



**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
«Анализ и совершенствование технологии организации строительства зданий и сооружений магистральных газопроводов с использованием технической мелиорации грунтов»

УДК 621.691.4:626.86:624:131.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Синько А.С		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Богданов А.Л	К.Т.Н,		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шарф И.В.	К.Э.Н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крепша Н.В.	К.Г.-М. Н., доцент		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Уткина А.Н	К.Ф.Н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	К.Т.Н, доцент		

## *Планируемые результаты обучения магистрантов*

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
<b>Р1</b>	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
<b>Р2</b>	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы-в области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<b>Р3</b>	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
<b>Р4</b>	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22;
<b>Р5</b>	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20;

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
<b>Р6</b>	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
<b>Р7</b>	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве члена и <i>руководителя команды</i> , умение формировать задания и <i>оперативные планы</i> всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести <i>ответственность за результаты работы</i>	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23
<b>Р8</b>	Самостоятельно учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности; активно <i>владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-8; ПК-23

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Рудаченко А.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ4Б	Синько Александру Сергеевичу

Тема работы:

<b>«Анализ и совершенствование технологии организации строительства зданий и сооружений магистральных газопроводов с использованием технической мелиорации грунтов»</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.04.2016 г., № 2950/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является технология строительства зданий и сооружений магистральных газопроводов с использованием технической мелиорации грунтов.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проработка действующих стандартов и нормативной документации для сооружения объектов нефтегазового назначения.</li> <li>2. Анализ методов технической мелиорации грунтов при сооружении нефтегазовых объектов.</li> <li>3. Исследование закономерности фазового состава и формирования механических свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии.</li> <li>4. Сравнительный анализ прочностных характеристик железобетонных и термобетонных плит.</li> <li>5. Разработка рекомендаций по выбору мобильного оборудования СВЧ – оборудования и совершенствования технологии строительства.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Шарф Ирина Валерьевна, к.э.н., доцент кафедры экономики природных ресурсов</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Крепша Нина Владимировна, к.г.-м.н., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p>The main methods of arc welding</p>	<p>Уткина Анна Николаевна, к.ф.н., доцент кафедры иностранных языков</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Общие сведения о электродуговой сварки магистральных трубопроводов</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

<p><b>Должность</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Ученая степень, звание</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>доцент</p>	<p>Богданов А.Л</p>	<p>к.п.н,</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p><b>Группа</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>2БМ4Б</p>	<p>Синько Александр Сергеевич</p>		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Уровень образования магистр  
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2016	<i>Общие сведения о методах технической мелиорации грунтов</i>	
23.03.2016	<i>Технология применения СВЧ – генераторов при изготовлении плитного фундамента на строительной площадке</i>	
24.04.2016	<i>Расчет плитного фундамента по прочностным характеристикам</i>	
07.05.2016	<i>Финансовый менеджмент</i>	
10.05.2016	<i>Социальная ответственность</i>	
14.05.2016	<i>Заключение</i>	
15.05.2016	<i>Презентация</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Богданов А.Л	к.п.н,		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н, доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 8 рис., 6 табл., 21 источник.

Ключевые слова: Сооружение объектов магистральных газопроводов

Объектом исследования является: Изучение технологии производства работ и элементов технологической системы, рациональное сочетание которых позволяет создавать эффективные конструктивно–технологические решения в результате термического укрепления грунтов с помощью мобильных СВЧ–генераторов.

Цель работы: Выбор оптимальных решений при сооружении оснований зданий посредством термического укрепления грунта на строительной площадке с помощью мобильных СВЧ – установок.

В процессе исследования проводились: Расчёт тепловых режимов обработки грунтовых массивов СВЧ – полем, расчёт керамического фундамента на прочность при изгибе, расчёт керамического фундамента на прочность при сжатии, сравнительная характеристика термогрунтовых плит и железобетонных плит ПДН-АУ по серии 3.503.1–91.

В результате исследования был произведён: анализ методов технической мелиорации грунтов, сравнительный анализ прочностных характеристик термогрунтовых плит и железобетонных плит ПДН-АУ по серии 3.503.1-91, исследованы стадии термической обработки грунтов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Совершенствование технологии организации строительства зданий и сооружений магистральных газопроводов с применением технической мелиорации грунтов

Степень внедрения: Основной идеей работы является анализ и внедрение технологии устройства прочных и экономичных оснований зданий и сооружений посредством термического укрепления грунта на строительной

площадке с помощью мобильных СВЧ–установок, нагревающих грунт до стадии плавления.

Область применения: Изготовление на строительной площадке с помощью энергии СВЧ-поля надёжных и долговечных керамических плитных фундаментов для объектов трубопроводного транспорта.

Экономическая эффективность/значимость работы: состоит в сокращении транспортных расходов.

В будущем планируется: добиться внедрения технологии изготовления плитных фундаментов на строительной площадке для малоэтажных, блочно-модульных зданий, а также для стабилизации положения трубопроводов.



## REPORT

Final qualifying work 98 p., 8 fig., 6 tables., 21 source.

Keywords: Building of objects of main gas pipelines

A research object is: Study of technology of production of works and elements of the technological system, rational combination of that allows to create effective structurally-technological decisions as a result of the thermal strengthening of soils by means of mobile СВЧ-генераторов.

Aim of work : Choice of optimal decisions at building of grounds of building by means of the thermal strengthening of soil on a site area by means of mobile СВЧ - options.

In the process of research conducted: Calculation of the thermal modes of treatment of the ground arrays СВЧ - we weed, calculation of ceramic foundation on durability at a bend, calculation of ceramic foundation on durability at a compression, comparative description of the термогрунтовых flags and reinforce concrete flags of ПДН- AV on series 3.503.1-91.

As a result research was produced: analysis of methods of technical land reclamation of soils, comparative analysis of прочностных descriptions of the термогрунтовых flags and reinforce-concrete flags of ПДН- AV on series 3.503.1-91, the stages of heat treatment of soils are investigational.

Basic structural, technological and технико-эксплуатационные descriptions: Perfection of technology of organization of building of building and building of main gas pipelines with the use of technical land-reclamation of soils

Degree of introduction : the Basic idea of work are an analysis and introduction of technology of device of durable and economical grounds of building and building by means of the thermal strengthening of soil on a site area by means of mobile СВЧ-установок steam disengaging soil to the stage of melting.

Application domain: Making on a site area by means of energy of СВЧ-поля of the reliable and lasting ceramic tiled foundations for the objects of pipeline transport.

Economic efficiency/is meaningfulness of work : consists of cutback of a transport spending.

In the future planned: to obtain introduction of technology of making of the tiled foundations on a site area for малоэтажных, block-module building, and also for stabilizing of position of pipelines.

## Определения

В данной работе приведены следующие термины с соответствующими определениями:

**ТГП** – термогрунтовая плита. Изготавливается из местного грунта (глины). Для фундаментов под блочно-модульные здания, для стабилизации положения трубопроводов.

**СВЧ** – сверхвысокочастотное излучение.

**УКПГ** – установка комплексной подготовки газа.

**ТУГС** – термически укрепленная грунтовая свая.

## Оглавление

Введение .....	13
Глава 1. Общая часть .....	15
1.1 История развития термического укрепления грунтов .....	15
1.2 Современные технологии термического укрепления грунтов.....	24
1.3 Предпосылки развития поверхностного термического укрепления грунтов.....	28
1.4 Перспективность использования СВЧ–технологии для изготовления термогрунтовых плит.....	29
1.5 Анализ методов технической мелиорации грунтов при сооружении нефтегазовых объектов .....	30
1.6 Анализ геолого-литологического строения площадки .....	33
Глава 2. Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии.....	36
2.1. Изменение фазового состава грунтов при термическом воздействии СВЧ–поля.....	36
2.2 Расчёт тепловых режимов обработки грунтовых массивов СВЧ – полем.....	46
Глава 3. Сооружение объектов магистральных газопроводов на основе технической мелиорации грунтов .....	52
3.1 Устройства для стабилизации положения трубопроводов, искусственные основания и фундаменты с использованием термоупрочнённых грунтов .....	52
Глава 4. Расчетная часть .....	62
Заключение.....	66
Список использованной литературы.....	67
Приложение А.....	69

## Введение

Актуальностью темы данной магистерской диссертации является выполнение одной из главных задач при сооружении объектов магистральных газопроводов, это обеспечение устойчивости, что в свою очередь ведёт к увеличению долговечности объектов. С интенсивным развитием регионов Сибири и Дальнего Востока появляется необходимость в строительстве объектов удалённых на сотни километров от баз производства материалов и конструкций. В современных условиях кризиса применение метода «Термического упрочнения грунтов посредством СВЧ-полей» является альтернативным решением не требующим сокращения персонала и уменьшения финансирования строительства объектов, что позволит выполнить проект без увеличения его сроков.

Использование достижений технической мелиорации грунтов в трубопроводном строительстве направлено прежде всего на повышение эксплуатационной надёжности возводимых объектов и к настоящему времени охватывает большинство существующих методов улучшения свойств пород.

Основной идеей работы является анализ и внедрение технологии устройства прочных и экономичных оснований зданий и сооружений посредством термического укрепления грунта на строительной площадке с помощью мобильных СВЧ-установок, нагревающих грунт до стадии плавления.

Объектом исследования является изучение технологии производства работ и элементов технологической системы, рациональное сочетание которых позволяет создавать эффективные конструктивно-технологические решения в результате термического укрепления грунтов с помощью мобильных СВЧ-генераторов.

					«Анализ и совершенствование технологии строительства с использованием технической мелиорации грунтов»			
Изм..	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Синько А.С				Введение	Лит.	Лист	Листов
Проверил	Богданов А.Л						13	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.	Рудаченко А.В.							

Целью работы является выбор оптимальных решений при сооружении оснований зданий посредством термического укрепления грунта на строительной площадке с помощью мощностью мобильных СВЧ–установок.

В работе были поставлены задачи:

1) Проработка действующих стандартов и нормативной документации для сооружения объектов нефтегазового комплекса

2) Анализ геолого-литологических схем строения площадки УКПГ и обоснование предлагаемой технологии изготовления термогрунтовых плит

3) Анализ методов технической мелиорации грунтов и выбор наиболее актуальных

4) Изучить закономерности изменения фазового состава и формирования механических свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии.

5) Оценить эффективность конструктивно-технологических решений

					Введение	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

## Глава 1. Общая часть

### 1.1 История развития термического укрепления грунтов

Термическое укрепление является одним из физических методов улучшения строительных свойств грунтов. Оно основано на воздействии положительного температурного поля, вызывающего необратимые коренные изменения состава, структуры и физико-механических свойств грунтов.

Изучение и анализ исторических аспектов становления теории и практики термического укрепления грунтов позволил систематизировать полученную информацию и выделить три основных этапа развития рассматриваемой проблемы (табл. 1.1). В основу предлагаемой систематизации положены технологические факторы, определяющие возможность достижения тех или иных результатов – плотность теплового потока и температура источника тепловой энергии.

					«Анализ и совершенствование технологии строительства с использованием технической мелиорации грунтов»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Синтко А.С			Общая часть	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Богданов А.Л					15	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.		Рудаченко А.В.						

Таблица 1. Этапы развития термической технологии

Этапы развития	Источники тепловой энергии	Плотность теплового потока температура	Структура грунта при обжиге	Уровень термической модификации	Технологические особенности термообработки	Основной вид получаемых материалов
Первый (15 тыс. лет до н.э)	1. Твёрдые углеродные топлива (уголь, дрова)	$50 \text{ Вт/м}^2$ 1000·2000 К	1. Нарушенная произвольно-агрегированная 2. Искусственно созданная	1. Дегидратация 2. Спекание	1. Статический обжиг в печах	1. Произвольные куски спекшейся породы 2. Штучные керамические изделия (кирпич, клинкер)
Второй (с 20-х гг. XX в.)	1. — // — 2. Жидкие и газообразные углеродные топлива (газ, нефтепродукты)	$50 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ 2200 – 3000 К	1. — // — 2. — // — 3. Нарушенная с агрегатами заданной гранулометрии 4. Естественного сложения	1. — // — 2. — // — 3. Аморфизация	1. — // — 2. Динамический обжиг в печах 3. Динамический поверхностный обжиг специальными машинами 4. Статический глубинный обжиг в скважинах	1. — // — 2. — // — 3. Зернистый материал (керамзит и т.п) 4. Термогрунтовое спекшееся тело (столб, свая, стенка в массиве естественного сложения)



Продолжение таблицы 1.

<p>Третий (с 50-х гг. XX в.)</p>	<p>1. — // — 2. — // — 3. Электротермическ е устройства 4. Комбинированные электроплавные устройства</p>	<p><math>50 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2</math> 4000 – 20000 К</p>	<p>1. — // — 2. — // — 3. — // — 4. — // — 5Смеси грунтовых агрегатов с различными добавками</p>	<p>1. — // — 2. — // — 3. — // — 4. Плавление</p>	<p>1. — // — 2. — // — 3. — // — 4. — // — 5. Динамический обжиг в скважинах</p>	<p>1. — // — 2. — // — 3. — // — 4. — // — 5. Грунтоплавленное тело (свая, стенка) в массиве естественного грунта 6. Грунтоплавленны й слой на поверхности массива 7. Грунтоплавленны е изделия 8. Комбинированные изделия (грунтобетон, металлобетон)</p>
--	--	---	--	---	--	--

Наиболее продолжительным был первый этап исторического развития. Его начало уходит в глубокую древность, примерно к 15 – му тысячелетию до н.э. Уже в то время была известна возможность изменения физико-механических свойств глинистых грунтов при помощи тепла. Основными продуктами, получаемыми при обжиге в простейших печах, являлись различные гончарные изделия и керамический кирпич. Археологические исследования показали, что в 700 г. до н.э. для мощения улиц, возведения жилищ и храмов широко использовались обожжённые кирпичи и плиты. Раскопками в ряде российских городов установлено, что в XI-XIII вв. некоторые площади и дворы были вымощены кирпичами. Аналогичные покрытия были найдены в Грузии. Одна из первых дорог с покрытием из клинкера построена в 1809 г. в Голландии. С 1844 г. в России начато строительство дорог из клинкерною щебня (А.К. Борейн - Екатеринослав, Киев). Протяженность дорог с клинкерным мощением к концу 30-х годов нашего столетия измерялась уже тысячами кил омет рол.

