Акционерное общество
«Проектно-изыскательский
и научно-исследовательский институт
«Гидропроект» имени С.Я. Жука»

Восстановление Загорской ГАЭС-2 на р. Кунье

Восстановительные работы

Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы

Испытания пропиточных и инъекционных составов для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 в большой объемной модели

1938-35-1

Изм.	№ док.	Подп.	Дата

2020

Акционерное общество
«Проектно-изыскательский
и научно-исследовательский институт
«Гидропроект» имени С.Я. Жука»

Восстановление Загорской ГАЭС-2 на р. Кунье

Восстановительные работы

Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы

Испытания пропиточных и инъекционных составов для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 в большой объемной модели

1938-35-1

Генеральный директор,
ГИП по восстановлению ЗаГАЭС-2 Е.Н. Беллендир

Изм.	№ док.	Подп.	Дата

2020

Содержание

1 Введение 3

2 Общие положения 9

3 Программа испытаний 15

4 Выполнение исследований 26

4.1. Общие сведения 26

4.2. Инъекция №1 27

4.3. Инъекция №2 29

4.4. Инъекция №3 31

4.5. Инъекция №4 33

5 Выводы 35

6 Нормативная база 38

7 Список приложений 40

1 Введение

В настоящей работе приведен анализ результатов опытных работ по исследованиям инъекционных материалов для выполнения работ по восстановлению ЗаГАЭС-2 методом управляемого компенсационного нагнетания (УКН).

Документация выполнена в соответствии с требованиями ИСО 9001.

В рамках выполнения работы рассматривались вопросы комплексной проверки инъекционных материалов, удовлетворяющих предъявленным проектным требованиям.

Работы по проверке инъекционных материалов выполнялись при участии следующих организаций: ООО «ТоннельГеоСтрой»; ООО «Синерго»; АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

Работы по лабораторным испытаниям материалов на соответствие проектным требованиям выполнялись АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (см. Приложения 2 и 3).

Результатом настоящей работы является лабораторная проверка базовых составов инъекционных растворов (пропиточного и выравнивающего) и рекомендаций по их применению.

Настоящая работа выполнена на основании:

- Утвержденного Заказчиком календарного графика на выполнение работ «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2»;
- Согласованной Заказчиком «Программы восстановления и ввода в эксплуатацию Загорской ГАЭС-2» №1938-40-001;
- Проектной документации №1938-40-094 «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Разработка проектной документации на восстановительные работы. Корректировка этапа 1. Этап 2. Научно-техническое сопровождение проектных работ», получившим положительное заключение экспертизы и утвержденной Заказчиком в соответствии с Приказом №ЗГАЭС2/83-0091 по АО «Загорская ГАЭС-2» от 20.06.2017.
- Специальных технических условий (СТУ) на «Восстановление Загорской ГАЭС-2 на р. Кунья. Стабилизация здания ГАЭС и восстановление высотного положения здания ГАЭС по технологии компенсационного нагнетания по адресу: Московская обл., Сергиево-Посадский район, пос. Богородское, д. 101. №1938-40-201. [Согласовано Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (письмо №26823-ЕС/06 от 21.08.2015)]

- Проектной документации №1938-40-217 «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2. Разработка рабочей документации на подготовительные работы к выравниванию здания ГАЭС. Технические условия на производство работ по стабилизации. Компенсационное нагнетание. Опытный участок №3. Организация работ»
- Проектной документации №1938-40-283 «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Разработка проектной документации на восстановительные работы Корректировка этапа 1. Этап 2. Научно-техническое сопровождение проектных работ. Проектирование систем: нагнетания, технологии, смесей, ограничения зоны, деформаций грунта и перемещений структуры (вертикальных и горизонтальных), системы предварительного мониторинга для опытного участка №3», М. 2015
- Проектной документации №1938-40-445 «Выполнение работ по научно-техническому сопровождению опытного участка №3 при выполнении опытных работ. Компенсационное нагнетание. Опытный участок №3. Отчёт по результатам работ Этапа III», выполненный на основании результатов натурных исследований.
- Рабочей документации в соответствии с Договором;
- №1938-40-073 «Программа восстановления и достройки. Основные положения»
- Решениями отраслевых коллегиальных органов, включая:

– Протокол №9 пр совещания по ликвидации последствий осадки станционного узла Загорской ГАЭС-2 под руководством Председателя Правления ОАО «РусГидро» от 30.09.13.

– Протокол №3 заседания научно-технического совета ОАО «Институт Гидропроект» по рассмотрению основных решений проекта восстановления станционного узла Загорской ГАЭС-2 от 22.01.2014

– Протокол №1/2014 совместного заседания Бюро НТС ОАО «РусГидро» и секции «Гидроэлектростанции и гидротехнические сооружения НП «НТС ЕЭС» по рассмотрению вариантных проектных проработок ОАО «Институт Гидропроект» по восстановлению высотного положения станционного узла Загорской ГАЭС-2 от 11.03.2014

– Протокол №5/14 совместного заседания Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС и Научного совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики» на тему: «Восстановление сооружений станционного узла Загорской ГАЭС-2» от 30.07.2014 г.

– Протокол №ЧА-221пр совещания о ходе восстановления сооружений станционного узла Загорской ГАЭС-2 под председательством

Заместителя министра Минэнерго Российской Федерации А.В. Черезова от 30.09.14.

- Протокол заседания расширенного НТС ОАО «Институт Гидропроект» по теме «Конструктивные решения сооружений Загорской ГАЭС-2» от 28.11.2014.
- Протокол №12/2014 совещания по вопросам проведения изысканий и проектирования Загорской ГАЭС-2 от 15-17.12.2014 с участием представителей ОАО «Институт Гидропроект», ООО «ЭФ-ТЭК», «Ламайер интернэшнл ГмбХ», ООО «БАУЭР Технология», ГК «Главстройинвест», «Геодата инжиниринг».
- Протокол №1 Совещания по уточнению документации, необходимой для предъявления в страховые компании для подтверждения расходов на восстановление станционного узла Загорской ГАЭС-2 под руководством Заместителя Генерального директора по научно-проектной деятельности ОАО «РусГидро» от 16.02.15.
- Протокол №3/2015 заседания Бюро НТС ПАО «РусГидро» по рассмотрению проектных решений АО «Институт Гидропроект» принятых в проектной документации «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Разработка проектной документации на восстановительные работы. Корректировка этапа 1. Этап 2» от 09.09.2015.
- Протокол №3/2018 заседания Бюро НТС ПАО «РусГидро» по рассмотрению проектных решений АО «Институт Гидропроект» принятых в проектной документации «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Выполнение решений Бюро НТС» от 19.09.2018.
- Протокол №6/18 совместного заседания Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС и Научного совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики» на тему: «Восстановление Загорской ГАЭС-2. Проект восстановления и научно-техническое сопровождение» от 30.10.2018 г.
- Протокол №281 заседания Совета директоров ПАО «РусГидро» от 24.12.2018, вопрос 6: «О рассмотрении вопросов, имеющих существенное значение для Общества», п. 6.5. «О рассмотрении отчента об исполнении плана мероприятий по проведению работ на Загорской ГАЭС-2»; принятое решение 3: «Одобрить предложение Правления Общества приступить к реализации мероприятий по выравниванию здания станционного узла Загорской ГАЭС-2».
- Протокол №1.РС совещания по теме «выравнивание здания станционного узла Загорской ГАЭС-2» от 25.09.2019.

В настоящей работе учтены результаты опытных работ, полученные на опытном участке №3 и описанные в документах №1938-40-342; №1938-40-389; №1938-40-412; №1938-40-445.

Инженерно-геологические условия основания здания ГАЭС изучены в рамках проведения изысканий на всех этапах разработки проекта и строительства Загорской ГАЭС-2, и изложены в материалах проекта №1938-40-094. Следует также руководствоваться утвержденными Специальными техническими условиями (СТУ) на разработку проектной документации объекта «Корректировка ТЭО (Проект) строительства Загорской ГАЭС-2» в части инженерно-геологических изысканий. №1963-СТУ-ИИ.

В рамках данной работы выполнены следующие виды исследований:

- разработана программа лабораторных исследований пропиточного состава и инъекционного состава для технологии выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 «Программа лабораторных испытаний пропиточных и инъекционных составов, предназначенных для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2, в большой объемной модели»;
- проведены лабораторные исследования грунтов (3 вида), используемых для проведения лабораторных испытаний с целью проведения испытаний составов-аналогов на грунтах, соответствующих грунтам основания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2;
- проведены 4 испытания одной пары составов в соответствии с разработанной Программой;
- проведена оценка геотехнических свойств композитных грунтоцементных материалов, полученных в результате инъектирования составов в большую объемную модель.

