

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



Ядзинская Марина Радиковна

**Прогноз изменения прочностных свойств дисперсных
грунтов, загрязненных углеводородами**

Специальность 25.00.08-
Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Пермь 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Научный руководитель **Середин Валерий Викторович** доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Инженерной геологии и охраны недр», ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Официальные оппоненты **Кутепов Юрий Иванович** заведующий лабораторией, доктор технических наук, профессор Гидрогеологического и экологического научного центра геомеханики и проблем горного производства, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Сычкина Евгения Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры СПГ, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Ведущая организация **АО «Камский научно-исследовательский институт комплексных исследований глубоких и сверхглубоких скважин»**

Защита диссертации состоится «18» ноября 2016г в 10 часов на заседании диссертационного совета Д003.042.02 при ФГБУН «Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук» по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.ikz.ru>.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 625000, г. Тюмень, а/я 1230, факс 8 (3452) 688-787; e-mail: Yakimov_Artem@mail.ru.

Автореферат диссертации разослан «__» сентября 2016г

Учёный секретарь диссертационного совета Д003.042.02,

кандидат географических наук



Якимов А.С.

Общая характеристика работы

Актуальность. В результате разработки нефтяных месторождений довольно часто происходит пролив нефти на земную поверхность. Загрязнение почвы приводит не только к изменению среды обитания человека, но и к изменению состояния и свойств грунтов. Это во многих случаях снижает несущую способность грунтового основания, что влечет за собой аварийные ситуации на нефтеперерабатывающих установках, в зданиях и сооружениях. Чтобы предотвратить эти ситуации, необходимо прогнозировать изменения свойств грунтов, подвергшихся нефтяному загрязнению.

Исследованиями изменений физико-механических свойств грунтов при загрязнении их нефтью и нефтепродуктами занимались многие ученые. Среди них Соколов В.Н. (2013 г.), Осипов В.И. (2013 г.), Круподеров И.В. (2012 г.), В.В. Середин (2012 г.), В.И. Каченов (2011 г.), Н.Н. Бракоренко и Т.Я. Емельянова (2011 г.), Ю.А. Нефедьева (2010 г.), Королев В.А. (2005 г.), А.П. Казёнников, Ю.Н. Копылов (2003 г.), Л.В. Шевченко и И.В. Ширшова (2002 г.), Злочевская Р.И. (1977 г.), Щукин В.Д. (1969 г.) и другие.

Так, В.И. Каченовым и др. (2011) исследовались прочностные характеристики песков и глинистых грунтов, насыщенных водой и моторным маслом различной концентрации. Ими установлено, что при увеличении концентрации масла углы внутреннего трения песков уменьшаются. К подобным выводам пришли Е.С. Соломатина и И.Ю. Григорьева (2013). К противоположному выводу пришел Ю.Н. Копылов (2003 г.). Им установлено, что с увеличением концентрации масла машинного до 20% наблюдается рост угла внутреннего трения песков, а при дальнейшем увеличении концентрации углеводородов угол трения снижается. Б.М. Осовецкий и др. (2014), изучая влияние масла моторного и дизельного топлива на прочность песков, выявили, что концентрация этих углеводородов не оказывает существенного влияния на изменения угла внутреннего трения песков. В.В. Середин (2014), исследуя влияние вязкости поровой жидкости (углеводородов) на изменения углов

внутреннего трения песков, пришел к выводу о том, что с увеличением вязкости поровой жидкости углы трения песков уменьшаются.

Из приведенного видно, что результаты исследований не всегда сопоставимы между собой. Поэтому вопросы, связанные с влиянием углеводородов на прочностные свойства грунтов, требуют дальнейших экспериментальных исследований.

Целью работы является прогноз изменения прочностных свойств дисперсных грунтов, загрязненных углеводородами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить инженерно-геологические условия трассы нефтепровода на Северо - Харьягинском нефтяном месторождении;
- изучить механизм агрегации и диспергации частиц глинистых грунтов, загрязненных углеводородами;
- исследовать закономерности изменения прочностных свойств дисперсных грунтов в зависимости от типа и концентрации углеводородного загрязнителя;
- на основании выявленных закономерностей разработать математические модели прогноза прочностных свойств грунтов, загрязненных углеводородами.

Объектом исследования являются грунты трассы нефтепровода на Северо - Харьягинском нефтяном месторождении.

