Петербургском государственном университете путей сообщения (ПГУПС) и ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева (г. Санкт-Петербург, 23-26 июня 1997 г., 27-30 июня 2000 г., 29 июня – 02 июля 2004 г., 29 июня – 03 июля 2007 г., 29 июня-02 июля 2010 г., 1-4 июля 2014 г.); на Международной конференции по геотехнике в ПГУПС (г. Санкт-Петербург, 16 - 19 июня 2008 г.); на международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию образования кафедры Геотехники СПбГАСУ (механики грунтов, оснований и фундаментов ЛИСИ), г. Санкт-Петербург, 5-7 февраля 2014 г.. Основное содержание и результаты докторской диссертации докладывались автором в целом на пятых Савиновских чтениях в Петербургском университете путей сообщения (29 июня 2007г.); на расширенном заседании секции «Основания и грунтовые сооружения» ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева (23 октября 2008 г.); на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 512.001.01 при ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева» (24 апреля 2009 г.); на заседании кафедры «Подземные сооружения» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) (20 января 2011 г.), на расширенном заседании кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» (26 апреля 2007 г., 11 марта 2011 г. и 04 декабря 2012 г.) и на заседании кафедры «Водохозяйственное и гидротехническое строительство» ФГАОУ ВО «СПбПУ» 06 мая 2015 г. и 18 октября 2017 г.; на 1-ой научно-практической конференции с международным участием «Современные способы создания искусственных грунтовых оснований автомобильных дорог, аэродромов и зданий» в Институте пути, строительства и сооружений МИИТ (25-26 ноября 2014 года); на 6-ом Международном геотехническом симпозиуме «Мероприятия по смягчению последствий стихийных бедствий в специальных геоэкологических условиях» в Индийском технологическом институте (ИИТ) в Мадрасе, г. Ченнаи, Индия (21-23 января 2015г.); на 15 Азиатской региональной конференции по

механике грунтов и инженерной геотехнике «Новые инновации и устойчивости» (15ARC), которая была проведена под эгидой японского геотехнического общества (JGS) в городе Фукуока, Кюсю, Япония 9-13 ноября 2015 года; на XII российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием) 12-16 сентября 2017г., г. Ялта, Крым; на 19-ом Международном Конгрессе по механике грунтов и инженерной геологии в Сеуле, Южная Корея, 17-22 сентября 2017г. и получило положительную оценку.

Публикации. По направлению исследований автором диссертации опубликовано порядка 90 публикаций, из них около 80 публикаций непосредственно по теме диссертации, в том числе 28 публикаций, включая 13 статей за последние 5 лет, из Перечня ВАК РФ в ведущих российских рецензируемых научных журналах и изданиях, 8 авторских свидетельств (из них 4 патента на авторские свидетельства на изобретение) и более 20 рецензируемых статей на английском языке в международных базах данных Scopus и Web of Science .

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов и рекомендаций, практических рекомендаций, списка литературы (180 наименования), приложения, включающего материалы фактического и перспективного внедрения.

Работа общим объемом 315 стр., содержит 74 рисунка и 16 таблиц, приложение на 14 стр.

Автор выражает глубокую благодарность коллегам в научных и учебных организациях работникам подрядных и проектных организаций, служб заказчика, с кем ему пришлось взаимодействовать в процессе работы над диссертацией и внедрения её результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении излагается основное направление исследований, приведены сведения о структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе обоснована актуальность темы для гидротехнического и других видов строительства, приведен обзор предшествующих разработок по глубинному динамическому уплотнению грунтов оснований, ставятся задачи работы.

Отсыпка и намыв песчаных грунтов оснований в тело дамб и плотин, образование новых территорий путем намыва массивов песчаных грунтов оснований на слой слабых пойменных, в основном глинистых грунтов, устройство песчаных подушек при замене грунтов (илов, торфов и т.п.), практически непригодных для использования в качестве грунтов основания, и т.д. широко применяется в строительстве.

Анализ состояния водонасыщенных песчаных грунтов оснований, намываемых свободным намывом и отсыпкой под воду показывает, что независимо от

гранулометрического состава они укладываются с плотностью скелета в рыхлом сложении или близкой к этому. Относительная плотность песков подводного намыва оснований составляет $I_D = 0,1 - 0,2$; причем наиболее рыхлое сложение дают нижние слои подводного намыва и отсыпки.

При строго организованном надводном намыве может быть достигнута плотность укладки песков оснований $I_D = 0,4$. Однако последующие перемещения осушенных масс песков при планировке основания способствует их разрыхлению и очень рыхлой укладке.

При возведении дамб и плотин из песчаных грунтов, бетонных сооружений и зданий на формируемых песчаных площадях, прокладке инженерных сетей в их теле, строительстве дорог и устройстве железнодорожных путей на них и т.п. требуется уплотнение грунтов до заданной проектной плотности.

По данным проф. П.Л. Иванова, только уплотнение песчаных грунтов оснований до относительной плотности $I_D \geq 0,6$ гарантирует устойчивость их структуры от большинства динамических и, тем более, статических воздействий. Разжижение песчаных грунтов основания становится маловероятным, грунт практически не реагирует даже на взрыв.

Кроме того, исключаются неравномерные осадки основания, его просадки, образование воронок и т.п. в слое грунта основания при воздействии динамических (сейсмических, волновых, фильтрационных и т.п.) нагрузок на грунты песчаного основания.

К настоящему времени в нашей стране и за рубежом разработаны следующие методы уплотнения песчаных грунтов оснований.

Сейчас в отечественной практике наибольшее распространение получили вибрационные катки зарубежного производства. Применение виброкатков позволяет обычно обеспечить уплотнение грунтов оснований слоями по 30 - 50 см.

Для глубинного динамического уплотнения грунтов оснований в практике строительства используются взрывной метод, тяжелыми трамбовками и вибрационной установкой конструкции ВНИИГС. Другие методы уплотнения оснований либо исследованы в лабораторных и полевых опытах, либо апробированы в единичном случае в строительстве.

Выбор того или иного метода уплотнения основания определяется, прежде всего, величиной вибродинамического воздействия для заданных грунтовых условий и площади обрабатываемого основания. Техничко-экономические показатели различных методов динамического уплотнения оснований представлены в диссертации.

Инициаторами метода уплотнения грунтов оснований тяжелыми трамбовками являются российские специалисты. Еще в 50-е годы в НИИ оснований и подземных сооружений Ю.М.Абелевым и В.Б.Швецом была разработана инструкция по поверхностному уплотнению оснований тяжелыми трамбовками.

Известны исследования и отечественный опыт (Хархута Н.Я., Ставницер Л.Р., Костельов М.П., Галицкий В.Г., Лычко Ю.М., Сваровский В.Н. и др.) применения тяжелых трамбовок для уплотнения маловлажных грунтов оснований.

С 70-х годов, благодаря широко разрекламируемому зарубежному опыту уплотнения водонасыщенных грунтов оснований мощной толщии тяжелыми и сверхтяжелыми трамбовками фирмы «Луи Менар» (Франция), интерес этому методу вновь возрастает и в нашей стране.

В практике строительства уже применялись тяжелые и сверхтяжелые трамбовки массой 10 - 40 т, в отдельных случаях даже 200 т, сбрасываемые с высоты от 10 до 40 м.

Впервые в нашей стране метод динамического уплотнения водонасыщенных грунтов оснований мощной толщии (до 10 м) был применен в начале 80-х годов на строительстве Загорской ГАЭС (Зарецкий Ю.К., Вуцель В.И., Гарицелов М.Ю. и др.) при подготовке основания дамбы верхнего бассейна.

Для уплотнения просадочных лессовых грунтов основания (Рабинович И.Г., Багдасаров Ю.А. и др.) была апробирована трамбовка в 24 т, сбрасываемая с высоты 9,5 м.

В настоящее время для динамического уплотнения оснований во всем мире используются одномасные трамбовки.

Недостатком одномасных тяжелых трамбовок является тот факт, что увеличение глубины уплотнения основания может достигаться только при увеличении массы и высоты сбрасывания такой трамбовки и, как следствие, необходимости применения все более мощных, дорогостоящих и дефицитных грузоподъемных механизмов.

Кроме того, при взаимодействии таких трамбовок с поверхностным слоем грунтов основания образуются значительные зоны сдвига, приводящие к выпору и разрыхлению грунта на глубину 2 - 4 м, и следовательно, значительным неэффективным потерям энергии.

Однако испытания первоначального варианта двухмассной трамбовки выявили недостатки её конструктивного исполнения, приводящие к существенной неравномерности осадок грунта основания под наружной и внутренней частями этой двухмассной трамбовки.

С 1949 г. более 60 лет кафедра «Подземные сооружения, основания и фундаменты» Санкт-Петербургского политехнического университета являлась признанным лидером в области разработки метода уплотнения слабосвязных грунтов оснований взрывами.

Первые опытные работы в натуральных условиях на водонасыщенных песках были выполнены П.Л.Ивановым под руководством В.А.Флорина на строительстве Волжской ГЭС, а в дальнейшем – под руководством П.Л.Иванова его учениками и сотрудниками (Крутов А.П., Трунков Г.Т., Горелик Л.Ш. и др.) на многочисленных объектах гидротехнического строительства.

Уплотнению подвергался широкий спектр слабосвязных грунтов оснований: от пылеватых супесей до среднезернистых песков, галечника и каменной наброски.

Родоначальником взрывного метода уплотнения просадочных лёссовых грунтов оснований является И.М.Литвинов в Украине.

За рубежом широкое использование взрывного метода уплотнения оснований начинается только с 1960 г. фирмами США на различных объектах как в самой стране, так и за ее пределами.

В 70-е годы взрывной метод уплотнения, получает дальнейшее развитие в Польше под руководством проф. Dembicki E.

На практике наибольшее распространение получил способ глубинных взрывов оснований.

Способ уплотнения грунтов оснований глубинными взрывами заключается в последовательном погружении на каждой захватке зарядов взрывчатых веществ (ВВ) на заданную глубину основания с определенным шагом. После погружения всех зарядов обычно производится монтаж сети и одновременный взрыв зарядов в каждой очереди.

Количество очередей взрывов для достижения плотности основания $I_D \geq 0,6$ составляет 3 - 4. Это требует погружения до 100 зарядов на площади основания около 2000 - 2500 м², что представляет основную трудоемкость при уплотнении грунтов этим способом.

Пространственный уплотнитель продольного вибрирования, получивший в дальнейшем общепринятое краткое название «виброёлочка» был создан П.Д. Лобасовым в 1960 году во ВНИИГС (Всесоюзный ВНИИ гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ).

Данная разработка базировалась на богатом опыте крупнейших российских специалистов в области вибротехники, в частности погружения свай виброметодом, Д.Д. Баркана и О.А.Савинова и теории вибрационных процессов (И.И. Блехман, И.И.Быховский, Ю.И. Нейрмак и др.).