Одна из первых попыток термической обработки грунтов непосредственно на строительной площадке относится к концу XIX века. В 1887 г. был осуществлен обжиг глинистого грунта для получения балласта при возведении земляного полотна железной дороги. В 1896-1898 гг. Ф.И. Кнорринг выполнил работы по устройству подпорной стенки на оползневом откосе. Имеются отрывочные сведения о первом обжиге глины непосредственно на полотне дороги, произведенном в США в долине реки Миссисипи в 1906 г. Обжиг глины производился в перекрытых траншеях или в больших кучах высотой до 3 м и диаметром до 6 м. Обжиг продолжался не менее трех дней. В 1927 г. громоздкий процесс обжига в кучах был заменен обжигом в портативных напольных печах.

					Обща часть	Лист.
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Во всех описываемых случаях обожжённый материал представлял собой куски грунта с пережогом и недожогом, окрашенные под действием высокой температуры к красный цвет. Обожжённый материал после остывания печей рассыпался по поверхности дороги: сначала крупные, а затем мелкие куски и уплотнялся.

Можно выделить ряд особенностей, характерных для первого этапа развития науки и практики о термическом укреплении грунтов и строительстве.

1. В основном изготавливались штучные строительные изделия в стационарных нагревательных устройствах. Обжиг грунтов непосредственно на строительной площадке был довольно редким явлением.

2. Отсутствие средств механизации и большая трудоемкость процессов предопределяли низкую производительность работ по обжигу грунтов и изделий.

3. Перед обжигом грунт естественного сложения всегда измельчался и затем обжигался в дискретном виде или в виде изделий, сформированных из измельченного грунта.

4. Сведения о термической обработке грунтов носили отрывочный, описательный характер. Процесс познания проблемы протекал эмпирически, крайне медленно.

Ценность экспериментальных работ первого этапа заключается в том, что они показали принципиальную возможность термического укрепления грунтов (в том числе и в построечных условиях) и подготовили первую информацию о явлениях, сопровождающих процессы обжига грунтов.

Переход ко второму этапу развития проблем термического упрочнения грунтов явился объективной закономерностью и объясняется рядом обстоятельств.

Период 20-30 годов XX в. характеризовался интенсивным развитием промышленности, сельского хозяйства и строительства. Резко возросли темпы промышленного и гражданского строительства, требующего

					Обща часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

надежных и эффективных фундаментов, большого количества стеновых материалов. Автомобиль превратился из экзотической самодвижущейся тележки в рабочее транспортное средство, повсеместно заменяющее гужевой транспорт. Возросли нагрузки на ось к интенсивность движения. следовательно, и потребность в автомобильных дорогах с повышенными эксплуатационными параметрами. Эти процессы были характерны для всех видов транспортного строительства.

Комплексные и планомерные исследования по разработке различных методов укрепления грунтов в России были начаты в 1925 г. в Москве под руководством проф. И.М. Филатова и в Ленинграде под руководством проф. В.В. Охотина. Уже в этот период научной основой разрабатываемых методов явились принципы всестороннего учета и максимального использования особенностей грунтов, обуславливаемых его гранулометрическим и химико-минералогическим составом.

Успешному развитию технической мелиорации способствовало учение К.К. Гедройца, работы П.А. Земятченского, С.С. Морозова, В.М. Безрука и их учеников. В 1928 г. вышла одна из первых специальных работ по термообработке грунтов «Улучшение глинистых грунтовых дорог обжигом» (М.М. Филатов). Исследования по вопросам прогрева грунтов проводились в лабораториях ДорНИИ (позднее СоюзДорНИИ) [18, 252], САДИ [123]. Разработка теоретических основ обжига грунтов началась в крупных научных подразделениях: НИИСК Госстроя СССР, НИИОПС, ГПИ Фундаментпроект, МИСИ им. В.В. Куйбышева, ХабИИЖТ и др.

В результате исследований были предложены способы и устройства, дающие возможность проводить термическое укрепление грунтов не только на поверхности, но и в массиве. При этом под поверхностным укреплением подразумевалась термообработка грунтов с нарушенным строением, а под глубинным - с ненарушенным.

В 30 – 40 годах появились первые машины для поверхностной термообработки грунтов. Это подвижная газогенераторная печь (Ирвин, 1931 г.),

					Обща часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

машина для электроплавления (Н.В.Буров, 1933 г.), комбайн для обжига (С.С. Бекнев, 1934 г.). Имеются сведения об изобретениях и экспериментальном обжиге грунтовых поверхностей в США (1932 г.), Германии (1949 г.) и др. Несмотря на ряд конструктивных отличий, эти устройства объединяли общие признаки. Машины медленно перемещались по поверхности дороги, обжигая грунт топливными горелками, расположенными под теплоизолирующим кожухом. Термообработка грунта велась до спекания, вглубь от дневной поверхности на толщину 3...5 см.

Первые исследования и разработка способа глубинного укрепления грунтов ненарушенной структуры были начаты в 1934 г. П.А. Осташевым. В 1947 г. И.М. Литвинову выдано авторское свидетельство на изобретение (№ 95592) нового способа глубинного упрочнения грунтов, получившего наибольшее распространение в практике жилищного и промышленного строительства. В разработке этого способа укрепления участвовали сотрудники ЮжНИИ- ИПС А.Б. Беляков, П.К. Черкасов и др.

С 1928 г. начаты систематические исследования по искусственным пористым заполнителям, в первую очередь, керамзиту, а также аглопориту, вспученному перлиту и т.л. Примерно в это же время опубликованы теоретические работы, объясняющие структуру и свойства стекол: гипотеза Лебедева (1921 г.), гипотеза Захариансена (1932 г.). Организуется Государственный экспериментальный институт стекла (1930 г.)

Анализируя результаты второго этапа развития методов термического укрепления грунтов, можно сделать ряд выводов.

1. Исследования вышли на новый качественный уровень. Были созданы крупные научные подразделения, работающие в рассматриваемом направлении. Можно констатировать, что появилось направление науки, изучающей причины и следствия происходящих явлений.
2. Направления экспериментальных и теоретических исследований значительно расширились. К традиционным направлениям по штучным керамическим изделиям добавились новые: термообработка грунтов с

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

ненарушенной структурой (глубинное упрочнение), производство искусственных обжиговых заполнителей и т.п.

3. Экспериментальные работы были перенесены на строительную площадку. Появились первые средства механизации работ по обжигу грунтов. Возросла производительность технологических процессов.

4. Для нагрева грунтов стали широко использовать нефтепродукты и газовые топлива. Появились специальные нагревательные устройства (форсунки, горелки) и тепловые генераторы.

5. В относительно короткий промежуток времени был создан значительный научно-технический задел для дальнейшего развития науки и практики по термическому укреплению грунтов в строительстве.

Конец 50-х годов можно считать началом третьего – сегодняшнего этапа развития рассматриваемой проблемы.

Этот этап характеризуется дальнейшим углублением теоретических познаний в области термических преобразований различных силикатных систем. Появились новые высокопрочные стекловидные силикатные материалы: ситалл (1957 г., МХТИ им. Д.И. Менделеева); пирокерам - в США; витрокерам - в Германии; девитрокерам - в Японии. Открытие метода направленной кристаллизации стекла оценивается специалистами как одно из важных достижений XX в.

В 1950 г. создан Институт химии силикатов АН СССР. В стране появились первые заводы по выпуску керамзитового гравия (1956 г.), аглопорита (1959 г.), вспученного перлита (1960 г.) [32]. В 1965 г. СССР вышел на первое место в мире по производству керамзита.

В 60-е годы в стране оформились крупные коллективы научных сотрудников, успешно работающих в области создания и совершенствования разнообразных методов укрепления грунтов. Значительную координирующую и информационную роль стали играть всесоюзные совещания по закреплению и уплотнению грунтов [90-92, 142-146]. Началось производственное внедрение глубинного термоупрочнения лёссовых грунтов

(И.М. Литвинов). Для термообработки грунтов все чаще стали применять электронагревательное оборудование (Д.С. Слободкин - 1959 г., Г.Д. Чупрунов, Р.Г. Погасни - 1965 г., А.С. Трегуб - 1975 г.). Достигли высокого уровня развития и конструктивного исполнения топливные горелки, были разработаны новые способы обжига грунтов.

В 1959 г. вышла в свет монография по высокочастотному нагреву материалов. В этой работе обобщены результаты исследований с 30-х годов и показана принципиальная возможность термообработки грунтов 134- и СВЧ-нагревом. Планомерные работы в этой области ведутся в Ленинградском НИИТВЧ. В 1971 г. В.С. Шibaевым получено авторское свидетельство на способ термоупрочнения грунтов в СВЧ-поле. С 1980 г. на кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ по инициативе Е.М. Сергеева и под руководством Л.В. Гончаровой ведутся исследования по СВЧ – нагреву грунтов. Анализ литературных данных, а также наши исследования показали, что воздействие на грунты СВЧ–энергией является перспективным способом термоупрочнения. Вместе с тем, использование этого способа сопряжено со значительными трудностями.

Каждый из этапов развития методов термоупрочнения грунтов характеризуется качественной заменой источников тепловой энергии. Третий этап характеризуется постепенным вытеснением топливосжигающих устройств (горелок, форсунок) электротермическими установками. Это объективный процесс. Во–первых, во всем мире происходит закономерное снижение использования ценного химического сырья ~ газа и нефтепродуктов - как топлива. Растет производство электроэнергии за счет АЭС и ТЭС, сжигающих угли низкого качества. Так, доля АЭС в выработке электроэнергии составляет: в США - 21 %, во Франции - 65 %, в Швеции - 40 %, в России - 20 %. Во-вторых, ожидать каких-либо выдающихся идей, научных находок большой значимости, оригинальных технических решений в области традиционных способов сжигания газовых и жидкотопливных систем не приходится. Созданные в свое время крупные научные центры по

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

жидкостным и газовым горелкам во Франции, Голландии, ФРГ прекратили свое существование из-за отсутствия заказов. Теоретический и практический температурный предел длительной и стабильной работы горелок оптимальной конструкции не превышает 2700–3000 К. Величина удельного теплового потока этих горелок недостаточна для ускорения процессов термической обработки грунтов.

Электротермические устройства обладают целым рядом преимуществ по сравнению с установками пламенного нагрева: возможностью концентрации большой мощности в малом объеме; получением более высоких температур; лёгкостью регулирования температурного режима; возможностью герметизации рабочего пространства; удобством механизации и автоматизации работы установок; улучшением условий труда; компактностью оборудования.

Отмеченные преимущества электронагрева позволили довести температуру грунта до стадии расплава уже при первых экспериментах (1959 г.) непосредственно на строительной площадке.

Таким образом, на протяжении третьего этапа вопросы термического укрепления грунтов получили дальнейшее развитие в направлении реализации результатов фундаментальных исследований в эффективные строительные технологии, основанные на электротермических способах воздействия. Это позволяет интенсифицировать процессы термообработки грунтов, внедрять средства автоматизации, создавать компактное, экологически безопасное, энергосберегающее оборудование и технологии.

## **1.2 Современные технологии термического укрепления грунтов**

Закрепление грунтов — это искусственное изменение строительных свойств грунтов различными физико-химическими способами. Такое преобразование обеспечивает увеличение их прочности, устойчивости, уменьшение сжимаемости и водонепроницаемости.

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25



Существует два основных способа закрепления грунтов: поверхностное и глубинное.

Поверхностное закрепление выполняют на глубину до 1 м. При этом способе грунт предварительно разрыхляется, перемешивается с закрепляющими материалами (вяжущие, цемент, известь и др.) и затем уплотняется.

Глубинное закрепление предусматривает обработку грунтов без нарушения их естественного сложения путем инъекции закрепляющих материалов, термообработки и замораживания, с использованием предварительно пробуренных скважин, шпуров или забиваемых иньекторов. Инъекцию производят с использованием вяжущих, силикатных материалов и смол.

### **Методы глубинного укрепления грунтов**

Для повышения несущей способности грунтовых оснований применяют следующие способы искусственного закрепления грунтов:

- 1) Химический (цементация, битумизация и смолизация)
- 2) Термический
- 3) Искусственное замораживание
- 4) Электрический
- 5) Электрохимический
- 6) Механический

**Химическое закрепление грунтов** инъекцией в строительстве в настоящее время осуществляется способами силикатизации, смолизации и цементации. Наиболее распространенная и популярная из технологий по закреплению грунтов – это цементация.

**Цементация** — это процесс нагнетания в грунт жидкого цементного раствора или цементного молока по ранее забитым полым сваям. Цементация применяется для закрепления крупно- и среднезернистых песков, трещиноватых скальных пород путем нагнетания в грунт цементного раствора через иньекторы. В зависимости от размера трещины и пористости песка применяют суспензию с отношением цемента к воде от 1:1 до 1:10, а

также цементные растворы с добавками глины, песка и других инертных материалов. Радиус закрепления грунтов составляет в скальных грунтах — 1,2-1,5 м, в крупных песках — 0,5-0,75 м, в песках средней крупности — 0,3 – 0,5 м. Цементацию производят нисходящими зонами; нагнетание прекращают при достижении заданного поглощения или когда снижение расхода раствора достигнет 0,5 л/мин в течение 20 мин при заданном давлении.

При **горячей битумизации** в трещины породы или в гравийно-гравелистый грунт нагнетают через скважины горячий битум, который, застывая, придает грунтам водонепроницаемость. При **холодной битумизации**, в отличие от горячей, нагнетают 35 – 45 – процентную тонкодисперсную битумную эмульсию. Способ используется для очень тонких трещин в скальных грунтах, а также для уплотнения песчаных грунтов

**Смолизацию** применяют для закрепления мелких песков и выполняют путем нагнетания через иньекторы в грунт смеси растворов карбамидной смолы и соляной кислоты.

**Силикацией** закрепляют песчаные и лессовые грунты, нагнетая в них химические растворы. Через систему перфорированных трубок–иньекторов в грунт последовательно нагнетаются растворы силиката натрия и хлористого кальция. Получающийся в результате реакции гель кремниевой кислоты придает грунту значительную прочность и водонепроницаемость.

**Термическое закрепление** является результатом сжигания топлива (газообразного, жидкого, сжиженных газов) непосредственно в скважинах, пробуренных на всю глубину закрепляемого грунта. Закрепление грунта в скважине происходит под действием пламени, а в теле массива – от раскаленных газов, проникающих сквозь поры грунта. В результате вокруг скважины образуется столб обожженного грунта, диаметр которого зависит от продолжительности обжига и количества топлива. Этим способом можно

закрепить грунты и устранить их просадочность на глубину до 15 м, доведя прочность в среднем до 1 МПа.