Методы исследований: эмпирические (наблюдение и эксперимент), геологические и вероятностно-статистические.

Защищаемые положения:

1. механизм агрегации и диспергации частиц глинистых грунтов, загрязненных углеводородами;
2. закономерности изменения прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных углеводородами, на основании которых разработаны математические модели прогноза сцепления и угла внутреннего трения глинистых грунтов;

3. закономерности изменения прочностных свойств песков, подверженных углеводородному загрязнению, на основании которых разработаны математические модели прогноза угла внутреннего трения песков.

Научная новизна состоит в том, что в данной работе:

-научно обосновано применение статистических многомерных моделей прогноза прочностных характеристик дисперсных грунтов, загрязненных углеводородами;

-установлен механизм агрегации и диспергации частиц глинистых грунтов, загрязненных углеводородами.

Достоверность научных положений подтверждается большим количеством экспериментальных исследований. Всего проведено 189 опытов в лаборатории. В полевых условиях получена информация по инженерно-геологическим условиям по 63 скважинам и 96 монолитам и образцам.

Практическая ценность результатов заключается в том, что на основе разработанных математических моделей можно прогнозировать изменение свойств грунтов, загрязненных углеводородами. Таким образом, при проектировании сооружений можно заложить все возможные мероприятия и скорректировать проектные решения для достижения безопасной эксплуатации нефтяных сооружений и избежать аварийных ситуаций.

Апробация работы и публикации. Материалы работы докладывались и обсуждались на конференциях «Геология в развивающемся мире» /Пермь, 2014, 2015 и 2016/, «Геология и полезные ископаемые Западного Урала» /Пермь, 2010-16/, «Молодые – наукам о земле» /Москва, 2012/, «Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий» /Москва, 2012/. Основные положения диссертации опубликованы в 8 научных работах в журналах, рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа написана на 210 страницах и включает 4 главы, текстовые и графические приложения.

Автор выражает благодарность за помощь научному руководителю, д.г.-м.н., профессору В.В. Середину, а также всему коллективу кафедры инженерной

геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета.

Содержание работы. Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследований по теме диссертации.

В первой главе приводится оценка инженерно-геологических условий трассы нефтепровода на Северо-Харьягинском нефтяном месторождении и районирование территории.

Геологическое строение в пределах глубины изысканий (10,0–15,0 м) характеризуется развитием средне-верхнечетвертичных озерно-аллювиальных отложений и нижнечетвертичных ледниковых и ледниково-морских отложений.

Показатели физико-механических свойств выделенных инженерно-геологических элементов (ИГЭ) приведены в таблице 1.

Участок изысканий относится к зоне несплошного распространения вечномёрзлых пород.

Таблица 1- Показатели физико-механических свойств грунтов.

Характеристика грунта	Нормативные значения признаков			
	ИГЭ 1 суглинок мягкопластичный (laQ_{III-V})	ИГЭ 2 суглинок слабодистый (laQ_{III-V})	ИГЭ 3 суглинок тугопластичный (g, gmQ_I)	ИГЭ 4 суглинок слабодистый (g, gmQ_I)
Влажность, д.ед.	0,242	0,331	0,202	0,247
Суммарная льдистость, д.ед.	-	0,333	-	0,226
Плотность, г/см ³ д.	1,96	1,80	2,06	1,97
Модуль деформации, МПа	3,0	-	4,2	-
Угол внутреннего трения, градус	15	-	17	-
Удельное сцепление, кПа	17	-	30	-

Таким образом, дана оценка инженерно-геологических условий трассы нефтепровода на Северо-Харьягинском нефтяном месторождении. Грунтовым основанием нефтепровода являются глинистые грунты с линзами и прослоями песков разной крупности. Опыт эксплуатации нефтепроводов показывает, что довольно часто на них возникают аварийные ситуации, что приводит к проливам нефти на земную поверхность. А это, в свою очередь, влечет за собой изменение

свойств грунтов основания и, как следствие, влияет на устойчивость трубопровода. Поэтому особенно важной является задача прогноза прочностных свойств дисперсных грунтов, загрязненных углеводородами.

Во второй главе приведены методика и результаты исследований агрегации и диспергации частиц в глинистых грунтах, поровой жидкостью которых являются масло моторное марки «ЛУКОЙЛ-МОТО 2Т» в концентрациях 1,5%, 2,5%, 4,5% и 10% и вода. Объектом исследований явились глина каолинистая, суглинки и супеси.