Анализ известного опыта уплотнения песчаных грунтов оснований виброустановкой ВУУП-6 конструкции ВНИИГС показывает, что толщина уплотняемого слоя основания составляет 4 - 6 м. После уплотнения относительная плотность основания достигала значительных величин ($I_D = 0,75 - 0,96$), а угол внутреннего трения грунта 45°.

Глубина уплотняемого слоя основания может быть увеличена при использовании в качестве вибровозбудителя взамен вибропогружателя В-401 (конструкции О.А.Савинова и А.Я.Лускина) более мощного ВШ-1 конструкции ВНИИГСа (М.Г.Цейтлин, В.В.Верстов, Г.Г.Азбель) или сверхмощных зарубежного производства (фирм «Soilmec» - Италия, «Мюллер» - Германия).

Однако, данные вибропогружатели при их использовании для указанных целей значительно уступают вибропогружателю В-401.

В связи с этим является актуальный поиск других направлений совершенствования данного метода уплотнения, в частности, путем совершенствования конструкции виброуплотнителя.

Материалы обзора литературных источников и накопленного опыта показывают, что в настоящее время имеются предложения по совершенствованию конструкции виброуплотнителя. Данные совершенствования направлены как на повышение жесткости виброуплотнителя (Светинский Е.В., Строганов А.С. и др.), так и расширение диапазона самого метода, в том числе для нагнетания закрепляющих

растворов в грунты основания, уплотнения тонко-дисперсных песков оснований (Дудлер И.В. и др.). Все эти усовершенствования базируются на работе виброустановки конструкции ВНИИГС. Однако они сделаны без глубокого анализа процесса уплотнения грунтов основания такой виброустановкой.

Проведенный автором диссертации анализ предшествующих работ показал, что необходимо совершенствование существующих и разработка новых динамических методов глубинного уплотнения, прежде всего, для слабосвязных, в том числе водонасыщенных грунтов оснований.

Во второй главе приводятся основополагающие результаты исследований и разработок по выбору метода и основных параметров вибродинамического глубинного уплотнения намывных (или насыпных), в том числе под воду, песчаных грунтов оснований на коренные породы подстилаемого основания.

При выборе метода вибродинамического глубинного уплотнения песчаных грунтов оснований основным фактором автором диссертации принимается достигаемая глубина уплотнения $h_{упл}$ основания, которая зависит от величины вибродинамического воздействия.

При уплотнении водонасыщенных песчаных грунтов оснований основным критерием для определения достигаемой глубины уплотнения являются критическое значение соотношения Δ_k между давлением ударной волны и статическими напряжениями в скелете грунта или ускорений колебаний грунта $A_k \omega^2$ на заданной глубине уплотнения основания.

Указывается, что анализ предшествующих разработок по вибродинамическому уплотнению песчаных грунтов оснований по разработанной методике и результаты их практического использования показывают, что данные классические разработки имеют недостатки. Данные недостатки основаны на том, что увеличение глубины и радиуса уплотнения, обоснование достигаемой плотности уплотнения основания определяются только величиной вибродинамического воздействия и их количеством.

В связи с этим дальнейшие исследования и разработки автора диссертации были направлены на увеличение глубины и радиуса уплотнения, повышение плотности грунтов основания при заданном количестве вибродинамических воздействий (либо сокращение их количества) за счет рационального использования физических явлений в водонасыщенных песчаных грунтах основания при вибродинамических воздействиях.

Третья глава посвящена исследованиям по уплотнению водонасыщенных грунтов оснований способом последовательного взрывания зарядов.

На начальном этапе применения взрывного метода уплотнения песчаных грунтов оснований на строительстве КЗС по результатам опытно-производственных испытаний и рекомендациям П.Л.Иванова предпочтение отдавалось способу одновременного взрывания зарядов в каждой очереди.

По предложению автора диссертации были проведены сравнительные теоретические и опытные испытания способа одновременного и последовательного взрывания зарядов.

Преимущества последнего способа, основывались на явлении многократного разрушения структуры грунта как в близлежащих зонах между взрывами зарядов, так и в пределах уплотняемого основания.

Поясним сказанное теоретическими исследованиями автора диссертации по взаимодействию зон разжижения грунта при последовательном взрывании зарядов.

Согласно исследованиям П.Л.Иванова расчетная зона разжижения и последующего уплотнения грунта при взрыве единичного заряда Δ_k определяется соотношением:

$$\Delta_k = \frac{\sigma(p_{\max})}{\sigma(\gamma_{\text{гр}})}, \quad (1)$$

где $\sigma(p_{\max})$ - давление ударной волны от взрыва, передающейся на скелет грунта основания; $\sigma(\gamma_{\text{гр}})$ - статические напряжения в скелете грунта на заданной глубине уплотнения основания.

В формуле (1) максимальное давление ударной волны, передающееся на скелет песчаного грунта определяется по формуле В.А. Флорина:

$$\sigma(p_{\max}) = \frac{(\beta_T m + \beta_B n) p_{\max}}{(\beta_T m + \beta_B n + \beta_{\text{СК}})}, \quad (2)$$

где $m = 1 - n$, β_T , β_B , $\beta_{\text{СК}}$ – соответственно коэффициенты объемной сжимаемости минеральных частиц, воды и скелета грунта основания.

К примеру, для характерных песков с пористостью $n = 0,42$, $\beta_T = 0,5 \times 10^{-4}$ МПа, $\beta_B = 0,5 \times 10^{-3}$ МПа и $\beta_{\text{СК}} = 2 \times 10^{-2}$ МПа величина $\sigma(p_{\max}) = 0,01 p_{\max}$.

Для водонасыщенных песков с незначительным содержанием в них заземленного газа максимальное давление ударной волны (p_{\max}) в грунтах основания определяется по формуле Г.М.Ляхова:

$$p_{\max} = 60,0 \times \left(\frac{3\sqrt{C}}{R} \right)^{1,05}, \quad (3)$$

где C – масса заряда ВВ, кг; R – расстояние от центра заряда.

При этом вертикальные статические напряжения в скелете грунта основания на глубине Z с учетом взвешивающего действия воды определяются как

$$\sigma(\gamma_{\text{гр}}) = (\gamma_s - \gamma_w)(1 - n) Z, \quad (4)$$

где γ_s , γ_w – удельный вес грунта и воды; n – пористость грунта

Данное соотношение П.Л. Иванова аналогично формуле:

$$\Delta_k = \frac{\tau_{\text{дин}}}{\sigma_{\text{ст}}} \quad (1,а)$$

профессора Сида (США), именуемое им как коэффициент циклического нагружения, связывающий сдвигающие динамические нагружения $\tau_{\text{дин}}$ от внешней нагрузки и статические напряжения $\sigma_{\text{ст}}$ в скелете грунта основания. Формула Си-

да используется зарубежными учёными для выявления условия начала возникновения процесса разжижения грунтов основания при землетрясении.

Результаты наложения расчетных зон разжижения для двух рядом расположенных зарядов по составленной программе на ПК показывают (рис. 1), что в промежутках между взрывами существует «мертвая зона», неподверженная разжижению грунта.

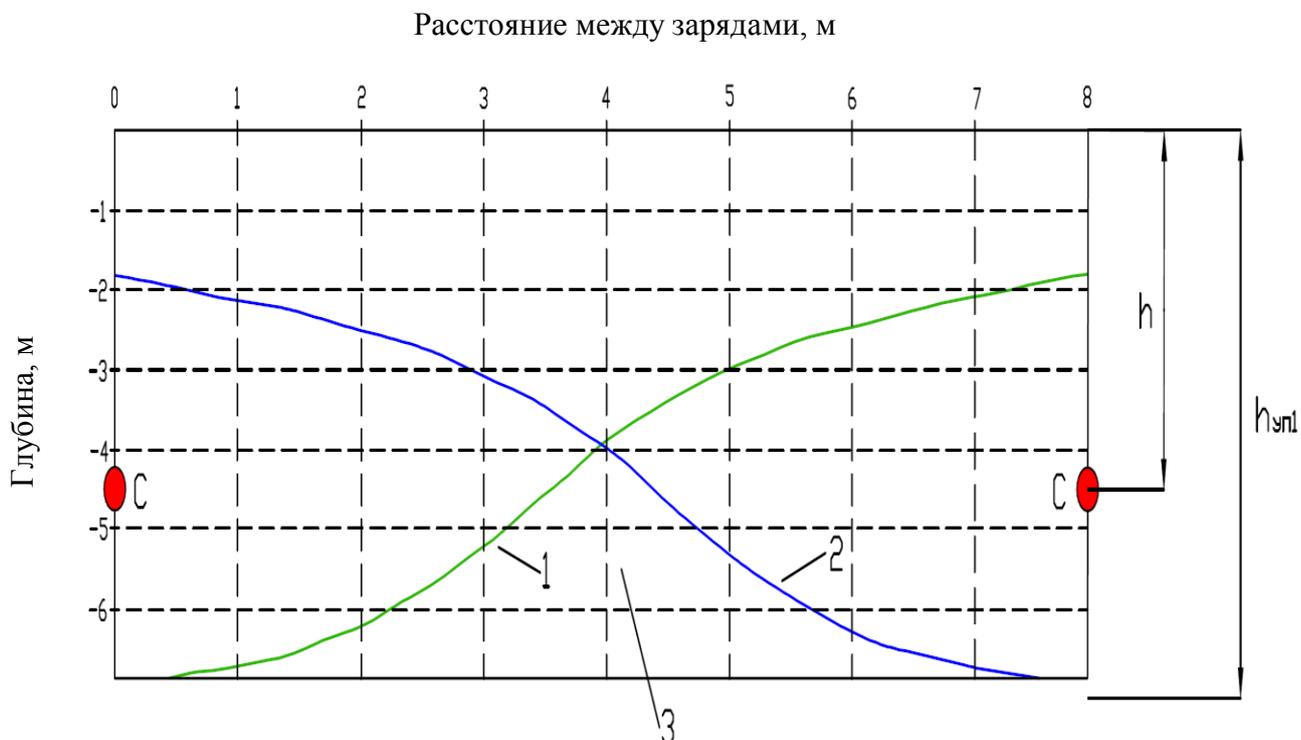


Рис. 1. Графики зависимости глубины разжижения грунта основания от расстояния от центра взрыва зарядов при последовательном взрыве двух рядом расположенных зарядов с интервалом времени $\Delta t \geq t_{упл}$:

1 — зона разжижения грунта от взрыва первого заряда, 2 — тоже, второго заряда, 3 — «мертвая зона», неподверженная разжижению грунта основания

При последовательном взрыве соседних зарядов с заданным интервалом времени, Δt меньшем, чем время консолидации $t_{упл}$ от взрыва предыдущего заряда не только ликвидируется вышеуказанная неразжиженная зона, но и возможно повторное воздействие последующего заряда на ранее консолидированный слой от взрыва предыдущего заряда (рис.2).

