

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук Мосиной Анны Сергеевны на тему:
«Прогноз изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных резервуаров для захоронения отходов бурения (на примере Харасавэйского месторождения)», по специальности
1.6.7 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»

1. Актуальность избранной темы исследования

Харасавэйское месторождение находится в прибрежной части Северного Ямала и является уникальным по запасам газа. В результате бурения скважин различного назначения на его территории образуются несколько сотен тысяч кубометров отходов, обращение с которыми становится серьезной проблемой для недропользователя. Одним из вариантов ее решения является захоронение отходов бурения в подземные резервуары, сооружаемые в многолетнемерзлых грунтах. В результате водно-теплого воздействия разрушаются криогенные связи в грунтах, оттаявший грунт опускается на дно выработки, откуда его с помощью эрлифта поднимают на поверхность.

Сформированную емкость используют для конечного размещения отходов бурения, которые с течением времени промерзают за счет теплового взаимодействия с окружающими мерзлыми грунтами. Особенностью данной технологии является ее высокая зависимость от инженерно-геологических условий района реализации, в связи, с чем необходимо детальное изучение грунтовых толщ территории и выявление среди них благоприятных для строительства подземных резервуаров. В течение этого времени свод и стенки подземного резервуара остаются в незакрепленном состоянии, что приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния вмещающей грунтовой толщи. Его прогноз необходим для надежного функционирования сооружения и предотвращения опасных техногенных геологических процессов, является *актуальной* научно-технической задачей.

Проблема прогноза изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных

резервуаров для захоронения отходов бурения носит международный характер, что также является подтверждением *актуальности* проведенного исследования.

2. Оценка содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, семи приложений и списка литературы из 115 наименований. Результаты диссертационного исследования изложены на 325 страницах основного текста, включающего 149 рисунков и 46 таблиц.

Во введении раскрывается актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведена история инженерно-геологического изучения территории Харасавэйского месторождения. Выполнен обзор физико-географических условий территории Харасавэйского месторождения, относящейся к Ямальскому району Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области. Рассмотрены инженерно-геологические характеристики грунтов территории Харасавэйского месторождения. Рассмотрены мерзлотные и гидрогеологические условия территории Харасавэйского месторождения относящиеся к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов. Выявлены современные экзогенные геологические процессы и явления на территории Харасавэйского месторождения. По результатам изысканий и опубликованным данным охарактеризованы инженерно-геологические условия территории Харасавэйского месторождения для целей строительства подземных резервуаров под захоронение отходов бурения.

Во второй главе выделены границы многолетнемерзлой грунтовой толщи территории Харасавэйского месторождения. Исследование влияния строительства модельного подземного резервуара в результате изменения НДС вмещающей грунтовой толщи проведено численными методами в программном комплексе Simulia Abaqus/Standart. Для описания механического поведения грунтовых толщ использована упруго-вязкопластическая расширенная модель Друкера-Прагера. С целью определения глубины влияния теплового воздействия от захоронения

отходов бурения в мерзлый массив проведено математическое моделирование, основанное на решении задачи Стефана. Расчет выполнен в программном комплексе Heat, разработанном на кафедре геокриологии МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством профессора Л.Н. Хрусталева. Использован метод конечных разностей с двухслойной явной схемой с регуляризацией. Алгоритм сочетал в себе применение метода балансов и энтальпийную формулировку задачи. По результатам двухэтапного численного моделирования в наиболее худших условиях с точки зрения распространения воздействия от сооружения подземного резервуара вглубь массива установлено, что глубина влияния составит 64 м и 70 м. Первое значение получено в результате изменения НДС грунтовой толщи, второе – вследствие захоронения в подземный резервуар отходов бурения. Нижняя граница грунтовой толщи принята по максимальному оцененному влиянию и назначена на глубине 70 м.

Проведена типизация многолетнемерзлых грунтовых толщ территории Харасавэйского месторождения по двум группам признаков, отражающих состав, строение и современное состояние грунтовых толщ. Используются такие показатели состава, строения и состояния, которые оказывают наибольшее влияние на НДС многолетнемерзлой грунтовой толщи. В первую группу признаков вошли показатели состава и строения грунтовых толщ, к которым принадлежат: количество и сочетание классов и типов грунтов, содержание водорастворимых солей в разрезе толщи. Во вторую группу признаков вошли особенности состояния грунтовой толщи, характеризующиеся фазовым состоянием воды в грунтах, среднегодовой температурой и степенью льдистости (увлажненности) грунтов толщ.