Сведения, приведенные в настоящем документе, соответствуют проектной документации №1938-40-094, изм.1 от 30.09.2015.

В Приложении 1 приведена программа испытаний «Программа испытания в большой объемной модели пропиточных и инъекционных составов, предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2».

В Приложении 2 приведены результаты исследований по договору между АО «Институт Гидропроект» и АО «ВНИИГ» «Испытания в большой объемной модели пропиточного и инъекционного составов предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2», полученные в качестве отчета «Техническая информация по испытаниям в большой объемной модели

пропиточных и инъекционных составов предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2» от 08.06.2020.

В Приложении 3 приведены результаты исследований по договору между АО «Институт Гидропроект» и АО «ВНИИГ» «Испытания в большой объемной модели пропиточного и инъекционного составов предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2», полученные в качестве отчета «Техническая информация по испытаниям в большой объемной модели пропиточных и инъекционных составов предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2» от 03.07.2020.

В настоящей работе принимали участие специалисты АО «Институт Гидропроект» совместно со специалистами субподрядных организаций под руководством генерального директора АО «Институт Гидропроект» д.т.н. Беллендира Е.Н. и руководителя темы «Восстановление Загорской ГАЭС-2» АО «Институт Гидропроект», к.т.н. Александрова А.В.

Состав участников работы:

АО «Институт Гидропроект»:

Фролова Н.В. (ООТС), зам. начальника отдела

Лобанов К.И., (ООТС), зам. ГИПа

Кузнецова А.В., (ООТС), Главный специалист

АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Список исполнителей

Начальник отдела №310 «Основания, грунтовые и подземные сооружения»	Котлов ОН.
Зам. начальника отдела №310 «Основания, грунтовые и подземные сооружения» по лабораторной базе	Широков Д.А.
Начальник отдела №370 «Технологии строительства и ремонта железобетонных сооружений»	Костыря Г.З

Старший научный сотрудник отдела №370	А.В. Донов.
Инженер I кат. отд. №370	Латыпова Д.В
Зав лаборатории №312 «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского, к.т.н.	Лопатина М.Г.
Старший научный сотрудник лаб. №312	Легина Е.Е.
Младший научный сотрудник лаб. №312	Быковская С.А.
Младший научный сотрудник лаб. №312	Величко А.С.
Инженер II кат. лаб. №312	Головина М.П.
Инженер лаб. №312	Клушенцев В.А.
Инженер лаб. №312	Чернов П.В.
Начальник отдела №320 «Механика грунтов и геотехника»	Сокуров В.В.
Руководитель испытательного центра механики грунтов	Зайкин Ю.В.
Ведущий научный сотрудник отд. №310	Васильев Н.К.
Инженер отд. №310	Мигнигалеев Ю.Р.
Инженер отд. №310	Давыдов М.Г.

2 Общие положения

Загорская ГАЭС-2 расположена в Сергиево-Посадском районе Московской области, рядом с Загорской ГАЭС-1. Источник водообеспечения – река Кунья с единым для обоих ГАЭС нижним бассейном.

ГАЭС-2 имеет 4 обратимых агрегата с суммарной установленной мощностью в генераторном режиме 840 МВт и насосном режиме 1000 МВт, расчетный напор 100,00 м, число часов использования 3,5-4,0 час, годовая выработка – потребление энергии 1000-1350 ГВт·ч.

В состав основных сооружений Загорской ГАЭС-2 входят (см. рисунок 2.1.):

- станционный узел, включающий в себя здание станции с реверсивным каналом, монтажную площадку, временную монтажную площадку, помещения пусковых тиристорных устройств, сопрягающие подпорные стенки верхнего и нижнего бьефа, служебно-производственный корпус и другие сооружения:
- здание станции неразрезной конструкции длиной 105,50 м, максимальной высотой около 47,00 м, шириной (вдоль потока) 67,50 м, габарит агрегатного блока – 22,00 м;
- слева от здания станции расположено помещение монтажной площадки размером 35,00x23,50 м;
- четыре нитки сталежелезобетонных открытых напорных водоводов с внутренним диаметром 7,50 м, протяженность каждой нитки ~ 780,00 м.
- водоприемник; водоприемник соединяется со зданием ГАЭС-2 4-мя нитками напорных водоводов;
- верхний аккумулирующий бассейн;
- нижний аккумулирующий бассейн;
- сооружения выдачи мощности.



Рисунок 2.1 – Общий вид ЗаГАЭС-2

Этап выравнивания сооружений станционного узла предусматривается выполнять методом управляемого компенсационного нагнетания (УКН).

Для выполнения работ по УКН при выравнивании здания ГАЭС необходимо создать сетку манжет в теле основания здания ГАЭС, через которые требуется выполнить инъекцию пропиточных и выравнивающих составов. В связи с этим, опытно-производственные работы выполняются в соответствии с требованиями выравнивания.

Сетка манжет при выравнивании здания ГАЭС выполняется путем установки 8 ярусов манжетных колонн, находящихся на расстоянии от 7,5 м ниже фундаментной плиты ГАЭС до 11,5 м.

Манжетные колонны устанавливаются в скважины, пробуренные методом горизонтально-направленного бурения. При установке манжетных колонн извлекаются обсадные трубы, необходимые при производстве буровых работ, при этом манжетные колонны охватываются специальным обойменным раствором, осуществляющим контакт между манжетной колонной и грунтом основания здания ГАЭС.

На участке здания станции в интервале глубин проходки скважин распространены инженерно-геологические элементы, описание которых приводится в табличном виде (таблица 2.1).

Таблица 2.1.

№ п/п	ИГЭ	Стратиграфический индекс	Краткая характеристика грунтов	Мощность, м			n
				от	до	средняя	
1	1-6.1	fgl,lglQIIdnms	Песок пылеватый. Встречается в виде невыдержанных линзообразных слоев.	1-2	5	3	29
2	1-6.2		Супеси, суглинки, глины, содержащиеся в песчаной толще в виде отдельных маломощных прослоев и линз. В основании здания станции встречаются редко и не имеют самостоятельного значения.	0,1	0,8	0,2	6
3	1-6.3		Пески средней крупности и мелкие. Слагают основной массив грунтов днепровско-московского горизонта.	20-30	90	40	249
4	1-6.5		Песок крупный и гравелистый, гравийно-галечниковый грунт. В большей части разреза отложений древней долины под зданием станции эти грунты имеют линзовидное залегание. В интервале абсолютных высот 95-80 м они формируют относительно выдержанный горизонт.	1-2	7-9	3-4	14

Гранулометрический состав ИГЭ, представленных несвязными грунтами, приводится в таблице 2.2 для зоны (интервала) 130-105 м.

Таблица 2.2

ИГЭ	Стратиграфический индекс	Наименование грунта	Гранулометрический состав в %, размер частиц в мм											Число определений
			>10	10,0-5,0	5,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005	
1-6.1	fgl,lglQIIdn-ms	Песок пылеватый	1,3	0,9	0,2	0,4	2,1	12,8	41,5	15,0	16,4	4,3	5,1	16
1-6.3		Песок средней крупности (с включением песка мелкого)	1,1	0,3	1,3	3,1	10,3	40,2	32,2	2,2	4,8	1,9	2,6	169
1-6.5		Песок гравелистый (с включением гравийного грунта и песка крупного)	10,4	5,9	9,4	10,9	17,7	21,8	11,2	5,3	3,0	1,7	2,7	14

В графической интерпретации грансоставы песков по выделенным ИГЭ в интервале 99-106 м абсолютных отметок приводятся на рисунке 1 в виде суммарных кривых. С помощью графиков получены характерные параметры гранулометрических составов (таблица 2.3).

Таблица 2.3

№ п/п	ИГЭ	Грунт	Параметры грансостава				Оценка однородности
			d_{50}	d_{60}	d_{10}	Кн	
1	1-6.1	Песок пылеватый	0,123	0,153	0,011	13,9	неоднородный
2	1-6.3	Песок средней крупности	0,279	0,331	0,062	5,3	неоднородный
3	1-6.5	Песок гравелистый	0,592	0,875	0,070	12,5	неоднородный

Условно (по соотношению образцов при опробовании) принимается следующее соотношение песков разной зернистости в грунтовом массиве под зданием станции (интервал 99-106 м абсолютной высоты): песок пылеватый (ИГЭ 1-6.1) – 8%; песок мелкий и средней крупности (ИГЭ 1-6.3) – 84%; песок крупный, песок гравелистый, гравийный грунт (ИГЭ 1-6.5) – 8% (рис. 2.2).