Расстояние между зарядами, м

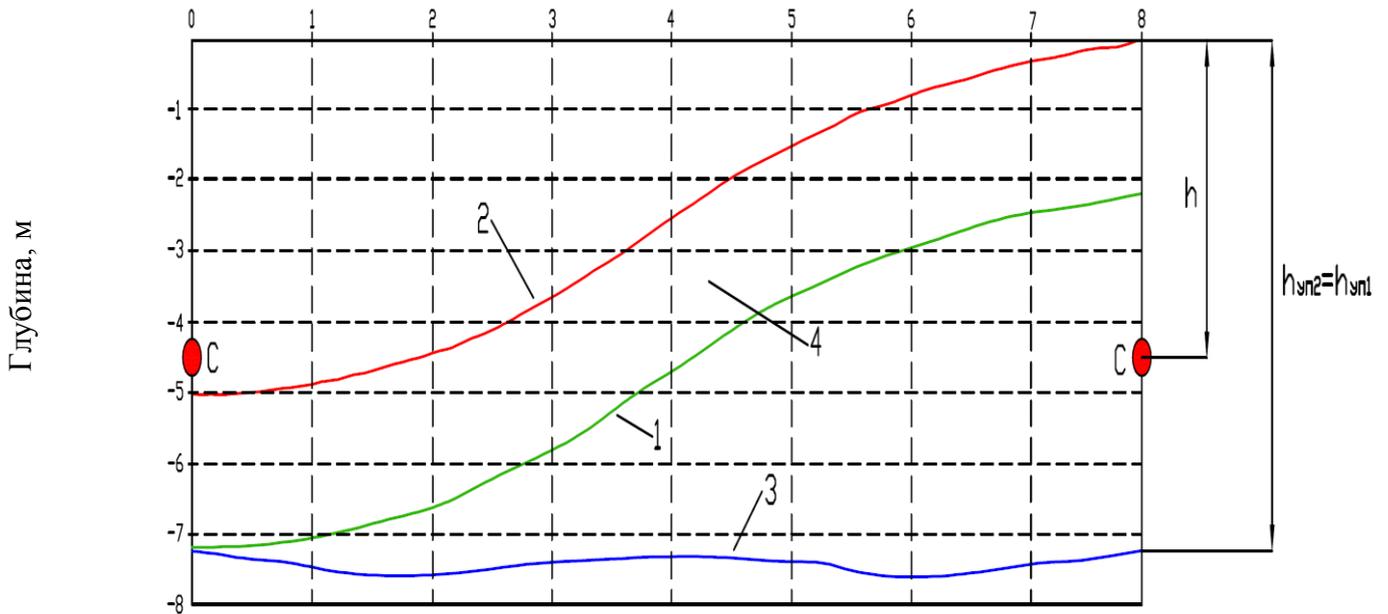


Рис. 2. Графики зависимости глубины разжижения грунта основания от расстояния от центра взрыва зарядов при последовательном взрывании двух рядом расположенных зарядов с интервалом времени $\Delta t \leq t_{\text{уп1}}$:

1 – зона разжижения грунта от взрыва первого заряда; 2 – тоже, в процессе консолидации грунта за время Δt , после взрыва первого заряда; 3 – зона разжижения грунта от взрыва второго заряда с интервалом $\Delta t = 0,3t_{\text{уп1}}$; 4 – зона повторного разжижения грунта основания

Это приводит к многократному разжижению и уплотнению грунта в пределах уплотняемого основания без увеличения массы единичного заряда и заданной глубины уплотнения основания.

Сравнительные опытные испытания способов последовательного и одновременного взрывания зарядов периодически проводились на различных объектах на строительстве комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений. Гранулометрический состав песчаных грунтов изменялся от мелко- до среднего. Ниже приведены, как характерные, данные одного из испытаний.

Для проведения контрольных полевых испытаний были выбраны на одной из дамб на строительстве КЗС два рядом расположенных участка основания. На первой площадке основания производилось одновременное взрывание всех зарядов в каждой из четырех очередей, а на второй – последовательное. Таким образом, на первой площадке одновременно взрывалось по 16 зарядов, собранных в единую схему с помощью детонирующего шнура (ДШ). На второй площадке основания (рис.3) каждый заряд в очереди взрывался отдельно последовательным «обходом» взрывником всех мест погружения зарядов. Разрыв между взрывами отдельных зарядов составлял 3 - 5 (до 10) мин.

Геодезические измерения осадок поверхности основания показали, что величина относительной осадки на площадке последовательного взрывания после

четырёх очередей составила 0,049, а одновременного – 0,038 для средних осадок на уплотняемом основании и 0,085 и 0,064 для максимальных осадок.

Очень убедительными были результаты статического зондирования основания, проведенные автором диссертации с привлечением треста ЛенТИСИЗ. На первой площадке (см. рис. 4,а) сопротивление внедрению острия зонда изменилось лишь на 4 - 6 МПа, а на площадке последовательного взрывания (рис. 4,б) – увеличилось с 2 до 10 - 14 МПа, что свидетельствует о значительном уплотнении грунта основания.

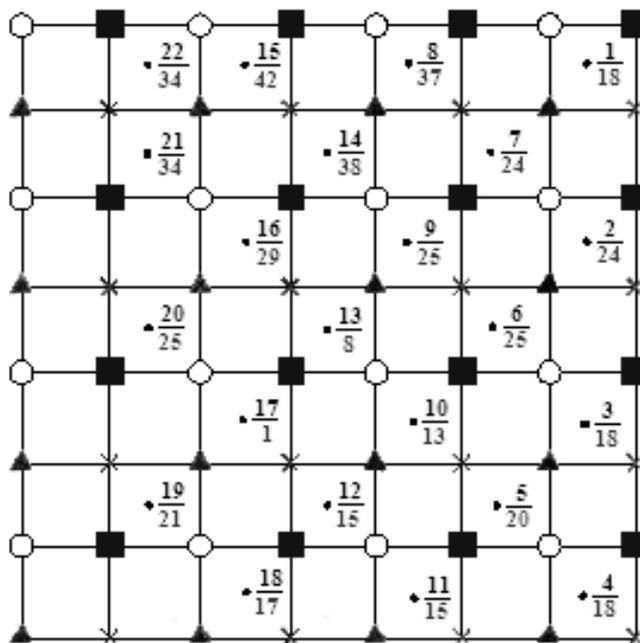


Рис. 3. План опытного участка уплотнения грунта основания последовательным взрыванием зарядов.

Условные обозначения: круги [O] – заряды 1-ой очереди, квадраты [□] заряды 2-ой очереди, кресты [X] – заряды 3-ей очереди, треугольники [Δ] – заряды 4-ой очереди.

Цифровые обозначения: в числителе - порядковые номера поверхностных марок, в знаменателе суммарная осадка грунта поверхности основания после четырех очередей взрывов, в см

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили по формуле В.А.Флорина консолидации слоя грунта основания определить наиболее эффективный временной интервал между последовательными взрываниями зарядов и границы грунтовых условий применения метода последовательного взрывания зарядов.

В результате было установлено, что эффект последовательного взрывания зарядов в грунтах уплотняемого основания максимально проявляется в песках с коэффициентом фильтрации $K_f = (0,5 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-3})$ см/с и значениях интервала времени между взрывами зарядов (групп зарядов) $\Delta t = (0,25 - 0,3) t_{уп}$, где $t_{уп}$ - время уплотнения слоя грунта основания.

Конкретный интервал Δt должен назначаться по результатам опытных работ, которые всегда должны предшествовать этапу производственного уплотнения основания.

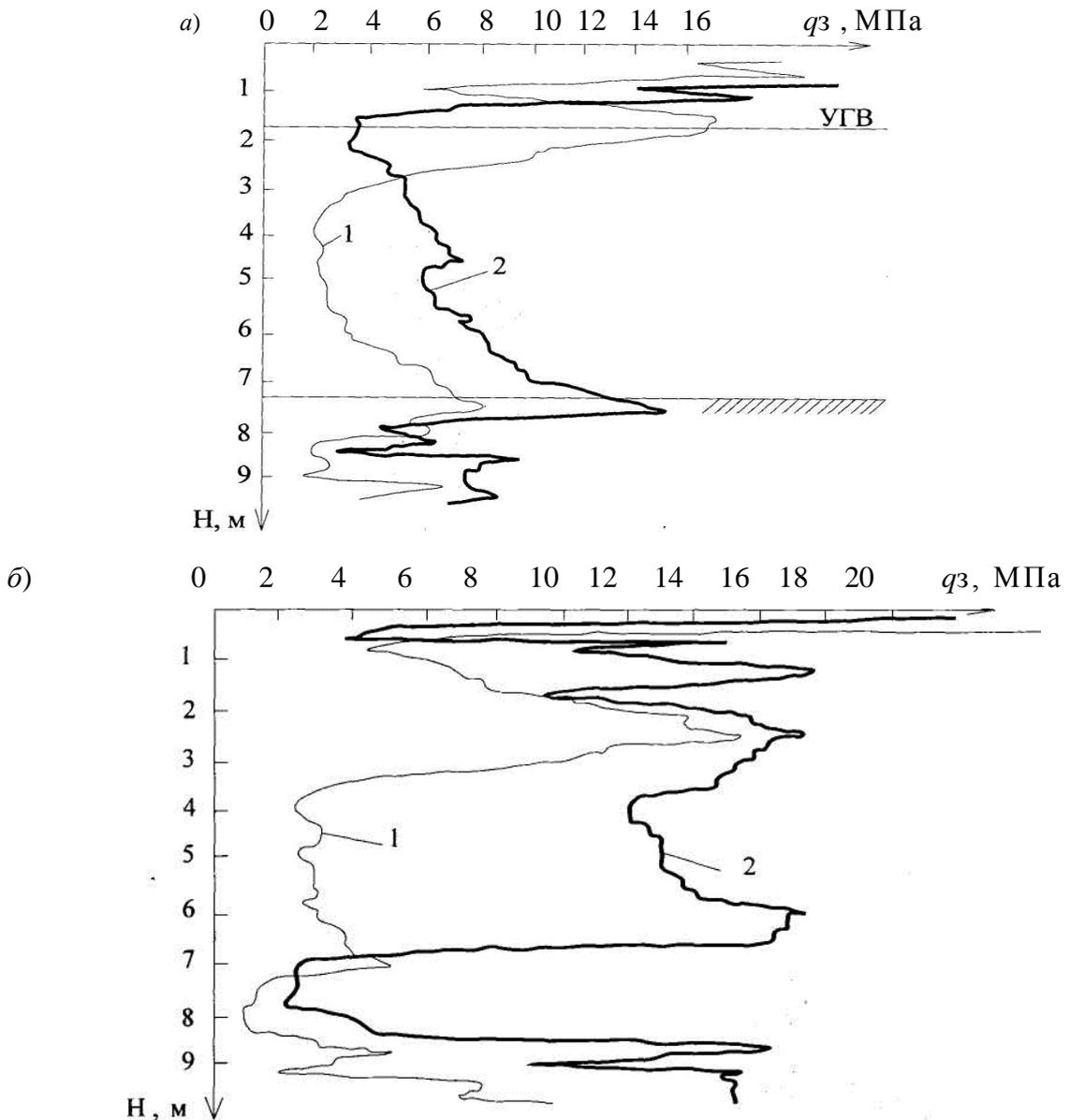


Рис. 4. Графики зависимости сопротивления q_3 внедрению острия зонда от глубины H его погружения в грунты основания по результатам статического зондирования песчаного грунта при одновременном (а) и последовательном (б) взрывании зарядов:
1 – до взрыва; 2 – после взрыва всех зарядов

Проведенное последующее уплотнение песчаных грунтов последовательным взрыванием зарядов на строительстве КЗС, подтвердило эффективность уплотнения водонасыщенных песков оснований этим способом. При этом получены значения q_3 от 8 до 18 МПа (10 МПа и более при 90% обеспеченности), что свидетельствовало об уверенном переводе мелких и средних песков в состояние средней плотности и плотное.