В третьей главе на основе существующих теоретических и экспериментальных исследований оценены физико-механические свойства грунтов, слагающих многолетнемерзлые грунтовые толщ Харасавэйского месторождения. Установлено, что мерзлые суглинки второй, третьей морских террас и салехардской свиты обладают достаточно низкой условно-мгновенной сдвиговой прочностью и высокой способностью к деформированию. По результатам быстрых кинематических испытаний методом трехосного сжатия получен высокий уровень сдвиговой прочности и жесткости

трех типов льда. При этом все показатели физико-механических свойств льда оказались в высокой зависимости от скорости деформирования. Проведены исследования структурно-текстурных особенностей образцов льда до и после проведения испытаний методом трехосного сжатия.

В четвертой главе с использованием полученных зависимостей проведен прогноз изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных резервуаров для захоронения отходов бурения. Проведена корректировка существующей методики изменения НДС грунтовых толщ в результате сооружения в них подземных резервуаров, на основании чего разработаны две группы оценочных критериев. С помощью первой – размера развивающихся в грунтовой толще пластических зон – предложено прогнозировать наступление аварийных ситуаций. Вторая группа оценочных критериев – перемещение свода подземного резервуара, оседание земной поверхности над ним и уменьшение его полезного объема – позволяет спрогнозировать снижение с течением времени эксплуатационной пригодности емкости.

В заключении сделаны выводы о том, что строительство подземных резервуаров в грунтовых толщах Харасавэйского месторождения не приведет к развитию пластических зон, при условии оптимальной формы емкости. Сооружение подземных резервуаров в грунтовых толщах со средnezасоленными мерзлыми песками спровоцирует большее снижение объема емкости с течением времени без значительных изменений ее формы и оседания земной поверхности над ней. Строительство подземных резервуаров в грунтовых толщах с пластовыми льдами будет сопровождаться наибольшим снижением объема емкости с течением времени, максимальное падение которого произойдет в грунтовых толщах с мощными чистыми льдами с малым количеством минеральных примесей, в особенности в сочетании со средnezасоленными мерзлыми песками. Наибольшее изменение формы емкости и оседание земной поверхности над ней прогнозируется при залегании мощного чистого льда в ее своде. Для снижения изменения НДС грунтовых толщ предложена схема заполнения подземных резервуаров отходами бурения.

3. Анализ обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и научная новизна

На основе проведенного диссертационного исследования Мосиной А.С. получены следующие новые результаты:

По результатам изысканий и опубликованным данным охарактеризованы инженерно-геологические условия территории Харасавэйского месторождения для целей строительства подземных резервуаров под захоронение отходов бурения.

На основе анализа геологического строения Харасавэйского месторождения проведена общая характеристика и систематизация многолетнемерзлых грунтовых толщ территории, нижняя граница которых по результатам численного моделирования установлена на глубине 70 м; среди них выделены толщи, благоприятные для строительства подземных резервуаров под захоронение отходов бурения по признакам, отражающим состав, строение и современное состояние вмещающих их грунтов.

Установившееся течение льдов с 20% минеральных примесей пылеватого песка, моделирующих пластовые льды, встречающиеся в грунтовых толщах Харасавэйского месторождения, развивается с меньшими скоростями деформации при постоянном уровне девиатора напряжений, чем это наблюдается у пластовых льдов без примесей.

При строительстве подземных резервуаров для захоронения отходов бурения в грунтовых толщах Харасавэйского месторождения не прогнозируется развитие пластических зон при условии оптимальной формы емкости. Размещение подземных резервуаров в мерзлых средnezасоленных песчаных грунтах не приведет к изменению их формы и значительному оседанию земной поверхности над ними, однако спровоцирует большее снижение объема емкостей с течением времени по сравнению с сооружением подземных резервуаров только в слабозасоленных разностях. Наибольшее снижение объема подземных резервуаров с течением времени прогнозируется при их строительстве в грунтовых толщах, содержащих мощные слои чистого льда, в особенности в сочетании со средnezасоленными песчаными грунтами. При залегании мощного

чистого льда в своде 7 подземных резервуаров с течением времени произойдет максимальное изменение их формы и оседание земной поверхности над ними

Полученные результаты опираются на практику проектирования и строительства подземных сооружений в районах с суровыми климатическими условиями, опыт разработки резервуаров эффективен в этих условиях.