В глинах (рисунок 1) при увеличении содержания масла моторного (УВ) до 2.5% наблюдается уменьшение содержания глинистой фракции и увеличения пылеватой. Это можно объяснить коагуляцией глинистых частиц. При увеличении содержания УВ в грунте более 2.5%, содержание глинистой фракции возрастает, а пылеватой уменьшается, что обусловлено, вероятно, процессом диспергации глинистых частиц. Содержание песчаной фракции не изменяется. Таким образом, при загрязнении глин маслом моторным процессам диспергации и агрегации подвержена в основном глинистая фракция.

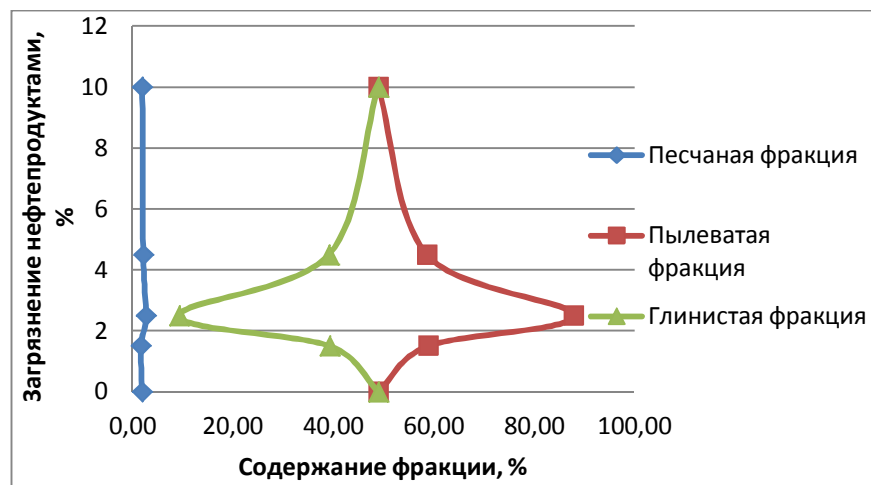


Рисунок 1. Изменение микроагрегатного состава глин при загрязнении их маслом моторным

В суглинках (рисунок 2) при содержания УВ до 2.5% наблюдается коагуляция частиц глинистой и пылеватой фракций, при увеличении содержания

УВ более 2.5% протекает обратный процесс диспергации, о чем свидетельствуют изменения содержания этих фракций в грунтах.

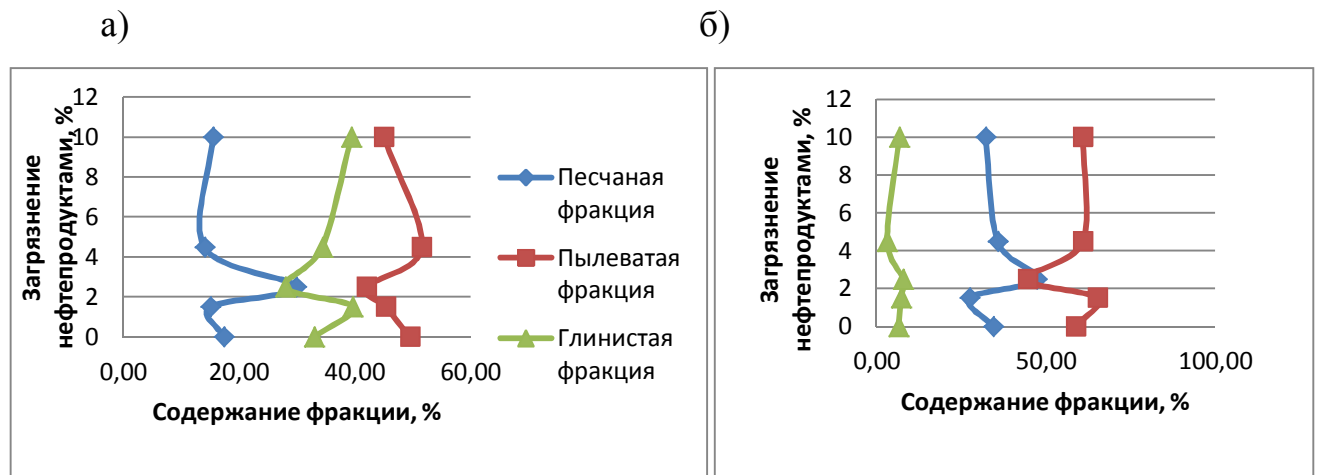


Рисунок 2. Изменение микроагрегатного состава суглинка (а) и супеси (б) при загрязнении его маслом моторным.