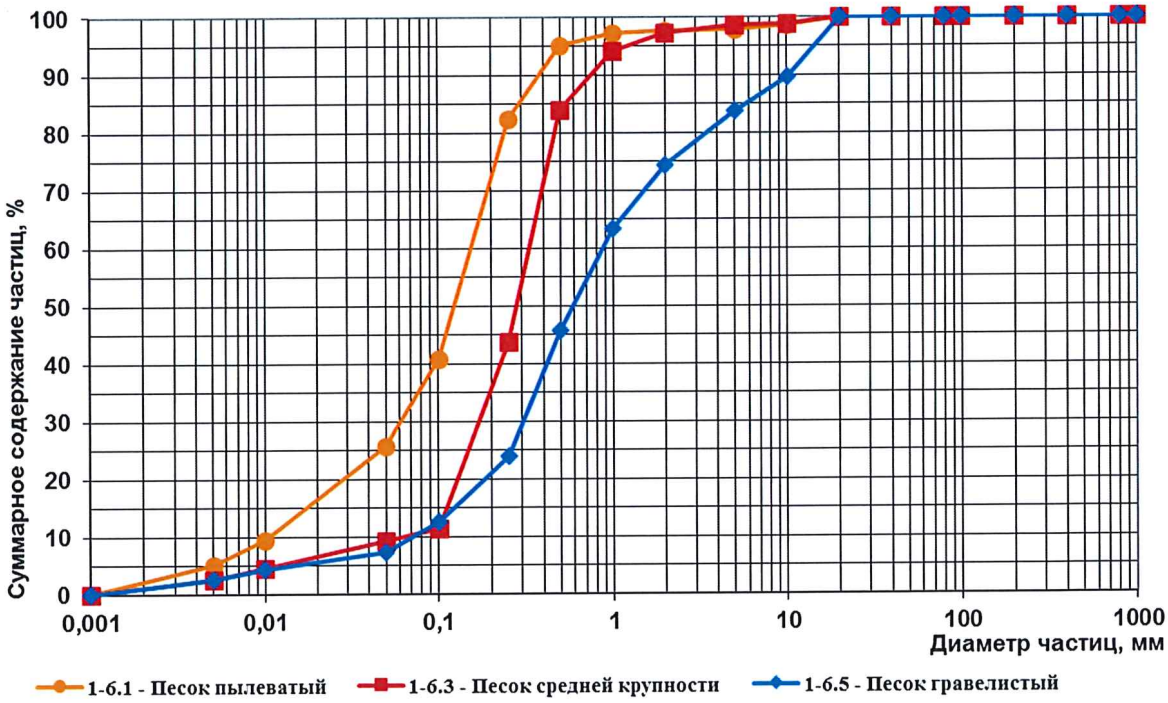


Рис. 2.2. Гранулометрический состав грунтов основания здания ГАЭС (осредненно)

Управляемое компенсационное нагнетание в грунтах основания здания Загорской ГАЭС-2, представленных преимущественно песками, выполняется с применением предварительной пропитки грунтов.

Метод компенсационного нагнетания с предварительной пропиткой грунта предусматривает выполнение работ в 2 этапа: 1-й этап – предварительная подготовка песчаного массива, посредствам его пропитки высокопроникающим композитным раствором под низким давлением; 2-й этап - последующее компенсационное нагнетание инъекционного состава по горизонтам массива с регулируемой вязкостью при проектном давлении и расходе.

При проведении опытных лабораторных работ АО «ВНИИГ» на большой объемной модели и АО «Институт Гидропроект» на крупномасштабной модели опытного участка №3 в 2016-2017 гг. были проверены и одобрены к применению две пары пропиточного и выравнивающего составов (КН-1 – КН-2 и П-1 – ОС-7).

В настоящее время на рынке составов для проведения работ по УКН существует дефицит предложений по срокам и объемам поставки материалов, что подтвердило опытное бурение и нагнетание в скважины, выполненное в 2020 году. В связи с этим, по предложению генподрядной организации ООО «ТоннельГеоСтрой», требуется выполнить проверку соответствия требованиям проекта пары составов «САТгрунд» (пропиточный) и «АПгрунд» (выравнивающий) производства АО «Синерго».

Целью исследований является оценка в большой объемной модели характера распространения указанной пары составов в грунтах вмещающего массива Загорской ГАЭС-2 (пески крупнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые / пылеватые).

В рамках исследований выполнялись следующие работы:

- разработка «Программы испытания в большой объемной модели пропиточного и инъекционного составов, предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2».
- лабораторные исследования характеристик грунтов с площадки ГАЭС-2 и модельных грунтов, используемых для исследований
- определение технологических характеристик пропиточного и инъекционного составов
- выполнение комплекса подготовительных работ к испытаниям на большой объемной модели (укладка и уплотнение грунта, водонасыщение, подключение датчиков давления, входной контроль инъекционных материалов) для проведения испытаний

- нагнетание пропиточного и инъекционного растворов в большую объемную модель с контролем и фиксацией технических параметров (4 испытания одной пары составов по трём видам грунтов)
- фотофиксация разгрузки большой объемной модели.
- демонтаж большой объемной модели после нагнетаний с отбором проб пропитанных грунтов и образовавшихся объемных твердых тел
- отбор проб и лабораторные исследования характеристик пропитанных грунтов
- отбор образцов и лабораторные исследования характеристик объемных твердых тел.

3 Программа испытаний

В рамках проведения исследований разработана программа испытаний «Программа испытания в большой объемной модели пропиточных и инъекционных составов, предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2».

В программе приведен порядок выполнения работ по проведению испытаний пропиточных и инъекционных составов (таблица 3.1.) и методика испытаний (см. приложение 1).

Таблица 3.1.

№ п/п	Наименование работ	Ответственные исполнители	Примечания
1.	**Подготовительные работы**		
1.1	Перечень инъекционных составов (2 вида пропиточных и 2 вида инъекционных), перечень грунтов (3 вида), подлежащих испытаниям.	АО «Институт Гидропроект» АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ООО «Синерго»	
1.2	Требования к технологическим характеристикам инъекционных составов (вязкость, плотность, седиментация и т.д.).	Разработчики составов: ООО «Синерго»	АО «Институт Гидропроект» выполняет согласование
1.3	Требования к параметрам приготовления инъекционных составов (скорость и время перемешивания, температура смеси, и т.д.)	Разработчики составов: ООО «Синерго»	АО «Институт Гидропроект» и ООО «ТоннельГеоСтрой» выполняют согласование
1.4	Требования к параметрам испытания (рабочее давление; расход нагнетания; давление отказа; объем разового нагнетания и т.д.) приведены в разделе 4 Программы Через 1 сутки выполняется повторное нагнетание основного состава.	АО «Институт Гидропроект»	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» направляет в адрес АО «Институт Гидропроект» и ООО «ТоннельГеоСтрой» требования по безопасности и методике выполнения исследований на большой объемной модели ВНИИГ
1.5	Разработка и согласование программы испытаний	АО «Институт Гидропроект» АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	Согласование: АО «Загорская ГАЭС-2»/ ООО «ТоннельГеоСтрой» / ООО «Синерго»

№ п/п	Наименование работ	Ответственные исполнители	Примечания
1.6	Поставка песков с площадки ГАЭС-2	АО «Институт Гидропроект»	
1.7	Поставка нагнетательных манжет	Генподрядчик	АО «Институт Гидропроект» выполняет согласование параметров манжет
1.8	Поставка насосного оборудования	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
1.9	Поставка оборудования для приготовления (перемешивания) инъекционных растворов	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	АО «Институт Гидропроект» выполняет согласование параметров
1.10	Поставка составов для нагнетания	Разработчики составов: ООО «Синерго»	АО «Институт Гидропроект» выполняет согласование параметров
1.11	Подготовка модельных грунтов	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
2.	**Лабораторные исследования до испытаний**		
2.1	2.1.1. Лабораторные исследования песков с площадки ГАЭС-2: гранулометрический состав, содержание органических примесей, плотность частиц, максимальная плотность при оптимальной влажности, угол внутреннего трения φ, удельное сцепление С, угол дилатансии ψ, компрессионный модуль деформации Ек, коэффициент фильтрации, критический градиент. 2.1.2. Подготовка модельного грунта и укладка в большую объемную модель грунта (3 разновидности), доставленного с площадки ЗГАЭС-2, с определением его плотности и влажности.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	При укладке грунта выполняется контроль качества путем отбора проб для определения плотности и влажности
2.2	2.2.1. Приготовление составов с учетом требований к их характеристикам (см. Приложение 2). 2.2.2. Определение технологических характеристик пропиточных и инъекционных	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ООО «Синерго»	Определение технологических и физико-механических характеристик составов выполняется в лабораторных условиях АО «ВНИИГ им. Б.Е.

