

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГИДРОМЕХАНИКИ

На правах рукописи

ЗАКИРОВ АГАДЖУМА

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ
В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЙОНАХ

Специальность 01.02.07 – механика сыпучих тел,
грунтов и горных пород

05.15.11 – физические процессы горного
производства

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

КИЕВ 1993

70 27.007

Работа выполнена в Институте сейсмостойкого строительства
ГУ по делам архитектуры при СМ Туркменистана, Базовая кафедра
"Строительство сейсмостойких зданий и сооружений" ЦМИПКС при
МИСИ им. В. В. Куйбышева.

Научный консультант:
доктор технических наук

КРАВЕЦ В.Г.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук
доктор технических наук, профессор
доктор технических наук, профессор

РЫЖОВ А.М.
КУЧЕРЯВЫЙ Ф.И.
ЛУТОВОЙ П.З.

Ведущая организация: ПЦ "Туркменоргтехводстрой"

Защита состоится " 18 " июль 1993г.

в _____ час на заседании специализированного совета
Д 016.56.02 Института гидромеханики АН Украины по адресу:
252057, г. Киев-57, ул. Желябова, 8/4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
гидромеханики АН УКРАИНЫ.

Автореферат разослан " 6 " июль 1993г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук
ст. научн. сотрудник

Б.И. ПЛУЖНИК

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00814243 (M)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України
Україна

Актуальность проблемы.

Включение территорий, сложенных лессовыми грунтами, в сферу инженерной деятельности порождает необходимость надежного контроля поведения этих грунтов в качестве оснований инженерных сооружений в условиях повышенной сейсмической активности, обусловленной природными и техногенными факторами.

Проблема сейсмобезопасности сооружений на просадочных грунтах требует обеспечения структурной устойчивости таких грунтов доступными методами, т.е. их стабилизации, а также ликвидации предрасположенности лессового породного массива в ограниченном объеме к особому виду деформаций — сейсмическим просадкам.

Источником сейсмических воздействий наряду с землетрясениями являются специальные технологии уплотнения предварительно увлажненных лессовых массивов динамическими методами. На застраиваемых территориях широко применяются методы трамбования и энергия взрыва. При этом ранее обработанные изолированные участки массива подвергаются повторным многократным сейсмическим нагрузениям, что не может не отразиться на сейсмостойкости грунтовых оснований и сооружений. Аналогичные ситуации возникают на горных предприятиях, где вскрышные породы, представленные лессовыми грунтами, подвергаются регулярным сейсмическим воздействиям массовых взрывов.

Решение задач формирования новых инженерно-геологических и динамических характеристик просадочных массивов ограниченных размеров в условиях повышенной сейсмической активности позволит разработать научные основы методик проектирования и безаварийной эксплуатации современных сооружений различного назначения. Это предопределяет научный и практический аспект основных положений диссертационной работы.

Решению этой крупной научно-технической проблемы посвящена настоящая диссертационная работа, выполненная автором в соответствии с программами научных исследований Института сейсмостойкого строительства Госстроя Туркменистана и базовой кафедры "Строительство сейсмостойких зданий и сооружений" ЦМИКС при ИИСИ, в которых автор принимал участие как ответственный исполнитель и научный руководитель.

Цель работы: Научное обоснование оптимальных технологических решений по динамической стабилизации предварительно структурированных лессовых пород для формирования сейсмоустойчивых оснований за счет системы мероприятий, снижающих балльность колебаний и повышающих эксплуатационную надежность зданий и сооружений в условиях высокой сейсмической активности.

Задачи исследований:

- 1/ выявление основных инженерно-геологических и геотехнических параметров грунтового массива, определяющих его сейсмостойкость;
- 2/ установление рациональных схем и методов уплотнения просадочных грунтовых массивов применительно к условиям аридной зоны;
- 3/ анализ влияния составов и режимов закрепления лессовых массивов инъецированием с последующим их уплотнением;
- 4/ изучение закономерностей изменения физико-механических, деформационных и динамических характеристик массива лессового грунта ограниченных размеров с улучшенными строительными свойствами;
- 5/ анализ влияния многократных динамических воздействий на интенсивность постпросадочных процессов в массиве;
- 6/ разработка методических вопросов применения технологических схем обработки просадочного массива, обеспечивающих его повышенную эксплуатационную надежность.

Основная научная идея работы заключается в использовании регулируемого деформированного состояния ограниченного объема лессового массива, на основе комбинированных технологий стабилизации лессовых грунтов с целью формирования их динамической устойчивости в условиях регулярных сейсмических воздействий.

Методы исследования. Решение поставленных в работе задач выполнено путем анализа и обобщения теории и практики формирования инженерных свойств просадочных грунтовых массивов динамическими методами; аналитических исследований по определению оптимальных параметров и конструкции закрепленного и уплотненного грунтового массива, обладающего повышенной сейсмостойкостью; экспериментальных исследований процессов формирования новой

структуры лессового грунта под воздействием закрепляющих реагентов и взрывных нагрузок различной интенсивности; полигонных и опытно-промышленных испытаний; технико-экономического анализа.

На защиту выносятся решение актуальной проблемы обеспечения длительной сейсмостойкости лессовых пород в массивах ограниченных размеров путем регулирования структурно-механических характеристик и обеспечения зональности строения деформированной области массива за счет физико-химической обработки и рациональных приемов динамического уплотнения грунтового просадочного массива.

Научная новизна работы.

1. Аналитически установлено снижение сейсмического эффекта в области локального уплотнения массива просадочных грунтов и разработана расчетная схема оценки влияния импульсных воздействий на динамическую жесткость уплотненных грунтовых оснований сложного зонального строения.

2. Исследованы механические эффекты трамбования и взрыва в лессовом массиве с целью установления рациональных энергетических и геометрических параметров источника возмущений.

3. Получены данные экспериментально-теоретических исследований кинетики развития новообразований в лессовом грунте, содержащем систему закрепляющих веществ различного состава; установлена взаимосвязь механизма физико-химического закрепления лессовых пород с явлением синтеза силикатных вяжущих веществ; разработаны системы реагентов, позволяющие формировать заданные деформационные свойства лессового массива, ориентированные на его повышенную сейсмостойкость.

4. Предложена принципиальная схема и разработаны режимы комбинированного метода стабилизации лессового просадочного массива; исследованы закономерности формирования механического эффекта взрыва системы зарядов конечных размеров в закрепленном массиве неоднородного сложения.

5. Произведена качественная и количественная оценка амплитудно-частотного спектра колебаний грунтовых оснований различного состояния и выявлено существенное уменьшение амплитуды сейсмических колебаний в основаниях, обработанных по комбинированной схеме.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы обоснована: большим объемом экспериментальных исследований в лабораторных и полевых условиях, их аналитическим обобщением и

теоретическим обоснованием, обширным опытом уплотнения и укрепления лессовых массивов на объектах промышленного гражданского и гидромелиоративного строительства в сейсмоактивных районах, достаточным объемом внедрения рекомендаций работы с получением существенного экономического эффекта.

Практическая ценность работы.

1. Разработаны инженерные методы расчета параметров взрывных работ при уплотнении просадочных породных массивов, учитывающие исходные грунтовые условия, уровень последующих сейсмических воздействий на сооружения и требования к их безопасной эксплуатации.

2. На основе раскрытых закономерностей изменения физико-механических свойств просадочных грунтов при их обработке системой закрепляющих реагентов, установленной кинетики развития новых деформационных и прочностных свойств грунтов в пределах обрабатываемого блока ограниченных размеров разработаны практические приемы и последовательность инъектирования в сочетании с динамическим уплотнением с целью ликвидации явлений бытовой и сейсмической просадочности грунтовых оснований.

3. Разработаны и утверждены директивными органами рекомендации и инструкции по реализации антисейсмических мероприятий на строительстве и реконструкции инженерных сооружений на сильнозасоленных просадочных грунтах аридной зоны, по проектированию рациональных параметров взрывных работ при подготовке сейсмостойких оснований промышленных, гражданских, гидромелиоративных и сельскохозяйственных объектов.

Апробация работы.

Основные научные и практические положения работы доложены на совещании молодых ученых в г. Душанбе /1978 г./, на республиканской конференции молодых ученых /г. Ашхабад, 1980 г./, на конференции молодых ученых и специалистов "Совершенствование взрывных работ в горных породах и грунтах" /г. Тернополь, 1982 г./, на научных конференциях "Использование энергии взрыва на объектах мелиоративного, дорожного, ирригационного строительства и на открытых разработках" /Киев, 1980, 1981, 1985, 1989, 1992 г.г./, на республиканском совещании "Подготовка оснований и устройство фундаментов на просадочных грунтах и в сейсмических районах" /Чимкент, 1985/, на IV республиканской региональной научно-технической конференции "Новые эффективные материалы и конструкции в

строительстве" /Ашхабад, 1986/, на научно-практической конференции "Сейсмическое строительство и строительные материалы" /Ашхабад, 1990 г./.

В полном объеме диссертация докладывалась на расширенном заседании кафедры "Строительство сейсмостойких зданий и сооружений" в г.Ашхабаде ЦМИПКС при МИСИ /1992 г./, на совместном заседании научного семинара отдела геодинамики взрыва Института гидромеханики АН Украины и кафедры геотехнологии и инженерной экологии Киевского политехнического института /1992 г./.

Реализация результатов исследований в промышленности. Внедрение результатов исследований осуществлялось в 1976-1992г.г. при разработке мероприятий по упрочнению грунтовых оснований на объектах сельскохозяйственного промышленного, гражданского и мелиоративного строительства Туркменистана. Практические рекомендации работы приняты для применения проектными и производственными организациями в зоне Каракумского канала.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 44 научных труда, в т.ч. 5 брошюр и 4 изобретения. Основные положения диссертации отражены в научных отчетах.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа /введение, 5 глав, заключение/ изложена на 235 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 47 таблиц, список использованной отечественной и зарубежной литературы из 220 наименований.