**Искусственное замораживание** грунтов является универсальным и надежным методом временного закрепления слабых водонасыщенных грунтов. Сущность данного метода заключается в том, что через систему замораживающих скважин, расположенных по периметру и в теле будущей выработки, пропускается хладоноситель с низкой температурой, который, отнимая от окружающего грунта тепло, превращает его в ледогрунтовый массив, обладающий полной водонепроницаемостью и высокой прочностью. В зависимости от вида хладоносителя различаются два способа замораживания: рассольный и сжиженным газом. В первом случае рассол хладоноситель представляет собой высококонцентрированный раствор хлористого кальция или натрия, предварительно охлажденный в испарителе холодильной машины до температуры минус 25° С. В качестве хладагента в холодильных машинах используются аммиак, фреон или жидкий азот. Во втором случае в качестве хладоносителя сжиженных газов используется главным образом жидкий азот, имеющий температуру испарения минус 196° С.

**Электрическим способом** закрепляют влажные глинистые грунты. Способ заключается в использовании эффекта электроосмоса, для чего через грунт пропускают постоянный электрический ток с напряженностью поля 0,5-1 В/см и плотностью 1-5 А/кв.м. При этом глина осушается, уплотняется и теряет способность к пучению.

**Электрохимический способ** отличается от предыдущего тем, что одновременно с электрическим током через трубу, являющуюся катодом, в грунт вводят растворы химических добавок (хлористый кальций и др.). Благодаря этому интенсивность процесса закрепления грунта возрастает.

**Механический способ** укрепления грунтов имеет следующие разновидности: устройство грунтовых подушек и грунтовых свай, вытрамбовывание котлованов и др.

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Устройство **грунтовых подушек** заключается в замене слабого грунта основания другим, более прочным, для чего слабый грунт удаляют, а на его место насыпают прочный грунт и послойно утрамбовывают. При устройстве **грунтовых свай** в слабый грунт забивают сваю–лидер. В полученную после извлечения этой сваи скважину засыпают грунт и послойно уплотняют.

**Вытрамбовывание** котлованов осуществляется с помощью тяжелых трамбовок, подвешенных на стреле башенного крана. Этот способ менее сложен, чем способ грунтовых подушек, поскольку не требует замены грунта основания. Также уплотнение котлованов значительных размеров может осуществляться гладкими или кулачковыми катками, трамбуемыми машинами, виброкатками и виброплитами.

### 1.3 Предпосылки развития поверхностного термического укрепления грунтов

Первые экспериментальные работы по поверхностному укреплению грунтов на строительной площадке были осуществлены в транспортном строительстве около 100 лет назад. Попытки длительного сжигания дров и угля на поверхности уплотненного земляного полотна показали, что этот способ не дает ощутимых положительных результатов. Поверхность покрылась сеткой трещин с толщиной корки обожжённого грунта не более 3...4 см.

После сгорания топлива и остывания поверхности (2...4 дня) обожжённый материал засыпался в канавы, разравнивался и дробился при уплотнении. Глинистые грунты обжигались в кучах и напольных печах разнообразной конструкции.

В одной из первых работ в области термического укрепления грунтов В.М. Безрук установил, что в результате обжига в глинистом грунте увеличивается содержание песчаных фракций за счёт сокращения глинистой составляющей. Было установлено, что гранулометрические изменения в обрабатываемых грунтах заканчиваются при обжиге до 800 К. Дальнейшее повышение температуры не меняет гранулометрию, но приводит к

окончательному разрушению поглощающего комплекса. М.М. Филатов предложил определенную терминологию, характеризующую степень обжига глинистых грунтов: «опесочивание» и «окирпичивание» грунта.

Попытки механизированной обработки грунтов непосредственно на земляном полотне не прекращаются до настоящего времени. При этом обжигались как плотные, так и рыхлые поверхностные слои.

Первая российская обжигательная машина состояла из шести звеньев общей протяженностью около 20 м и передвигалась по рельсам со скоростью от 10 до 40 м/сут. Обжиг производился форсунками, подававшими нефть в топочную камеру. В обеих машинах поверхность грунта нагревалась примерно до 1300 К. Обожженная поверхность представляла собой окирпиченный растрескавшийся слой толщиной 3...5 см, подстилаемый слоем опесоченного грунта.

#### **1.4 Перспективность использования СВЧ–технологии для изготовления термогрунтовых плит.**

Перспективность термического укрепления обуславливается его технической, экономической и экологической эффективностью. Важным преимуществом этого метода является низкая материалоемкость получаемых конструкций, так как сырьём для их изготовления служит местный грунт, на обработку которого затрачивается сравнительно небольшое количество энергетических ресурсов.

За прошедшие годы разработано множество способов термического укрепления грунтов, но подавляющее большинство из них осталось на уровне изобретений. Несмотря на ряд очевидных преимуществ и достоинств, термическое укрепление грунтов непосредственно на строительной площадке пока не вышло за рамки экспериментального строительства оснований зданий и сооружений, возводимых на грунтовых массивах, сложенных из макропористых лёссовых грунтов с высокой газопроницаемостью и низкой влажностью.

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Широкому использованию термического укрепления грунтовых оснований, прежде всего, препятствует неоднородность, малая теплопроводность и большая теплоёмкость грунтов. Недостаточно изучены сложные физико-химические процессы, сопровождающие термическое воздействие на грунт, особенности структурообразования и формирования физико-механических свойств термогрунта. Дополнительные трудности создаёт многообразие видов грунтов, представляющих полиминеральные конгломераты с изменяющимся химико-минералогическим составом и свойствами. Результаты исследований по рассматриваемой проблеме разрознены, иногда противоречивы, и объединены общей методикой, что затрудняет их сравнительный анализ и научное обобщение.

Одной из важных нерешенных задач является создание мобильных автономных механизмов, оснащённых мощными и надёжными источниками термического воздействия на грунт.

### **1.5 Анализ методов технической мелиорации грунтов при сооружении нефтегазовых объектов**

Вместе с разработкой новых методов улучшения свойств грунтов совершенствовалась их классификация. Согласно Б.А Ржаницину, Л.В Гончаровой, С.Д Воронкевичу методы технической мелиорации классифицированы в зависимости от направленности искусственного изменения грунтов, типов, инженерно-геологических особенностей и свойств пород, области применения, что позволило выбирать конкретный метод в соответствии с конкретными условиями строительства.

Разработкой мероприятий, направленных на улучшение строительных свойств грунтов с целью повышения эксплуатационной надёжности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа, занимались коллективы ВНИИСТА, ВНИИГАЗа, УГНТУ, ЮжНИИгипрогаза, Гипротюменьнефтегаза, НИИОСПа, канадской компании "NOVA" и др., в числе учёных необходимо отметить В.Е Полякова, В.П Черния, М.В Андреичева, С.К Рафикова, В.А

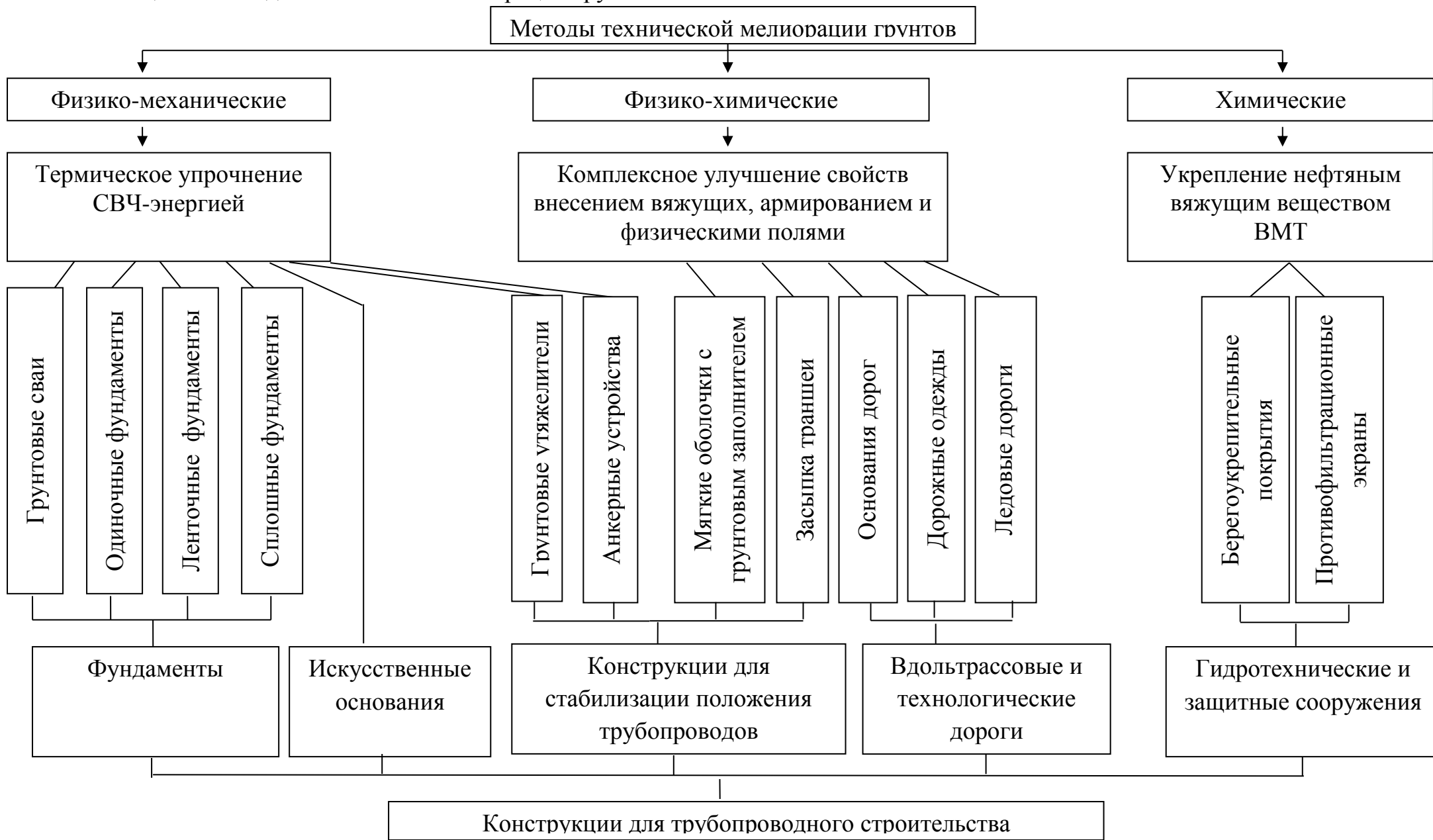
					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Ильина, Г.В, Г.В Ничевилова, П.А Коновалова, С.Н Стрижкова, С.Л Куперуайт.

В результате анализа теории и практики применения грунтов с улучшенными свойствами при сооружении объектов трубопроводного транспорта нефти и газа авторами, а это Ю. И Спектор, Л.А Валеев, Л.А Бабин, были выделены основные виды конструкций для трубопроводных систем и предложена классификация методов технической мелиорации. в соответствии с которой определены области применения каждой разновидности методов технической мелиорации грунтов для конструкций различного функционального назначения.

Проанализировав которую мною был поставлен акцент на изучении физико-механических методов термического упрочнения СВЧ–энергией, в результате применения которой мы можем получать готовые продукты в виде грунтовых свай, одиночных, ленточных, сплошных фундаментов и анкерных устройств для стабилизации положения магистральных трубопроводов.

Таблица 1 – Методы технической мелиорации грунтов





В соответствии с данной классификацией определены области применения каждой разновидности методов технической мелиорации грунтов для конструкций различного функционального назначения.

Таким образом, актуальность диссертационной работы заключается в дальнейшем развитии экспериментально–теоретических положений и практических рекомендаций в области новой технологии применения СВЧ–поля при сооружении объектов трубопроводного транспорта с целью изготовления термогрунтовых плит.

Основная идея работы состоит в повышении эффективности строительства оснований зданий и сооружений с использованием технологии использования СВЧ - поля при термическом укреплении грунтов за счёт управления интенсивным высокотемпературным потоком СВЧ - энергии на разных этапах технологического процесса.

Объектом исследования является технология применения мобильных СВЧ установок с целью изготовления термогрунтовых плит для стабилизации положения трубопроводов, под основания зданий и сооружений, изготовление плит для дорожных одежд.

Предметом исследования являются параметры технологического процесса термического укрепления приготовленной грунтовой массы с помощью мобильной СВЧ - установки.

### **1.6 Анализ геолого-литологического строения площадки**

Геолого-литологическое строение площадки УКПГ очень сложное. В обобщённом плане центральная часть рассматриваемой территории сложена твёрдыми – полутвёрдыми суглинками с различным содержанием обломочного материала разной крупности, с западной и восточной сторон сложена песками разной крупности, гравием, галечником, галечником с песчаным заполнителем различного содержания.

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

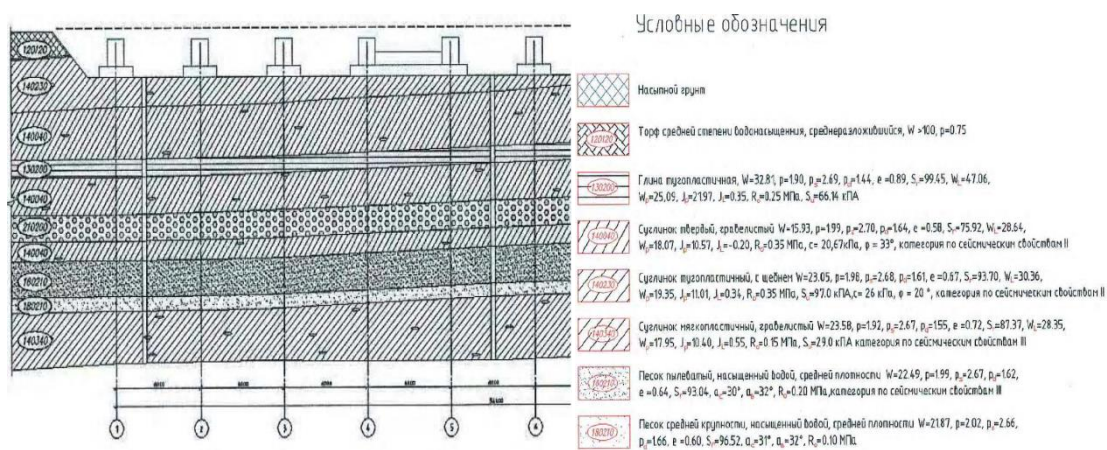


Рисунок 1. Геолого-литологическое строение площадки

В геологическом строении площадки УКПГ, в пределах изученной глубины 15 м, участвуют в верхней части инженерно-геологических разрезов отложения, представленными торфами, гравийными грунтами, суглинками и глинами, от полутвёрдой до мягкопластичной консистенции, часто гравелистыми (дресвяными), иногда с примесью органических остатков. Изредка встречается супесь пластичная, с гравием. Песок пылеватый (иногда крупный) плотный и средней плотности, влажный, чаще водонасыщенный. Мощность отложений - до 4,0 м.