№ п/п	Наименование работ	Ответственные исполнители	Примечания
	составов ООО «Синерго» при заданных водоцементных отношениях (см. раздел 2.4).		Веденеева» (под методическим контролем и с использованием лабораторного оснащения АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», кроме оборудования для перемешивания составов)
3.	**Подготовка к испытаниям на большой объемной модели**		
3.1	Пуско-наладочные работы по подготовке инъекционного комплекса. Прокладка и подключение растворопровода от инъекционного комплекса к большой объемной модели	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
3.2	Подготовка большой объемной модели (укладка грунта с контролем плотности, сборка, подключение и тестирование электронного оборудования). Контроль герметичности соединений объемной модели после ее сборки.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	При участии разработчиков составов
3.3	Составление Акта на сборку большой объемной модели	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	Согласование: АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»/АО «Институт Гидропроект» / ООО «Синерго»
4.	**Приготовление инъекционных составов**		
4.1.	Подготовка необходимого оборудования и материалов для приготовления инъекционных растворов	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ООО «Синерго»	Контроль АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
4.2.	Приготовление инъекционных растворов	Разработчики составов: ООО «Синерго»	Контроль АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
4.3.	Загрузка инъекционных растворов в приемный бункер инъекционного комплекса	Разработчики составов: ООО «Синерго»	Контроль АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
5.	**Нагнетание инъекционных растворов в большую объемную модель**		
5.1	Нагнетание пропиточных и инъекционных растворов в	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	Контроль ведения испытаний АО

№ п/п	Наименование работ	Ответственные исполнители	Примечания
	соответствии с технологическими требованиями (см. раздел 4) в большую объемную модель	ООО «Синерго»	«ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
5.2	Контроль и корректировка (при необходимости) параметров нагнетания.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ООО «Синерго»	Контроль ведения испытаний АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
5.3	Контроль герметичности соединений и целостности подающего растворопровода в процессе нагнетания инъекционных растворов.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ООО «Синерго»	Контроль ведения испытаний АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
5.4	Фиксация и анализ параметров нагнетаний. Контроль показаний датчиков.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
5.5	Составление Акта проведения нагнетания с фиксацией фактических параметров опыта.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	Согласование: АО «Институт Гидропроект» / ООО «Синерго»
6.	**Завершающая стадия работ**		
6.1.	Демонтаж и промывка растворопровода и насосного оборудования.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
6.2.	Вскрытие и разборка оборудования модели.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	В присутствии: АО «Институт Гидропроект» / ООО «Синерго»
6.3	Демонтаж и промывка оборудования объемной модели.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
6.4	Составление Акта по вскрытию.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	Согласование: АО «Институт Гидропроект» / ООО «Синерго»
6.5	Последовательная фотофиксация разгрузки большой объемной модели. Оценка характера распространения инъекционного состава в толще грунта.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	При участии: АО «Институт Гидропроект» / ООО «Синерго»
6.6	Отбор образцов грунта после проведения испытания для лабораторных исследований механических характеристик: угол внутреннего трения φ, удельное сцепление С, угол дилатансии ψ,	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	

№ п/п	Наименование работ	Ответственные исполнители	Примечания
	компрессионный модуль деформации Ек.		
6.7	Отбор образцов объемного тела после проведения испытания на большой объемной модели для лабораторных исследований прочности ($R_{сж}$) на 7, 14 и 28 сутки, устойчивости к размыву потоком воды, устойчивости к размоканию.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	
6.8	Отбор образцов грунта после проведения испытания для лабораторных исследований его плотности, влажности, коэффициента фильтрации.	АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	

Для проведения лабораторных исследований по оценке эффективности работы инъекционных составов была сконструирована большая объемная модель – «бочка» диаметром около 90 см и высотой около 1 м (рис. 3.1.)

Большая объемная модель была сконструирована таким образом, что позволяла моделировать состояние грунтового массива под зданием Загорской ГАЭС-2, включая нагрузки от существующего здания, моделируемые поршнем.

Большая объемная модель позволяла в лабораторных условиях отработать оптимальные условия проведения инъектирования, оценить параметры и результаты инъекционных процессов в толще испытуемого образца грунта, что, в свою очередь, повышало достоверность оценки работы инъекционных составов.

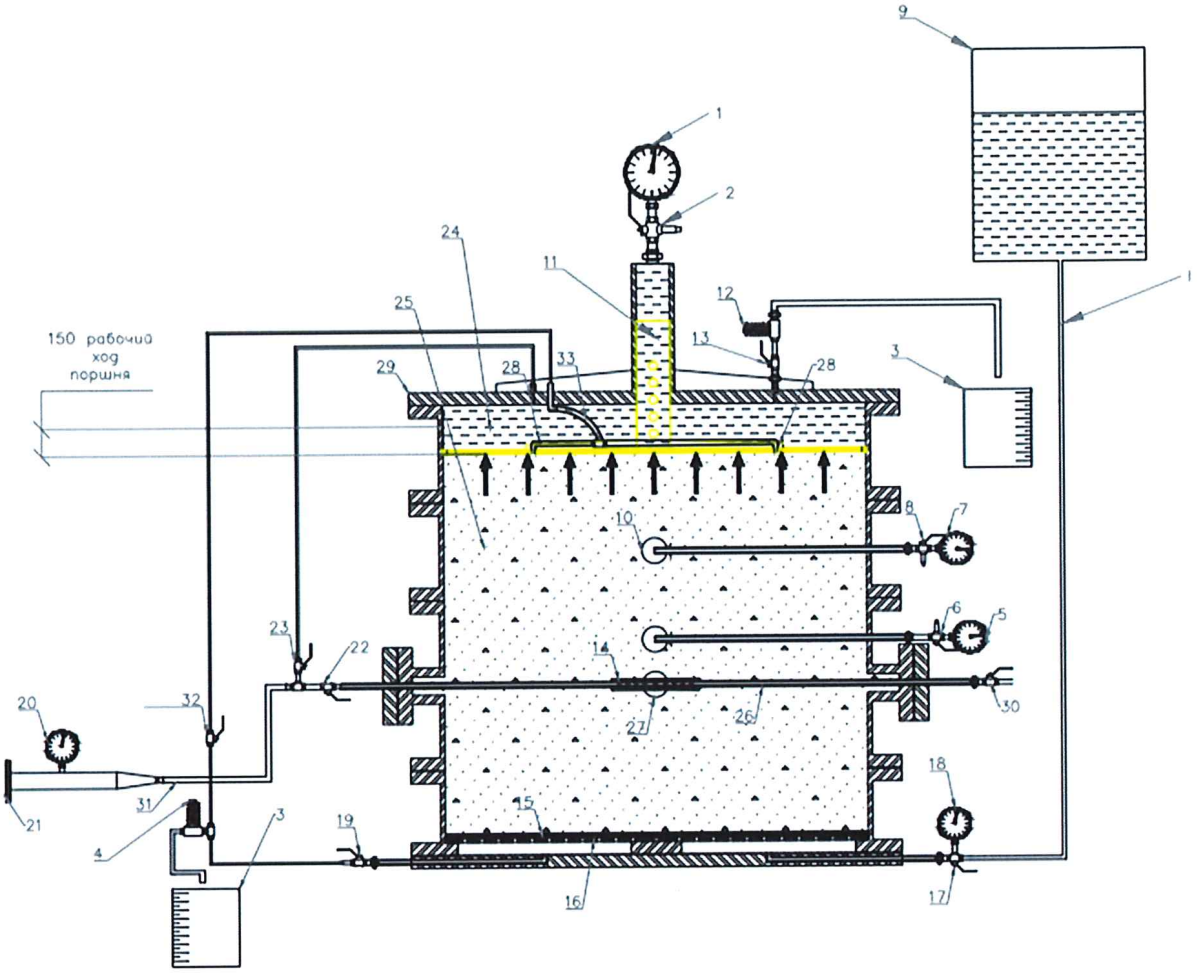


Рис. 3.1 Схема большой объемной модели «бочка»

Условные обозначения к Рис. 3.1.:

1 - Манометр;

2 - Кран трехходовой;

3 - Мерная емкость V= 10 литров;

4 - Регулирующий клапан для отвода воды в ходе инъектирования;

5 - Манометр;

6 - Трехходовой кран;

7 - Манометр;

8 - Трехходовой кран;

9 - Заливной бак;

10 - Разделитель сред манометров;

11 - Поршень;

12 - Сбросной клапан для воды, выдавливаемой поршнем в ходе инъектирования;

13 - Кран двухходовой;

14 - Резиновая трубка (манжета);

15 – Латунная сетка толщиной 1 мм (3 слоя);

16 - Решетка;

17 - Кран двухходовой;

18 - Манометр;

19 - Трехходовой кран;

20 - Манометр;

21 - Растворонасос;

22 - Кран двухходовой;

23 - Кран двухходовой;

24 - Верхняя секция (над поршнем);

25 - Нижняя секция (под поршнем);

26 - Инъектор;

27 – Центральный разделитель сред, манометр, трехходовой кран расположенные перпендикулярно оси инъенктора;

28 – Трубки для отвода воды из-под поршня в ходе инъектирования;

29 - Верхняя крышка;

30 - Двухходовой кран;

31 - Заливной шланг;

32 - Двухходовой кран;

33 - Соединительный шланг.