В четвертой главе проведены сравнительные теоретические исследования и полевые испытания известного варианта тяжелой двухмассной трамбовки и нового варианта ее конструктивного исполнения.

Теоретические исследования местных пластических деформаций грунтов основания были проведены на расчетной механической модели системы «двухмассная трамбовка – грунт основания» (рис.5).

В этой модели поверхностный слой грунта основания заменялся упруго-пластическим ограничителем перемещений.

Коэффициент жесткости K_z этого ограничителя определялся по методике О.А.Савинова, используемой при расчете фундаментов машин с динамическими нагрузками, а предельное сопротивление вдавливанию $R_{пр}$ по формулам В.Г. Березанцева теории предельного равновесия. Неупругие сопротивления колебаниям системы задавались модулем затухания Φ_z .

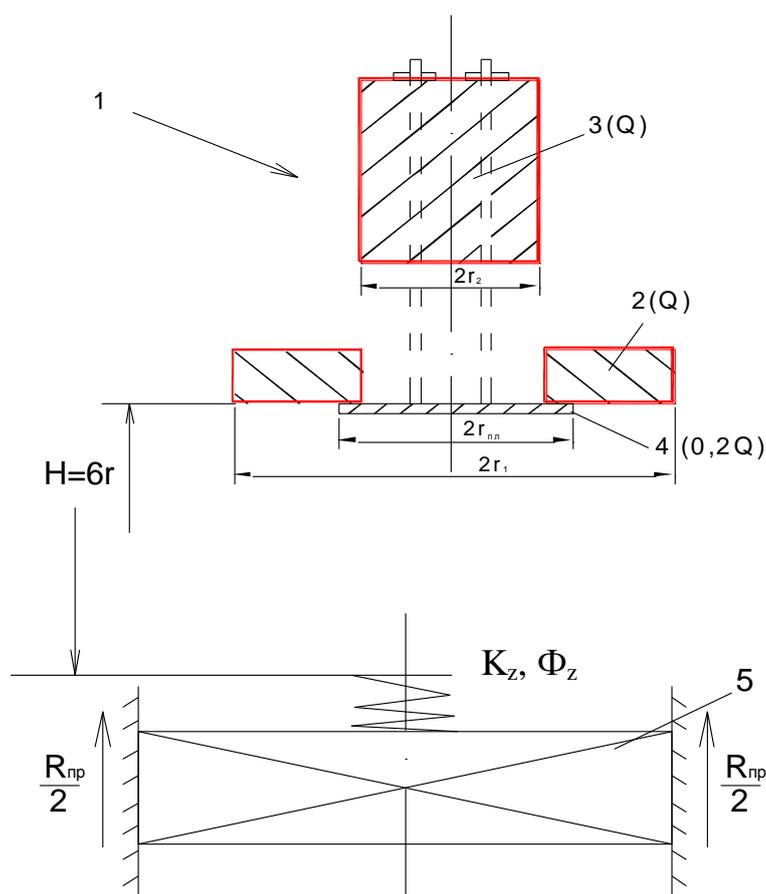


Рис. 5. Конструктивная схема системы «двухмассная трамбовка – грунт основания»:

1 – общий вид двухмассной трамбовки; 2 и 3 – соответственно, наружная и внутренняя отдельные ударные части; 4 – плита с направляющими; 5 – невесомая пробка упруго-пластического ограничителя перемещений с модулем затухания

На данной модели были проведены сравнительные расчеты известного и разработанного варианта двухмассной трамбовки. Принципиальное их отличие заключается в том (см. рис.5), что в известном варианте удар первой части производится по грунту основания по всей площади подошвы двухмассной трамбовки, а второй (внутренней) – через плиту, перекрывающую центральное отверстие в

наружной ее части. В разработанном же варианте удар обеих частей двухмассной трамбовки производится непосредственно по грунту основания.

Результаты проведенных расчетов показывают, что величины остаточных осадок поверхности основания разработанного варианта двухмассной трамбовки всегда превышает таковые по сравнению с ранее известной, что свидетельствует о её большей уплотняющей способности.

Кроме того, величины этих осадок, как под наружной, так и под внутренней её частями могут быть (при заданных рабочих параметрах) близки по величине, что повышает равномерность уплотнения грунта основания под подошвой трамбовки.

Теоретическое обоснование интервала времени между ударами отдельных частей двухмассной трамбовки производилось исходя из сопоставления зон уплотнения грунтов основания при взрыве и ударе трамбовки.

При этом считалось, что удар второй части двухмассной трамбовки должен производиться в момент времени завершения прохождения поперечных волн на полупространстве в зоне уплотнения первой части двухмассной трамбовки, вызывающих сдвиговые деформации водонасыщенного песчаного грунта основания.

На основании этого была получена зависимость для определения интервала Δt , связывающая основные рабочие параметры двухмассной трамбовки (вес наружной ее части Q и высота сбрасывания H) и модуля сдвига грунта основания различного гранулометрического состава песчаных грунтов, в виде:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{KQH}{G}}, \quad (5)$$

где $K = 0,2 \text{ с}^2/\text{м}^3$; G – динамический модуль сдвига грунта основания, равный 32, 24, 18 МПа, соответственно для песков крупных, средних и мелких.

Разработанным образцом нового варианта двухмассной тяжелой трамбовки было произведено уплотнение тела дамб в основании скоростной автодороги, бортовых примыканий дамб к водопропускным сооружениям и других оснований и сооружений на строительстве КЗС г. Санкт-Петербурга. Основные результаты уплотнения показали, что осадка грунта основания под подошвой двухмассной трамбовкой была практически одинакова и существенна. В результате уплотнения достигалась очень высокая плотность грунтов основания в пределах уплотняемого слоя. Сопротивление внедрению острия зонда q_3 в целом превысило 14 - 20 МПа.

На основании данных полевых испытаний установлено, что соотношение масс внутренней и наружной ударных частей должно составлять 1: (1 - 1,5). При этом площади их подошвы должны находиться в пределах отношения 1: (1,5 - 3,0).

Проведенные теоретические исследования и полевые испытания позволили выработать рекомендации по назначению параметров двухмассной трамбовки для заданных грунтов основания.

Для осуществления метода трамбования были разработаны рабочие чертежи производственного образца двухмассной трамбовки с повышенным удельным статическим давлением 0,035 МПа на грунты основания.

Двухмассная трамбовка общей массой 10 т состоит из коаксиально расположенных наружной 1 и внутренней 2 ударных частей.

Конструкция разработанного производственного образца двухмассной трамбовки представлена на рис. 6.

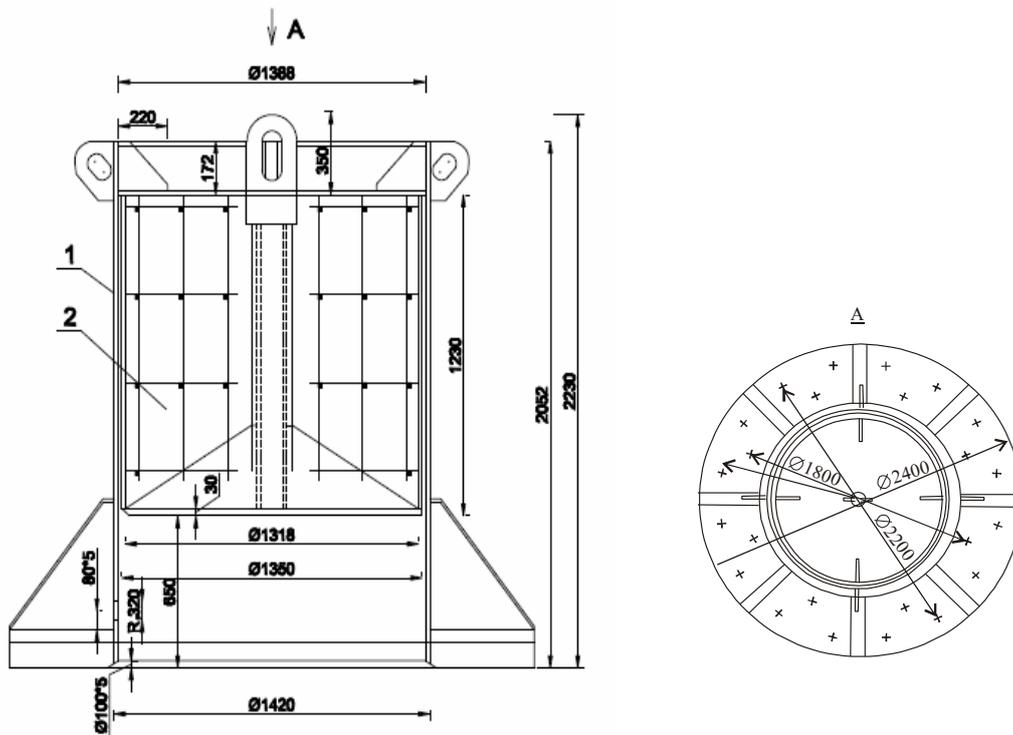


Рис. 6. Конструкция двухмассной тяжелой трамбовки для уплотнения грунтов оснований

Работа двухмассной трамбовки производится следующим образом. Тяговое усиление лебедки грузоподъемного механизма передается через проушину к внутренней части трамбовки. В свою очередь внутренняя часть при движении вверх в обечайке трубы зацепляет упоры наружной части. После этого вся двухмассная трамбовка поднимается на высоту сбрасывания.

При сбрасывании двухмассной трамбовки первой с поверхностью грунта основания соударяется наружная ее часть по подошве в виде кольца, а затем с некоторым заданным интервалом времени Δt внутренняя.

В пятой главе изложены исследования по уплотнению грунтов оснований виброустановкой модернизированной конструкции.

При поиске метода уплотнения песчаного грунта основания в теле дамбы на строительстве КЗС сразу на всю глубину уложенного слоя основания 9 м (5 м водонасыщенного грунта в подводной зоне перекрытого четырехметровым слоем ма-

ловлажного грунта) в качестве основополагающей использовалась установка конструкции ВНИИГС.

Данная виброустановка включала вибропогружатель ВШ-1 и уплотнитель, к которому по всей длине уплотнения были приварены горизонтальные ребра. Вода к патрубку подавалась насосом с возможностью регулирования параметров производительности и напора с помощью заслонки. В качестве базовой машины использовался кран.

При уплотнении грунтов основания выявилась невысокая надежность этой виброустановки из-за частого выхода из строя вибропогружателя. Поэтому конструкция уплотнителя была изменена.