Ниже по разрезу залегают переслаивающиеся песчано-глинистые отложения, с прослоями гравийно-галечниковых грунтов. В основании разреза – аргиллиты – выветрелые, сильнотрещиноватые, относящиеся по механическим свойствам к полускальным породам. Падение слоёв юго-восточное, с углами падения до  $10^\circ$  С. Глины и суглинки полутвёрдые, туго- и мягкопластичные. Супесь пластичная гравелистая.

Глубина слоя сезонного промерзания грунтов изменяется в пределах площадки от 2,0 м до 3,0 м. По степени морозной пучинистости и относительной деформации пучения насыпные пески пылеватые относятся к сильнопучинистым, остальные грунты от слабопучинистых до среднепучинистых.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Гидрогеологические условия в границах УКПГ также сложные. В центральной части площадки уровни грунтовых вод фиксируются на глубинах 10,0...12,0 м и глубже. На остальной части площадки грунтовые воды залегают на меньших глубинах и зачастую приобретают напорный характер с величиной напора до 4,0... 5,0 м. Характерно также появление выходов в форме родников, заболоченностей с ручейками по периметру платообразной центральной части. Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к бетону – слабоагрессивная, по отношению к стали преимущественно низкая.

					Общая часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

## Глава 2. Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии

### 2.1. Изменение фазового состава грунтов при термическом воздействии СВЧ–поля

Под структурой грунта принято понимать пространственную организацию компонентов грунта, характеризующуюся совокупностью морфологических (размер, форма частиц, их количественное соотношение), геометрических (пространственная композиция структурообразующих элементов) и энергетических признаков (тип структурных связей и общая энергия структуры), определяющуюся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов грунта.

В.С Подьяконов выделяет шесть характерных зон термического воздействия при упрочнении лессовых грунтов: прогрев (до 470 К), потеря пластичности (до 670 К), начало дегидратация (до 970 К), дегидратация и декарбонизация (до 1270 К), спекание (до 1370 К), плавление (свыше 1370 К). Им так же отмечалось, что температурные границы выделенных зон не имеют точных значений.

Л.В Гончарова в ранних работах выделяла три стадии термического воздействия: прогрев (до 870 К), обжиг (до 1270 К), клинкерование (более 1270 К). А в более поздних работах выделяет четыре термозоны: сушка (до 470 К), прогрев (до 870 К), обжиг (до 1370 К), плавление и остеклование (свыше 1370 К).

Б.Н Виноградов предлагает более детальное подразделение фазовых превращений, происходящих при обжиге глинистых пород.

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии			
Изм..	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Синтко А.С			Общая часть	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Богданов А.Л					37	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.		Рудаченко А.В.						

Анализируя основные этапы физических и физико-химических превращений, происходящих в грунтах при интенсивном СВЧ–нагреве, принимая во внимание ранее опубликованные работы мною были рассмотрены шесть основных стадий термической обработки и физико-химических преобразований грунтов.

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Таблица 2 – Стадии термической обработки грунтов

№ Стадии	Условное наименование стадии	Наиболее значимые фазовые превращения	Границы превращений (К) при нагреве		
			< 10	10 – 500	> 500
1	Осушение (дегидратация)	Удаление свободной воды Удаление физически связанной воды Начало разложения кристаллогидратов и гидроокислов	310 – 520	330 – 620	360 – 7200
2	Нагрев минеральной части (дегидроксиляция)	Полное разложение кристаллогидратов и гидроокислов Удаление влаги всех видов Начало аморфизации глинообразующих минералов Удаление органических соединений Начало твердофазного и жидкофазного взаимодействия процессов	470 – 930	570 – 1070	670 – 1270
3	Обжиг минеральной части (спекание)	Аморфизация глинообразующих минералов Спекание твёрдофазное Спекание с участием твёрдой фазы Диссоциация карбонатов Начало кристаллизации высокотемпературных новообразований Полиморфные превращения Газообразование и газовыделение	870 – 1470	970 – 1570	1170 – 1670

Продолжение таблицы 2.

4	Плавление (аморфизация)	Интенсивная аморфизация с переходом основной части веществ в жидкое состояние Частичное растворение высокотемпературных кристаллических фаз и рекристаллизация Полиморфные превращения Газовыделение и поризация расплава	1370 – 1870	1470 – 1920	1570 – 1970
5	Нагрев и гомогенизация расплава	Переход всех фаз в жидкое состояние Гомогенизация и дегазация расплава Испарение расплава с конденсацией новообразований	1770 – 2370	1820 – 2420	1870 – 2470
6	Охлаждение и твердение расплава	Переход жидкой фазы в твёрдую с кристаллизацией и образованием стекловидного вещества	2370 – 2900	2420 – 2900	2470 – 2900

Способы передачи энергии для термического воздействия на щиты могут быть различными, однако рациональные параметры такого воздействия будут одинаковыми и зависеть от протекающих в породах процессов. В результате многообразия физико–химических явлений, имеющих место в период термообработки, грунты различного состава и структурно-текстурных особенностей частично или полностью изменяют свои свойства. При этом резко возрастают трение и сцепление, теряются пластичные и просадочные свойства при замачивании, по прочности грунт становится подобным кирпичу или искусственному камню.

Превращения грунтов при нагревании можно разделить на четыре фала: низко– и высокотемпературные дегидратации, перестройка кристаллической решетки и высокотемпературные изменения. Для глинистых минералов при высоких температурах характерны различные фазовые переходы, связанные с потерей воды в различных ее видах, разрушением кристаллической решетки, образованием полиморфных соединений.

Физико–химические превращения грунтов при изменении температуры сопровождаются выделением (экзотермический эффект) или поглощением (эндотермический эффект ) тепла. Эндотермические – или экзотермические эффекты отвечают фазовым превращениям или химическим реакциям: диссоциация – разложение твердого вещества с выделением газообразной фазы, дегидратация – реакция выделения молекул воды из структуры химического соединения, разрушение кристаллической решётки. На этом основано проведение дифференциального термического анализа грунтов.

Нагрев в СВЧ-поле вызывает фазовые переходы компонентов грунта и приводит к формированию термозон, для пылеватых и глинистых грунтов выделены термозоны, установлены соответствующие им температуры и характерные процессы ( табл. 2 ). В (1) зоне происходит потеря свободной воды. Во (2) зоне отмечается укрупнение и уплотнение агрегатов грунта за счет изменений глинистой фракции. Основные метаморфозы состава и свойств грунта происходят

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41



в (3) и (4) зонах, где наблюдается образование фазовых контактов за счет остеклования.

В соответствии с выделенными термозонами отмечается изменение минерального состава грунтов в результате фазовых превращений. С увеличением температуры в грунте возрастает содержание кварца, уменьшается содержание других, в первую очередь глинистых минералов, образуются новые минералы: оливин, псевдомулит, кремнезёмная шпинель, что обуславливает существенное изменение физико-механических свойств термообработанных грунтов.

В результате диссоциации карбонатов при температурах 400 – 900° С изменяется рН, например, для глины от 6,0 для исходных образцов до 10,0 для обожженных при температурах 950 – 1000 °С, вследствие образования окисей MgO и CaO среда из кислой становится щелочной. Избыточное содержание карбонатов негативно сказывается на прочности и структуре термоупрочненных грунтов. При температурах свыше 1000 °С происходит связывание и уменьшение рН до 7,6.

В интервале температур 350 – 700 °С происходит сгорание органических веществ, продукты окисления которых удаляются до аморфизации глинистых минералов. При температурах 400 – 500° С имеет место окисление сульфидов, присутствующих в форме пирита FeS, причём освобождающаяся сера может реагировать с окислами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> что обуславливает черный цвет в центральной части обожженных образцов грунта.

При термообработке грунтов весьма существенное значение имеет изучение процесса дегидратации. При температурах 100 – 300 °С происходит потеря свободной и частично связанной воды с одновременным изменением объема грунта (усадкой). В интервале температур 450 – 900°С имеет место удаление гидроксидов (потеря OH – групп), которое сопровождается разрушением кристаллической решетки глинистых минералов, плавлением глинистого вещества и образованием стеклообразной фазы. Монтмориллонит при 650° С полностью обезвоживается и разлагается с образованием окислов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>, которые при 950° С образуют кремнеземистую шпинель. Дегидратация каолинита идет по следующей схеме: при 450 °С образуется метакаолинит, переходящий при 925° С в кремнеземистую

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

шпинель. При темпах 1000° С и более образуются оливин и фаялит. Новые минералы образуют прочную и водостойкую структуру, для разрушения образовавшихся фазовых контактов которой нужны температуры порядка 2000° С.

С изменением минерального состава грунта связаны изменения структуры и микроструктурных особенностей, которые изучались на основании данных анализа изображений шлифов, полученных на электронном микроскопе при увеличении, в 250, 1000 , 5000 раз. В результате термообработки грунтов в СВЧ–поле наблюдались существенные изменения пористости, среднего диаметра пор и плотности образцов грунта. Нагрев суглинка до температур 350° – 500 °С приводит к увеличению пористости и среднего диаметра пор в результате дегидратации и начинающегося разрушения кристаллической решетки, особенно минералов каолининовой группы что вызывает снижение плотности на 5,0 - 6,5 % по сравнению сводной. При дальнейшем нагреве до 1000 °С пористость и средний диаметр пор уменьшаются, отмечается преобразование минералов, происходит остеклование грунтовой массы за счет образования кремнеземистой шпинели, в результате объемной усадки образцов грунта имеет место увеличение плотности на 4,0 - 4,5 % по сравнению с исходной.

Неуплотненный грунт нарушенной структуры после обжига имеет низкую прочность и не обладает водо– и морозостойкостью. Уплотнение грунтов нарушенной структуры давлением до 0,5 МПа позволяет значительно улучшить их свойства, доведя прочность при сжатии до 6,3 МПа, коэффициент водоустойчивости до 0,97, коэффициент морозоустойчивости до 0,96.

Изменение минерального состава и структуры грунтов при термообработке в СВЧ–поле приводит к существенному возрастанию прочностных характеристик грунтоматериалов, приданию им водо – и морозостойкости. Нагрев грунта до температур свыше 600 °С, вызывающий образование стеклообразной фазы и фазовых контактов, обуславливает возрастание прочности при сжатии образцов глины по сравнению с исходным состоянием в 12,9 раза, коэффициенты водо – и морозостойкости достигают соответственно 0,31 и 0,55. Наиболее высокие характеристики термоупрочненных грунтов имеют место для образцов, нагретых до

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

температур 950 – 1000 °С, когда завершается преобразование основных глинистых минералов и формирование фазовых контактов, прочность при сжатии глины по сравнению с исходным состоянием увеличивается в 48 раз, коэффициенты водо – и моро – стойкости достигают соответственно 0,97 и 0,996. Аналогично возрастают прочность при изгибе и сцепление термоупрочненных грунтов.

В результате термообработки в СВЧ–поле лессы приобретают водостойкость и непросадочность, глинистые грунты теряют набухаемость и склонность к пучению, переувлажненные пылевато-глинистые грунты стабилизируются.

Рассмотрим влияние исходных свойств грунтов на эффективность их термоупрочнения в СВЧ–поле. Влияние дисперсности грунтов заключается в следующем. Чем выше дисперсность, т.е чем больше содержание частиц глинистой фракции, размер которых менее 0,001 мм, тем выше эффективность упрочнения грунта. Соответственно глины, дисперсность которых выше (см. табл. 3), обладают значительно более высокими прочностными свойствами.

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Таблица 3 – Физико–механические характеристики термоупрочнённых грунтов

Наименование грунта	Термо – зоны	Температура нагрева, °С	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа		
				воздушно – сухих образцов	Водона – насыщенных образцов	После 12 циклов замораживания – оттаивания образцов
1) Сулинок (г. Уфа)	1	300 – 500	1720	0,39	0,03	0
	2	500 – 800	1830	2,40	1,97	1,09
	3	800 – 1000	1920	6,30	6,11	5,89
2) Супесь (Грузия)	3	800 – 850	1570	2,70	0,68	0
3) Глина (Московская обл)	3	950 – 1000	1710	15,70	13,45	10,0
4) Глина (г. Давлеканово)	3	950 – 1000	1560	23,50	22,70	22,6
5) Лесс (г. Душанбе)	2	400 – 600	1340	3,30	2,76	0
6) Песок (Сургут)	3	800 – 1000	1540	0,23	0	0

Вместе с тем дробление грунтов, обеспечивающее измельчение крупных фракций и не снижающее агрегированность тонкодисперсной части, способствует увеличению дисперсности, повышению поверхностной активности частиц и может рекомендоваться для повышения эффективности термозакрепления.

Минеральный состав грунтов оказывает определяющее влияние на эффективность их упрочнения в СВЧ–поле. Глинистые минералы, в первую очередь монтмориллонит и смешано – слойные гидрослюдистомонтмориллонитовые, при температурах свыше 900 °С расплавляются с образованием стекловидного вещества, т. е. переходят в

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

состояние, обеспечивающее высокую прочность, водо– и морозостойкость образующегося грунтоматериала.

Расплавленные глинистые минералы заполняют поровое пространство материалом, который при охлаждении застывает в виде стекла. При достаточно продолжительном обжиге заполняется все поровое пространство. В процессе обжига и последующего остывания происходит усадка грунтоматериала, на величину которой оказывает влияние гранулометрический и химико–минеральный состав грунта. Образование жидкой фазы обуславливает создание фазовых контактов за счет последующего остеклования ( спекания ). Сначала спекание идет в отдельных точках, при дальнейшем увеличении температуры за счет увеличения объема стеклообразного вещества идет всеобщее образование фазовых контактов.

Весьма существенное влияние на физико–механические характеристики термоупрочненных грунтов оказывает их исходная влажность. Очевидно, что при оптимальной влажности  $W = 22 \%$  образцы термоупрочненного суглинка имеют максимальные прочность, водо – и морозостойкость.

В соответствии с полученными характеристиками термоупрочненных грунтов можно рекомендовать при изготовлении грунтовых блоков температуру обжига  $950 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , при изготовлении свай ТУГС и термоупрочненных грунтовых фундаментов температуру обжига  $800 - 1100^\circ\text{C}$ , при борьбе с морозным пучением и просадочностью основания температуру термообработки  $300 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Глины и суглинки, благодаря высокой дисперсности и присутствию термореактивных глинистых минералов, весьма эффективно использовать для получения грунтоматериалов путем обработки в СВЧ–поле, так как они приобретают значительные прочность, водо– и морозостойкость. Снижение эффективности термоупрочнения для лессов отмечается в результате низкой агрегированности тонкодисперсных частиц и в присутствии значительного количества карбонатов. Супеси и в особенно пески вследствие преобладания кварца и низкого содержания глинистых минералов использовать при

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

термообработке в СВЧ – поле неэффективно. Эффективность термоупрочнения повышается в присутствии железа, щелочей, щелочно–земельных элементов, которые играют роль флюсов и могут присутствовать в виде компонентов глинистых минералов, адсорбированных ионов или в качестве примесей. При этом снижается температура плавления глинистого вещества, улучшается образование стекловидной фазы.