Результаты испытаний инъекционных составов должны были удовлетворять проектным требованиям как по технологическим условиям их применения, так и по условиям их работы в конструкции ЗаГАЭС-2 в эксплуатационный период.

Требования к составам приведены в проектной документации №1938-40-094 (см. табл. 3.2 и 3.3.).

Таблица 3.2.

Проектные требования к пропиточному материалу «САТгрунд»

№	Наименование показателя	Требуемое значение
1	Рабочее В/Т отношение	2-4
2	Проницаемость	Высокая (пропитка с заполнением пор и пустот, с отжатием из них воды, сохранение структуры грунта).
3	Вязкость, по Маршу в интервале 0-90 минут, (сек) после приготовления: -через 30 минут: -через 60 минут: -через 90 мин:	27-50 (проектное требование) 31-33 35-37 37-40
4	Плотность раствора, т/м^3	1,05-1,2
5	Седиментация (при атм. давлении), в интервале 0-90 минут, не более, % - через 30 мин: -через 60 мин: -через 90 мин:	3 (проектное требование) 1 1,5 2

Таблица 3.3

Проектные требования к инъекционному вяжущему для управляемого объемного нагнетания «АПгрунд»

№	Наименование показателя	Требуемое значение
1	Проницаемость	Низкая (раствор высокой вязкости)
2	Модуль деформации закрепленного массива на момент набора полной прочности, кН/м^2	40 000
3	Удельное сцепление массива на момент набора полной прочности, кН/м^2	6
4	Угол внутреннего трения массива на момент набора полной прочности, °	40
5	Прочность на сжатие, МПа	10
6	Вязкость, время измерения(мин) / время истечения 1 л суспензии из воронки Марша(сек)	0/90 30/90 60/90 90/90
7	Плотность раствора, т/м^3	1,6

8	Седиментация (при атм. давлении), время измерения(мин) /оседание частиц (%)	0/0 30/0 60/0 90/0

Требования к параметрам испытаний при инъекциях приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4.

№	Наименование показателя	Требуемое значение
1	Расход при нагнетании	
	пропиточные составы	3-5 л/мин
	выравнивающие составы	2-3 л/мин
2	Рабочее давление в насосе	0-50 атм
3	Рабочее давление в большой модели	не более 10 атм**
4	Давление отказа	50 бар или максимальное для большой объемной модели
5	Количество повторных нагнетаний	не регламентируется
6	Объем разового нагнетания	не более 60 л
7	Фактическое время нагнетания*	Фиксация в протоколе испытаний

* – определялось в ходе проведения нагнетаний и фиксировалось в Акте проведения нагнетаний (см. Раздел 1 «Порядок проведения работ…» п. 5.5), не должна превышать ограничения конструкции большой объемной модели и обеспечивающего оборудования;

** – определялось ограничениями конструкции большой объемной модели

График проведения испытаний приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5.

№	Вид операции	Продолжительность, дн.	Сроки
0.1	Подготовительные работы, согласование Программы	8	27.04.2020 – 05.05.2020
0.2	Проведение лабораторных исследований исходных грунтов	15	28.04.2020 – 12.05.2020
1	**Составы САТгрунд и АПгрунд / среднезернистый песок**		
1.1	Укладка грунта в модель	3	05.05.2020 – 08.05.2020

№	Вид операции	Продолжительность, дн.	Сроки
	Приготовление пробной партии пропиточного и основного составов, оценка их технологических характеристик на соответствие требованиям п.3.		
1.2	Нагнетание пропиточного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	14.05.2020
1.3	Нагнетание основного состава АПгрунд	1	15.05.2020
1.4	Выдерживание грунта под давлением	5	16.05.2020 – 20.05.2020
1.5	Вскрытие модели, фотофиксация, отбор грунта для исследований, отбор объемного тела для исследований, разгрузка грунта	3	21.05.2020 – 22.05.2020
1.6	Проведение лабораторных исследований грунта и объемного тела*	8	22.05.2020 – 29.05.2020
2	**Составы САТгрунд и АПгрунд / среднезернистый песок**		
2.1	Укладка грунта в модель	3	23.05.2020 – 25.05.2020
2.2	Нагнетание пропиточного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	26.05.2020
2.3	Нагнетание основного состава АПгрунд, определение его технологических характеристик.	1	27.05.2020
2.4	Повторное нагнетание основного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	30.05.2020
2.5	Выдерживание грунта под давлением	3	30.05.2020 – 01.06.2020
2.6	Вскрытие модели, фотофиксация, отбор грунта для исследований, отбор объемного тела для исследований, разгрузка грунта	3	02.06.2020 – 04.06.2020
2.7	Проведение лабораторных исследований грунта и объемного тела	8	05.06.2020 – 12.06.2020
3	**Составы САТгрунд и АПгрунд / крупнозернистый песок**		
3.1	Укладка грунта в модель	2	05.06.2020 – 06.06.2020

№	Вид операции	Продолжительность, дн.	Сроки
3.2	Нагнетание пропиточного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	08.06.2020
3.3	Нагнетание основного состава АПгрунд, определение его технологических характеристик.	1	09.06.2020
3.4	Повторное нагнетание основного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	11.06.2020
3.5	Выдерживание грунта под давлением	3	12.06.2020 – 14.06.2020
3.6	Вскрытие модели, фотофиксация, разгрузка грунта	3	15.06.2020 – 17.06.2020
3.7	Проведение лабораторных исследований грунта и объемного тела	8	18.05.2020 – 25.06.2020
4	**Составы САТгрунд и АПгрунд / пылеватый (мелкозернистый) песок**		
4.1	Укладка грунта в модель	2	18.06.2020 – 19.06.2020
4.2	Нагнетание пропиточного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	22.06.2020
4.3	Нагнетание основного состава АПгрунд, определение его технологических характеристик.	1	23.06.2020
4.4	Повторное нагнетание основного состава САТгрунд, определение его технологических характеристик.	1	26.06.2020
4.5	Выдерживание грунта под давлением	3	27.06.2020 – 29.09.2020
4.6	Вскрытие модели, фотофиксация, разгрузка грунта	3	30.06.2020 – 02.07.2020
4.7	Проведение лабораторных исследований грунта и объемного тела	8	03.07.2020 – 10.07.2020
4.8	Составление отчетных материалов	15	15.07.2020 – 29.07.2020

Примечание: *Испытания образцов объемного тела в возрасте 7, 14, 28 сут проводились после достижения образцами требуемого возраста.

4 Выполнение исследований

4.1. Общие сведения

Исследования пропиточного состава «САТгрунд» и выравнивающего состава «АПгрунд» проводились в соответствии с Программой (Приложение 1) и графиком проведения испытаний (таблица 3.5.).

В рамках проведения исследований было сделано 4 испытания на большой объемной модели:

- 2 испытания с проведением инъекций в песок средней крупности: первое испытание (инъекция №1) выполнялось с двойной инъекцией выравнивающего состава, второе испытание (инъекция №2) выполнялось с одинарной инъекцией выравнивающего состава;
- одно испытание (инъекция №3) выполнялось в песок гравелистый с одинарной инъекцией выравнивающего состава;
- одно испытание (инъекция №4) выполнялось в песок пылеватый с одинарной инъекцией выравнивающего состава.

Во всех испытаниях выполнялась предварительная пропитка грунта, уложенного в модель, составом «САТгрунд» в объеме, позволяющем добиться полного насыщения грунта материалом пропитки.

В рамках подготовительных работ с площадки строительства ЗаГАЭС-2 в лабораторию ВНИИГ был доставлен среднезернистый песок, который использовался при проведении инъекций №1 и №2.

Грунты «песок гравелистый» и «песок пылеватый» были модельными, и их характеристики соответствовали гранулометрическим составам соответствующих песков (см. рис. 2.2. и табл. 2.3).

В процессе выполнения пропитки контролировались объем пропиточного материала на соответствие расчетным значениям, выход пропиточного материала из грунта и параметры пропитки.