Результаты разработанного метода обоснованы сопоставлением с существующими опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, а также сравнением с результатами вычислений методом конечных элементов в ПК Simulia Abaqus/Standart.

4. Значимость результатов для науки и практики и возможные пути их использования

Проведенное исследование вносит вклад в развитие научного направления прогноза изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных резервуаров для захоронения отходов бурения.

Применяемый в работе принцип типизации грунтовых толщ территории и выделение среди них благоприятных для строительства подземных резервуаров позволяют распространить его на другие регионы в пределах криолитозоны.

Использование полученных показателей физико-механических свойств трех типов льда возможно при выполнении проектирования подземных резервуаров во льдах, в том числе искусственно намороженных.

Предложенная методика прогноза изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ может быть применена для прогноза эксплуатационной надежности подземных резервуаров в многолетнемерзлых грунтах.

Полученные результаты численных расчетов изменения напряженно-деформированного состояния грунтовых толщ Харасавэйского месторождения могут помочь в составлении графиков заполнения подземных резервуаров отходами бурения.

Значимость результатов исследования для экономики страны заключается в уменьшении затрат на эксплуатацию подземных резервуаров для захоронения отходов бурения в пределах Харасавэйского месторождения.

Результаты исследования важны для реализации задач, поставленных правительством по освоению северных районов страны, что приобретает особый смысл в современных условиях.

Поскольку изменению напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных сооружений подвержены территории не только Российской Федерации, но и многих зарубежных стран, полученные результаты могут найти свое применение и в зарубежной практике проектирования искусственных подземных сооружений.

5. Анализ качества оформления диссертации

Оформление текста диссертации и автореферата, иллюстративного материала, таблиц, приложений и списка литературы, соответствуют требованиям.

6. Замечания по диссертации и автореферату

1. Для кандидатской диссертации объем в 325 страниц рукописи очень завышен.

2. В первой обзорной главе проведен анализ инженерно-геологических условий и сформулировано научное положение №1, но не отмечены научные задачи диссертационной работы, которые необходимы к дальнейшей реализации в следствие малой изученности.

3. На странице 103 диссертации на рисунке рис. 28. приведена расчетная схема математического моделирования изменения НДС грунтовой толщ в результате сооружения в ней модельного подземного резервуара. Более правильное было бы провести моделирование с полным сечением резервуара.

4. На странице 105 (рисунок 29) приведены перемещения мерзлого грунта под дном модельного подземного резервуара по результатам численного моделирования, но не показаны перемещения свода от массы вышележащей 19 метровой мощности мерзлого грунта, включающей верхнеплейстоценовые

мерзлые суглинки третьей террасы (мощностью 6,5 м) и 12,5 метров верхнеплейстоценовых мерзлых песков казанцевской свиты.

5. На странице 155 (рисунок 55) приведены кривые ползучести пробного образца № 1а ультрапресного чистого льда при всестороннем давлении 0,1 МПа во времени, но не указана длительность всего данного лабораторного испытания.

6. На странице 166 сделан вывод, что в целом для рассмотренных мерзлых суглинков характерны низкие значения условно-мгновенной сдвиговой прочности, высокая способность к деформированию и низкая сдвиговая жесткость, но не приведены полученные прочностные характеристики.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»

Диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку (п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней»).

Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях (п. 11 «Положения о присуждении ученых степеней»).

В диссертации автор ссылается на авторов и источники заимствования материалов или отдельных результатов. При использовании в диссертации результатов научных работ, выполненных автором лично и (или) в соавторстве, соискатель ученой степени отметил в диссертации это обстоятельство (п. 11 «Положения о присуждении ученых степеней»).

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования, в которой изложены научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении

ученых степеней», диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация Мосиной Анны Сергеевны на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения и разработки, а её автор Мосина Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Официальный оппонент:

Кудрявцев Сергей Анатольевич,

Член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук

доктор технических наук, профессор,

Заслуженный строитель Российской Федерации,

заведующий кафедрой «Мосты, тоннели и подземные сооружения» ФГБОУ ВО

«Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Институт транспортного строительства,

680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, дом 47,

Специальность 05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения.

E-mail: s _____ .ru,

Телефоны: (4212) 407-524. +7 _____

С.А. Кудрявцев

25.01.2023 г.

Подпись
(подпись)
Заместитель
делами и
начальни

веряю).

ювский