В диссертации использованы результаты исследований, выполненных автором самостоятельно, а также при участии сотрудников научной лаборатории базовой кафедры ЦМИПКС при МИСИ.

Содержание работы.

Современные представления сейсмологии в условиях просадочных грунтов

Строительная практика Туркменистана знает достаточно примеров деформации зданий и сооружений на просадочных лессовых грунтах как в результате низкого качества строительно-монтажных работ, несоблюдения требований к производству работ, так и недостаточной геологической изученности площадки строительства, несоответствия нагрузки несущей способности грунтов основания, в т.ч. и в процессе эксплуатации сооружений. Это происходит в

результате уменьшения несущей способности грунтов при изменении гидрогеологических условий площадки, установлении неравно-весных условий в приповерхностном слое, резко ухудшающих сейсмическую ситуацию в локальной области массива лессового грунта. Для таких неравновесных условий неизбежно проявление сейсмических просадок, проявляющихся в виде деформации поверхности и уплотнения массива грунта при периодическом воздействии на него сейсмических волн. Под сейсмическими свойствами пород понимается их реакция на динамические воздействия. К ним относят упругие, поглощающие и инженерно-сейсмические свойства.

Сейсмические свойства пород изучаются при разработке методов сейсмической разведки с 20-30-х годов XX века. В это время в литературе появились первые сведения о скоростях сейсмических волн в лессе / *Macelwane*, 1939/. В те же годы стали известны просадочные свойства лессовых пород, которые позже подверглись изучению в связи с трудностью строительства на просадочных лессовых грунтах в сейсмических районах. Теоретические и методические основы изучения сейсмических свойств пород, в т.ч. лессовых были разработаны А.В.Николаевым. Исследования Н.Н.Горьянова, Г.Н.Назарова, И.Г.Минделя показали взаимосвязь инженерно-геологических и сейсмических свойств лессовых пород. Работы по сейсмическому микрорайонированию на лессовых породах Э.М.Антоненко, М.Т.Адикова, Т.К.Басенова, Ф.М.Богуславского, М.Н.Друзина, В.В.Попова, В.М.Мирзаева, В.И.Шапилова позволили осветить широко вопросы взаимосвязи инженерно-геологических и динамических свойств лессовых пород. Большой интерес представляет обнаруженное В.В.Поповым и исследованное И.Г.Минделем, В.Ф.Оглоблиным, Е.Н.Сквалецким падение скоростей сейсмических волн при увлажнении лессовых пород с последующим восстановлением в течение нескольких лет.

Изучение вызываемых взрывами сейсмических эффектов в лессовых породах позволило ввести понятие сейсмических или вибрационных просадок /Н.И.Кригер, А.А.Мусаев/, изучить связь сейсмических свойств лессовых пород с географической средой, с процессами переноса влаги, техногенным уровнем грунтовых вод. Вместе с тем из изложенного следует, что изучению сейсмических свойств лессовых грунтовых массивов, искусственно лишенных просадочности путем уплотнения, внимания практически не уделяется. Фактически существуют раздельно два научных направления - сейсмология лес-

совых пород и техническая мелиорация просадочных грунтов.

Современные методы подготовки просадочных грунтовых оснований уплотнением разрабатывались Ю.М.Абелевым, М.Ю.Абелевым, В.И.Крутовым, В.Г.Галицким, Н.Н.Казанским, А.А.Мустафаевым, А.А.Мусаэланом, И.М.Литвиновым, Х.А.Аскарковым, З.Х.Ядгаровым, А.А.Вовком, В.Г.Кравцем, А.М.Рыжовым, И.И.Денисюком, Л.И.Демешуком, Б.Ф.Галаем и др. Среди методов ликвидации просадочных свойств лессовых грунтов в условиях Туркменистана первоначально широкое применение нашел метод предварительного длительного замачивания. При этом учитывалась в первую очередь доступность и технологичность метода; возможные просадочные деформации таких грунтов при последующих динамических воздействиях не учитывались. Опыт строительства в Туркменистане показал, что принятый метод не обеспечивает длительной эксплуатационной надежности грунтовых массивов; параметры ведения противопросадочных работ разработаны без учета динамических свойств лессовых грунтов нарушенной структуры и их поведения в динамике.

Одновременно с методом предварительного замачивания в строительной практике все более широкое применение находят динамические методы ликвидации просадочных свойств — обработка тяжелыми трамбовками, подводными взрывами, скважинными и траншейными зарядами. Разработка и широкое практическое применение этих методов на горных и земляных работах, были бы невозможны без системы представлений о физической природе и закономерностях динамического деформирования грунтов, разработанной в теоретическом плане трудами С.С.Григоряна, Г.И.Покровского, В.Н.Родионова, А.Я.Сагмоняна, Х.А.Рахматуллина, Г.М.Ляхова и др. и развитой в прикладном аспекте работами М.И.Докучаева, Н.А.Евстропова, А.А.Вовка, П.Л.Иванова, Д.М.Кушнарева, А.Г.Смирнова, Г.И.Черного, В.Г.Кравца, А.М.Рыжова, И.А.Лучко, С.А.Давыдова, А.А.Черниговского и др. На основе научных представлений о механическом эффекте взрыва в сжимаемых горных породах стало возможным решить важную проблему управления процессом деформирования грунтов, прогноза основных параметров зоны необратимых деформаций и ее структуры. Анализ состояний исследований динамики сжимаемых грунтов, в т.ч. лессовых пород свидетельствует о достаточной изученности вопроса применительно к грунтам естественного сложения. Поведение лессовых грунтов, ранее деформированных в процессе противопросадочных мероприятий, под действием повторных динамических воздействий

природного или техногенного происхождения требует обстоятельного изучения в связи с необходимостью разработки научно обоснованных инженерных методов подготовки просадочных грунтовых массивов, создания научных основ динамики деформированных лессовых пород аридной зоны.

В связи с изложенным проведены теоретические и экспериментальные исследования закономерностей изменения деформационных и сейсмических характеристик просадочных грунтовых массивов ограниченных размеров, подвергнутых действию природных, косвенных техногенных и прямых технологических факторов. Установлен теоретически и экспериментально характер и масштабы изменения балльности многократного сейсмосигнала в зависимости от метода и последовательности операций по стабилизации блока грунта, пространственной ориентации элементов деформированной зоны; разработаны рекомендации по проектированию основных параметров физико-химических и динамических методов стабилизации грунтов, учитывающих сейсмическую ситуацию.

Разработка методов управления сейсмостойкостью лессовых просадочных массивов ведется в трех направлениях - совершенствование методов уплотнения и упрочнения грунтов; исследование влияния конструкции участка обработанного массива грунта на трансформацию сейсмического сигнала; изучение механизма и последствий действия сейсмического сигнала различной кратности на устойчивость приданных массиву полезных инженерных свойств. Прикладная сторона исследований выражается в назначении рациональных методов подготовки массива лессового грунта с учетом специфики сооружения, интенсивности и периодичности сейсмического воздействия, в разработке рекомендаций по соответствующим направлениям.

Объектом исследований выбраны лессовые просадочные грунты Прикопетдагской равнины, отнесенные к 9-балльной сейсмической зоне.

Методы формирования строительных свойств лессовых грунтов.

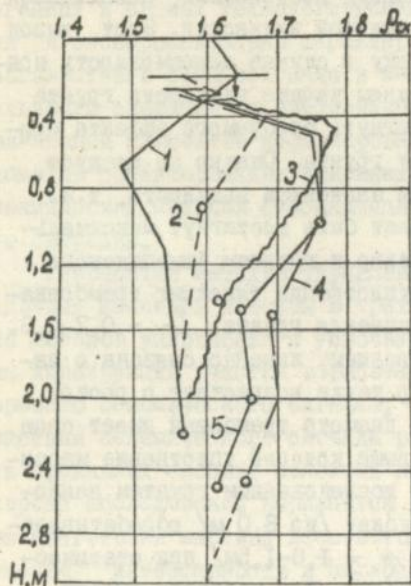
Изучение структуры физико-механических и деформационных свойств исследуемых грунтов, результаты практического применения противопросадочных мероприятий показывают, что метод предварительного замачивания неэффективен, поскольку требует длительного времени для растворения цементирующих карбонатных пленок, процесс консолидации длится месяцы, иногда более года. При этом

устанавливаются неоднородные по глубине массива новые деформационные характеристики: верхний слой требует дополнительной обработки. В этом плане более приемлемы методы принудительного уплотнения массива трамбованием или взрывами.

Уплотнение тяжелыми трамбовками, как наиболее безопасный динамический метод, применимо практически в любых условиях, в т.ч. при ведении работ в стесненной обстановке городской застройки. Существенную роль при уплотнении играет влажность грунта. С ростом интенсивности уплотняющих воздействий, необходимая плотность грунта достигается при меньшей влажности. Этот вывод весьма важен для практики, поскольку в случае невозможности контролировать либо удерживать на нужном уровне влажность грунта предоставляется возможность достигнуть требуемого эффекта приложением большей энергии к массиву грунта. Однако не следует пренебрегать известным оптимальным значением влажности, т.к. диапазон влажности, в котором может быть достигнут максимальный эффект, ограничен. Применительно к грунтам Ашхабадского региона достижение максимального уплотнения тяжелыми трамбовками обеспечивается при степени увлажнения грунта $G = 0,7-0,8$. Глубина уплотнения массива трамбованием линейно связана с параметрами трамбовки, этот параметр также возрастает с ростом высоты обрасывания. Однако каждый диаметр трамбовки имеет свою максимальную высоту обрасывания, выше которой уплотнение массива не нарастает. Применительно к исследованным грунтам наиболее равномерно и на наибольшую глубину /до 3,0 м/ обрабатывается массив тяжелой трамбовкой / $d_{тр} = 1,0-1,5$ м / при статическом давлении $P_{ст} = 0,23-0,25$ кгс/см². Что касается высоты обрасывания трамбовки, рекомендована схема с наращиванием с минимального значения 2,0 м с интервалом 1,0 м до максимальной величины 5-6 м. Количество ударов в одну точку массива определяется исходной плотностью грунта, массой трамбовки и ее площадью, высотой обрасывания. Наиболее оптимальный режим уплотнения для исследованных грунтов предусматривает 9 ударов в одну точку. При наращивании количества ударов до 9 наблюдается рост осадки поверхности массива и мощности уплотненной зоны с каждым ударом /рис. 1/. При трех ударах зона деформаций достигает 1,5 м, при 6 - 2,0 м, при 9 - 3,0 м. Однако в дальнейшем развитие зоны меняет свой характер - величина деформаций уменьшается, происходит разуплотнение грунта, которое свидетельствует о дос-

тижении грунтом предельной плотности. Однако размеры зоны остаточных деформаций растут за счет малых приращений плотности в отдаленной части массива. Для повышения эффективности метода как по глубине, так и по площади обработки массива требуется постоянный контроль за изменением плотности, наращивание энергии удара с каждым последующим воздействием на фиксированную часть массива, что в практике осуществить затруднительно.