Для понижения температуры обжига и уменьшения энергозатрат также возможно повышение дисперсности грунтов за счёт механического дробления, добавки пластификаторов.

## **2.2 Расчёт тепловых режимов обработки грунтовых массивов СВЧ – полем**

Целью расчётов является определение температурных распределений в грунтовых массивах, подверженных воздействию СВЧ – поля, продолжительности термообработки и энергозатрат.

Пусть  $t$ ,  $W$ ,  $p$  – соответственно поля температуры грунта, его влажности и давления парогазовой смеси в порах. Процесс термообработки грунтового массива можно разделить на три этапа:

- 1) Погрев, всё подводимое тепло затрачивается на нагрев грунта, температура которого возрастает от  $t_0$  до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , влажность и давление остаются постоянными:  $W = W_0$ ,  $P = P_0$ , где  $t_0$ ,  $W_0$ ,  $P_0$  – начальные значения температуры, влажности и давления соответственно;
- 2) Сушка, все подводимое тепло затрачивает на испарение содержащейся в грунте влаги, температура грунта остается постоянной  $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$ , влажность уменьшается от  $W_0$  до  $0$ , давление в результате интенсивного испарения влаги может значительно превышать  $P_0$ ;
- 3) Обжиг, все подводимое тепло затрачивается на нагрев грунта, температура которого возрастает от  $100\text{ }^\circ\text{C}$  до  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ , влажность постоянна  $W = 0$ , давление в результате переноса пара постепенно снижается и возвращается к исходной величине  $P_0$ .

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист. 47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Нагрев грунта обусловлен выделением в нем тепла в результате лишения энергии электромагнитных колебаний.

Величина тепловой энергии, выделяющейся в единицу времени в единице объёма диэлектрика, может быть определена по форму

$$q_v = 0,555 \cdot 10^{-14} e'_M \operatorname{tg} \delta_M f E_M^2 = 0,555 \cdot 10^{-14} e''_M f E_M^2 \quad (1)$$

где:  $e'_M, e''_M$  – действительная и мнимая составляющие комплексной диэлектрической проницаемости материала  $e_M = e'_M - j e''_M$ ;

$e_M$  – диэлектрическая проницаемость;

$\delta_M$  – угол диэлектрических потерь;

$f$  – частота электромагнитного поля;

$E_M$  – напряжённость электрической составляющей электромагнитного поля в диэлектрике, В/м.

Напряжённость электромагнитного поля в грунтовом массиве в зависимости от расстояния до его поверхности  $\chi$  изменяется по экспоненциальному закону.

$$E_M = E_{M0} e^{-\frac{\chi}{\Delta E}} \quad (2)$$

где  $E_{M0}$  – напряжённость электрической составляющей электромагнитного поля на поверхности массива грунта, В/м;

$\Delta E$  – глубина термообработки;

Очевидно, что тепловыделение по мере удаления от поверхности будет уменьшаться, что приведет к его неравномерному нагреву, в результате также неравномерно будет происходить испарение содержащейся в порах влаги и давления парогазовой смеси в отдельных слоях грунтового массива будут различны.

Согласно закону Фурье наличие в грунте градиента температур обуславливает процесс молекулярного переноса теплоты, плотность теплового потока определяется по формуле: [19]

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (3)$$

где:  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·К.

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Наличие градиента давлений парогазовой смеси в порах обуславливает процесс молярного пара, плотность пара внутри грунта выражается зависимостью [20]

$$j = -k_p = \frac{dp}{dx} \quad (4)$$

Рассмотрим случай термообработки массива грунта через стенку цилиндрической скважины. Для моделирования процесса термообработки разобьём грунтовый массив на цилиндрические слои  $1, 2, \dots, i, i+1, \dots, N$  и будем вести расчёт, исходя из уравнений баланса количеств теплоты и пара одного слоя:

$$\Delta Q_{1i} - \Delta Q_{2ik} + \Delta Q_{3ik} = \Delta Q_{ik} \quad (5)$$

$$\Delta M_{1ik} - \Delta M_{2ik} + \Delta M_{3ik} = \Delta M_{ik} \quad (6)$$

где:  $\Delta Q_{1i}$  – количество теплоты, передаваемое теплопроводностью от слоя  $i - 1$  к слою  $i$  за промежуток времени  $\Delta t$ , Дж;

$\Delta Q_{2ik}$  – количество теплоты, передаваемое теплопроводностью от слоя  $i$  к слою  $i + 1$  за промежуток времени  $\Delta t$ , Дж;

$\Delta Q_{3ik}$  – количество теплоты, выделяющееся в слое  $i$  за счёт поглощения энергии электромагнитных колебаний в течение промежутка времени  $\Delta t$ , Дж;

$\Delta Q_{ik}$  – количество теплоты, затрачиваемое на нагрев слоя  $i$  на этапах прогрева или обжига либо испарение содержащейся в слое  $i$  влаги на этапе сушки за промежуток времени  $\Delta t$ , Дж;

$\Delta M_{1ik}$  – величина массопереноса пара от слоя  $i - 1$  к слою  $i$  за промежуток времени  $\Delta t$ , кг;

$\Delta M_{2ik}$  – величина массопереноса пара от слоя  $i$  к слою  $i + 1$  за промежуток времени  $\Delta t$ , кг;

$\Delta M_{3ik}$  – масса пара, образовавшаяся в результате испарения влаги, содержащейся в слое  $i$ , за промежуток времени  $\Delta t$ , кг;

$\Delta M_{ik}$  – изменение массы пара, содержащегося в порах слоя  $i$ , за промежуток времени  $\Delta t$ , кг;

$k$  - порядковый номер шага по времени,  $k = 1, 2, \dots, M$ .

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$\Delta Q_{1ik} = q_{(i-1)k} S_{i-1} \Delta \tau, \quad (7)$$

$$\Delta Q_{2ik} = q_{ik} S_i \Delta \tau, \quad (8)$$

$$\Delta Q_{3ik} = q_{vik} V_i \Delta \tau, \quad (9)$$

$$\Delta M_{1ik} = J_{(i-1)k} S_{i-1} \Delta \tau, \quad (10)$$

$$\Delta M_{2ik} = J_{ik} S_i \Delta \tau, \quad (11)$$

при  $t < 373 \text{ К}$  и  $t > 373 \text{ К}$   $\Delta M_{3ik} = 0$ ,

$$\text{при } t = 373 \text{ К } \Delta M_{3ik} = \frac{\Delta Q_{3ik}}{r_{ik}}, \quad (12)$$

где  $S_{i-1}$ ,  $S_i$  – площадь боковой поверхности цилиндров, разделяющих слои  $i-1$  и  $i$ ,  $i$  и  $i+1$  соответственно,  $\text{м}^2$ ;

$q_v$  – величина тепловой энергии;

$V_i$  – объём слоя  $i$ ,  $\text{м}^3$ ;

$r$  – удельная теплота испарения влаги;

Используя метод конечных разностей [21] с учётом [3,4] получим:

$$q_{ik} = \frac{\lambda_{ik} t_{(i+1)k} - t_{ik}}{\Delta X} \quad (13)$$

Для определения значений тепловыделений в узлах сетки  $q_{vik}$  использовались зависимости (1) с учётом того, что суммарное тепловыделение в массиве грунта в единицу времени в результате поглощения энергии СВЧ – поля равно полезной мощности СВЧ – генератора.

$$\sum_{i=1}^N q_{vik} v_i = \eta P_{\text{вых}} \quad (14)$$

где:  $\eta$  – коэффициент ввода СВЧ – излучения в грунт,  $\eta = 0,9$ ;

$P_{\text{вых}}$  – выходная мощность СВЧ – генератора, Вт.

Тепло – и массообмен на границе при  $x = 0$  описывается зависимостями:

$$q_{ok} = \alpha_{1k} (t_{1k} - t_c) - q \varepsilon_1 (t_{1k}^4 - t_{1k}^4); \quad (15)$$

$$J_{ok} = -k_{p1k} \frac{p_{1k} - p_{ok}}{\Delta X} \quad (16)$$

где:  $\alpha_t$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности стенки скважины,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$t_0$  – температура парогазовой смеси в скважине,  $\text{К}$ ;

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана, Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>;

$\varepsilon_1$  – степень черноты грунта;

$p_0$  – давление парогазовой смеси в скважине, Па.

Коэффициент теплоотдачи можно определить по формуле:

$$\alpha_t = \frac{Nu \lambda_c}{d_3} \quad (17)$$

где: Nu – число Нуссельта;

$\lambda_c$  – коэффициент теплоотдачи парогазовой смеси, находящийся в скважине, Вт/м·К;

$d_3$  – эквивалентный размер, м.

При вынужденном турбулентном течении газа в кольцевых каналах кольцевого сечения и выполнении следующих условий:  $Re > 10^4$ ;  $d_2/d_1 = 1,2 - 14,0$ ;  $d_3 = 50 - 460$ ;  $Pr = 0,7 - 100,0$  справедливо выражение:

$$Nu = 0,017 Re^{0,8} Pr^{0,4} \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{0,18} \quad (18)$$

где Re – число Рейнольдса;

Pr – число Прандтля;

$d_1, d_2$  – соответственно внешний и внутренний диаметры кольцевого канала, м;

На этапе прогрева скорость увеличения температуры значительно выше, чем при обжиге, т.к. влажный грунт обладает существенно отличными от сухого диэлектрическими характеристиками. Вместе с тем диэлектрические свойства сухого грунта изменяются с ростом температуры, отсюда происходящее постепенное увеличение скорости обжига.

Характер изменения влажности грунта на этапе сушки практически не зависит от расстояния  $x$ . Вначале скорость испарения влаги максимальна, постепенно с уменьшением влажности и ростом давления парогазовой смеси в порах скорость испарения уменьшается. Для непрерывного воздействия излучения характерно, что максимальные величины давлений в порах грунта в значительной степени зависят от расстояний до стенки скважины. Вблизи скважины давление достигает до 1,0 МПа, с увеличением  $x$  оно возрастает и

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

при  $x = 0,5$  м может превышать 6,0 МПа. С началом этапа сушки происходит постепенное испарение содержащейся в грунте влаги, давление парогазовой смеси в порах значительно возрастает, достигая некоторой максимальной величины. При этом имеет место явление переноса пара из областей высокого давления внутри массива в области низкого давления вблизи скважины и на периферии. Однако скорости переноса пара значительно уступают скоростям нарастания давления. Поэтому по окончании этапа сушки, когда в грунте отсутствует влага в жидком виде, давление парогазовой смеси в порах еще значительное время остается максимальным, а последующее его снижение идет с достаточно низкой скоростью. Снижение давления также замедляется за счет переноса пара из соседних слоев.

Скорости нагрева грунтов в СВЧ–поле значительно превосходят скорости переноса пара вследствие низкой газопроницаемости глинистых грунтов. Значительные по величине давления парогазовой смеси в порах могут привести к образованию множества трещин в термоупрочненном грунтовом массиве, что существенно ухудшит его свойства.

При использовании СВЧ–установки с частотой излучения  $f = 2450$  МГц максимальное давление можно снизить до 2,2 МПа, однако при этом сократится толщина термоупрочненного слоя грунта. Уменьшить давление в порах возможно за счет управления величиной выходной мощности генератора, ограничивая ее на этапе сушки, но такой режим приведет к сокращению производительности СВЧ–установки. Более предпочтительным является использование возвратно–поступательного перемещения излучателя вдоль оси скважины при постоянной максимальной выходной мощности генератора, когда после нагрева одного участка грунтового массива, сопровождающегося подъемом давления парогазовой смеси, за счет перемещения излучателя происходит нагрев других участков, а давление в порах грунта на первом участке постепенно снижается. Для данного случая характерно, что максимальное давление парогазовой смеси в порах грунта не превышает некоторой заданной величины, гарантирующей от образования трещин.

					Закономерности изменения фазового состава, структуры и свойств грунтов при интенсивном термическом воздействии	Лист.
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

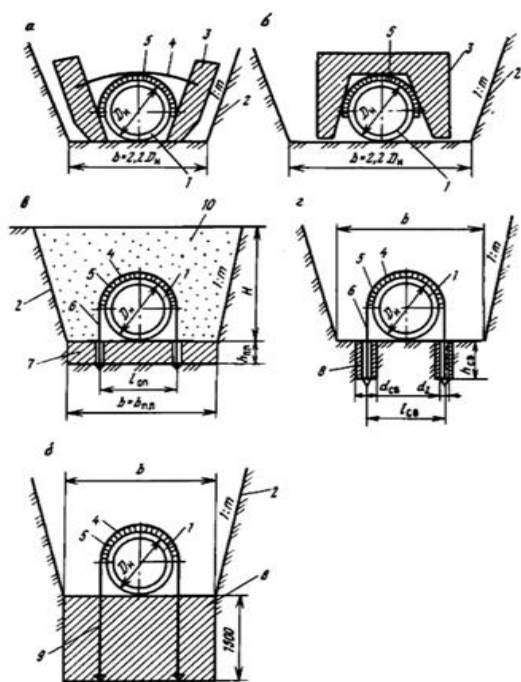
Наряду со снижением давления в порах грунта дополнительным преимуществом второго варианта является увеличение толщины слоя термоупрочненных грунтов. Так при частоте  $f = 915$  МГц свыше  $800$  °С нагревается слой толщиной для первого случая  $0,11$  м, для второго –  $0,17$  м. Для упрочнения поверхности скважины, температура нагрева которой составила  $560$  °С, необходима повторная обработка СВЧ–полем после некоторого снижения температуры во избежание перегрева. Нетрудно заметить, что во втором случае продолжительность термообработки грунта значительно выше, чем в первом ( для частоты  $\Gamma = 915$  МГц в  $11,4$  раза ), однако производительность СВЧ–установки при этом не снижается, поскольку происходит одновременное упрочнение массива вокруг скважины, а не одного участка. Толщину термоупрочнённого слоя можно регулировать путём изменения частоты электромагнитного излучения, с уменьшением частоты толщина возрастает и наоборот с увеличением частоты сокращается.

### **Глава 3. Сооружение объектов магистральных газопроводов на основе технической мелиорации грунтов**

#### **3.1 Устройства для стабилизации положения трубопроводов, искусственные основания и фундаменты с использованием термоупрочнённых грунтов**

Утяжелители из термоупрочнённых грунтов рекомендуется применять для стабилизации положения трубопроводов на болотах всех типов независимо от их глубины, вечномерзлых грунтах, поймах рек. Причём утяжелители охватывающего типа целесообразно применять в том случае, когда имеется возможность использования в качестве дополнительного балласта грунта засыпки траншеи.