Видоизменение конструкции уплотнителя заключалось в срезке верхних горизонтальных ребер и сохранения их только на участке в 3,5 - 4,5 м в нижней части штанги виброуплотнителя, так как это показано на (рис.7).

Сравнительные теоретические исследования по виброуплотнению песчаных грунтов установкой конструкции ВНИИГС и модернизированной конструкцией виброуплотнителя производились на разработанной впервые автором диссертации расчетной модели.

В данной расчетной модели, основанной на результатах исследований О.А.Савинова, И.И.Блехмана по виброуплотнению сыпучих сред, автором диссертации для определения радиуса зоны наилучшего виброуплотнения для заданной частоты колебаний вибропогружателя устанавливается критическая величина амплитуды колебаний $A = A_r$ грунта, возбуждаемых виброуплотнителем в уплотняемом грунтовом массиве

$$A\omega^2 = (0,9 - 1) g, \quad (6)$$

где A – амплитуда вибрации; ω - круговая частота колебаний, g – ускорение свободного падения.

При этом, согласно исследованиям В.А.Членова и Н.В.Михайлова, И.А.Кунина и В.Ф.Хона, учитывается, что для вязких сред амплитуда вибраций убывает с расстоянием от источника колебаний по экспоненциальному закону

$$A_r = A_o e^{-\frac{r}{\delta}}, \quad (7)$$

откуда

$$\delta = -\frac{r}{\ln \frac{A_r}{A_o}} = \frac{r}{\ln \frac{A_o}{A_r}}, \quad (8)$$

где r - расстояние от источника колебаний; δ - коэффициент определяемый экспериментально.

Известно, что амплитуда колебаний вибрирующего элемента A_o приближенно определяется отношением величины вынуждающей силы P_o вибропогружателя к массе m вибрирующего элемента умноженной на квадрат круговой частоты ω .

Данная величина по предложенной автором диссертации уменьшается на величину динамического сопротивления грунта основания

$$A_o = \frac{P_o - P_{\text{дин.}}}{m\omega^2} = \frac{P_o - (P_{\text{тр}}^{\text{дин.}} + P_{\text{лоб}}^{\text{дин.}})}{(m_{\text{в}} + m_{\text{упл}})(2\pi f)^2}, \quad (9)$$

где $m_{\text{в}}$ - масса вибропогружателя; $m_{\text{упл}}$ - масса виброуплотнителя; $P_{\text{тр}}^{\text{дин.}}$ - сила динамического сопротивления трению; $P_{\text{лоб}}^{\text{дин.}}$ - сила динамического лобового сопротивления.

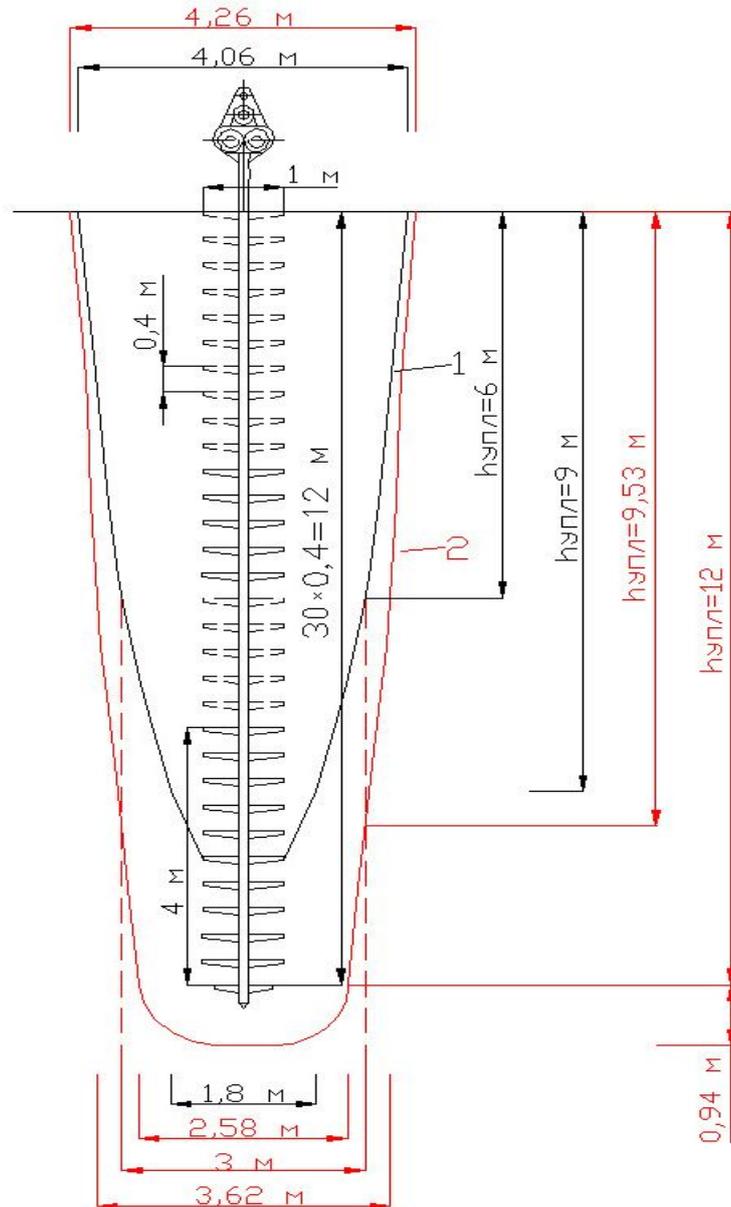


Рис. 7. Расчетные зоны и глубины уплотнения грунта основания:

- 1 – виброустановкой конструкции ВНИИГС,
- 2 - модернизированным виброуплотнителем

При этом, согласно исследованиям М.Г.Цейтлина и В.В.Верстова принимается, что при вибропогружении динамическое сопротивление снижается в 4,5 – 6 раз по боковой поверхности уплотнителя и в 2,5 – 3 раза по его острию по сравнению со статическим сопротивлением трению $P_{тр}^{стат}$ по боковой поверхности уплотнителя и лобовому $P_{лоб}^{стат}$ его сопротивлению, определяемые по СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. - Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.

Полученные теоретические зависимости позволили проведенными расчетами установить (рис.7) возможность не менее, чем в 1,5 раза увеличить глубину уплотнения (с 6 м для виброустановки конструкции ВНИИГС до 9,53 м при использовании виброуплотнителя модернизированной конструкции) при сохранении зоны уплотнения, равной 3 м, неизменной.

Достигаемая величина глубины уплотнения еще более увеличивается в 2 раза (до 12 м) при уменьшении диаметра зоны уплотнения до 2,58 м (рис.7), тогда как виброуплотнитель конструкции ВНИИГС не может быть даже погружен на данную глубину уплотнения при использовании традиционного для этих целей вибропогружателя ВПП-2 конструкции О.А.Савинова.

Теоретическая зависимость для расчета достигаемой плотности грунта основания по величине его пористости при послойном виброуплотнении принимается автором диссертации по аналогии с зависимостью В.А.Флорина для консолидации разжиженного слоя грунта под действием гравитационных сил после взрыва

$$n_2 = n_1 - \frac{t_{упл.}}{r_1} (1 - n_1) K_{\phi 1}, \quad (10)$$

где n_2 и n_1 – конечная и начальная пористость грунта; $K_{\phi 1}$ – начальный коэффициент фильтрации грунта; $t_{упл.}$ – время послойного виброуплотнения; $r_1 = 1$ м – толщина уплотняемого слоя эквивалентная одному метру.

Однако, с учетом постоянного градиента напора уплотняемого слоя грунта основания за время виброуплотнения, в данной формуле, опираясь на теоретические зависимости П.Л.Иванова, по предложению автора диссертации это учитывается увеличением времени консолидации слоя грунта в 2 - 3 раза.

Проведенные расчеты для характерного графика виброуплотнения грунта установкой ВНИИГС (рис.8) показали существенный разброс данных по достигаемой плотности грунта с $I_D = 0,3$ в нижележащем слое основания до $I_D = 0,9$ к поверхности основания за счет значительной разницы времени виброуплотнения по глубине уплотняемого основания.

Применение модернизированного виброуплотнителя (рис. 8) позволяет выравнивать время виброуплотнения грунта по глубине уплотняемого основания и, тем самым, существенно сократить разницу величин пористости грунта при возможности достижения плотного сложения скелета песчаного грунта основания $I_D \geq 0,6$. При этом графики 2 и 3 (см. рис. 8) на стадии подъема построены на основе участка III графика 1 для виброуплотнителя конструкции ВНИИГС при

соответствующей высоте размещения пространственных элементов в нижней части штанги модернизированного виброуплотнителя.

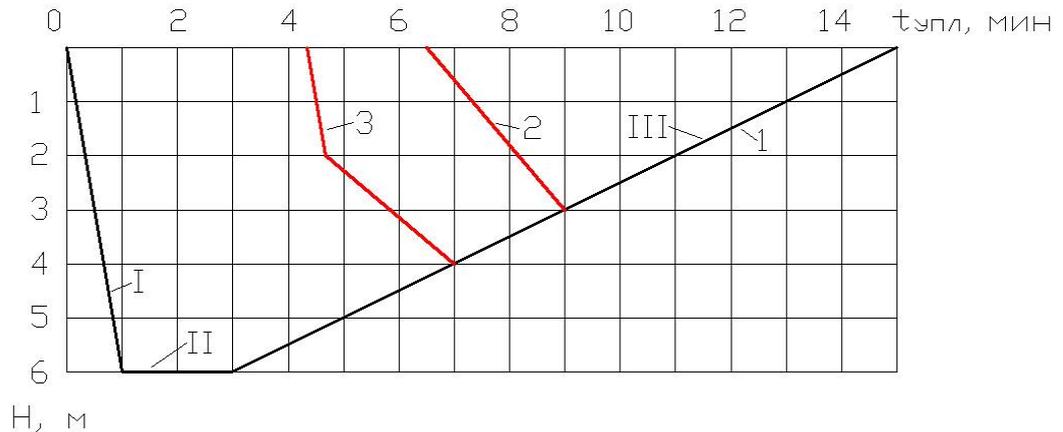


Рис. 8. Графики времени виброуплотнения грунтов основания:

I - виброустановка конструкции ВНИИГС; 2 и 3 - модернизированный виброуплотнитель при высоте h размещения пространственных элементов виброуплотнителя в нижней части по штанге, равной соответственно $1/3$ и $1/2 h_{уп}$, где $h_{уп}$ - глубина уплотнения основания.

Обозначения: I - стадия погружения; II - выдержка; III - стадия извлечения виброуплотнителя конструкции ВНИИГС

Испытания модернизированного уплотнителя с вибропогружателем В-401 показали, что модернизированный уплотнитель легче погружается в грунт основания и извлекается из него.

По данным статического зондирования глубина уплотнения основания составила 9 м. При этом достигалось более равномерное уплотнение грунта как в центральной зоне основания, так и в радиусе 1,5 м. Кроме того, грунт не разрыхлялся в центральной зоне вокруг уплотнителя за счет размыва поверхностного слоя песка основания напором воды.