Динамика изменения плотности грунта при трамбовании



- 1 — грунт в естественном состоянии
- 2 — после трех ударов
- 3 — после шести ударов
- 4 — после девяти ударов
- 5 — после двенадцати ударов.

Рис. I

Взрывные методы уплотнения лессовых массивов обладают большей гибкостью как в плане регулирования глубины обработки массива, так и в плане интенсивности уплотнения. Разновидность взрывного метода уплотнения определяет характер распределения остаточных деформаций в массиве ограниченной площади и глубины.

В зависимости от мощности уплотняемой толщи лессовых грунтов, характерных особенностей подготовки взрывом грунтового основания, наличия вблизи места взрыва объектов, подлежащих защите от сейсмической и воздушной волн, а также разлета кусков грунта, применительно к условиям Туркменистана приняты в качестве основных две принципиально различные схемы взрывного уплотнения — систе-

мой накладных или подвесных зарядов, взрывааемых под слоем грунта или воды. Рассмотрены принципы выбора оптимальных параметров зарядов с учетом деформационных характеристик грунта.

Ликвидация просадочных свойств грунтов скважинными зарядами осуществляется как правило при большой /выше 10,0 м/ мощности просадочной толщи. Максимальная глубина скважин ограничивается при значительной мощности грунтов 20-25 м.

Зона уплотнения состоит из области, прилегающей к полости, где грунт уплотнен до максимальной величины; за ней следует область неполного уплотнения. Если плотность грунта выразить через $\rho_{ск}$, объемная деформация запишется в виде

$$\theta = 1 - \rho_{ск}^0 / \rho_{ск} \quad (1/)$$

Заданное значение деформации θ_m определится из естественной плотности $\rho_{ск}^0$ и предельной плотности скелета $\rho_{пр}$, при которой показатель просадочности грунта не превышает допустимых пределов. В практике строительства $\rho_{ск}^0 = 1,6-1,65 \text{ т/м}^3$.

Конечный вид зависимости $\theta(R)$ имеет сложный зональный характер, отличающийся чередованием зон повышенной и пониженной плотности с общей тенденцией снижения значений θ к периферии уплотненной зоны. Особенностью строения деформированной зоны в структурно неустойчивых грунтах является образование зоны низкой плотности непосредственно вслед за зоной максимального уплотнения за счет разгрузки массива в сторону полости на последней стадии взрыва. Отмечено также наличие развитой системы радиальных и тангенциальных трещин. Исследованиями установлены особенности развития зоны деформаций, ранее не освещенные. Для практического использования важно в целях уплотнения массива знать не только конечную картину распределения остаточных деформаций, но и стадии ее развития в связи с геометрией и ориентацией заряда к открытой поверхности. Установлено, что у зарядов, ориентированных по нормали к поверхности - скважинных - ярко выражена зона понижения плотности грунта, следующая за зоной максимального уплотнения. Наличие этой развитой зоны способствует отрыву прилегающей к полости уплотненной корки и обрушению грунта из нее и зоны пониженной плотности в образованную взрывом полость. При системе зарядов, ориентированной параллельно дневной поверхности, более выражена "хвостовая" часть, т.е. область малых объемных деформаций, зона пониженной плотности, образуясь на

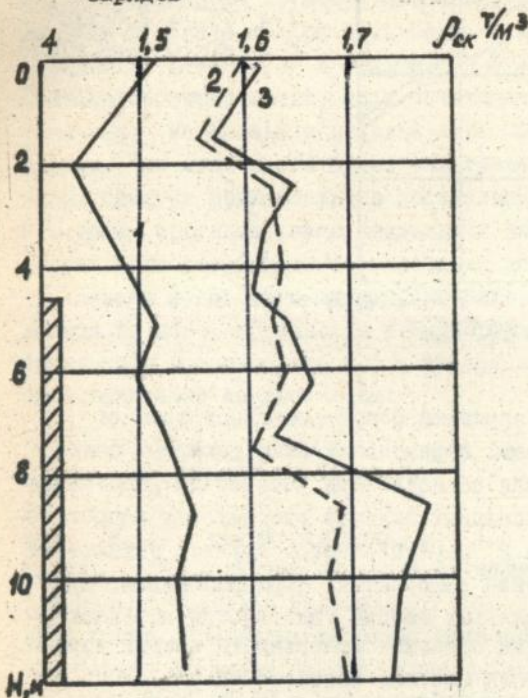
последних этапах развития деформированной области под влиянием упругих сил последствия /разгрузки/ в сторону полости и одновременно-свободной поверхности, - в дальнейшем под действием гравитации частично ликвидируется осадкой верхнего слоя.

Эти различия влияют на выбор метода уплотнения грунтового блока в реальных условиях сейсмоактивных районов, поскольку форма и структура уплотненной зоны влияют на сейсмические свойства грунтового основания сооружения. В зависимости от конструкции системы зарядов, последовательности взрывания и приемов подготовки массива до взрыва параметры и строение деформированной взрывом области массива регулируются в широком диапазоне, в т.ч. благодаря возможности концентрировать значительную энергию в малом объеме.

При исследовании взрывных методов ликвидации просадочности эффективность взрыва можно оценить либо по замерам плотности деформированного грунта в массиве, либо по конечному результату - осадке поверхности массива. Осадка $\Delta S_{\text{п}}$ зависит как от степени уплотнения грунта, так и от глубины уплотненной зоны. Экспериментальные исследования проводились с применением вертикальных удлинённых зарядов в опытно-промышленных условиях, поскольку этот показатель трудно установить на маломасштабных взрывах. Для сравнения принимались опытные взрывы, в которых была достигнута заданная степень уплотнения грунтового скелета / $\rho_{\text{ск}} \geq 1,60 \text{ т/м}^3$ /. Учитывая, что применялись рассыпные ВВ, радиус заряда r_3 равен радиусу скважины /70 мм/. Предварительно увлажненный через дренажные скважины массив площадью 40 x 40 м и мощностью от 10 до 20 м обуривался скважинами глубиной 8-17 м с расстоянием между скважинами 5-6 м. После заряжания массив снова заливался водой. После взрыва массив осушался и исследовался на уплотнение через систему шурфов. Поскольку механизм уплотнения массива системой скважинных зарядов сложный, отличающийся наличием межскважинных уплотненных целиков и системы полостей, заполненных обрушившимся грунтом исследование шурфованием проводилось по двум наиболее отличающимся направлениям - по оси полости и между полостями /рис. 2/. Установлено, что между полостями /кривая I/ плотность скелета грунта соответствует требованиям к уплотненным грунтам. Объем взрывной полости заполнялся влажным деформированным грунтом из стенок полости и верхнего надполостного целика; при этом грунт, падая,

доуплотняется. Судя по результатам измерений, /кривая 2/, плотность деформированного грунта в полости также соответствует требованиям. При этом объем просадки массива равен объему взрывных полостей и устанавливается после разравнивания поверхности с засыпкой взрывных воронок.

Распределение плотности грунта при взрыве скважинных зарядов



- 1 - до взрыва
- 2 - по оси заряда
- 3 - между зарядами

Колебания плотности грунта, отмеченные по оси скважин и между зарядами можно приписать неоднородности исходной плотности грунта, слоистому слоению массива. Для глубинного уплотнения грунтов скважинными зарядами установлена зависимость удельной осадки, равной общей осадке, приведенной к

Рис. 2

1 м скважины, от параметра a

$$\Delta S_{п} = S_{п} / l_{скв} = f(a), \quad 12/$$

где a - расстояние в ряду и между рядами скважин. Установлено, что существует диапазон значений a , при котором достигается максимальная удельная осадка поверхности. Этот диапазон в наших экспериментах составляет около 6,0 м, в грунтах с исходной плотностью $\rho_{сж}^0 \approx 1,5 \text{ т/м}^3$ /рис. 1, 1/ и $\sim 5,2 \text{ м}^3$ грунтах с $\rho_{сж}^0 = 1,45 \text{ т/м}^3$ /рис. 3, 2/. Существование оптимума объясня-

ется тем, что при заданном диаметра заряда существует в конкретном грунте зона, где достигается нужная плотность скелета. При

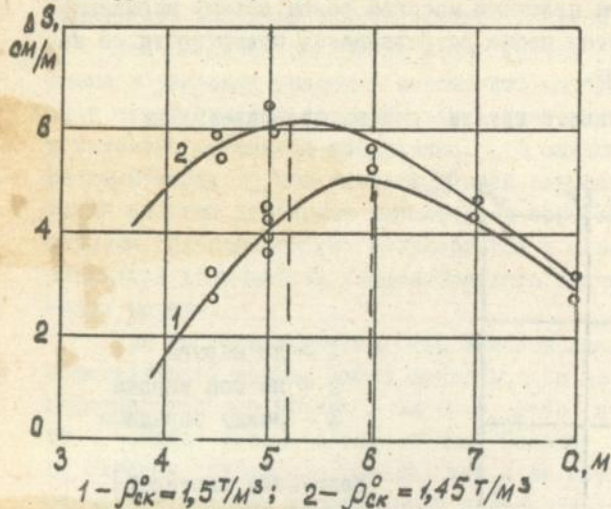


Рис. 3

изменении расстояния между зарядами соприкасающиеся зоны от смежных зарядов либо полностью перекрывают межскважинный целик, либо остается неуплотненная область. При уменьшении расстояния значительная часть энергии смежных зарядов расходуется непроизводительно на переизмельчение и переуплотнение грунта, а также на тепловые потери и пластические деформации формоизменения. При значениях \mathcal{C} выше оптимальных массив уплотняется неравномерно, наблюдаются лишь местные оседания поверхности вокруг зарядов, степень общего уплотнения массива недостаточна.