					Сооружение объектов магистральных газопроводов на основе технической мелиорации грунтов			
Изм..	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Синько А.С			Общая часть	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Богданов А.Л					52	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.		Рудаченко А.В.						



- а - утяжелитель охватывающий,  
 б - утяжелитель клиновидный,  
 в - анкерная плита,  
 г - анкерное устройство, погруженное в термоупрочнённое грунтовое основание;  
 1 - трубопровод, 2 - траншея; 3 - утяжелитель;  
 4 - силовой пояс; 5 - прокладка; 6 - анкерная тяга;  
 7 - анкерная плита; 8 - термоупрочнённый грунт;  
 9 - анкер; 10 - грунт засыпки

Рис 2. Устройства для стабилизации положения трубопроводов

Конструкция на рис. 2 а, представляет собой утяжелитель

охватывающего типа, состоящий из двух половин, соединённых силовым поясом.

На рис. 2 б, изображён утяжелитель клинового типа. Анкерное устройство на рис. 2 в, представляет собой анкерную плиту из термоупрочнённого грунта, соединённую с трубопроводом посредством четырёх анкерных тяг и двух силовых поясов. Толщина плит соответствует границе зоны нагрева грунта выше температуры  $950^{\circ}\text{C}$  с использованием мобильной СВЧ – установки с рупорным излучателем. Анкерные плиты при незначительном собственном весе обладают высокой несущей способностью и обеспечивают стабилизацию положения трубопроводов за счёт привлечения массы грунта засыпки траншеи. Анкерные плиты из термоупрочнённых грунтов по сравнению с железобетонными аналогами обладают дополнительной несущей способностью при вертикальных

перемещениях трубопровода в результате взаимодействия с нижележащим слоем грунта, который подвергался термообработке при температурах менее 950° С.

На рис. 2 г, представлено анкерное устройство, включающее две сваи ТУГС, соединённых с трубопроводом посредством анкерных тяг и силового пояса. Несущая способность анкерных устройств с применением свай ТУГС при вертикальных перемещениях трубопровода обеспечивается за счёт сопротивления сдвигу на боковых поверхностях стволов свай.

На рис. 2 д, изображено анкерное устройство винтовое (раскрывающегося типа), анкеры которого погружены в термоупрочнённое грунтовое основание. Толщина такого искусственного основания соответствует зоне нагрева грунтового массива до температур свыше 300° С мобильной СВЧ – установкой с рупорным излучателем.

Преимуществами анкерных устройств перед утяжелителями является значительное сокращение объёма земляных работ за счёт уменьшения размеров трубопроводных траншей, а также транспортных операций вследствие уменьшения объёмов перевозимых грузов.

Стабилизация положения трубопроводов анкерными устройствами с применением термоупрочнённых грунтов рекомендуется на участках с прогнозируемым обводнением и на болотах глубиной не более глубины траншеи. При этом до засыпки траншеи должно быть обеспечено проектное положение трубопровода. Термоупрочнённые грунты должны обеспечивать экономически целесообразную несущую способность анкерных устройств.

Анкерные плиты из термоупрочнённых грунтов рекомендуется использовать для стабилизации положения трубопроводов диаметром 530 - 1420 мм при обратной засыпке грунтами, характеристики которых позволяют учитывать их удерживающую способность при обводнении и перемещении трубы.

В качестве основного конструктивного элемента искусственных оснований и фундаментов для объектов трубопроводного транспорта

					Сооружение объектов магистральных газопроводов на основе технической мелиорации ГРУНТОВ	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

рекомендуются применять сваи ТУГС, выполняемые с помощью мобильной СВЧ – установки и различных приспособлений.

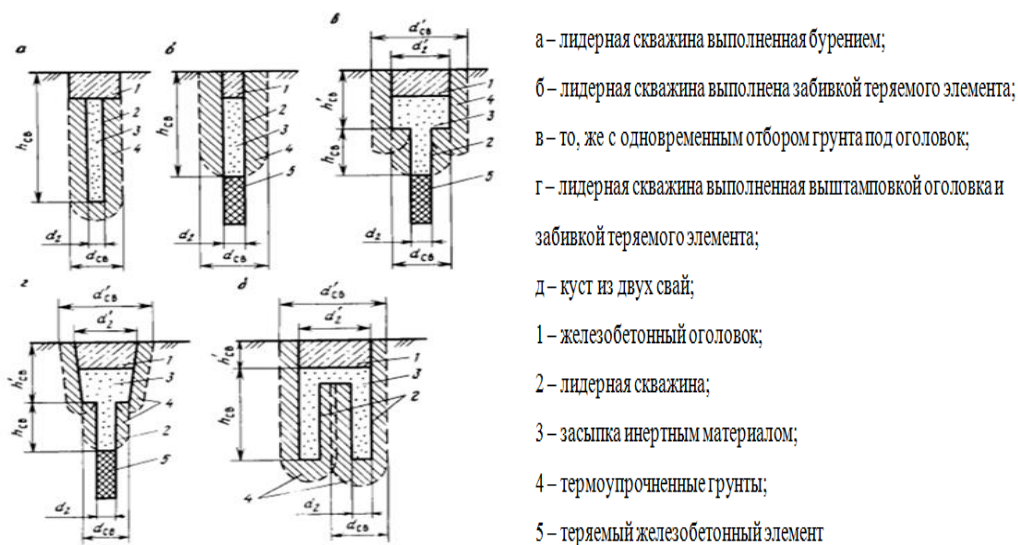


Рис. 3. Сваи ТУГС

Так в, конструкции на рис. 3 а, путём бурения образуется лидерная скважина, которая после термообработки её стенка заполняется инертным материалом (песком, песчано-гравийной смесью, бетоном). Железобетонный оголовок, опирающийся на термоупрочнённый грунт, служит для сопряжения фундамента с надземными конструкциями.

Отличием решения, изображённого на рис. 3 б, является способ образования лидерной скважины путём погружения оставляемого на заданной глубине сборного железобетонного элемента. По сравнению с бурением значительно улучшается качество лидерной скважины, что позволяет избежать возможных затруднений при перемещении волновода с излучателем внутри скважины. Одновременно теряемый элемент обеспечивает увеличение несущей способности сваи ТУГС.

При изготовлении конструкции, приведённой на рис. 3 в, используется специальный свайный наголовник, позволяющий одновременно погрузить теряемый элемент и отобрать грунт под оголовок сваи. За счёт увеличения площади поперечного сечения оголовка повышается несущая способность сваи ТУГС.

Свая ТУГС на рис. 3 г, выполняется с применением выштамповки оголовка небольшим металлическим штампом, в результате чего уплотняется околосвайный грунт и грунтовые воды отводятся от лидерной скважины. Увеличение размеров оголовка и уплотнения грунта обеспечивают повышение несущей способности свай ТУГС.

Конструкция на рис. 3 д, представляет собой свайный куст из двух и более ТУГС, объединённых единым оголовком, что позволяет увеличить несущую способность фундамента.

Рассмотренные скважины ТУГС могут быть использованы при сооружении фундаментов под колонны каркасов зданий, опоры надземных трубопроводов и инженерных коммуникаций, блочно-комплектные устройства, оснований и фундаментов резервуаров.

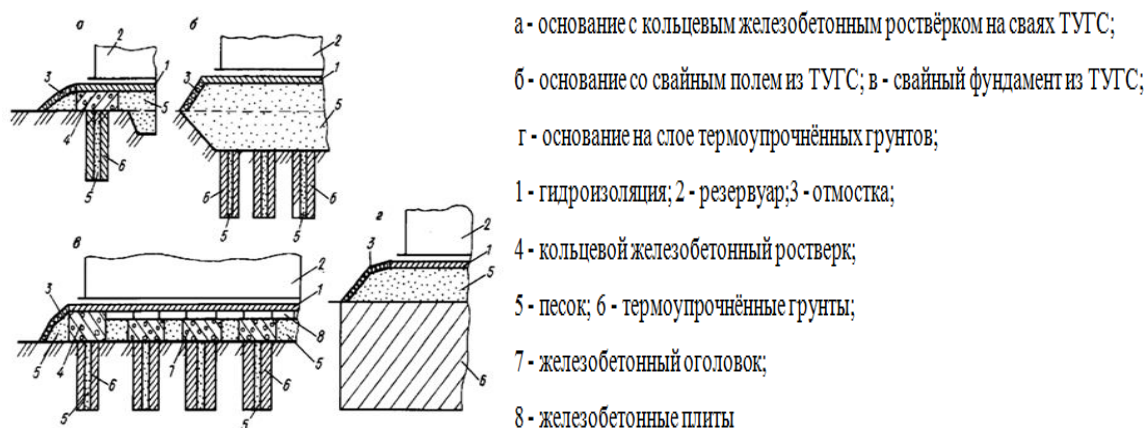


Рис. 4. Конструкции оснований и фундаментов резервуаров с применением термоупрочнённых грунтов

Для площадок, сложенных сильносжимаемыми глинистыми грунтами, предлагается конструкция основания резервуара, предусматривающая опирание стенки резервуара на кольцевой железобетонный ростверк, объединяющий сваи ТУГС (рис. 4 а). В условиях лессовых просадочных грунтов рекомендуется конструкция основания резервуара (рис. 4 б), включающая песчаную подготовку над свайным полем из ТУГС; термоупрочнение массива ликвидирует опасность просадок при обводнении грунтов. Фундамент резервуара, включающий сваи ТУГС (рис. 4 в),



железобетонный оголовки, кольцевые ростверки и плиты, может применяться для предотвращения неравномерных осадок в условиях сильносжимаемых глинистых грунтов.

Мобильная СВЧ - установка, предназначенная для термообработки грунтовых массивов, кроме свай позволяет также изготавливать одиночные, ленточные и сплошные фундаменты, сооружения типа "стена в грунте", выполнять термообработку поверхности грунтовых оснований. Для площадок, сложенных лессовыми просадочными грунтами, рекомендуется конструкция основания резервуара, включающая слой термоупрочнённых грунтов, слой песка и гидроизоляционный слой (рис. 4 г).

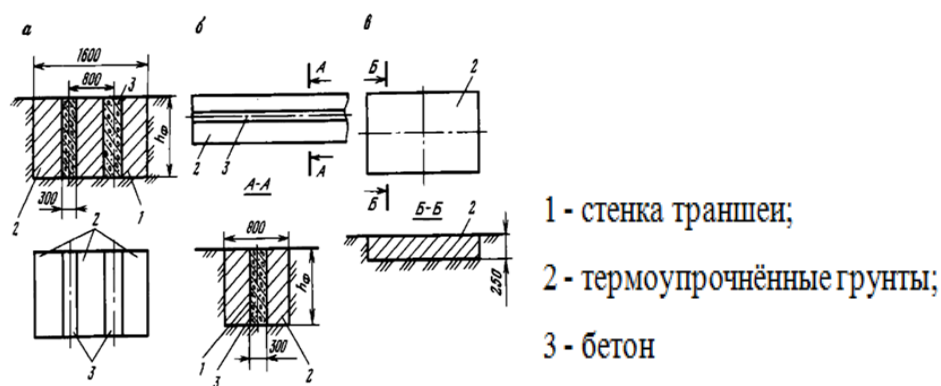


Рис. 5. Одиночный (а), ленточный (б) и сплошной (в) фундаменты из термоупрочнённых грунтов

На рис. 5 а, б, приведены одиночный и ленточный фундаменты, при изготовлении которых термоупрочнение грунтов осуществляется с помощью мобильной СВЧ-установки, оснащенной щелевым излучателем; обработка производится через стенки траншеи. Фундамент в виде монолитной плиты из термоупрочнённых грунтов (рис. 5 в) выполняется той же установкой, но с рупорным излучателем, когда воздействие СВЧ-поля происходит на поверхности грунтового массива. В объёме фундаментов включаются зоны термоупрочнённых грунтов, для которых температуры нагрева составляют 800–1100° С. Одиночные фундаменты могут применяться под колонны и

опоры, ленточные – под здания с несущими стенами и складывающиеся комплектные здания, плитные, под блочно – комплектные устройства.

### 3.2 Мобильные опытно-промышленные СВЧ-установки

На рисунке (6) представлена мобильная СВЧ-установка для изготовления термообработанных грунтовых блоков. Установка состоит из двух модулей (формовочного устройства и обжиговой печи), смонтированных на передвижных платформах, и оснащена энергетическим оборудованием, устройствами перемещения, узлом защиты от излучения, системой автоматизированного управления. Сформованный грунтовый блок поступает по транспортёру на рольганг обжиговой печи, представляющей собой стальную трубу наружным диаметром 1420 мм с теплоизоляцией. В печи происходит сушка и нагрев блока до температур 950°– 1100° С, затем он поступает в приёмную камеру. Мобильная СВЧ-установка для термообработки грунтовых массивов может размещаться внутри быстровозводимого здания модульного типа.

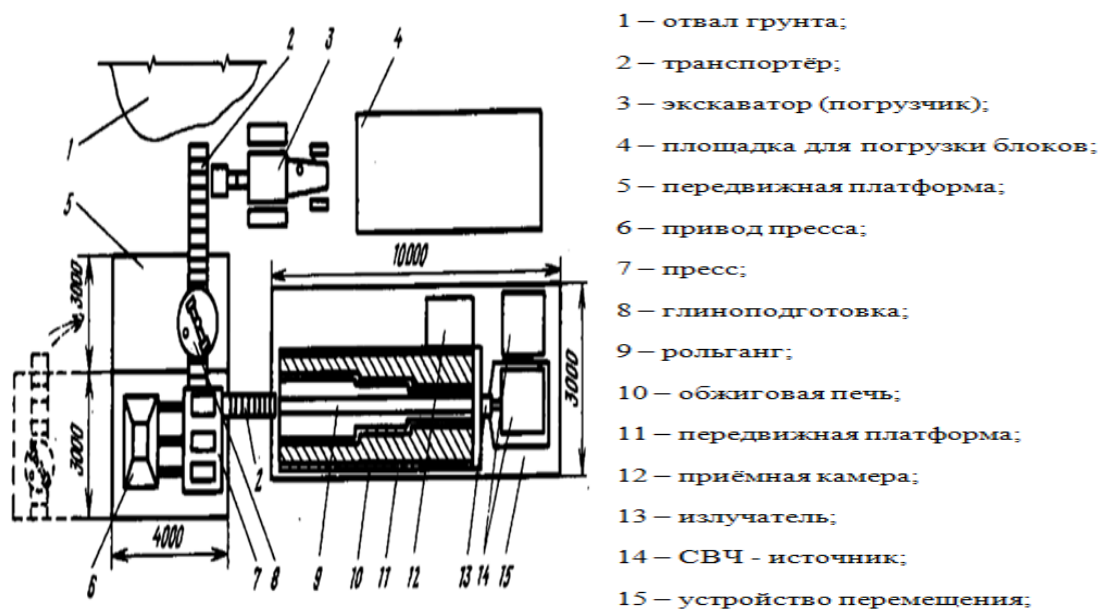


Рис. 6. Мобильная СВЧ-установка для производства термоупрочнённых грунтовых блоков

Мобильная СВЧ-установка для термообработки грунтовых массивов на месте их залегания, представленная на рисунке (7, 8) состоит из энергетического узла, механизма перемещения и базового большегрузного автомобиля с металлическим кузовом. Энергетический узел представляет собой источник СВЧ-излучения, оснащенный волноводами прямоугольного и круглого сечения, щелевыми и рупорными излучателями, а также механизмом вращения, позволяющим вращать секции волновода вокруг своей оси.