В процессе выполнения инъекций выравнивающим составом контролировался объем инъекции, параметры инъекции и перемещение поршня, обеспечивающего пригруз грунтового массива, который соответствовал проектной нагрузке на грунт.

4.2. Инъекция №1

Инъекция №1 выполнялась в период 08/05/20 – 22/05/20 с предварительными регламентными работами по определению характеристик грунтов (песок средней крупности), поставленных во АО «ВНИИГ» с площадки строительства. Общий вид большой объемной модели представлен на рис. 4.2.1.

Работы выполнялись в присутствии и при участии представителей завода-производителя составов.

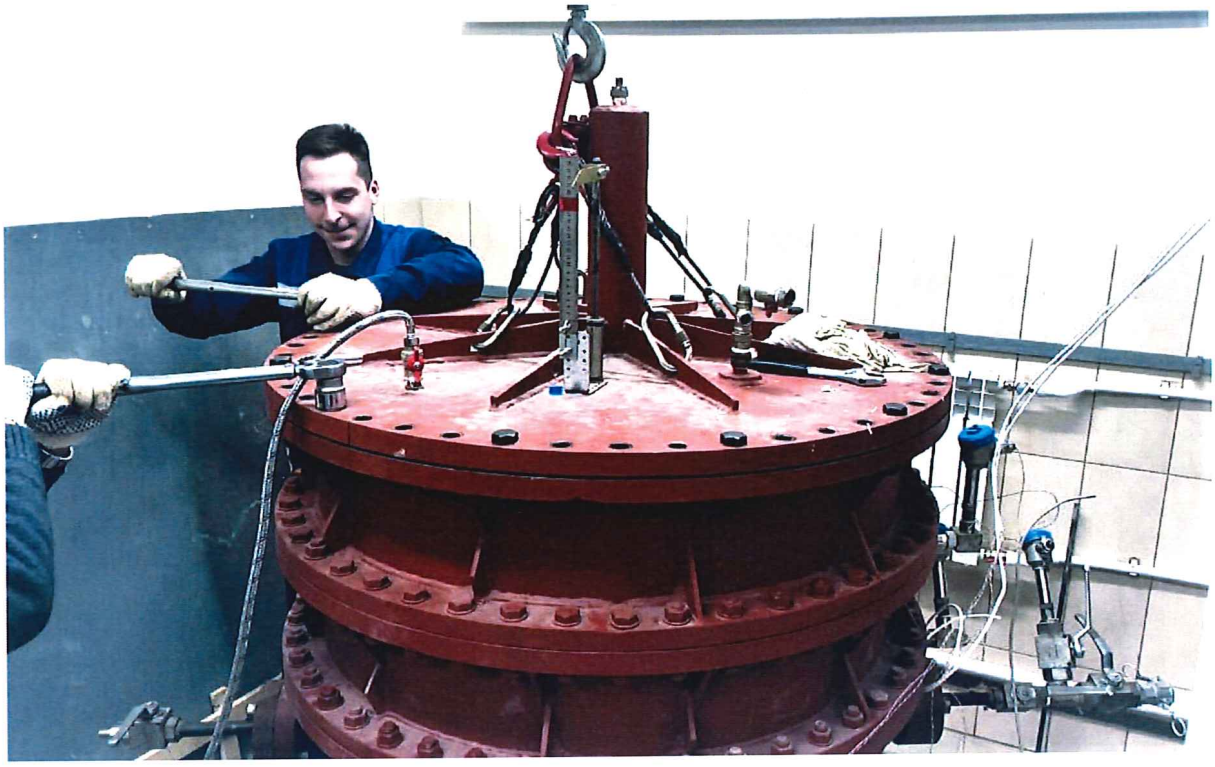


Рис. 4.2.1 Общий вид большой объемной модели

В рамках выполнения работ по пропитке грунта в большой объёмной модели, работы были приостановлены, так как было определено, что инъекционное оборудование оказалось непригодным для выполнения этих работ: неисправность манометра насосной станции, отсутствие возможности плавной регулировки параметров инъекции и проч.

После устранения неисправностей работы по пропитке и последующему нагнетанию выравнивающих составов были продолжены.

Выравнивающий состав инъектировался однократно.

Объем (по объёму вытесненной воды) инъекции пропитки составом «САТгрунд» составил 69,27 л, выравнивающего состава «АПгрунд» – 79,40 л.

Инъекции выравнивающего состава выполнялись в рекомендуемом диапазоне давлений до 30 бар. При инъекции выравнивающего состава отмечен подъём поршня большой объёмной модели.

Выдержка под давлением 5,5 кгс/см2 составляла 5 дней (15-20.05.2020).

При вскрытии модели было обнаружено объемное тело, соответствующее объему инъектированного выравнивающего состава (рис. 4.2.2.).



Рис. 4.2.2 Общий вид объемного тела (опыт №1)

Из большой объемной модели отобраны пробы пропитанного грунта и пробы из объёмного тела.

Результаты испытаний пропитанных грунтов и материала объемного тела показывают, что грунт в районе расположения объемного тела стал водонепроницаемым, грунт приобрел свойства связности, прочность материала объемного тела находится в районе 10 МПа. Эти характеристики соответствуют требованиям проекта.

В результате выполненного опыта №1 можно сделать вывод, что при однократной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного среднезернистыми песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты.

4.3. Инъекция №2

Инъекция №2 выполнялась в период 25/05/20 – 03/06/20 с предварительными регламентными работами по определению характеристик грунтов (песок средней крупности), поставленных во АО «ВНИИГ» с площадки строительства.

Работы выполнялись в присутствии и при участии представителей завода-производителя составов.



Рис. 4.3.1 Общий вид объемного тела в модели

В рамках выполнения работ по инъекции в грунт выравнивающего состава, после первой инъекции (27.05.20) работы были приостановлены на 3 суток для выдержки состава. После этого работы были продолжены (30.05.20) повторной инъекцией того же состава. Состав «АПгрунд» при повторной инъекции был окрашен в розовый цвет для возможности отличить их после вскрытия модели.

Объем (по объёму вытесненной воды) инъекции пропитки составом «САТгрунд» составил 69,27 л, выравнивающего состава «АПгрунд» – 39,72 л при первый инъекции и 34,50 л при второй инъекции.

Инъекции выравнивающего состава выполнялись в рекомендуемом диапазоне давлений до 20 бар. При обеих инъекциях выравнивающего состава отмечен подъём поршня большой объёмной модели.

Выдержка под давлением 5,5 кгс/см2 составляла 3 дня (30.05.20-01.06.2020).

При вскрытии модели было обнаружено объемное тело, соответствующее объему инъектированного выравнивающего состава (рис. 4.3.2.).

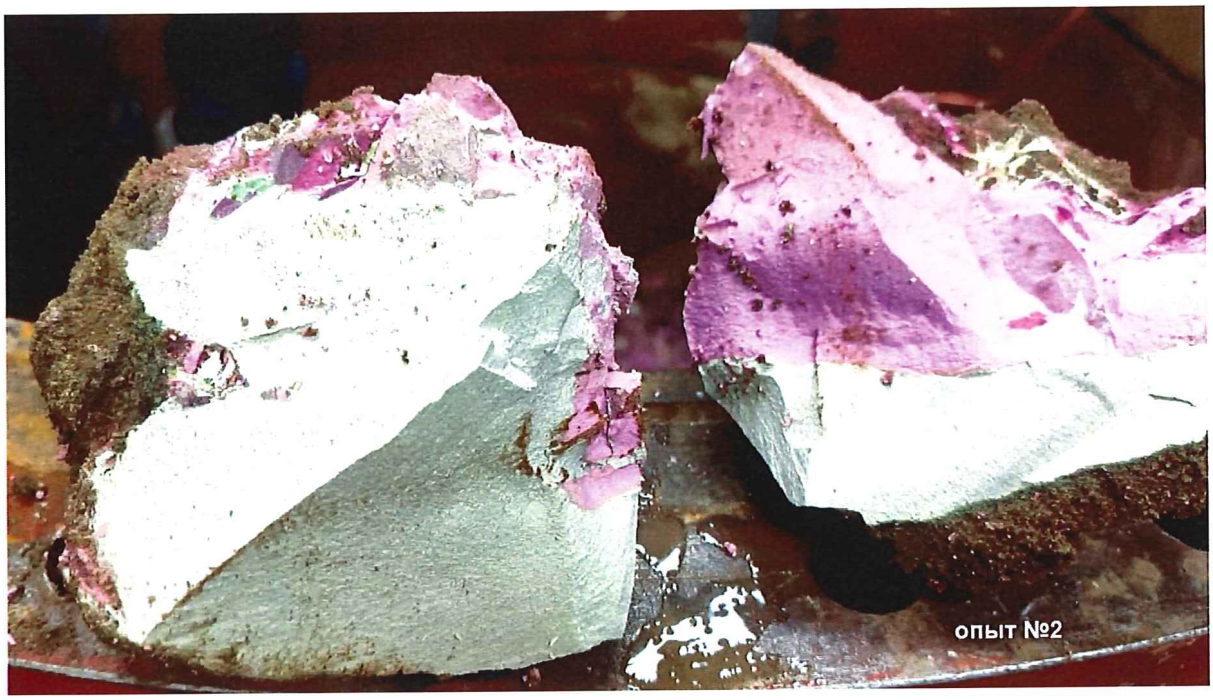


Рис. 4.2.2 Общий вид объемного тела (опыт №2)

Из большой объемной модели отобраны пробы пропитанного грунта и пробы из объёмного тела.