Существенное значение имеет конструкция заряда в скважине, для равномерности уплотнения массива. Как показали эксперименты, вместимость скважины не всегда соответствует массе заряда. Целесообразно массу заряда рассредоточить по высоте. При этом достигается двойной эффект. За счет взаимодействия отдельных частей заряда и наличия между ними инертных промежутков сокращается расход ВВ на 20-30%. Кроме того, при взрывании в увлажненных суглинках возникает опасность сохранения после взрыва вертикальных цилиндрических полостей, которые необходимо или разрушить, или заполнить непросадочным материалом. При определенном рассредоточении заряда в скважине полости не образуются, что установлено

путем раскопок, причем качество и равномерность уплотнения грунта между скважинами не ухудшается.

Немаловажно значение степени волонасыщения грунта при уплотнении скважинными зарядами. Исходя из данных о взаимосвязи между интенсивностью динамического нагружения, деформацией грунта и его оптимальной влажностью, при замачивании массива следует учитывать, что более высокие уровни напряжений требуют меньшей влажности грунта и наоборот. Следовательно, влажность в массиве в идеале должна быть меньше на контакте со скважинным зарядом / $G = 0,6$ / и больше / $G = 0,7-0,8$ / между зарядами. Достигнуть этого можно, если замачивать массив через дренажные скважины, заполненные гравием и расположенные строго между зарядами. При этом влага будет фильтроваться в сторону зарядов, и взрыв следует произвести по достижении влагой заряда. В практике это время прогнозируется несложными вычислениями, исходя из горизонтального коэффициента фильтрации данного грунта.

Масса отдельного цилиндрического заряда в скважине Q' исходя из целесообразности его рассредоточения в скважине и оптимального расположения торца заряда к дневной поверхности может быть вычислена из выражения:

$$Q' = C_n (\ell_{скв} - 5,8 \sqrt[3]{C_n \tau_3} + 17,6 \tau_3), \quad 13/$$

где $\ell_{скв}$ - длина скважины, м; C_n - линейная масса заряда, кг/м; τ_3 - радиус заряда в скважине, м.

При конструировании скважинного заряда эта масса ВВ разделяется на 2 части. При малых глубинах просадочных грунтов рассредоточение заряда не имеет смысла, конструкция заряда упрощается. Однако при $H \leq 7-10$ м целесообразность применения скважинных зарядов для уплотнения лессовых грунтов требует обоснования. Пригодность лессовых массивов для уплотнения поверхностными зарядами определяется кроме мощности просадочной толщи их деформационными показателями, степенью засоленности, фильтрационными характеристиками в естественном залегании, соображениями безопасности. Проведенными многочисленными опытами в различных районах Прикопетдагской равнины установлено, что уплотнение поверхностными зарядами достаточно эффективно. Один из вариантов метода - подводные взрывы. Одним из основных условий, определяющих параметры заряда и его расположение относительно поверхности грунта, являет-

ся оптимальное расстояние между центром зарядов и поверхностью:
 $R_B = 0,55 Q^{0,6}$, м. Наибольший эффект достигается при камуфлетном действии взрыва: $W_K = 1/2,0-2,2/\sqrt[3]{Q}$, м. Зона влияния взрыва R_y зависит от влажности уплотняемого грунта. При оптимальной влагоемкости $G = 0,8$ подводный взрыв системы сосредоточенных зарядов массой 1,5-2 кг при расстоянии между ними 1,1-1,3 м составляет 3,5-4,0 м; в сухом грунте / $G = 0,1-0,2$ / уплотнения практически не наблюдается, при $G = 0,5-0,6$ зона уплотнения составляет 3,0 м. При этом в области 1,5-3,0 м значения деформаций высоки и различаются несущественно. Затем следует резкое снижение деформаций, связанное с различием во влажности слоев грунта, замоченного на глубину до 4,0 м.

В отличие от метода скважинных зарядов, обеспечивающих практически равномерное уплотнение локальной области массива, применение горизонтальных квазиплоских систем зарядов /подводных, траншейных/ на большую глубину ведет за собой необходимость изучения геометрии зоны остаточных деформаций под зарядом. Это связано с процессом вырождения уплотненной зоны с глубиной, т.е. краевым эффектом взрыва.

Особенности трубчатого строения макропор лессовых грунтов позволяют влиять на геометрию уплотненной зоны расширением замачиваемой площади массива без изменения параметров заряда. При этом обеспечивается более глубокая обработка пограничных объемов массива, торцевые части системы зарядов действуют как в глубину массива, так и в сторону приграничных объемов прилегающего массива. Одновременно возрастает глубина влияния взрыва. Только за счет технологии замачивания до оптимальной влажности можно увеличить равноценную по качеству проработку массива почти вдвое без изменения массы заряда. Установлено характер распределения плотности в локально уплотненном блоке массива - плотность растет от периферии к центру блока, зона пониженной плотности более полно выражена в глубинных областях блока, а к периферии вырождается. Плотность грунта в этой зоне минимальна в центре слоя и растет к его краям. Полученная объемная картина деформирования массива позволяет одновременно решать технологические и инженерно-экологические задачи взрыва, а также предупреждать послепросадочные деформации грунтового основания при последующих динамических воздействиях.

Изучение штамповым методом осадок поверхности уплотненных различными способами грунтов показывает, что величины деформаций в активной зоне при взрывном методе уплотнения грунтов после предварительного замачивания значительно снижаются, уменьшаются до безопасных уровней дополнительные деформации при последующих сейсмоздействиях. Источником дополнительных осадок может быть зона пониженной плотности, на что обращается внимание при разработке элементов комбинированной технологии, основанной на сочетании закрепления грунтов химически активными составами и динамическим уплотнением.

Иньекционные методы укрепления просадочных грунтов.

Задача инъекционных методов состоит в фиксации либо корректировке структуры и параметров уплотненной взрывом зоны. Установлено, что выполнение этой задачи требует применения метода силикатизации грунта в присутствии добавок активных веществ, стимулирующих физико-химическое взаимодействие вяжущего с грунтом и формирующих комплекс новообразований, обладающих вяжущими свойствами. Избирательно применяя способ закрепления, можно существенно повысить эффективность механических методов ликвидации просадочных свойств в сейсмоопасных условиях. Существенным достоинством такого сочетания методов является заметное снижение водопроницаемости уплотненного и закрепленного лессового грунта, его размокаемости, которая сопровождается разуплотнением.

Последовательность обработки грунта может быть двойной:

- взрывное уплотнение массива и последующая инъекция в недоуплотненный слой закрепляющего состава;
- предварительная обработка всего блока или его части раствором реагентов и последующая обработка массива взрывом.

Первый путь более пригоден для метода траншейных зарядов, имитирующих горизонтальный плоский заряд; второй путь приемлем для метода вертикальных скважинных зарядов.

Анализируя материалы комплексных исследований методом ИК-спектроскопии, рентгеноструктурных измерений, исследования водных и соляно-кислых вытяжек систем реагент-грунт, можно сделать вывод, что метод комплексного закрепления не столько количественно, сколько качественно меняет структуру грунта.

Зафиксированы наиболее важные моменты кинетики химических процессов в системе реагент-грунт. В течение первых нескольких

суток после инъекции резко возрастает в системе содержание катионов Mg^{+2} , Ca^{+2} анионов SO_4^{2-} , свидетельствующих о процессе разрушения карбонатов, более длительный период затрачивается на образование анионов HCO_3^{-} , Cl^{-} , окислов SiO_2 , CaO , MgO , R_2O_3 , сопровождающее разрушение карбонатов Ca и Mg , что благоприятствует возникновению минеральных ассоциаций, содержащих CaO и MgO .

Полученные результаты исследований солянокислой вытяжки естественных и обработанных реагентами грунтов показывают, что нарастание в ней выхода CaO и MgO отражает процесс синтеза водостойчивых новообразований. Факт интенсивности выхода окиси кремния в солянокислую вытяжку во времени убеждает в непрерывном и продолжительном периоде /до 180 суток/ формирования цементирующих грунтов новообразований. Дифференцированный химический анализ укрепленных грунтов после водных и солянокислых вытяжек показывает, что преобладающими компонентами в них являются полугорные окислы R_2O_3 , что подтверждает непосредственное участие этих окислов как важнейших минеральных составляющих грунта в процессе синтеза соответствующих водостойчивых новообразований, укрепляющих грунт.

Если ориентироваться на комплексную подготовку лессовых грунтов путем закрепления и механического уплотнения, необходимо решить весьма важный вопрос - какова должна быть последовательность операций. Поскольку процесс физико-химических превращений протекает неоднозначно и в течение длительного времени, следует при разработке технологических элементов установить, на какой стадии превращений целесообразно воздействовать на грунт механически. Для этого необходимо разъяснить существо постинъекционных процессов при силикатизации и кинетику формирования физико-механических свойств закрепленных грунтов, поскольку обработка грунтового массива неизбежно приведет к изменению пористости и проницаемости грунта, т.е. изменяются условия инъекции реагентов.