Вышеуказанное наиболее наглядно подтвердим сравнением данных статического зондирования по оси погружения уплотнителя.

Как видно из рис. 9 до уплотнения сопротивление внедрению острия зонда в надводной зоне основания составляло от 3,5 до 8 МПа, а в подводной зоне – от 2 МПа. После уплотнения установкой конструкции ВНИИГС разброс данных по q_3 в целом и надводной зоне составлял от 1,5 до 25,5 МПа; причем повышение плотности в нижележащем слое по показателю q_3 не превышало 6,5 МПа, а на глубину до 2 м от поверхности произошло снижение этого показателя до 1,5 МПа.

По данным статического зондирования (см. рис. 9) после уплотнения модернизированной виброустановкой сопротивление внедрению острия зонда q_3 повысилось в целом по всей глубине обрабатываемого слоя основания до 9 - 14 МПа. Модернизированной виброустановкой было произведено уплотнение верхового откоса тела дамб в основании скоростной автодороги, уплотнения песчаного заполнителя балластов наплавных ворот судопропускных сооружений и других объектов

на строительстве комплекса защитных сооружений (КЗС) г. Санкт-Петербурга от наводнений.

Анализ проведенных исследований позволил определить, что размещение h радиальных элементов уплотнителя в нижней его штанге должно назначаться в пределах $(1,5 - 2) \text{ м} \leq h \leq 0,5 H$, где H – глубина уплотнения основания, при этом разница коэффициентов фильтрации K_f в пределах высоты h должен составлять $(0,8 - 1,2) 10^{-1} \text{ см/см}$, а показателей плотности I_D или q_3 $(0,1 - 0,2)$ и $(2 - 5)$ МПа соответственно.

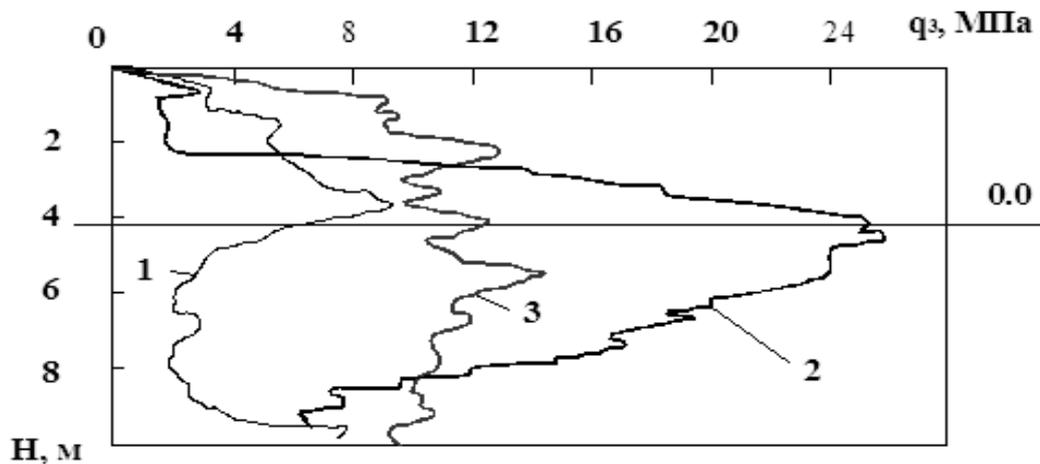


Рис. 9. Сравнительные графики зависимости сопротивления q_3 внедрению острия зонда от глубины H его погружения в грунты песчаного основания по данным статического зондирования:

- 1 – до уплотнения основания,
2,3 – после уплотнения основания конструкцией ВНИИГС (2)
и модернизированной конструкцией (3)

Таким образом, проведенные теоретические исследования и опытно-производственные испытания показали, что предложенное новое техническое решение позволяет при заданных параметрах вибропогружающих механизмов увеличить глубину и улучшить равномерность уплотнения грунта основания.

В последние годы основные результаты теоретических и экспериментальных исследований автора диссертации подтверждены независимыми исследованиями немецких специалистов. Данные теоретические и экспериментальные исследования немецких специалистов основаны на уплотнении песчаных грунтов оснований на глубину до 10 м виброфлотом, созданным на базе тяжелого глубинного вибратора.

В шестой главе излагается предлагаемый способ защиты близлежащих зданий и сооружений от вибродинамического воздействия при использовании глубинных динамических методов уплотнения грунтов оснований.

Поясним сказанное схемой на рис. 10. В пределах рассматриваемого участка основания 1 по периметру зоны уплотнения 2 создается экран 3, представляющий собой азрированный грунт основания, отличающийся от характеристик грунта основания 2. Экран 3 создают с помощью погружаемой вибратором 4 трубы в

грунты основания 5, перфорированной в нижней своей части. При этом динамическое воздействие в намеченных местах 6 будет вызывать образование отраженных волн в грунтах основания.

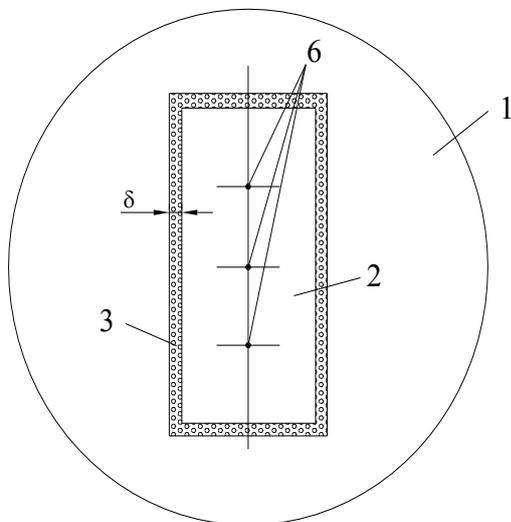
В теоретических исследованиях для условия лабораторного эксперимента была рассмотрена задача о распространении упругих волн в полубесконечном грунтовом стержне, содержащем низко модульную упругую вставку. Полубесконечную часть стержня, расположенную за низко модульной вставкой, заменим эквивалентным демпфером.

Решение задачи было осуществлено методом операционного исчисления.

В результате были получены выражения для вычисления смещений в сечениях первого и i_1 и второго и i_2 участков стержня.

Для проведения численных расчетов необходимо задать значения динамических характеристик аэрированного грунта основания, в частности модуля его упругости.

a)



б)

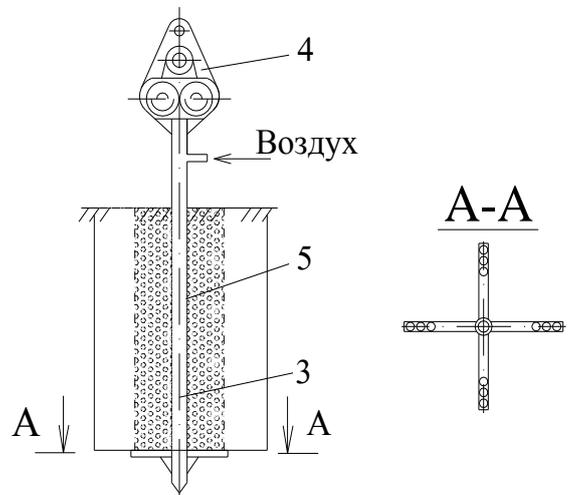


Рис. 10. Пояснительные схемы к изоляции грунтового массива путем аэрирования грунта:

a - план площади подготавливаемого основания;

б - схема осуществления процесса аэрирования грунта

Полученные соотношения подтверждаются экспериментальными исследованиями Г.М.Ляхова по распространению волн при взрывах в водонасыщенных песчаных грунтах с содержанием воздуха менее 0,1% и при его содержании порядка 4%, которая составляет соответственно 1600 м/с и 200 м/с.

Данные предварительных лабораторных опытов показали возможность введения воздуха в водонасыщенные песчаные грунты основания до его объемного содержания 4- 5%.

На основании этого полученные численные значения деформаций стержня позволяли ожидать при экспериментальных исследованиях снижение амплитуд колебаний грунта за границей зоны аэрирования в 2,5 - 3 раза.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном стенде, который включал в себя металлический удлиненный бак.

Трамбующий груз представлял из себя стальной диск. Грунт основания отсыпался в воду, налитую в бак.

Для измерения колебаний грунта основания применялись сертифицированные датчики ускорения марки ДУ-5, входящие в комплект виброизмерительной аппаратуры ВИБ-5М. По согласованию с ВНИИГС была использована аппаратура из лаборатории вибрации (зав. лабораторией, проф. Цейтлин М.Г., измеритель Изофов В.О).

Датчики погружались в верхний слой грунта основания на различных расстояниях от центра удара трамбовки, производящихся в одном из торцов бака.

Для характерной осциллографической записи ускорений колебаний поверхности грунта основания датчиками по обеим сторонам от сечения, в котором производилось аэрирование грунта основания, максимальные ускорения колебания в зоне уплотнения основания составляли $1158,2 \text{ мм/с}^2$ при аэрировании грунта. Произведенные расчеты по формуле $A = W / (2\pi f)^2$, где A – амплитуда колебаний грунта основания, W , f – ускорение и частота его колебаний, показали, что амплитуда колебаний соответственно равна 59,6 мкм.

За пределами места аэрирования грунта основания произошло снижение ускорений колебаний до $700,3 \text{ мм/с}^2$. Амплитуда колебаний соответственно уменьшилась до 20,6 мкм, т.е. почти в 3 раза.

Во всех опытах получено совпадение результатов лабораторных опытов с данными теоретических исследований для условий лабораторного эксперимента.

Учет в теоретических исследованиях затухания параметров волн деформаций при распространении от центра взрыва сосредоточенного заряда в полупространстве, в том числе в пределах толщи аэрированного слоя грунта, показывает уменьшение ускорений колебаний за аэрированным экраном по сравнению с его отсутствием в 6 - 15 раз, что соответствует снижению уровня балльности на 2 - 3 единицы по СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. - Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.

Проведенные ориентировочные расчеты свидетельствуют, что безопасное расстояние до близлежащих зданий и сооружений при наличии аэрированного виброзащитного слоя может быть снижено, как минимум, на несколько сот метров.

Опытное апробирование исследованного метода защиты близлежащих зданий и сооружений от вибродинамического воздействия для защиты жилого здания от интенсивной вибрации, вызываемой колебаниями рельсов железнодорожных путей при прохождении поездов близи этого здания, показало его высокую эффективность.

Седьмая глава посвящена контролю качества уплотнения водонасыщенных песков оснований.

Если в грунтах маловлажных и влажных такая задача решается путем отбора образцов грунта в каждом укладываемом слое песчаного основания, то в водонасыщенных - вообще невозможно.

В настоящее время для оценки свойств грунтов водонасыщенных песков оснований применяются различные косвенные методы, в частности различные методы зондирования оснований: статическое и ударное, вибрационное и взрывное. Однако существующие нормативные документы не разграничивают их применение для определения плотности грунта после уплотнения песчаного основания и грунтов естественных песчаных оснований, когда структурная их прочность может существенно влиять на данные зондирования.