Результаты испытаний пропитанных грунтов и материала объемного тела показывают, что грунт приобрел свойства связности, прочность материала объемного тела находится в районе 12 МПа. Эти характеристики несколько выше требований проекта.

Характер сопряжения объемного тела в районе границы первой и второй инъекций показывает, что указанное сопряжение является плотным и непрерывным по всей границе. Объемное тело при повторной инъекции увеличилось в размере, не создавая разрывов сплошности.

В результате выполненного опыта №2 можно сделать вывод, что при двукратной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного среднезернистыми песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты. Характер сопряжения объемного тела между первой и второй инъекциями соответствует требованиям проекта.

4.4. Инъекция №3

Инъекция №3 выполнялась в период 06/06/20 – 11/06/20 с предварительными регламентными работами по приготовлению и определению характеристик модельного грунта, приготовленного из грунтов, поставленных во АО «ВНИИГ» с площадки строительства. Модельным грунтом являлся песок крупный неоднородный. Общий вид большой объемной модели после проведения инъекции №3 представлен на рис. 4.4.1.

Работы выполнялись в присутствии и при участии представителей завода-производителя составов.



Рис. 4.4.1 Общий вид большой объемной модели после проведения инъекции №3

Выравнивающий состав инъектировался однократно.

Объем (по объёму вытесненной воды) инъекции пропитки составом «САТгрунд» составил 94,464 л, выравнивающего состава «АПгрунд» – 76,766 л.

Инъекции выравнивающего состава выполнялись в нерекомендуемом диапазоне давлений – максимальное значение давления составило 80 бар. При инъекции выравнивающего состава отмечен подъём поршня большой объёмной модели.

Выдержка под давлением 5,5 кгс/см2 составляла 5 дней (07-11.06.2020).

При вскрытии модели было обнаружено объемное тело, соответствующее объему инъектированного выравнивающего состава (рис. 4.4.2.).

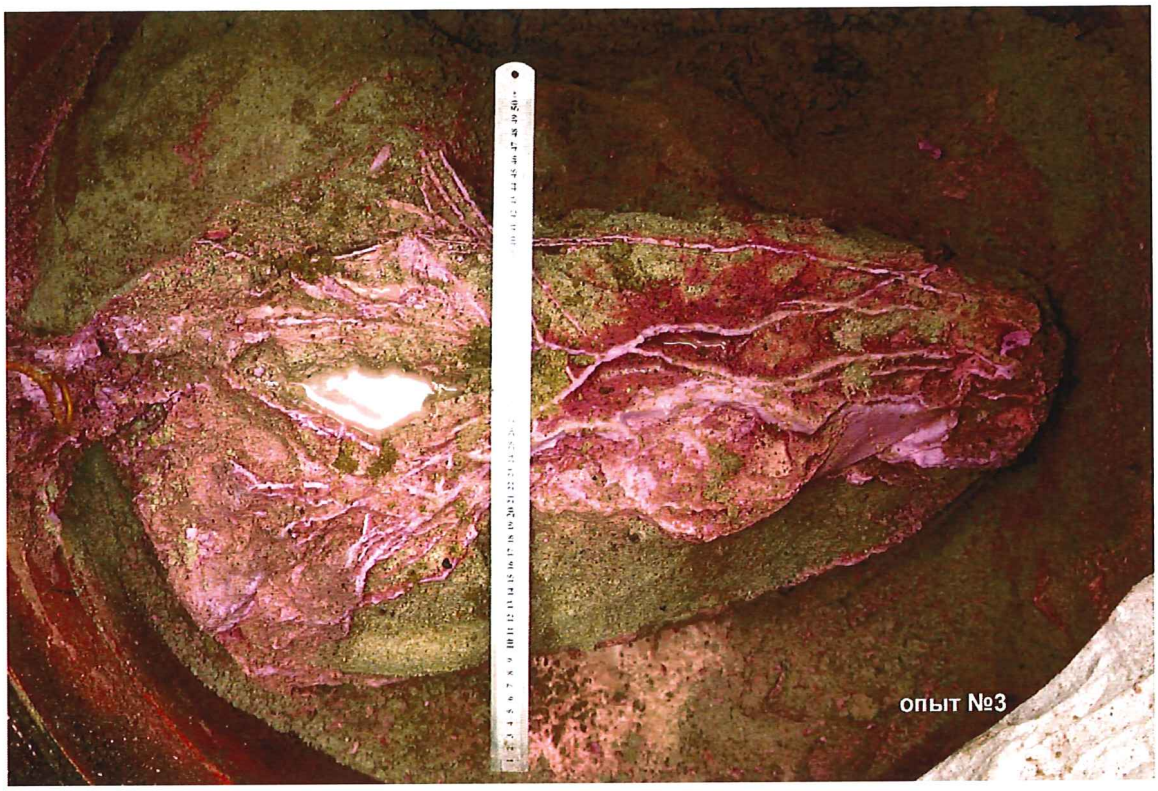


Рис. 4.4.2 Общий вид объемного тела (опыт №3)

Из большой объемной модели отобраны пробы пропитанного грунта и пробы из объёмного тела.

Результаты испытаний пропитанных грунтов и материала объемного тела показывают, что грунт в районе расположения объемного тела остался водопроницаемым, грунт не приобрел свойства связности. Эти характеристики не соответствуют требованиям проекта. Однако, подтвердилось образование объёмного сплошного твёрдого тела, что свидетельствует о положительном результате испытания №3.

В результате выполненного опыта №3 можно сделать вывод, что при однократной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного крупнозернистыми песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты. При этом, характеристики пропитанного грунта не оказались соответствующими проектным значениям.

4.5. Инъекция №4

Инъекция №4 выполнялась в период 19/06/20 – 11/06/20 с предварительными регламентными работами по приготовлению и определению характеристик модельного грунта, приготовленного из грунтов, поставленных во АО «ВНИИГ» с площадки строительства. Модельным грунтом являлся песок мелкий однородный. Общий вид большой объемной модели после проведения инъекции №4 представлен на рис. 4.5.1.

Работы выполнялись в присутствии и при участии представителей завода-производителя составов.



Рис. 4.5.1 Общий вид большой объемной модели после проведения инъекции №4

Выравнивающий состав инъектировался однократно.

Объем (по объёму вытесненной воды) инъекции пропитки составом «САТгрунд» составил 82,481 л, выравнивающего состава «АПгрунд» – 41,271 л.

Инъекции выравнивающего состава выполнялись в нерекомендуемом диапазоне давлений – максимальное значение давления составило 80 бар. При инъекции выравнивающего состава отмечен подъём поршня большой объёмной модели.

Выдержка под давлением 5,5 кгс/см2 составляла 4 дня (22-25.06.2020).

При вскрытии модели было обнаружено объемное тело, соответствующее объему инъектированного выравнивающего состава (рис. 4.5.2.).



Рис. 4.5.2 Общий вид объемного тела (опыт №4)

Из большой объемной модели отобраны пробы пропитанного грунта и пробы из объёмного тела.

Результаты испытаний пропитанных грунтов и материала объемного тела показывают, что грунт в районе расположения объемного тела остался водопроницаемым, грунт приобрел свойства связности. Эти характеристики не соответствуют требованиям проекта. Однако, подтвердилось образование объёмного сплошного твёрдого тела, что свидетельствует о положительном результате испытания №4.

В результате выполненного опыта №4 можно сделать вывод, что при однократной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного мелкими однородными песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты. При этом, характеристики пропитанного грунта не в полной мере оказались соответствующими проектным значениям.