Изменение содержания песчаной фракции обусловлено изменениями содержания глинистой и пылевой фракций. Так, при концентрации УВ в суглинках до 2.5% содержание глинистой и пылевой фракций в грунте снижается на 12.46%, а песчаной соответственно возрастает.

Таким образом, при загрязнении суглинков углеводородами процессами диспергации и агрегации подвержены в основном глинистая и пылевая фракции.

В супесях (рисунок 2) при увеличении масла моторного до 2.5% наблюдается коагуляция частиц пылевой фракции, при увеличении же содержания УВ более 2.5%, наоборот, протекает процесс диспергации, о чем свидетельствует изменение содержания этой фракции в грунтах. Изменение содержания в супесях песчаной фракции связано с изменением содержания в грунтах пылевой фракции. Так, при концентрации УВ в супесях до 2.5% содержание пылевой фракции падает на 14.20%, а песчаной фракции наоборот возрастает на 12.85%. Содержание глинистой фракции изменяется незначительно, на 1.30%. Таким образом, при загрязнении супеси углеводородами процессам диспергации и агрегации подвержена в основном пылевая фракция.

Механизм агрегации и диспергации частиц глинистых грунтов основан на электростатическом взаимодействии между частицами. При увлажнении глины до максимальной гигроскопической влажности вокруг частицы формируется слой прочносвязанной воды. Этот слой компенсирует часть отрицательного заряда частицы, поэтому его поверхность также заряжена отрицательно. При добавлении в грунт углеводородов в поровом растворе породы активизируются природные (биогенные) поверхностно-активные вещества (ПАВ) и техногенные (ПАВ масла машинного). Молекула ПАВ состоит из полярной (голова) и неполярной (хвост) частей. Полярная часть молекулы может быть заряжена как положительно, так и отрицательно. В водной среде молекула ПАВ ориентируется таким образом, что гидрофобная часть стремится расположиться в углеводородах, а полярные части (голова) обращены в сторону водной среды. Поэтому при незначительном содержании УВ в грунтах (до пороговых, равных 2,5 %), молекула ПАВ с положительно заряженной «головой» компенсирует заряд глинистой частицы, и при полной компенсации энергии происходит слипание частиц грунта, то есть грунт агрегирует. При увеличении УВ в поровом растворе глин включаются в работу ПАВ, имеющие отрицательный заряд «головы». Они нейтрализуют положительный заряд «голов» ПАВ, окружающих глинистую частицу. После чего на поверхности глинистой частицы вновь появляется отрицательный заряд, что влечет за собой диспергацию частиц.

Процессы коагуляции и диспергации влекут за собой изменение физических свойств глинистых грунтов. Результаты экспериментальных исследований показали, что при увеличении содержания углеводородов в каолиновой и бентонитовой глинах до 10% наблюдается уменьшение числа пластичности (I_L) и влажности на пределе текучести (W_t). С увеличением загрязнения, наблюдается обратная закономерность I_L и W_t увеличиваются. В гидрослюдистых глинах выявлена обратная закономерность.

Таким образом, при загрязнении грунтов углеводородами наблюдаются процессы коагуляции и диспергации частиц. Природа этих процессов связана с

изменением энергий твердой и жидкой компонент грунта. Изменение энергий взаимодействия частиц влечет за собой не только изменение физических свойств глинистых грунтов, но и механических. Поэтому ниже рассмотрим влияние углеводов на прочностные свойства дисперсных грунтов.

В третьей главе описываются закономерности изменения прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных дизельным топливом и маслом машинным, на основании которых разработаны математические модели прогноза сцепления и угла внутреннего трения глинистых грунтов.

Установлено, что с увеличением содержания дизельного топлива и воды в суглинках наблюдается закономерное уменьшение сцепления (рисунок 3). Это обусловлено ослаблением структурных связей между грунтовыми частицами. Природа этого явления различна.