С учетом вышеизложенного, в зоне строительства КЗС по предложению автора диссертации были проведены сравнительные исследования по оценке свойств и плотности подводной укладки песчаных грунтов оснований с использованием различных методов зондирования.

Исследования по статическому зондированию и вибронзондированию велись с привлечением Санкт-Петербургского треста инженерно-строительных изысканий, а ударному зондированию – 19-й экспедиции Санкт-Петербургского отделения института «Гидропроект» им. С.Я.Жука.

Для выполнения исследований были выбраны три площадки песчаного основания по длине дамбы.

В целом при статическом зондировании были получены достаточно близкие результаты, равные по q_z 8 – 12 МПа, при использовании установок СП-59 и более современной «ПИКА-10», конструкции НИИОСП.

В результате динамического зондирования зафиксировано снижение сопротивления внедрению зонда p_d до 4 - 7 МПа при ударном и до 1 - 3 МПа при вибронзондировании по сравнению с данными статического зондирования.

Для сравнения данных зондирования основания с непосредственным отбором образцов в грунтах основания, использовались таковые, полученные путем водопонижения из намытой песчаной подушки с аналогичным гранулометрическим составом.

Сопоставление результатов свидетельствовало о том, что наблюдается тенденция к некоторому повышению I_D при отборе образцов грунта в грунтах основания.

Проведенные опытные испытания позволили установить, что косвенные методы зондирования можно применять для контроля качества уплотнения оснований.

В целом проведенные исследования показали, что существуют большие перспективы для расширения области применения разработанных глубинных динамических способов для уплотнения различных грунтов оснований для возведения зданий и сооружений.

Заключение

1. Разработана методика выбора способов уплотнения песчаных и других оснований для возведения зданий и сооружений.

2. Предложены новые способы глубинного вибродинамического уплотнения песчаных грунтов оснований.

3. Доказана эффективность способа последовательного взрывания зарядов по сравнению с одновременным, что позволяет повысить плотность грунтов основания. Кроме того, способ последовательного взрывания зарядов позволяет существенно снизить величины динамического воздействия от взрывов на коренные породы лежащие ниже.

Натурные исследования уплотнения грунтов существующими тяжелыми трамбовками показали их недостатки. Предлагаемая новая двухмассная трамбовка позволяет исключить разрыхление поверхностного слоя грунта и на 30% увеличить глубину уплотнения основания.

4. Опытно-производственные испытания виброустановки конструкции ВНИИГС с пространственным уплотнителем в виде «ёлочки» показали ее недостатки, которые исключаются предложенной модернизацией.

Кроме того, глубина виброуплотнения основания увеличивается при использовании модернизированного виброуплотнителя в 1,5 - 2 раза.

5. Расширение области применения глубинных методов динамического уплотнения водонасыщенных грунтов песчаных оснований для возведения зданий и сооружений может быть достигнуто аэрированием. Экспериментально установлено, что воздух способен стабильно сохраняться в грунтовом массиве как в статическом состоянии, так и при достаточно значительных динамических воздействиях в течение промежутка времени, соизмеряемого с уплотнением грунта основания.

При этом по данным лабораторных опытов значения ускорений колебаний грунта за пределами аэрированного слоя грунта основания снижаются в 1,5-2 раза.

6. Статическое или ударное зондирование целесообразно использовать для оценки плотности укладки свежесуплотненных водонасыщенных песчаных грунтов оснований. В результате динамического уплотнения песчаных грунтов достигается значительное увеличение физико-механических характеристик грунтов оснований: модуля упругости E с 6...20 МПа до 24...60 МПа, угла внутреннего трения φ с 26-30 до 34-38 градусов и относительной плотности I_D с 0.1...0.3 до 0.48...0.82. Для окончательной оценки достигнутой плотности укладки песков рекомендуется построение корреляционной зависимости между параметрами статического или ударного зондирования и степенью плотности грунта.

7. Предложенные решения реализованы на строительстве: комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений; других объектов в России и в странах СНГ, а также в учебные программы высших учебных заведений.

Задачей последующих исследований является экономическое обоснование тех или иных способов уплотнения в различных регионах мира.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации. Основные результаты, выводы и положения диссертации опубликованы в следующих работах.

Публикации из Перечня ВАК на русском языке, ведущих российских рецензируемых журналов и изданий:

1. **Минаев, О.П.** Исследование возможности увеличения скорости погружения свай при использовании двухмассного молота/ О.П. Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1985. - № 2. – С. 14-16.

2. **Минаев, О.П.** Перспективы применения тяжелых двухмассных трамбовок для уплотнения грунтов / О.П.Минаев, О.А.Савинов // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1990. - № 4. – С. 9-12.

3. **Минаев, О.П.** Совершенствование установки продольного вибрирования для уплотнения песчаных грунтов / О.П.Минаев, О.А.Савинов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1991. - №1. – С. 8-10.

4. **Минаев, О.П.** Эффективный метод уплотнения водонасыщенных грунтов взрывами // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1993. - № 2. – С.17-19.

5. **Минаев, О.П.** Разработка метода уплотнения песчаных водонасыщенных грунтов взрывами в зимних условиях / О.П. Минаев, А.П. Крутов // Гидротехническое строительство. - 1993.-№7. - С.43-46.

6. **Минаев, О.П.** Оценка качества уплотнения водонасыщенных песков зондированием / О.П.Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1994.- № 4. - С.17-20.

7. **Минаев, О.П.** Перспективы применения динамического уплотнения при укладке золошлаковых материалов и подготовке оснований под золоотвалы / О.П.Минаев // Гидротехническое строительство. - 1995. №2 – С. 27-31.

8. **Минаев, О.П.** Эффективный метод динамического уплотнения слабосвязных водонасыщенных грунтов / О.П.Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2002. - № 6 – С.14-18.

9. **Минаев, О.П.** Глубинное уплотнение песчаных грунтов виброустановкой модернизированной конструкции / О.П.Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2003. - № 6.– С.18-19.

10. **Минаев, О.П.** Совершенствование параметров виброуплотнения грунтовых масс / О.П.Минаев // Вестник гражданских инженеров. – 2008. - № 2(15). – С.67-71.

11. **Минаев, О.П.** Развитие виброметода уплотнения грунтов в строительстве / О.П. Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. - № 4. - С. 39-42.

12. **Минаев, О.П.** Разработка динамических методов глубинного уплотнения слабосвязных грунтов оснований / О.П. Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов.-2013.-№ 6,-С. 21-23.

13. **Минаев, О.П.** Выбор метода и основных параметров вибродинамического глубинного уплотнения песчаных грунтов оснований/ О.П. Минаев// Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 5(40). - С. 108-115.

14. **Минаев, О.П.** Эффективный метод взрывного уплотнения оснований гидротехнических сооружений/ О.П. Минаев// Инженерно-строительный журнал. – 2014. - №6 (50). – С. 32-39.

15. **Минаев, О.П.** Выбор и использование метода уплотнения песчаных оснований и сооружений/ О.П. Минаев// Инженерно-строительный журнал. – 2014. - №7 (51). – С. 66-73.

16. **Минаев, О.П.** Тяжелые трамбовки нового поколения для уплотнения водонасыщенных грунтов оснований/О.П. Минаев// Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 4(45). - С. 66-72.

17. **Минаев, О.П.** Контроль качества песчаных оснований крупных объектов/ О.П. Минаев //Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. - №3(202). С. 80-87.

18. **Минаев, О.П.** Эффективный метод защиты зданий и сооружений от вибродинамического воздействия при уплотнении грунтов близлежащих оснований / О.П. Минаев //Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. - №4. – 81-91.

19. **Минаев, О.П.** Российский тяжелый вибрационный каток для уплотнения грунтов оснований /О.П. Минаев//Транспортное строительство. – 2015. – №2. - С. 29-31.

20. **Минаев, О.П.** Метод уплотнения оснований и сооружений вибропогружателем для шпунта в гидроэнергетическом строительстве / О.П. Минаев//Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2015. - №1. – С. 79-88.

21. **Минаев, О.П.** О вибрационных катках в гидротехническом строительстве /Ю.С. Васильев, О.П. Минаев // Гидротехническое строительство. – 2016. - № 2. - С. 10-14.

22. **Минаев, О.П.** Тяжелые трамбовки нового поколения для уплотнения грунтовых оснований и сооружений/ О.П. Минаев // Гидротехническое строительство. - 2016. - № 9. - С. 17-23.

23. **Минаев, О.П.** Вибропогружатель многоцелевого назначения для гидротехнического строительства/ Минаев О.П.// Гидротехническое строительство. - 2017. - № 4. - С. 40-46.

24. **Минаев, О.П.** Эффективный взрывной метод уплотнения песчаных оснований для различных сооружений / Минаев О.П.// Гидротехническое строительство. - 2017. - № 7. - С. 36-41.

Авторские свидетельства и патенты на авторские свидетельства:

25. **А.с. 1011765 СССР, МКИ Е 02Д 13/06.** Устройство для моделирования динамических характеристик забивных свай/Г.М.Бадьин, О.П.Минаев. – Заявл. 13.01.81; опубл. в Б.И. 15.04.83, № 14.

26. **А.с. 1300091 СССР, МКИ Е 02 Д 3/046.** Установка для подводного уплотнения грунтов / А.А.Равкин, О.А.Савинов, О.П.Минаев, К.А.Степанов, М.Я.Рафальская.- Заявл. 18.10.1984; опубл. в Б.И. 30.03.87, № 12.

27. **А.с. 1320329 СССР, МКИ Е 02Д 3/046.** Способ уплотнения грунта трамбованием / А.А.Равкин, О.А.Савинов, М.Павчич, О.П. Минаев, П.Л. Иванов, Н.Ф.Ройко.- Заявл. 08.07.85; опубл. в Б.И. 30.06.87, №24.

28. **А.с. 1511622 СССР, МКИ G 01N 1/04.** Устройство для отбора образцов грунта / А.А.Каган, И.В.Корниенко, Н.Ф. Медведев, О.П.Минаев, В.В.Никитин. – Заявл. 04.01.88; опубл. в Б.И. 30.09.89, № 36.

29. **Пат. № 1770525 РФ, МКИ Е 02Д 3/046.** Рабочий орган для динамического уплотнения грунтов / О.П.Минаев, О.А. Савинов, Ю.К.Севернад, П.Л.Иванов. – Заявл. 23.02.90; опубл. в Б.И. 23.10.92, №39.

30. **Пат. № 1770526 РФ, МКИ Е 02Д 3/10.** Способ уплотнения грунта/ О.П.Минаев, О.А.Савинов, Ю.К.Севернад, П.Л.Иванов. – Заявл. 23.02.90; опубл. в Б.И., 23.10.92, №39.

31. **Пат. № 2060320 РФ, МКИ Е 02 Д 3/10.** Способ уплотнения слабосвязных грунтов взрывами/ О.П.Минаев, А.П.Крутов. – Заявл. 05.03.1993г., опубл. в Б.И. 20.05.96, №14.