5 Выводы

По результатам опытных работ по испытаниям пропиточных и инъекционных составов для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 в большой объемной модели можно сделать следующие выводы:

1. В настоящей работе приведены результаты опытных работ по исследованиям инъекционных материалов для выполнения работ по восстановлению ЗаГАЭС-2 методом управляемого компенсационного нагнетания (УКН).
2. В рамках выполнения работы рассматривались вопросы комплексной проверки инъекционных материалов, удовлетворяющих предъявленным проектным требованиям: пропиточный состав «САТгрунд» и выравнивающий состав «АПгрунд» производства ООО «Синерго».
3. Работы по проверке инъекционных материалов выполнялись при участии следующих организаций: ООО «ТоннельГеоСтрой»; ООО «Синерго»; АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».
4. Работы по лабораторным испытаниям материалов выполнялись в соответствии с утверждённой Программой испытаний, разработанной АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и согласованной представителями завода-изготовителя составов.
5. Результатом настоящей работы является лабораторная проверка составов инъекционных растворов (пропиточного и выравнивающего) при инъекции в грунты, соответствующие грунтам основания ЗаГАЭС-2, и разработка рекомендаций по их применению.
6. В рамках данной работы выполнены следующие виды исследований:

– разработана программа лабораторных исследований пропиточного состава и инъекционного состава для технологии выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 «Программа лабораторных испытаний пропиточных и инъекционных составов, предназначенных для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2, в большой объемной модели»;

– проведены лабораторные исследования грунтов (3 вида), используемых для проведения лабораторных испытаний с целью проведения испытаний составов-аналогов на грунтах, соответствующих грунтам основания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2;

– проведены 4 испытания одной пары составов в соответствии с разработанной Программой;
– проведена оценка геотехнических свойств композитных грунтоцементных материалов, полученных в результате инъектирования составов в большую объемную модель.

7. В рамках проведения работ инъекции составов выполнялись в следующие виды грунтов: песок среднезернистый, песок крупнозернистый, песок мелкий. Эти виды грунтов соответствуют трём выделенным видам ИГЭ под зданием ГАЭС: ИГЭ 1-6.3 (песок средней крупности); ИГЭ 1-6.5(песок гравелистый); ИГЭ 1-6.1 (песок пылеватый).
8. Проведено 4 испытания в большой объемной модели: два испытания (№1 и №2) в песок среднезернистый (одинарная и двойная инъекция); одно испытания в песок крупнозернистый (№3); одно испытание в песок мелкий (№4).
9. В результате выполненного опыта №1 можно сделать вывод, что при однократной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного среднезернистыми песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты.
10. В результате выполненного опыта №2 можно сделать вывод, что при двукратной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного среднезернистыми песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты. Характер сопряжения объемного тела между первой и второй инъекциями соответствует требованиям проекта.
11. В результате выполненного опыта №3 можно сделать вывод, что при однократной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного крупнозернистыми песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты. При этом, характеристики пропитанного грунта не оказались соответствующими проектным значениям.

12. В результате выполненного опыта №4 можно сделать вывод, что при однократной инъекции выравнивающего состава «АПгрунд» в теле грунта, представленного мелкими однородными песками основания здания станции ЗаГАЭС-2, образовалось хорошо выраженное объемное тело сплошной структуры, сосредоточенное в районе инъекционной манжеты. При этом, характеристики пропитанного грунта не в полной мере оказались соответствующими проектным значениям.
13. Результаты всех четырёх испытаний следует считать положительными, ввиду того, что подтверждена возможность пары пропиточного и выравнивающего составов («САТгрунд» + «АПгрунд») образовывать в теле грунтов основания ЗаГАЭС-2 объемные сплошные тела.
14. Расположение всех четырёх объемных сплошных тел отмечено в районе их инъекции.
15. Результаты показателей прочности образовавшихся объёмных тел следует считать повышенными относительно фактических сроков выполнения работ по выравниванию.
16. В качестве рекомендаций при проведении работ по выравниванию здания ГАЭС следует отметить:
    - необходимость увеличения (до 2-3 месяцев) срока схватывания пропиточного состава «САТгрунд» в связи с длительным периодом между его инъекцией в грунт и инъекциями выравнивающего состава «АПгрунд»;
    - необходимость уменьшения прочности на сжатие состава «АПгрунд» до 2-4 МПа в возрасте 28 сут. для обеспечения возможности его многократной инъекции через одну манжету;
    - необходимость использования при проведении опытных работ инъекционного оборудования, соответствующего фактически применяемому оборудованию на строительной площадке.
17. Составы «САТгрунд» и «АПгрунд», используемые в паре, рекомендуются к применению в рамках выполнения работ по выравниванию здания станции Загорской ГАЭС-2 с учётом приведённых замечаний. Дополнительных исследований после корректировки составов не требуется.

6 Нормативная база

№ п/п	Обозначение, шифр документов	Полное наименование документов
	Действующие федеральные нормативные материалы РФ	
1	ПП РФ №87	Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008г. № 87
2	ВСН 33-82*	Ведомственные строительные нормы по разработке проектов организации строительства (электроэнергетика)
3	СНиП 33.01-2003	Гидротехнические сооружения
4	СниП 2.01.14-8	Определение расчётных гидрологических характеристик
5	СНиП 2.06.04-82	Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения
6	СниП 12-01-2004	Организация строительного производства
7	СниП 2.06.05-84*	Плотины из грунтовых материалов
8	СниП 2.02.02-85*	Основания гидротехнических сооружений
9	СниП 3.02.01-87	Земляные сооружения, основания и фундаменты
10	СП 48.13330.2011	Организация строительства. Актуализированная редакция СниП 12-01-2004.
	Специальные нормативные материалы проекта восстановления Загорской ГАЭС-2	
11	1938-40-201	Специальные технические условия (СТУ) на «Восстановление Загорской ГАЭС-2 на р. Кунья. Стабилизация здания ГАЭС и восстановление высотного положения здания ГАЭС по технологии компенсационного нагнетания по адресу: Московская обл., Сергиево-Посадский район, пос. Богородское, д. 101. [Согласовано Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (письмо №26823-ЕС/06 от 21.08.2015)]
12	1963-СТУ-ИИ	Специальные технические условия (СТУ) на разработку проектной документации объекта «Корректировка ТЭО (Проект) строительства Загорской ГАЭС-2» в части инженерно-геологических изысканий. [Согласовано Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (письмо №32002-ЕС/06 от 05.10.2015)]
	методические требования для проведения исследований	

№ п/п	Обозначение, шифр документов	Полное наименование документов
13	1938-40-284.П5	Методика лабораторных исследований свойств пропиточного состава при использовании технологии компенсационного нагнетания для восстановления высотного положения здания Загорской ГАЭС-2
14	1938-40-284.П6	Методика лабораторных исследований совместной работы пропиточного и инъекционного составов при использовании технологии компенсационного нагнетания для восстановления высотного положения здания Загорской ГАЭС-2
	европейские и американские нормативные документы	
15	EN 12715	Execution of special geotechnical work – Grouting
16	API RP 13B	American Petroleum Institute – Standard procedure for field testing drilling fluids. Recommended Practice (Американский нефтяной институт – Стандартная процедура испытания в условиях эксплуатации бурового раствора. Рекомендованная практика)
	иные опубликованные источники	
17	А.Безуйжен (A. Bezuijen, ISBN 978-90-8570-507-9, 2010)	Compensation Grouting in Sand Experiments, Field Experiences and Mechanisms
18	J.Warner and M.Byle (Дж. Ворнер и М. Байль, 2012)	Limited Mobility Grouting – Past, Present and Future
19	Clief Kettle	Compensation Grouting – Evolution, Field and Applecation and Current State of the Art in UK practice
20	Отчет	Закрепление грунтов оснований и подъем уровня фундаментных плит здания клуба и административного здания ФСКН России по адресу Дмитровское шоссе, д.71, вл. 1.
21	1938-40-255.01	Ликвидация последствий осадки здания станционногго узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Специальные термины и определения. Пояснительная записка.

7 Список приложений

1.	Приложение 1 №1938-35-1.П1	Испытания пропиточных и инъекционных составов для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 в большой объемной модели Программа испытаний «*Программа испытания в большой объемной модели пропиточных и инъекционных составов, предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2*»
2.	Приложение 2 №1938-35-1.П2	Испытания пропиточных и инъекционных составов для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 в большой объемной модели Испытания №1 и №2. Техническая информация «*Техническая информация по испытаниям в большой объемной модели пропиточных и инъекционных составов, предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2*» от 08.06.2020.
3.	Приложение 3 №1938-35-1.П3	Испытания пропиточных и инъекционных составов для выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 в большой объемной модели Испытания №3 и №4. Техническая информация «*Техническая информация по испытаниям в большой объемной модели пропиточных и инъекционных составов, предполагаемых для использования при выравнивании здания станционного узла Загорской ГАЭС-2*» от 03.07.2020.