Механизм перемещения представляет собой устройство для перемещения энергетического узла в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Он состоит из опорной рамы, каретки, направляющей каретки, механизма подъёма и приводного вала. Каретка с установленным на ней СВЧ-генератором имеет возможность перемещаться по вертикали на 1000 мм, по горизонтали – на 562 мм, максимальный угол поворота в горизонтальной плоскости составляет 50°.

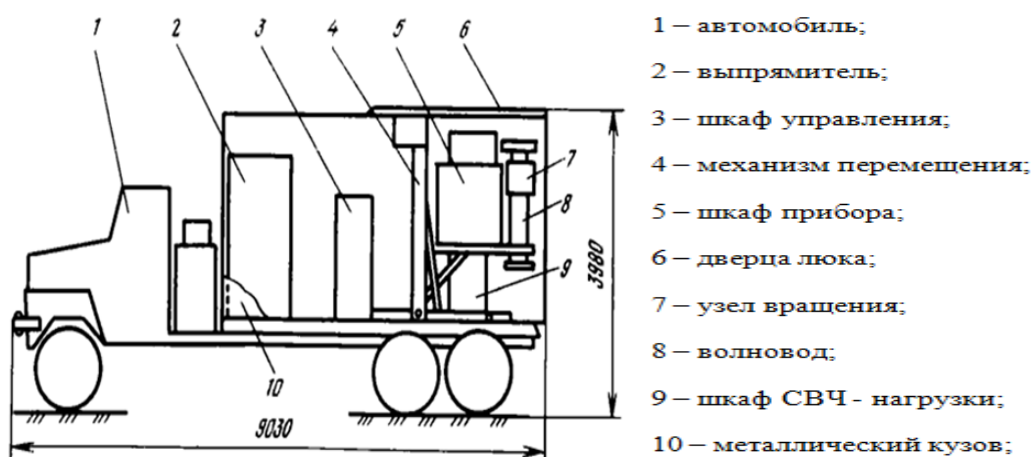


Рис. 7. Мобильная СВЧ-установка для изготовления свай ТУГС



Рис. 8. Варианты обработки грунтовых массивов с использованием сменного оборудования мобильной СВЧ-установки

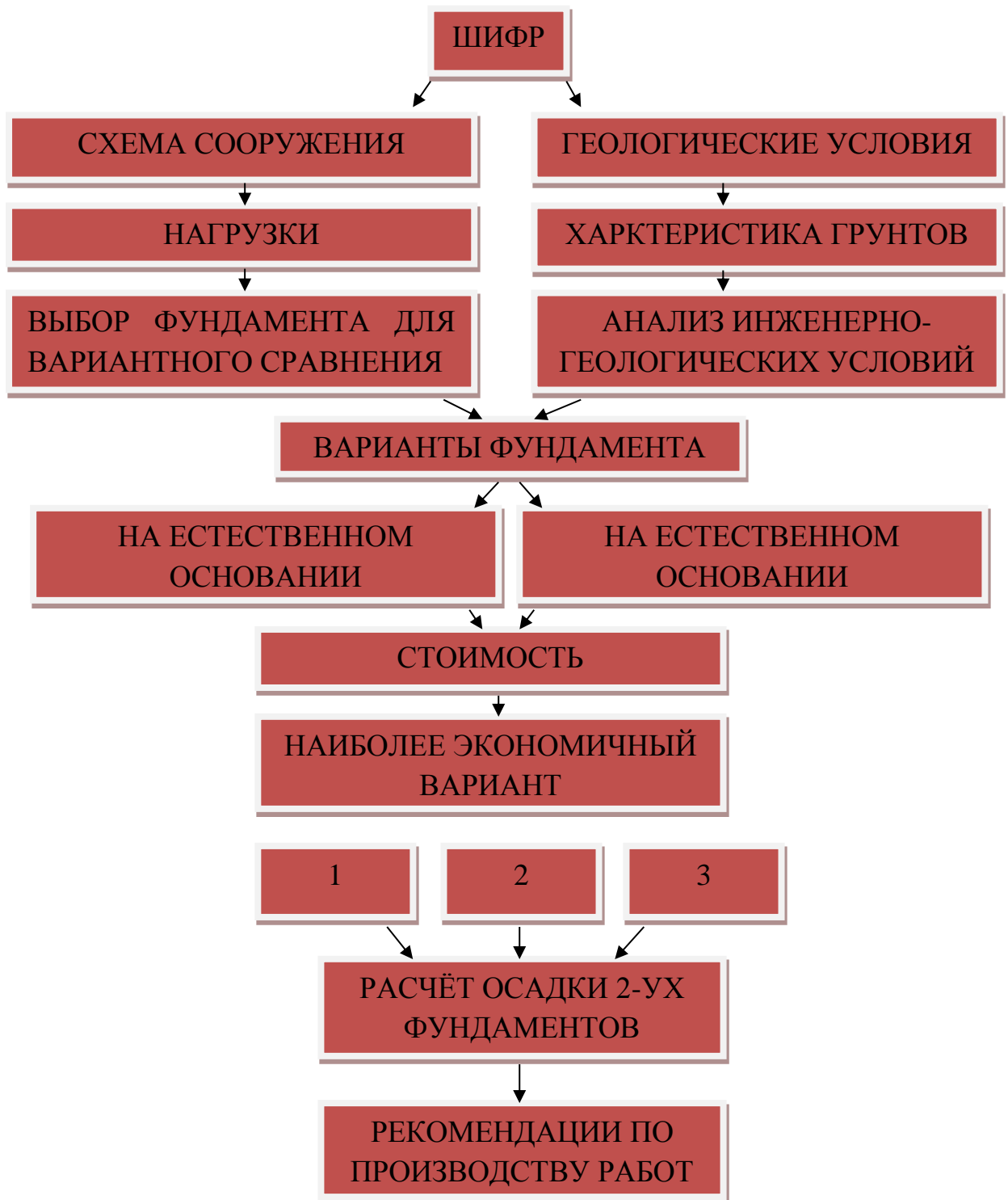
					Сооружение объектов магистральных газопроводов на основе технической мелиорации грунтов	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Таблица 3 – Характеристика мобильных опытно-промышленных СВЧ-установок

Наименование установки	Максимальная суммарная выходная мощность СВЧ-источников кВт	Годовая производительность м <sup>3</sup> /год	Удельные затраты электроэнергии на термоупрочнение грунта Мдж/м <sup>3</sup>	Количество работающих чел.	Стоимость установки тыс. руб	Стоимость термоупрочнения грунта руб/м <sup>3</sup>	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8
Мобильная (рис.6.)	500	6500	2012	3	1330,0	66,7	Изготовление утяжелителей для стабилизации положения трубопроводов
Мобильная (рис. 7.)	500	<u>3500</u> 14000	<u>3668</u> 917	3	1011,0	<u>81.5</u> 50,9	Устройства для стабилизации положения трубопроводов, сооружение искусственных оснований и фундаментов

## Глава 4. Расчетная часть

### Схема последовательности выполнения расчётов



					«Анализ и совершенствование технологии строительства с использованием технической мелиорации грунтов»			
Изм..	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Синько А.С			Расчетная часть	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Богданов А.Л					61	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.		Рудаченко А.В.						

Расчёт керамической ТГП полнотелой 2/3 м.

Расчёт фундамента на песчаной подушке:

- 1) Задаём характеристики нового грунтового основания (т.е характеристики песчаной подушки)  $\gamma = 19 \text{ кН/м}^3$ ,  $\varphi = 35^\circ$ ,  $c = 0$
- 2) Определяем размеры подошвы фундамента как фундамента стоящего на грунте с выше перечисленными характеристиками.  $P \leq R$
- 3) Проверяем подстилающий слой

$$G_{zp} + G = R_z$$

Если это условие не выполняется, То также увеличиваем высоту висячей подушки (или размеры фундамента).

- 4) Далее производится расчёт деформации основания. Совместная деформация подушки и подстилающего слоя  $\underline{S}$  должна быть меньше  $S_u$ .

Если это условие не выполняется, То также увеличиваем высоту висячей подушки (или размеры фундамента).

Под блок бокс одоризации газа предусмотрено устройство монолитной ТГП по уплотнённому грунту основания. Для защиты подошвы, под монолитной ТГП предусмотрена бетонная подготовка из бетона В 10 толщиной 100 мм. Плотность щебня 100 кг/м<sup>2</sup> ?

Так как объектом анализа являлось сооружение блок бокса одоризации газа со следующими параметрическими данными:

Длина = 1600 мм

Ширина = 2400 мм

Высота = 2850 мм

учитывая их предлагается изготовление фундамента 2/3 м из местного грунта (глина).

Предел прочности при сжатии:

					«Анализ и совершенствование технологии строительства с использованием технической мелиорации грунтов»			
Изм..	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Синько А.С			Введение	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Богданов А.Л					62	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.		Рудаченко А.В.						

$$R_{СЖ} = \frac{N}{A} K$$

где:

$R_{СЖ}$  – предел прочности при сжатии

$N$  – разрушающая нагрузка

$A$  – площадь образца

$K$  – масштабный коэффициент для кирпича 88 мм = 1,2 ?

Предел прочности на изгиб:

Разрушающее усилие составляет:  $P_p = 2,0$  кН;

Ширина: 125 мм;

Толщина 14 мм;

$$R_{ИЗГ} = \frac{3Nl}{2bh^2} = \frac{3 \cdot 20,0 \cdot}{2 \cdot 125 \cdot 14^2} =$$

где:

$R_{ИЗГ}$  – прочность при сжатии МПа

$N$  – разрушающая нагрузка

$l$  – расстояние между опорами

$h$  – высота

Расчёт нагрузки на фундамент:

- 1) Имеем ТГП размером 2/3, из чего получаем площадь 6 квадратных метров.
- 2) Имеем вес блок модуля 1800 кг
- 3)  $1800 / 6 = 300$  кг/м<sup>2</sup>

Так как заявленная плотность ТГП 1600 кг/м<sup>2</sup>, то условие по надёжности выполняется с избытком.

Расчёт объёма глины:

Так как клинкерный кирпич имеет стандартные размеры 250/65/120, соответственно для изготовления ТГП 2/3, нам понадобится 0,7 м<sup>3</sup>

$$250 \cdot 8 = 2000 \text{ см.}$$

$$120 \cdot 25 = 3000 \text{ см}$$

					Расчетная часть	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63





## Заключение

В ходе написания диссертации были полностью реализованы поставленные задачи, а именно:

- 1) Проработана действующая нормативно техническая база Российской Федерации в области сооружения объектов нефтегазового комплекса.
- 2) Проведён сравнительный анализ методов технической мелиорации грунтов при сооружении нефтегазовых объектов.
- 3) Исследованы закономерности изменения фазового состава и закономерности формирования механических свойств плавленных грунтов при интенсивном термическом воздействии
- 4) Произведён расчёт прочностных характеристик термогрунтовых плит.
- 5) Представлен сравнительный анализ прочностных железобетонных и термогрунтовых плит
- 6) Разработаны рекомендации по выбору мобильного СВЧ-оборудования для изготовления термогрунтовых плит на строительной площадке
- 7) Разработаны рекомендации по усовершенствованию технологии сооружения плитных фундаментов объектов магистральных газопроводов.

					«Анализ и совершенствование технологии строительства с использованием технической мелиорации грунтов»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Синько А.С			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Богданов А.Л					66	78
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2БМ4Б		
Н. Контр.								
Утверд.		Рудаченко А.В.						

### Список использованной литературы

1. Спектор Ю.И, Бабин Л.А, Валеев М.М. Новые технологии в трубопроводном строительстве на основе технической мелиорации грунтов. - М.: Недра, 1996. - 208 с.: - ISBN 5-247-03508-9
10. Сиротюк В.В., Архипов В.А. Оценка эффективности грунтоплавленных свай // Строительство в новых хозяйственных условиях: Сб. науч.тр - Омск: Изд-во СибАДИ, 1997. - С. 13-15.
11. Сиротюк В.В., Архипов В.А. Разработка и реализация технологии плазменного глубинного термоупрочнения грунтов: Отчёт о НИР - № ГР 01950006502. - Омск: СибАДИ, 1995. - 24 с.
12. Сиротюк В.В., Архипов В.А., Острась И.В., Александров А.С. Результаты испытаний грунтоплавленных свай // Автомобильные дороги Сибири: Тез. док. 2 Международной науч.-тех. конф. - Омск: Изд-во СибАДИ, 1998.-С. 98-100.
13. Бабаев Ш.Т., Комар А.А. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками. – М.: Стройиздат, 1987. –240 с.
14. Инструкция по нормированию расхода электрической энергии на производство нерудных строительных материалов. – Тольяти, 1967. – 35 с.
15. Производство сборных железобетонных изделий: справочник / Под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королёва. – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.
16. Сергеев Г.Н., Тулин Н.А., Баканов К.П., Зелинский В.Ф., Коновалов Л.А., Стровский Л.Е. Эффективность выплавки электростали. – М.: Металлургия, 1977. – 363 с.
17. Справочник по добыче и переработке нерудных строительных материалов /Под ред. В.Я. Валюжинича – Л.: Стройиздат, 1975. – 576 с.
18. Руководство по выбору проектных решений фундаментов. – М.: Стройиздат, 1984. – 193 с.
19. Чечёткин А.В., Занемонец Н.А., Теплотехника. – м.: Высш. шк.,1986. – 344 с.

					Список использованных источников	Лист.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

2. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы / Госстрой ССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. - 52 с.

20. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 442 с.

21. Самарский А.А Теория разностных схем

3. А.с 1486554 СССР, МКИ Е 02 В 3/12. Берегозащитное сооружение / Л.А. Бабин, Ю.И. Спектор, Е.Г. Елизарьев, И.Н. Нугаев (СССР). - № 425273/29-15, Заявлено 02.03.87; Оpubл. 15.06.89, Бюл. № 22. - 3 с.: ил.