Минеральные и другие образования лессовых грунтов реагируют на любое вещество, нарушающее их равновесное состояние, поэтому, согласно методике проф. В.М. Кнатько, для обработки грунтов использовались реагенты, не являющиеся вяжущими веществами - щелочной отход и аминкомплекс. Кроме того, исследованы системы грунт-жидкое стекло как вяжущее, с целью установления отличительных сторон процесса взаимодействия реагентов различной природы в системе.

В зависимости от природы химических реакций и характера их воздействия на грунт в целом и прежде всего на его жидкую и коллоидную фазы, процессы взаимодействия химических реагентов с грунтами подразделены на стадии: растворения и диссоциации; обменные реакции между компонентами раствора и минеральной фазой; разрушение карбонатов глинистых минералов и образование первичных соединений — гидросиликатов, претерпевающих последующие фазовые превращения; формирование полиминеральных новообразований, обладающих вяжущими свойствами и оптимизированных по составу и состоянию системы.

Важнейшими физическими свойствами, характеризующими состояние пород, являются влажность и плотность. Естественная влажность природных образцов незначительна — 7-16%, а после закрепления вяжущими веществами в первый период несколько выше, затем в процессе твердения происходит некоторое уменьшение влажности. Учитывая особенности механизма уплотнения грунтов, период повышения влажности смеси грунт-реагент наиболее благоприятен для воздействия на систему динамическим методом.

Анализируя материалы исследований, можно сделать вывод, что предложенный метод комплексного закрепления не столько количественно, сколько качественно меняет структуру грунта. Следует однако отметить, что с применением физико-химического закрепления плотность грунта возрастает, соответственно снижается его пористость, что в принципе нежелательно с точки зрения сейсмозащитных мероприятий. Однако опережающими темпами растет прочность грунта. Если пористость уменьшается при обработке жидким стеклом с 50% до 30-38%, то прочность грунта $\sigma_{сж}$ растет с 0,1 МПа до 1,1-1,3 МПа, т.е. в 11-12 раз.

Применение метода предварительного закрепления всего массива до взрыва и последующее динамическое уплотнение дает общее повышение прочности структурированного грунта в 1,4-1,6 раза, ускорение процесса формирования новообразований, которое, в частности, выражается в более раннем установлении новой конечной прочности на сжатие. При этом окончательная картина зонального распределения остаточных деформаций массива аналогична наблюдаемой в незакрепленном реагентами грунте, т.е. существует область пониженной плотности между зоной максимального уплотнения и зоной частичного уплотнения. Следовательно, силикатизация не отражается на соотношении пористостей в прослойках, механизм образования де-

формированной взрывом зоны сохраняется.

Для случая, когда требуется сохранить естественную пористость и увеличить прочность лессового грунта, стабилизировать его структуру, разработан способ аммонизации для придания грунту непросадочных свойств. Через систему инъекторов в грунт под давлением 0,025 МПа подается газообразный ам.лак, который поглощается водными пленками лессового грунта и взаимодействует с ним. В этом случае стабилизируется только скелет лессового грунта, упрочняется его естественная структура, в то время как пористость стабилизированного грунта практически не меняется, сохраняется высокая водонепроницаемость. Этот способ целесообразно использовать после обработки массива грунта взрывом, если необходимо зафиксировать образованную взрывом зональную структуру массива.

Исследования деформационных свойств стабилизированных грунтов путем сжатия без возможности бокового расширения показали, что величина модуля деформации образцов находится в диапазоне от 3,3 до 4,4 МПа, а для закрепленных грунтов доходит до 24 МПа. В интервале давлений 0,1-0,3 МПа значение коэффициента сжимаемости колеблется для образцов естественной структуры от 0,055 до 0,042 см²/кгс, а для закрепленных грунтов - 0,031 до 0,024 см²/кгс. Анализ результатов испытаний образцов, обработанных различными реагентами, показал, что наибольшей прочностью по величине модуля деформации E отличаются образцы II состава /Грунт + ЖС + ШО/. Образцы III состава /Г + ЖС + ШО + АКС/ занимают промежуточное положение. Следовательно, формирование упругих свойств II состава проходит интенсивнее по сравнению с другими составами за счет повышения щелочности системы. В III составе аминокомплексы АКС снижают щелочность системы, замедляется синтез *Са* - силикатов. Наиболее медленно процесс взаимодействия закрепляющих реагентов с грунтом протекает у I состава /Г + ЖС/. С целью повышения значения модуля деформации закрепленного грунта необходимо применять добавки щелочного отхода /ШО/. Сравнивая результаты испытаний образцов на сжимаемость, приходим к аналогичному выводу - наименьшей сжимаемостью обладают образцы II состава. Образцы III состава отличаются повышенными вязкопластичными свойствами, что делает их наиболее пригодными в условиях повторяющихся динамических нагрузок.

Динамические свойства просадочных структурированных грунтов

Комплексные полевые испытания /штамповые, сейсмические с различной интенсивностью воздействия, геофизические/ показывают, что при динамических методах обработки просадочных грунтов достигается степень уплотнения, гарантирующая допустимые послепросадочные деформации при повторных воздействиях. Разновидность взрывного метода уплотнения определяет характер распределения остаточных деформаций в массиве ограниченной площади и глубины. В зависимости от конструкции системы зарядов, последовательности взрывания и приемов подготовки массива до взрыва параметры и строение деформированной взрывом области массива регулируются в широком диапазоне. При уплотнении массива энергией взрыва накладного заряда и тяжелыми трамбовками образуется верхний слой, имеющий отличные от упругого полупространства динамические свойства. В связи с этим рассмотрен ряд задач по установлению интенсивности сейсмических воздействий на основание сооружения в зависимости от мощности верхнего деформированного слоя массива и его строения.

Аналитические исследования состоят в определении смещения на поверхности верхнего слоя при воздействии объемной упругой волны, движущейся по массиву недеформированного грунта. Рассмотрены три варианта задачи:

1. Верхний слой деформированного грунта представляет собой однородную уплотненную область массива с фиксированной мощностью, причем плотность грунта в ней существенно превышает естественную.

2. Подготовленное основание сооружения представляет собой сочетание двух слоев с повышенной плотностью грунта, разделенных массивом грунта меньшей плотности или разрыхленным грунтом.

3. Уплотненный блок массива грунта состоит из набора слоев различной плотности, причем плотность в каждом слое постоянна, и уменьшается дискретно с глубиной от слоя к слою.

При произвольном падении сейсмической волны на нижнюю границу слоя или прослойка задача состоит в том, чтобы определить значение волны напряжений, прошедшей через слоистую породную систему к фундаменту. В качестве определяющей величины взята волна напряжений в связи с тем, что для этих волн хорошо разработан экспериментальный материал и в литературе известны многочисленные сведения, которые позволяют определить параметры затухания

таких волн в различных средах. От напряжений потом нетрудно перейти к скоростям смещений. Допустив, что на некотором расстоянии τ от слоистой системы при взрыве заряда ВВ заданной массы Q генерируется волна напряжений, радиальная составляющая ее опишется эмпирической зависимостью:

$$\sigma = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{\tau} \right)^{\mu}, \quad /4/$$

где K и μ - эмпирические коэффициенты, характеризующие закон затухания волны в данной среде. Это возмущение вызывает распространение сейсмической волны со скоростью $v = \sigma / \rho c$, где ρ - плотность грунта, кг/м^3 , c - скорость продольной волны в грунте, м/с .

Решение задачи рассмотрено в акустическом приближении, что оправдано для дальней зоны действия взрыва $1/200 \div 400 \tau_3$ / . Рассмотрены несколько типичных схем прохождения импульсных воздействий /рис. 4/.

Схема 1. Свойства сред 1 и 2 характеризуются плотностью скоростью продольной волны c_i , показателем затухания взрывных волн μ_i / $i = 1, 2$ /. При падении волны вида /4/ в т. А она отражается от границы раздела и преломляется в слой 2. Преломленная волна:

$$\sigma_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \sigma_1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} K_1 \cos \varphi \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{\tau_1} \right)^{\mu_1}, \quad /5/$$

где Z_i - акустические жесткости сред, $K_{\text{пр}}$ - коэффициент преломления. После замены действия волны вида /5/ в слое 2 действием волны, генерируемой некоторым фиктивным зарядом

$$Q_{\text{ф1}} = \left[\frac{K_{\text{пр}} \cdot K_1 \cos \varphi}{K_2} \left(\frac{Q^{1/3}}{\tau_1} \right)^{\mu_1} \right]^{3/\mu_2} \tau_1, \quad /6/$$

получим после преобразований:

$$\sigma_2 = K_{\text{пр}} \cdot K_1 \cos \varphi \left(\frac{Q^{1/3}}{\tau_1} \right)^{\mu_1} \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \right)^{\mu_2} \quad /7/$$

Схема 2. Рассмотрено прохождение волны через 3 слоя грунта. Основываясь на результатах по схеме 1, в т. В определяем волну напряжений формулой /6/. Аналогично находим значение фиктивного