32. **Пат. № 2135690 РФ, МКИ Е 02Д3/054 .** Способ глубинного виброуплотнения песчаных грунтов / О.П.Минаев, Ю.К.Севернад, Е.М.Перлей, А.И.Соснин. – Заявл. 13.03.98; опубл. в Б.И. 27.08.99, № 24

Другие публикации, в том числе в трудах всероссийских и международных научно- технических чтений и конференций:

33. **Минаев, О.П.** О выборе формы тяжелых трамбовок для уплотнения несвязных водонасыщенных грунтов/ О.П.Минаев// Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений: материалы VI Всесоюзн. конф. – Нарва, 1-3 октября 1985. – С. 246-248.

34. **Уплотнение** песчаных водонасыщенных грунтов тяжелыми двухмассными трамбовками / О.А.Савинов, П.Л.Иванов, А.А.Равкин, О.П.Минаев // Изв. ВНИИГ им.Б.Е.Веденева. - 1986.-Т.189. – С. 85-90.

35. **Повышение** эффективности уплотнения водонасыщенных грунтов тяжелыми трамбовками/А.А.Равкин, О.П.Минаев// Сооружения ГЭС: экспресс-информ. Информэнерго. – 1986. – Вып. 4. – С. 12- 14.

36. **Минаев, О.П.** Перспективы применения тяжелых двухмассных трамбовок для уплотнения несвязных водонасыщенных грунтов/ О.П. Минаев. - М., 1986. – 18 с. – Деп. ВНИИС Госстроя СССР № 722 от 05.03.87.

37. **Минаев, О.П.** Погружения свай и уплотнение грунтов двухмассными молотами и трамбовками свободного падения: автореф. дис... канд. техн. наук по специальности 05.23.02/ О.П.Минаев, ЛПИ им. М.И.Калинина. – Л., 1988. – 19 с.

38. **Двухмассная** тяжелая трамбовка: информ. листок № 88 – 185/ Л.С.Шаров, О.П.Минаев, И.В.Корниенко и др.//Лен ЦНТИ. – Л., 1988. – 3с.

39. **Применение** двухмассных тяжелых трамбовок для уплотнения грунтов/ О.А. Савинов, О.П.Минаев// Динамика оснований, фундаментов и подзем-

ных сооружений: тез. VII Всесоюзн. конф., Днепропетровск, 25-27 сентября 1989. – М., 1989. – С. 182 – 183.

40. **Минаев, О.П.** Возможность повышения эффективности динамического уплотнения слабосвязных водонасыщенных грунтов при аэрировании грунта/ О.П.Минаев// Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений: тез. докл. VIII Междунар. конф., Ташкент, 25-27 мая 1994 г. – С.11.

41. **Минаев, О.П.**: Биография специалиста/ А.И. Мелуа. Инженеры Санкт-Петербурга: Энциклопедия. Санкт-Петербург. – М. – Издательство Международного фонда истории науки при участии Санкт-Петербургской инженерной Академии, 1996. – С. 398-399.

42. **Минаев, О.П.** Пути снижения динамического воздействия от взрывов при уплотнении грунтов/ О.П.Минаев, А.П.Крутов/ Вторые Савиновские чтения (23 – 26 июня 1997 г.): сб. тез. докл. – Санкт-Петербург, 1997. – С.25.

43. **Минаев, О.П.** Усовершенствованный метод глубинного виброуплотнения песчаных грунтов/ О.П.Минаев// Третьи Савиновские чтения (27-30 июня 2000 г.): сб. тез. докл. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 20.

44. **Минаев, О.П.** Познание человека поистине бесконечно/ О.П.Минаев: в кн. Варпет вибрационной техники (Памяти О.А.Савинова)// Под общей ред. Е.М.Перлея, Изд-во ВНИИГ. – Л., 2000. – С. 58-64.

45. **Минаев, О.П.** Исследования динамической уплотняемости золошлаковых материалов/ О.П.Минаев// Четвертые Савиновские чтения (29 июня – 2 июля 2004 г.): кр. тез. докл. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 39.

46. **Минаев, О.П.** Метод динамического уплотнения грунтов при существенном снижении сейсмического воздействия/ О.П.Минаев// Четвертые Савиновские чтения (29 июня – 2 июля 2004 г.): кр. тез. докл. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 40.

47. **Минаев, О.П.** Совершенствование методов виброуплотнения грунтовых масс/ О.П.Минаев// Пятые Савиновские чтения (29 июня – 3 июля 2007 г.): кр. тез. докл. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 11.

48. **Минаев, О.П.** Определение плотности уплотнения песков зондированием/ О.П.Минаев// Развитие городов и геотехническое строительство: труды международной конференции по геотехнике. – Т.3. – СПб., 2008. – С.321-324.

49. **Минаев, О.П.** Виброметод для уплотнения грунтов для строительства в развитии российских специалистов/VI Савиновские чтения к столетию Савинова Олега Александровича: избранные статьи профессора О.А.Савинова и ключевые доклады, представленные на VI Савиновские чтения/О.П.Минаев. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 195 – 212.

50. **Минаев, О.П.** Влияние уплотнения грунтов на работу системы «основание-сооружения» для возведения многоэтажных жилых зданий. Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение : материалы междунар. научн.-технич. конф., посвященной 80-летию образования кафедры геотехники СПбГАСУ (механики грунтов, оснований и фундаментов ЛИСИ) и 290-летию российской науки. -Ч. 1.- СПбГАСУ.- СПб., 2014.-С. 188-194.

51. **Минаев, О.П.** О коэффициенте циклического нагружения в работах по вибродинамическому уплотнению и сейсмической безопасности оснований зданий и сооружений / О.П. Минаев // VII Савиновские чтения (1–4 июля 2014 г.): сборник научных трудов и программа международной конференции. - СПб., 2014. – С. 27-28.

52. **Минаев, О.П.** Влияние вибродинамического воздействия на повышение осадок предварительно уплотненных лессовых водонасыщенных оснований / О.П. Минаев, Р.А. Усманов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. - №7 (22). – С. 116-127.

53. **Minaev, O.P.** New-generation heavy tampers for compaction of foundation soils. Sixth International Geotechnical Symposium on Disaster Mitigation in Special Geoenvironmental Conditions, IGS-Chennai, January 21-23, 2015, IIT Madras, Chennai, India, 2015, pp. 113-116.

54. **Minaev, O.P.** New-generation heavy tampers for compaction of foundation and structure soils. Journal "The Masterbuilder", India. March 2016. Vol. 18, No 3, pp. 70-74.

Издания за рубежом (статьи международной базы данных Scopus и Web of Science):

55. **Minaev, O.P.** Possibility of increasing pile driving speed by use of two-mass hammer. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1985, vol. 22, iss. 2, pp. 56-60.

56. **Minaev, O.P., Savinov, O.A.** Prospects for the use of heavy-duty dual-mass tampers for the compaction of soils. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1990, vol. 27, iss. 4, pp. 145-150.

57. **Minaev, O.P., Savinov, O.A.** Improvements to longitudinal-vibration apparatus for compacting sandy soils. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1991, vol. 28, iss. 1, pp. 16-18.

58. **Minaev, O.P., Savinov, O.A.** Improvements of installation of longitudinal vibration for compaction of sandy soils. Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov. iss. 1, pp. 9-10.

59. **Minaev, O.P.** Effective methods of compaction of water-saturated soils by blasting. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1993, vol. 30, iss. 2, pp. 53-56.

60. **Minaev, O.P.** Effective technology of compaction of water-saturated soils by means of explosions. Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov, 1993, iss. 2, pp. 17-19.

61. **Minaev, O.P., Krutov, A.P.** Development of a method of compacting saturated sand soils by blasts under winter conditions. Hydrotechnical Construction, 1993, vol. 27, iss. 7, pp. 424-428.

62. **Minaev, O.P., Krutov, A.P.** Developing a method for water-saturated sand soil compaction by means of explosions under winter conditions. Gidrotekhnicheskoe Stroitel' stvo, 1993, iss. 7, pp. 43-46.

63. **Minaev, O.P.** Evaluation of the quality of compacting water-saturated sands by sounding. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1994, vol. 31, iss. 6, pp. 141-144.

64. **Minaev, O.P.** Evaluation by sounding of quality of compaction of water – saturated. *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 1994, iss. 4, pp. 17-20.
65. **Minaev, O.P.** Prospects of using dynamic compaction when placing ash materials and preparing bases for ash dumps. *Hydrotechnical Construction*, 1995, vol. 29, iss. 12, pp. 707-712.
66. **Minaev, O.P.** Outlook for the application of dynamic compacting, when ash-slag materials are layed and foundations below the ash disposal area are prepared. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel' stvo*, 1995, iss. 12, pp. 27-31.
67. **Minaev, O.P.** Effective method of dynamic compaction of weak cohesion soils. *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 2002, iss. 6, pp. 14-18.
68. **Minaev, O.P.** Effective method for dynamic compaction of slightly cohesive saturated soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2002, vol. 39, iss. 6, pp. 208-213.
69. **Minaev, O.P.** Modernized vibratory device for deep compaction of sandy soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2003, vol. 40, iss. 6, pp. 220-222.
70. **Minaev, O.P.** Deep compaction of sandy soils by the modernized vibratory. *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 2003, iss. 6, pp. 18-20.
71. **Minaev, O.P.** Development of vibratory method for soil compaction during construction. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2011, vol. 48, iss. 5, pp. 190-195.
72. **Minaev, O.P.** Development of Dynamic Methods for Deep Compaction of Slightly Cohesive Bed Soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2014, vol. 50, iss. 6, pp. 251-254.
73. **Minaev, O.P.** An effective method of explosive compaction of hydraulic structures foundations. *Magazine of Civil Engineering*, September 2014, vol. 50, iss. 6, pp. 32-39.
74. **Minaev, O.P.** The selection and use method of sandy ground compaction. *Magazine of Civil Engineering*, October 2014, vol. 51, iss. 7, pp. 66-73.
75. **Minaev, O.P.** Russian methods and equipment for spatial vibrocompaction foundations and structures. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (15ARC): New Innovations and Sustainability*, Fukuoka, Japan, 2015, Japanese Geotechnical Society Special Publication , January 29, 2016, vol. 2 (2015), No. 80 pp. 2747-2750.
76. **Minaev, O.P.** Vibratory driver multipurpose for hydraulic construction. *Power Technology and Engineering*, 2017, vol. 51, iss. 3, pp. 303-308.
77. **Minaev, O.P.** Significant Development of Explosive Compaction Method for Sandy Foundations. *Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Seoul, Korea, 2017, pp. 2591-2594.
78. **Minaev, O.P.** Effective Blasting Method of Compacting Sand Foundation Beds for Various Structures. *Power Technology and Engineering*, 2017, vol. 51, iss. 5, pp. 507-512.

МИНАЕВ
Олег Петрович

**ОСНОВЫ И МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ
ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ
ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано к печати
Объем 2 п.л.

2018
Заказ №

Формат 60x80 1/16
Тираж 100 экз.

РУТ (МИИТ), Москва, 127994, ул. Образцова, д.9, стр. 9