5. Абрамова В.И, Крашенинникова А.А. Переработка, использование и уничтожение отходов в производстве хлорорганических продуктов // Хлорная промышленность. - 1977. - Вып. 7. - 44 с.

6. Техническая мелиорация пород / С.Д. Воронкевич, А.А. Евдокимова, Р.И. Злочевская и др. - М.: Изд-во МГУ, 1981. - 342 с.

7. Архипов В.А. Экономико-энергетическое сравнение грунто-плавленных свай // Современные проблемы строительного материаловедения: Тез. докл. Международной науч.-техн. конф. – Казань, Изд-во КГАСА, 1996. – С.56.

8. Руководство выбору проектных решений фундаментов. – М.: Стройиздат, 1984. – 193 с.

9. Архипов В.А Сравнительный анализ применения грунтоплавленных свай // Международная науч.-техн. конф. молодых учёных: Тез.докл. - Санкт - Петербург, Изд-во ГАСУ, 1996. - С. 67.

					Список использованных источников	Лист.
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ВКР,  
ВЫПОЛНЕННОГО НА ИНОСТРАННОМ ЯЗЫКЕ**

**Приложение А**

Раздел:

**Analysis and improvement of construction technology of main gas pipelines  
on the basis of technical earth stabilization**

Студенту:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Синько Александру Сергеевичу		

Институт	ИПР	Кафедра	ТХНГ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Надежность газонефтепроводов и хранилищ

**ЗАДАНИЕ:**

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1 History of the development of a thermal ground stabilization 2 Modern technologies of thermal ground stabilization 3 Background of the development of surface-level thermal ground stabilization 4 Prospects of using the microwave technology for manufacture of thermal ground slabs 5 Analysis of technical earth stabilization methods during the construction of oil and gas facilities
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдали консультанты:**

Консультант кафедры \_\_\_\_\_ ТХНГ ИПР \_\_\_\_\_:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Богданов А.Л	К.Т.Н		

Консультант – лингвист кафедры \_\_\_\_\_ ИяПР ИПР \_\_\_\_\_:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Уткина А.Н.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4Б	Синько А.С		

## **Introduction**

Relevance of the topic of this master's thesis. is the fulfillment of one of the main problems in the construction of main gas pipelines, it is provision of sustainability that in turn leads to an increase in the durability of facilities. Intensive development of the regions of Siberia and the Far East leads to the need in the construction of facilities that are located hundreds of kilometers away from the materials and structures production plants. Under the current crisis conditions the use of the method of "Thermal ground stabilization by microwave field" is an alternative solution that does not require staff reductions and cutbacks in the financing of facility construction that allow to implement the project without increasing its terms.

The main idea of the paper is the analysis and implementation of production technology for durable and economical foundations of buildings and structures by thermal ground stabilization at the construction site using the mobile microwave units that heat the soil up to the melting stage.

The object of research is the study of the productions technology for works and elements of technological system, the rational combination of which allows to establish the effective design and technological solutions as a result of thermal ground stabilization using the mobile microwave generators.

The aim of the paper is selection of optimal solutions in the construction of building foundations by means of thermal ground stabilization at the construction site using the mobile microwave power units.

The following problems were set in the paper:

- 1) Study of the existing standards and regulatory documentation for the construction of oil and gas facilities
- 2) Analysis of geological and lithological structural schemes of the complex gas treatment plant site and rationale of the proposed production technology of the thermal ground slabs
- 3) Analysis of technical earth stabilization methods and selection of the most relevant methods

- 4) Study of regularities of change in the phase composition and formation of the mechanical properties of soils in the case of intensive thermal stress
- 5) Evaluation of the effectiveness of structural and technological solutions.

### **Section 1.**

History of the development of a thermal ground stabilization.

Thermal stabilization is one of the physical methods of improving the construction properties of soil. It is based on the impact of positive temperature field, causing the irreversible fundamental changes in the composition, structure and physical and mechanical properties of soils.

The study and analysis of the historical aspects of formation of the theory and practice of thermal soil stabilization have allowed to systematize information received and determine three main stages of development of the problem under study. The proposed systematization is based on the technological factors determining the opportunity of achievement of the certain results – the heat flow density and temperature of the heat source.

The electrothermal devices have a number of advantages in comparison with the flame heating units: available concentration of high power in a small amount; achievement of higher temperatures; easy regulation of temperature conditions; possible sealing of the working area; easy mechanization and automation of units; improvement of working conditions; compact equipment.

The indicated advantages of electric heating allowed to bring the soil temperature to the melting stage already during the first experiments (1959) directly at the construction site.

Thus, during the third stage the issues of thermal soil stabilization were further developed in the field of implementation of the results of fundamental researches into the effective construction technologies based on the electrotechnical methods of exposure. It allows to intensify the processes of the soil heat treatment, to introduce automation facilities, to establish the compact, environmentally friendly, energy efficient equipment and technologies.

## Section 2.

Modern technologies of thermal soil stabilization.

Soil stabilization is an artificial changes in the construction properties of soils by various physical and chemical methods. This transformation provides an increase in strength, stability, decrease in the compressibility and water resistance.

There are two basic methods of soil stabilization: surface-level and deep.

The surface-level stabilization is carried out at a depth of 1 m. In this case, the soil is preliminary loosened, imixed with the restraining materials (binders, cement, lime, etc.) and then compacted.

The deep stabilization involves soil processing without breaking of their natural structure by injection of the restraining materials, heat treatment and freezing, using the pre-drilled holes, shot-holes or projectile injectors. The injection is carried out with the use of binders, silicate materials and resins.

### **Methods of the deep soil stabilization**

In order to increase the load-bearing capacity of soil foundations the following methods of artificial soil stabilization are used:

- 1) Chemical (cementation, consolidation grouting and tarring)
- 2) Thermal
- 3) Artificial freezing
- 4) Electric
- 5) Electrochemical
- 6) Mechanical.

**Chemical soil stabilization** by injection in the construction is currently being implemented by the methods of silicification, tarring and cementation. The most common and popular soil stabilization technology is cementation.

**Cementation** is a process of injecting into the ground of a liquid cement grout or cement wash through the previously driven hollow piles. Cementation is used to stablize the large and medium-grained sands, fractured rocks by injecting of the cement grout through injectors into the soil. Depending on the size of the crack and sand porosity it is possible to use the suspension with the cement to



water ratio of from 1:1 to 1:10, as well as the cement grouts with addition of clay, sand and other inert materials. The radius of soil stabilization in the rocky soils is 1.2-1.5 m, in the large sands - 0.5-0.75 m, in the sands of medium size - 0.3-0.5 m. Cementation is carried out by the descend areas; the injection is stopped when the specified absorption is reached or when the reduction of solution flow reaches 0.5 liters/min within 20 minutes at a predetermined pressure.

In the case of **hot consolidation grouting** the hot bitumen is pumped into the cracks in rocks or gravel ground through the holes, this bitumen is cooled down and provides the soils with water resistance. In the **cold consolidation grouting**, contrary to the hot one, the 35-45 percent finely dispersed bitumen emulsion is pumped. The method is used for very fine cracks in the rocky soils and for the sand soil compaction.

**The tarring** is used for stabilization of fine sands and is performed by injection of a mixture of urea resin and hydrochloric acid solutions through the injectors into the ground.

**Silification** is used for stabilization of the sand and loess soils filling them with the chemical solutions. The solutions of sodium silicate and calcium chloride are sequentially pumped through the system of perforated injecting pipes into the ground. The resulting silica gel provides the ground with a considerable strength and water resistance.

**Thermal stabilization** is the result of fuel burning (gaseous, liquid, liquefied gas) directly in the holes drilled to the full depth of the stabilized soil. The soil stabilization in the hole is carried out under the action of the flame, and in the soil body – under the hot gases penetrating through the soil pores.

As a result, the post of burnt soil is located around the hole, the diameter of this post depends on the duration of burning and amount of fuel. This method can stabilize the soils and eliminates their settlement to a depth of 15 m, leading to the average strength of 1 MPa.

**Artificial soil freezing** is a versatile and reliable method for temporary stabilization of the soft water-saturated soils. The essence of this method lies in the

fact that the coolant with a low temperature is passed through the system of freezing holes placed around the perimeter and in the body of the future field. This coolant withdraws heat from the surrounding ground and turns it into the ice-soil mass with a full water resistance and high strength. Depending on the type of coolant there are two types of freezing: brine-freezing and freezing by liquid gas. In the first case the brine-coolant is a highly concentrated solution of sodium or calcium chloride, pre-cooled in the evaporator of the refrigerating machine to a temperature of  $-25^{\circ}\text{C}$ . Ammonia, freon or liquid nitrogen are used in the refrigerating machines as the coolants. In the second case the liquid nitrogen is primarily used as the coolant of the liquefied gas with an evaporation temperature of  $-196^{\circ}\text{C}$ .

**The electrical method** is used for the wet clayey ground stabilization. The method involves use of the electroosmosis effect for which the direct electric current is passed through the soil with a field strength of 0.5-1 V/cm and a density of 1.5 A/sq.m. In this case the clay is dried, compacted and it loses the ability to heave.

**The electrochemical method** differs from the previous one, because simultaneously with an electric current we have to add the solutions of chemical additives (calcium chloride, etc.) through the tube into the soil. Due to this method the intensity of soil stabilization process is increased.

**The mechanical method** of ground stabilization has the following varieties: arrangement of the ground beds and ground piles, ramming of the pits etc.

Arrangement of the **ground beds** is the replacement of the soft ground in foundation with another more durable one for which the soft soil is removed and the solid soil is poured instead of it and rammed layer by layer. In the case of the **ground piles** arrangement the leading pile is driven in the soft ground. After extraction of the pile the hole is filled in with the soil and compacted layer by layer.

**The pit ramming** is carried out by means of heavy rammers, suspended on the arm of the tower crane. This method is less complicated than the method of

ground beds, since it does not require the replacement of the foundation soil. The pit ramming of considerable size can also be carried out by the smooth or sheepsfoot rollers, mechanical rammers, vibratory compactors and vibratory plates.

### **Section 3.**

The first experimental works related to the surface-level ground stabilization at the construction site were carried out in the field of transport construction about 100 years ago. The attempts of long-term burning of firewood and coal on the surface of compacted subgrade have shown that this method does not give any tangible positive results. The surface was covered with the network of cracks with the thickness of the burn ground crust of no more than 3-4 cm.

After fuel combustion and surface cooling (2-4 days) the burnt material was filled in the ditches, levelled out and crushed under the compaction. The clayey grounds were burnt in piles and stove kilns of various designs.

In one of the first works in the field of thermal ground stabilization V.M. Bezruk determined that as a result burning the content of sandy fractions in the clayey ground was increased due to reduction of the clay component. It was found that the granulometric changes in the cultivated soils were terminated in the case of burning at 800 K. A further increase in temperature does not change the granulometry, but leads to the final destruction of the absorbing complex. M.M. Filatov suggested the certain terminology that characterizes the burning degree of the clayey grounds: “sanding” and “bricking” of the soil.

The attempts of mechanized soil processing directly on the subgrade are continuing until the present time. Thus, both compact and mellow surface layers were burnt.

The first Russian burning machine consisted of six units with the total length of about 20 m and moved on the rails at a speed of 10 to 40 m per day. The burning was carried out by the burners supplied oil into the combustion chamber. In both machines the soil surface was heated to about 1300 K. The burnt surface

was the brick cracked layer with the thickness of 3-5 cm with the underlaid sanding soil.

#### **Section 4.**

The prospects of microwave technology use for production of the thermal ground slabs.

The prospects of the thermal stabilization are caused by its technical, economic and environmental efficiency. An important advantage of this method is the low material intensity of the obtained structures, because the raw material for their production is local soil processing of which required a relatively small amount of energy resources.

Over the last years, a variety of thermal ground stabilization methods were developed, but the vast majority of them were stuck at the level of inventions. Despite a number of obvious advantages and benefits, the thermal ground stabilization directly at the construction site has not gone beyond the scope of experimental construction of foundation of buildings and structures that are possible on the soil bodies composed of macroporous loess soils with high gas permeability and low level of moisture.

The wide use of thermal basement soil stabilization, above all, is prevented by heterogeneity, low heat-conductivity and high heat capacity of the soils. There are insufficient studies of the complex physical and chemical processes accompanying the thermal impact on the ground, features of the structure formation and formation of the physical and mechanical properties of the thermal ground. Additional difficulties are stipulated by the multiple types of soils being the polymineral conglomerates with varying chemical and mineralogical composition and properties. The results of researches related to this problem are segmental, sometimes contradictory, they are combined by the common technique that makes it difficult to conduct the comparative analysis and scientific generalization.

One of the most important unsolved problems is the establishment of the mobile autonomous mechanisms equipped with the powerful and reliable sources of thermal impact on the ground.

### **Section 5.**

Simultaneously with the development of new methods of improving the ground properties their classification was also improved. According to B.A. Rzhantsin, L.V. Goncharova, S.D. Voronkevich the technical stabilization techniques are classified depending on the orientation of the artificial soil changes, types, engineering and geological features and properties of the rocks, fields of application that have allowed to choose a particular method in accordance with the specific conditions of construction.

As a result of analysis of the theory and practice of application of soils with improved properties in the construction of the pipeline oil and gas transportation facilities by the authors (namely, Yu.I. Spector, L.A. Valeev, L.A. Babin), we have determined the main types of structures for the pipeline systems and proposed the classification of technical stabilization methods according to which we have defined the scope of application of each type of technical earth stabilization methods for the structures with different functional purposes.

After the analysis I have been put emphasis on the study of physical and mechanical methods of thermal stabilization by the microwave energy, as a result of which we can get finished products in the form of ground piles, single, girder, solid foundations and anchor devices for stabilization of the main pipelines.

In accordance with this classification, we have determined the fields of application of each type of technical earth stabilization methods for the structures with various functional purposes.

Thus, the relevance of this master's thesis is the further development of experimental and theoretical provisions and practical recommendations in the field of the new technology of the microwave field use in the construction of pipeline transportation facilities in order to manufacture the thermal ground slabs.

The main idea of the paper is to improve the construction efficiency of foundations of the buildings and structures with the use of microwave field technology in the thermal ground stabilization due to the management of intensive high-temperature microwave energy flow at different stages of the technological process.

The object of research is the technology of the mobile microwave system use for the purpose of production of the thermal ground slabs in order to stabilize the pipeline position, under the foundations of buildings and structures, production of the slabs for pavements.

The subject of research is the parameters of the technological process of thermal prepared ground stabilization using the mobile microwave unit.