Схемы прохождения импульсных воздействий

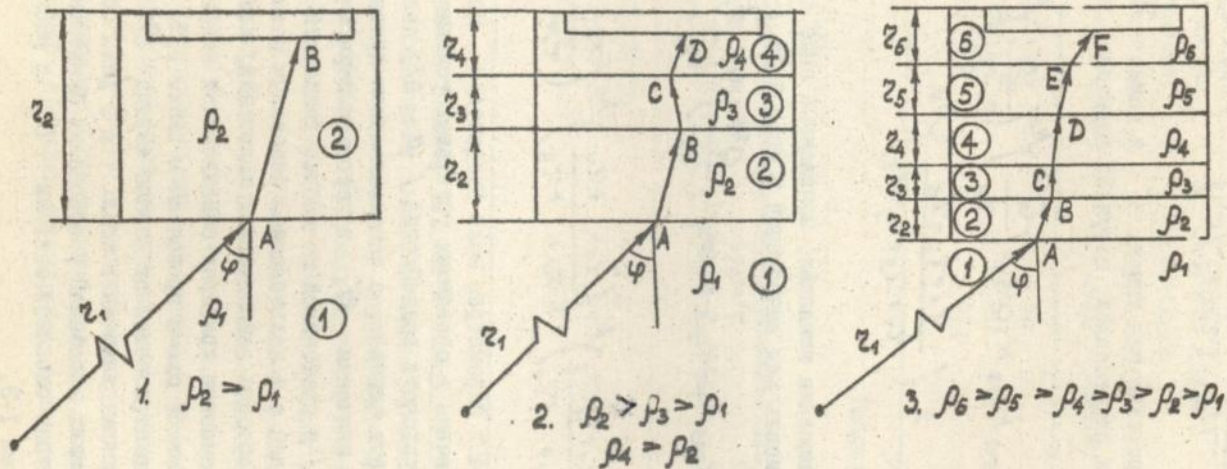


Рис. 4

заряда:

$$Q_{\varphi 2}^{1/3} = \left[\frac{K_{\text{пр}2} \cdot K_2}{K_3} \left(\frac{Q_{\varphi 1}^{1/3}}{\tau_1 + \tau_2} \right)^{M_2} \right]^{1/M_3} (\tau_1 + \tau_2) \quad 18/$$

Найдя подобное решение для точек С и далее D после преобразований и подстановок получено выражение для волны напряжений

$$\sigma_4 = K_{\text{пр}1} K_{\text{пр}2} K_{\text{пр}3} K_1 \cos \varphi \left(\frac{Q^{1/3}}{\tau_1} \right)^{M_1} \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \right)^{M_2} \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} \right)^{M_3} \times \left(\frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4} \right)^{M_4} \quad 19/$$

Схема 3. Выполнив выкладки, изложенные выше для схемы 2, получена зависимость для напряжений в слое 6 /т. F/:

$$\sigma_6 = K_{\text{пр}1} K_{\text{пр}2} K_{\text{пр}3} K_{\text{пр}4} K_{\text{пр}5} K_1 \cos \varphi \left(\frac{Q^{1/3}}{\tau_1} \right)^{M_1} \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \right)^{M_2} \times \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} \right)^{M_3} \left(\frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}{\tau_1 + \dots + \tau_4} \right)^{M_4} \left(\frac{\tau_1 + \dots + \tau_4}{\tau_1 + \dots + \tau_5} \right)^{M_5} \left(\frac{\tau_1 + \dots + \tau_5}{\tau_1 + \dots + \tau_6} \right)^{M_6/10/}$$

Конкретные расчеты параметров волн напряжений по трем расчетным схемам взрывания в сравнимых грунтовых условиях при нормальном падении импульсного воздействия / $\varphi = 0$ /, являющимся одним из неблагоприятных случаев, с использованием приведенных зависимостей получены значения σ_i в условиях переменной влажности грунта /таб. 1/ и постоянной по высоте влажности /таб. 2/.

От напряжений с использованием известных зависимостей нетрудно перейти к скоростям сейсмических колебаний, которые приняты в странах СНГ в качестве критерия сейсмической опасности. Данные пересчета для каждой схемы приведены в табл. 1, 2. Импульсное воздействие рассматривается от взрыва заряда $Q = 1000$ кг. Для сравнения полученных величин в табл. 1 и 2 даны соотношения скоростей сейсмических колебаний у основания фундамента сооружения в случае отсутствия слоистой системы σ_1 и рассчитанных по формулам для схем 1-3.

Таблица 1

Расчетные данные при

$14\% < W^0 < 22\%$

№ схемы расчета	Напряжения у основания фундамента $\sigma_i, \text{Па} (i=2,4,6)$	Скорость сей- смического воздействия, $v_i, \text{см/с} (i=2,4,6)$	Отношение v_1/v_i ($i=2,4,6$)
1	$0,262 \cdot 10^5$	2,96	1,81
2	$0,281 \cdot 10^5$	2,40	2,24
3	$0,298 \cdot 10^5$	2,254	2,38

Таблица 2

Расчетные данные при $W^0 = 15\%$

№ схемы расчета	$\sigma_i, \text{Па}$ / $i = 2,4,6$ /	$v_i, \text{см/с}$ / $i = 2,4,6$ /	v_1/v_i / $i = 2,4,6$ /
1	$0,221 \cdot 10^5$	2,5	2,15
2	$0,223 \cdot 10^5$	1,9	2,83
3	$0,241 \cdot 10^5$	2,06	2,61/

Анализ данных расчета позволяет сделать вывод о том, что обработка лессочного просадочного основания одним из доступных методов существенно снижает сейсмическое воздействие на сооружение. Наилучший эффект достигается при реализации уплотнения по схеме 2 /недоуплотненный средний слой/ и схеме 3 /равномерное снижение плотности с глубиной/. На практике выбор схемы уплотнения зависит от конкретных условий. Схема 1 выполняется взрывом системы скважинных зарядов, схема 2 - взрывом системы подводных или траншейных зарядов с предварительным замачиванием, схема 3 может быть выполнена путем предварительного закрепления всей толщи массива физико-химическим методом и последующего уплотнения взрывом. Во второй схеме стремятся к сохранению среднего недоуплотненного слоя, препятствующего движению импульсного возмущения; в третьей

схеме этот слой отсутствует, если прочность и вязкость закрепленного грунта в момент динамического уплотнения достаточно высока, чтобы не вызвать заметного развития последней стадии взрыва, когда давление в зарядной полости резко падает и в результате упругих сил последствием прилегающая к зарядной полости часть уплотненного массива движется "на полость". Этот процесс реализуется во второй схеме, где грунт либо не закреплен химическими реагентами, либо взрыв производится на начальной стадии физико-химических превращений, когда еще прочность и вязкость грунта в обрабатываемой области невелики /процесс структурирования только начинает развиваться/.

Основными динамическими характеристиками грунтов, необходимыми для расчета оснований зданий и сооружений на сейсмические воздействия, являются упругие и поглощающие параметры. В связи с этим поставлена задача определения скоростей распространения продольных и поперечных волн, модулей упругости и сдвига, коэффициента Пуассона и коэффициента затухания упругих волн в лессовых грунтах, имеющих различное состояние.

Исследовались 4 площадки, предназначенные впоследствии для застройки. Выбраны грунты различного состояния: 1 - естественно залегания; 2 - предварительно замоченные до соответствующей оптимальной влажности и уплотненные тяжелыми трамбовками; 3 - уплотненные траншейными взрывами; 4 - уплотненные системой глубинных зарядов. Возбуждение упругих волн производилось сбрасыванием бетонного груза со стрелы автокрана, а регистрация параметров упругих волн в грунтах осуществлялась с помощью сейсмоприемников СПЭД-56. При обработке полученных сейсмограмм определялись относительные времена прихода в каждую точку профиля наблюдения характерных фаз продольной P и поперечной S волн и строились их голографы. Исследования показали, что скорости распространения продольных и поперечных волн для профилей на участках 1-4 имели значения: по глубинным взрывам - соответственно 317 м/с и 210 м/с, 386 м/с и 250 м/с - для профиля в грунтах, уплотненных траншейными зарядами; 375 м/с и 235 м/с - в грунтах уплотненных тяжелыми трамбовками; 334 м/с и 220 м/с - в естественном грунте. Эти значения скоростей упругих волн получены для верхнего слоя грунта глубиной 8-10 м. По этим значениям скоростей упругих волн вычислены упругие характеристики грунтов модуль Юнга E , модуль сдвига G , коэффициент Пуассона μ из известных соотношений динамической теории упруго-

сти:

$$E = \rho v_s \frac{3v_p^2 - 4v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)}; \quad G = \rho v_s^2; \quad \mu = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad /11/$$

Значения скоростей распространения упругих волн и вычисленные по ним упругие динамические характеристики и коэффициенты затухания α приведены в табл. 3. По сейсмограммам определялось также изменение амплитуды колебаний с увеличением расстояния от источника возбуждения. Обработка опытных данных велась по методу наименьших квадратов с учетом того, что амплитуда поверхностных волн изменяется с расстоянием согласно выражению

$$A = A_0 \sqrt{\frac{z}{z_0}} e^{-\alpha(z-z_0)} \quad /12/$$

где A и A_0 - амплитуды на расстоянии соответственно z и z_0 от источника возбуждения, α - амплитудный коэффициент затухания упругих волн. Наименьший коэффициент затухания получился на профилях 1 и 2, тогда как зарегистрированные скорости распространения упругих волн v_p и v_s на профилях, проложенных по участку, уплотненному трамбованием, и участку естественных грунтов, оказались меньше по сравнению с профилем № 4. Это объясняется тем, что структура уплотненной зоны под глубинными зарядами однородна не наблюдается перемежаемость слоев с повышенной и пониженной плотностью; кроме того, грунты 4-го участка

Таблица 3

Динамические характеристики лессовых грунтов

№ профиля	v_p , м/с	v_s , м/с	$E \times 10^5$, Па	$G \times 10^5$, Па	μ	α , м ⁻¹
1	334	220	1064	484	0,11	0,033
2	375	235	1292	562	0,16	0,02
3	317	210	970	441	0,10	0,018
4	386	250	1375	625	0,13	0,012

более влажные по сравнению с грунтами других профилей, следовательно, затухание упругих волн в них значительно ниже. Наоборот, на 3 участке с грунтами, уплотненными системой траншейных зарядов, где наблюдается перемежаемость слоев вследствие образования зоны повышенной плотности, коэффициент затухания повышается и равноценен значению α для трамбованного слоя, отличающегося малой мощностью. Общая зависимость коэффициента затухания от частоты описывается выражением:

$$\alpha = 3,32 \cdot 10^{-4} f^{1,31} \quad /13/$$

Определение приращения сейсмического балла ΔJ за счет деформирования просадочного массива производилось по формуле

$$\Delta J = 3,32 \log \frac{\bar{A}_i}{\bar{A}_0}, \quad /14/$$

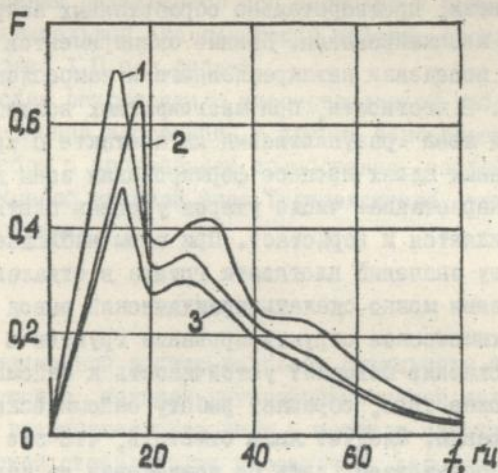
где \bar{A}_i и \bar{A}_0 - средние значения максимальных амплитуд на изучаемом и опорном участке.

Анализ результатов математической обработки экспериментальных данных показывает, что снижения балльности ΔJ заметно выражены при взрывном методе: здесь уменьшается сила сейсмического воздействия в зависимости от его интенсивности на 0,2-0,8 балла. В то же время трамбовка поверхности массива даёт снижение балльности на 0,08-0,23 балла. Такое различие связано с влиянием мощности уплотненного слоя и его конструкции. Согласно результатам динамических испытаний минимальное значение снижения балльности по сравнению с естественным грунтом принадлежит тяжелым трамбовкам, максимальное - взрывному уплотнению при условии перемежаемости уплотненных и разуплотненных прослоек в грунтовом блоке /соответственно 0,08 и 0,47 на грунте и 0,23-0,8 на штампе. Обширные исследования деформативности обработанных участков грунтового массива с применением штамповых испытаний позволили установить модули общей деформации на глубине заложения подошвы фундамента, на 1 м и 2 м ниже подошвы фундамента. Если грунты естественной влажности обладают незначительной осадкой, то величина их относительной просадочности достигает 20%. Просадки от зданий составляют 20-25 см, а от природных нагрузок на 10-12 метровой глубине достигают 40 см. В то же время полевые и компрессионные испытания уплотненных грунтов показали, что общая величина деформация сооружений на обработанных блоках меньше пре-

дельно допустимых величин. Это свидетельствует о надежности применяемых методов уплотнения грунтовых оснований.

Кроме того, установлено, что такое грунтовое основание избирательно реагирует на спектр колебаний. При изучении амплитудно-частотного спектра колебаний в различных вариантах уплотнения и особенно во втором взрывном варианте установлено существенное уменьшение амплитуды спектра колебаний, что способствует снижению сейсмического воздействия на сооружение, построенное на таком основании /рис. 5/.

Амплитудно-частотные спектры сейсмических колебаний



1 — грунт естественной структуры, 2 — уплотненный трамбованием, 3 — уплотненный трамбейными зарядами.

Рис. 5

Опытно-промышленные испытания методов регулирования динамических характеристик лессовых грунтов

В производственных условиях испытания проводились по известным ранее и по разработанным автором методикам.

Результаты промышленных испытаний методов уплотнения грунтов в основаниях проектируемых сооружений контролировались нивелировкой поверхности уплотняемых блоков до и после уплотнения, отбором и лабораторным анализом проб грунтов из шурфов, геофизическими

методами непосредственно в массиве.

Рассмотренные в работе методы ликвидации просадочных свойств обеспечивают допустимые послепросадочные деформации грунтовых оснований и частичное снижение балльности сторонних сейсмических воздействий — техногенных и природных, в том числе при различной их кратности.

Таким образом, при эксплуатации грунтовых оснований, уплотненных одним из рекомендуемых методов в условиях повышенной сейсмической активности, следует ожидать нарушений прочности уплотненного грунта, его разрыхления под действием многократных сейсмических импульсов. Аналогичные вышеописанным исследования проведены в грунтах, предварительно обработанных закрепляющими составами путем инъектирования. Данные экспериментов демонстрируют различие в поведении незакрепленного и закрепленного реагентами массива. В частности, при многократных воздействиях сохраняется ближняя зона разуплотнения на контакте с трамбовкой, однако в отдаленных слоях процесс формирования зоны деформаций оригинален: с нарастанием числа ударов уровень плотности грунта периодически снижается и нарастает. При этом наблюдается общая тенденция к росту значений плотности грунта в отдаленной зоне. Из этого наблюдения можно сделать практический вывод — предварительное физико-химическое структурирование грунтов в основаниях сооружений существенно повышает устойчивость к сейсмическим воздействиям, и, более того, обращает работу сейсмических сигналов на пользу сооружений. Следует лишь отметить, что это преимущество может быть использовано лишь до возведения на данном основании инженерного сооружения. Пользуясь штамповыми испытаниями как методом контроля состояния деформативности блока грунта, можно проследить за ходом стабилизации лессового массива и путем последовательных технологических взрывов полностью стабилизировать осадки в пределах закрепленного слоя.

Комплексные промышленные исследования деформативности лессовых просадочных грунтов, способов их уплотнения, повышения устойчивости оснований проводились на объектах промышленного, сельскохозяйственного и гражданского строительства Туркменистана в условиях повышенной сейсмической активности в основном по трассе Каракумского канала и в зоне его освоения. Эти исследования подтвердили и дополнили основные выводы по экспериментальным и теоретическим работам в рамках диссертации, позволили разработать

оптимальные режимы уплотнения и физико-химического укрепления лессовых пород, разработать рациональные параметры взрывных работ. Предложена теоретически обоснована и практически апробирована новая комбинированная технология стабилизации лессовых просадочных пород в пределах ограниченного объема массива.

Проведенный технико-экономический анализ результатов промышленного применения рекомендуемых усовершенствованных и новых технологий формирования динамических свойств лессовых грунтовых массивов ограниченных размеров путем уплотнения и физико-химического закрепления свидетельствует об их высокой эффективности. В процессе внедрения результатов исследований и рекомендаций работы получен значительный экономический эффект, составивший в ценах 1990 г. более 1,0 млн. рублей.

Практические рекомендации диссертационной работы использованы при составлении инструкций и других нормативных документов по ведению работ с применением трамбования, закрепления и взрыва в пустынной аридной зоне Туркменистана, утвержденных Госстроем республики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены результаты исследований, посвященных решению крупной научно-технической проблемы, которая состоит в разработке принципов и методов динамической и физико-химической стабилизации просадочных лессовых массивов ограниченного объема, с целью формирования их динамической устойчивости как оснований инженерных сооружений в условиях повышенной сейсмической активности, что имеет большое народнохозяйственное значение при освоении территорий зоны Каракумского канала, проектировании и эксплуатации современных инженерных сооружений различного назначения. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

I. В результате комплексных исследований механизма и закономерностей локального уплотнения массива просадочных грунтов трамбованием, взрывом скважинных, подводных и трамлейных зарядов ВВ установлены рациональные параметры и режимы приложения нагрузки при различных методах уплотнения, зависимости механического эффекта от геометрии и ориентации зарядов относительно свободной

поверхности, согласованности между интенсивностью нагружения, фактической влажностью массива и его оптимальной влажностью.

2. Определены пределы применимости способов уплотнения как с точки зрения проработки массива грунта на заданную глубину, так и с учетом качества уплотнения, т.е. интенсивности и равномерности обработки массива, а также геометрии обработанного объема. Анализ физико-механических свойств грунтов и характера распределения плотности в локально уплотненном блоке массива позволил получить объемную картину деформаций, служащую основой для установления рациональных схем и методов уплотнения просадочных грунтов в условиях аридной зоны.

3. Разработан метод фиксации и корректировки структуры и параметров уплотненной взрывом зоны путем инъектирования системы закрепляющих веществ, вызывающих и стимулирующих формирование комплекса новообразований, обладающих вяжущими свойствами; установлены кинетика формирования новообразований и на ее основе разработаны последовательность операций по физико-химической и динамической стабилизации просадочного грунта, качественно изменяющей его структуру, физико-механические и прочностные характеристики.

4. Изучены закономерности изменения деформационных характеристик структурированных просадочных грунтов при использовании различных рецептов закрепляющих смесей. Установлено, что наименьшей сжимаемостью и максимальной жесткостью обладают грунты при обработке жидким стеклом и щелочным отходом, повышенной вязкопластичностью отличаются грунты при их обработке аналогичным составом с добавлением аминокислотных соединений, что делает их наиболее пригодными для комбинированной технологии подготовки грунтовых оснований в условиях портящихся сейсмических нагрузок.

5. Проведены аналитические и экспериментально-промышленные исследования интенсивности сейсмических воздействий на основания сооружений в зависимости от мощности верхнего деформированного слоя и его строения; установлено, что увеличение жесткости верхнего слоя приводит к уменьшению балльности колебаний основания на $\Delta J = 0,3-0,8$ балла, причем наибольшее снижение обеспечивают взрывные методы уплотнения системой траншейных зарядов. Обработка грунтов вяжущими способствует сохранению в лока-

льно уплотненном массиве достигнутых противосейсмических характеристик.

6. Изучены амплитудно-частотные спектры колебаний уплотненных грунтовых оснований различного состояния и выявлено существенное уменьшение амплитуды спектра колебаний при взрывном варианте траншейных и скважинных зарядов, отмечается избирательная реакция грунтовых оснований на спектр колебаний, позволяющая регулировать сейсмический эффект в основаниях ответственных сооружений в конкретных условиях.

7. Предложены инженерные методы расчета основных технологических элементов обработки лессового просадочного массива, основанные на учете природы и последовательности формирования новой структуры грунта под действием физико-химических и динамических факторов, разработаны эффективные приемы и технологии стабилизации локальных объемов лессовых просадочных грунтов закреплением и динамическим уплотнением с целью обеспечения их длительной сейсмической устойчивости в приложении к условиям Прикопетдагского региона; рекомендации работы использованы при составлении нормативных материалов по сейсмобезопасным методам стабилизации просадочных грунтов, приняты к внедрению и внедрены на объектах промышленного, сельскохозяйственного и гражданского строительства Туркменистана с общим экономическим эффектом более 1,0 млн. руб. в ценах 1990 г.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Ильясов Б., Куликов Г.В., Закиров А. Ликвидация просадочных свойств лессовых грунтов в деформируемой зоне под сельскохозяйственные здания плодосовхоза № I Гяурской долины // В кн.: Сейсмостойкое строительство и строительные материалы.- Ашхабад: Илим.- 1978.- С. 9-17.
2. Закиров А. Просадочные и прочностные свойства лессовых грунтов Гяурской долины // В кн.: Традиционные и новые вопросы сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Тезисы докладов.- Душанбе.- 1978.- С. 166-170.
3. Инструкция по определению несущей и деформационной способности подушек из различного материала на объектах строительства в Туркменской ССР. РСН-02-79 /А.Лжитенов, Г.В.Куликов, Б.Илья-

- сов, А. Закиров - Ашхабад: Госстрой Туркм. ССР. - 1979. - 16 с.
4. Рекомендации по форсированному уплотнению лессовых грунтов с применением энергии взрыва /Г.М. Ляхов, А.Ч. Чариев, Г.Э. Грибач, А. Закиров и др. - Ашхабад: ТуркменНИИТИ. - 1979. - 18 с.
 5. Закиров А. Уплотнение просадочных лессовых грунтов с использованием энергии взрыва // В кн.: Новые эффективные материалы и конструкции в строительстве. - Ашхабад: ИСС ТССР. - 1980. - С. 65-67.
 6. А. Казиев, А. Закиров. Результаты экспериментальных исследований динамических свойств грунтов и определение обобщенного коэффициента жесткости основания опасных штампов // Сейсмостойкое стр.-во. Сер. 14-1980. - Вып. 6 - С. 33-35.
 7. Инструкция по использованию энергии взрыва зарядов ВВ, расщепоченных пористых заполнителей в гипромелиоративном строительстве. РСН-11-80 /В.М. Кузнецов, В.Г. Кравец, Л.И. Демешук, А. Закиров и др. - Ашхабад: Госстрой ТССР. - 1980. - 30 с.
 8. Инструкция по уплотнению лессовых /просадочных/ грунтов подводными взрывами в Туркменской ССР. РСН-10-80/ Б.Ильясов, А.Казиев, А.Закиров, В.Г.Кравец, Л.И.Демешук. - Ашхабад: Госстрой ТССР. - 1980. - 16 с.
 9. Казиев А., Закиров А., Исследование упругих и поглощающих свойств грунтов Гяурской долины // В кн.: Сейсмостойкое строительство и строительные материалы. Сер. 14. - Ашхабад: Илим. - 1981. Вып. 7. - С. 79-81.
 10. Разработка антисейсмических мероприятий при взрывном уплотнении площадки строительства центрального водовода западных районов Туркменской ССР /В.Г. Кравец, Б.Ильясов, И.И. Денисюк, А. Закиров. - Ашхабад: ТуркменНИИТИ. - 1982. - 4 с.
 11. Денисюк И.И., Закиров А. Снижение сейсмического эффекта при взрывном уплотнении структурно-неустойчивых грунтов // Проектирование и строит. трубопроводов и газонефтепромысл. сооружений. - 1982. - № 4. - С. 44-46.
 12. Денисюк И.И., Закиров А. К вопросу о расчете фундаментов на сейсмические воздействия // Там же. - 1982. - № 9. - С. 33-34.
 13. Опыт взрывного уплотнения грунтов под основаниями сооружений в зонах высокой сейсмичности /В.Г. Кравец, Б.Ильясов, А. Закиров, И.И. Денисюк. - Ашхабад: ТуркменНИИТИ. - 1983. - 20 с.
 14. Рекомендации по применению сейсмобезопасных методов уплотнения просадочных лессовых грунтов энергией взрыва РСН-20-83

- /В.Г.Кравец, Б.Ильясов, И.И.Денисюк, А.Закиров и др.- Ашхабад: Госстрой СССР.- 1983.- 18 с.
15. Инженерные методы подготовки грунтовых оснований в сейсмоактивных районах /Б.Ильясов, А.Закиров, В.Г.Кравец и др.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1983.- 48 с.
16. Демещук Л.И., Закиров А., Пушкарев Б.Я. Опытное-промышленное применение взрывных технологий в строительстве // В сб.: Взрывные работы в грунтах и горных породах.- Киев: Наук. думка.- 1984.- С. 126-141.
17. Закиров А., Нафосов Э.Н., Акмев Б.А. Исследование грунтовых оснований с помощью опытных штампов // Инф. научно-техн. сб. Метростроя.- Москва.- 1984.- № 5.- С. 23-24.
18. Ильясов Б., Закиров А., Хасанова С.Х. Определение деформативных свойств просадочных лессовых грунтов плетисовхоза № 1 Гяурского района.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1984.- 4 с.
19. Уплотнение грунтового массива с применением траншейных зарядов ВВ под очистные сооружения курорта "Арчман" / Л.И.Демещук, Б.Ильясов, А.Закиров и др.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1985.- 4 с.
20. Денисюк И.И., Закиров А. Определение сейсмических характеристик лессовых грунтов различного состояния // В сб.: Взрыв в грунтах и горных породах.- Киев: Наук.думка.- 1985.- С.104-106.
21. Особенности деформирования просадочных грунтов при многократных динамических воздействиях / Б.Ильясов, А.А.Вовк, Л.А.Медведев, А.Закиров и др.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1985.- 70с.
22. Ильясов Б., Атаниязов М., Закиров А. Проектирование грунтовых оснований под объекты сельскохозяйственного назначения на лессовых просадочных грунтах в аридной зоне // В кн.: Подготовка оснований и устройство фундаментов на просадочных грунтах в сейсмических районах. Тезисы докладов.- Чимкент.- 1985.- С. 88-90.
23. Демещук Л.И., Закиров А. Параметры взрывных работ при уплотнении просадочных грунтов // Взрыв. дело.- 1986.- № 86/45.- С. 36-39.
24. Закиров А. Технология производства взрывных работ на объектах откормочного совхоза Гяурского района // В кн.: Новые эффективные материалы и конструкции.- Ашхабад: ИСС СССР.- 1986.- С. 61-63.

25. Закиров А., Балбиева Т.А. Влияние длительной фильтрации воды на послепросадочные деформации // Изв. АН Туркм.ССР. Сер. ФТХ и ГН.- 1986.- № I.- С. 106-107.
26. Повышение эффективности строительства за счет использования энергии простейших ВВ /А.А.Вовк, Л.И.Демешук, В.Г.Кравец, А.Закиров.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1987.- 50 с.
27. Кравец В.Г., Барлас Н.Я., Закиров А. Прогнозирование амплитудно-частотного спектра КЗВ на основе изучения единичного импульса // В сб.: Взрыв в грунтах и скальных породах.- Киев: Наук.думка.- 1987.- С. 155-157.
28. Княтько В.М., Балбиева Т.А., Закиров А. Влияние комбидисперсных минералов на процесс силикатизации лессовых пород.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1988.- 4 с.
29. Княтько В.М., Балбиева Т.А., Закиров А. Изменение физических свойств лессового грунта Копетдагской равнины при рассолевании.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1988.- 4 с.
30. Княтько В.М., Балбиева Т.А., Закиров А. Физико-химический состав закрепленных ПЗВ Красноводского нестеперерабатывающего завода.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1988.- 4 с.
31. Закиров А., Мамедов Р.Б. Эмульсионные материалы на основе местного сырья для антифильтрационного закрепления песчаных грунтов.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1988.- 4 с.
32. Аманов Э., Закиров А. Уплотнение просадочных лессовых грунтов методом граншейного заряда ВВ под основание строительства молочного завода в г.Кизыл-Арване.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1989.- 4 с.
33. Мамедов Р.Б., Закиров А. Установка для виброкомпрессионных испытаний грунтов.- Ашхабад: ТуркменНИИТИ.- 1989.- 4 с.
34. Инструкция по форсированному уплотнению просадочных грунтов в основании линейных сооружений комбинированными методами с использованием энергии взрыва скважинных зарядов. РСН-45-89 /А.А.Вовк, В.Г.Кравец, Б.Ильясов, А.Закиров и др.- Ашхабад: Госстрой СССР.- 1989.- 28 с.
35. Закиров А. Влияние уплотнения грунтов основания на характер амплитудно-частотных характеристик сооружений при сейсмическом воздействии // В кн.: Сейсмостойкое строительство и строительные материалы.- Ашхабад: ИСС СССР.- 1990.- С. 43-44.
36. Закиров А., Балбиева Т.А. Прочность и агрегатно-механический состав закрепленных лессовых грунтов Туркменской ССР.- Ашха-

бад: ТуркменНИЛТИ.- 1989.- 4 с.

- 37. Методы подготовки оснований на просадочных грунтах в сейсмо-активных районах /А.Закиров, И.И.Денисюк, Б.Акыев, Б.Ильясов.- Ашхабад: Госплан ТССР.- 1990.- 160 с.
- 38. Закиров А. Формирование деформационных свойств просадочных грунтов с использованием неорганических вяжущих веществ.- Ашхабад: КП "Махмал".- 1992.- 92 с.

А. Закиров

Под. к печ. 29 04.1993г. Формат 60x84/16

Бум. офс Офс печ. Усл. печ.л. 1,86. Усл.кр.- отт. 1,98.

Уч.- изд.л. 2,0. Тираж 100 экз.

Заказ 527 Цена бесплатно

AB 27.304