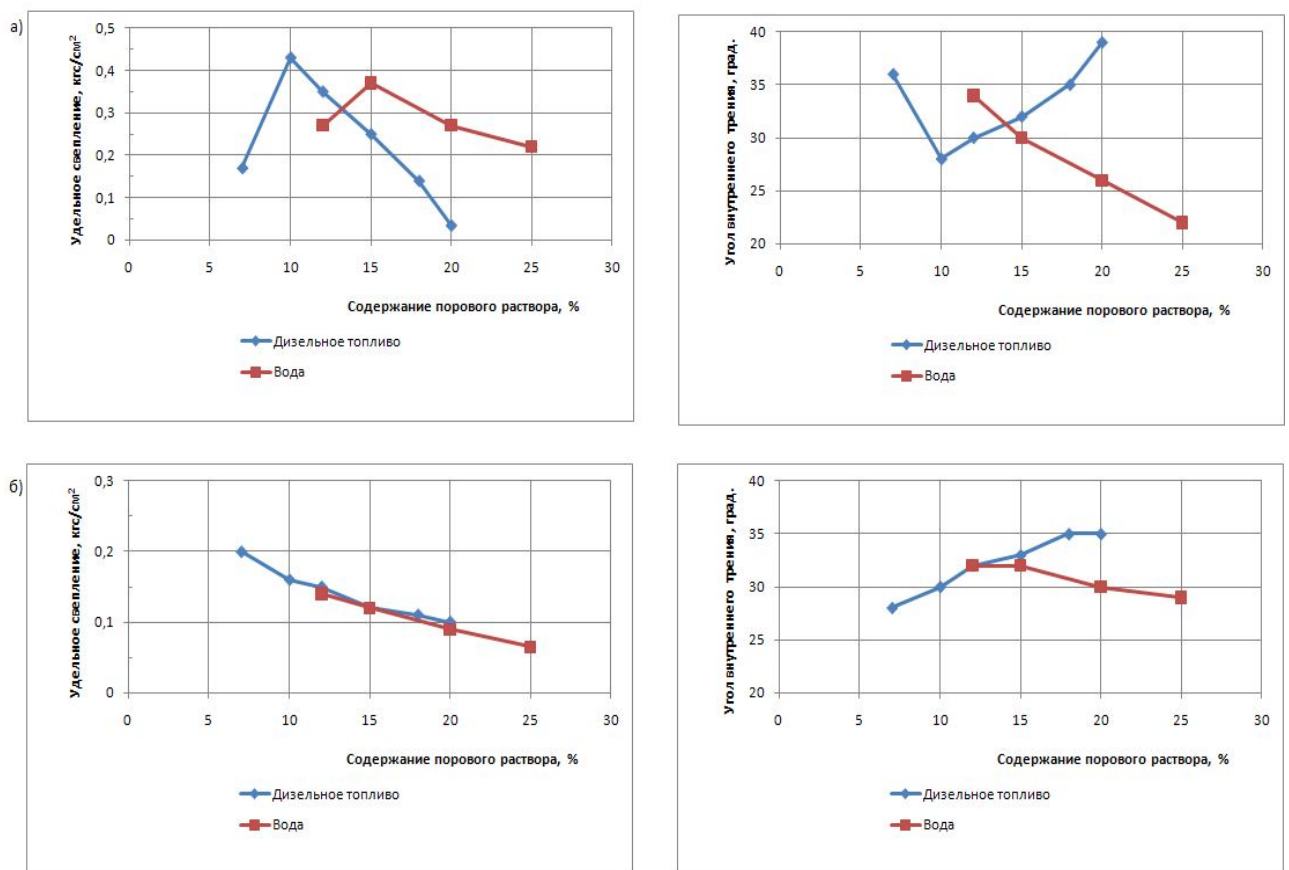


Рисунок 3. Изменение сцепления (с) и угла внутреннего трения (φ) в зависимости от влажности и содержания дизельного топлива в суглинках пылеватых (а) и песчаных (б) при начальной влажности $W_H = 5\%$

В том случае, когда поровым раствором является дизельное топливо, энергия связи между коллоидами обусловлена энергией взаимодействия углеводородов «покрывающих» коллоиды, поэтому прочность структурных связей уменьшается с увеличением содержания в грунте УВ. Углы внутреннего трения закономерно увеличиваются с повышением содержания дизельного топлива и уменьшаются с увеличением в них содержания воды. Данная закономерность обусловлена вязкостью (η) поровой жидкости. Так вязкость кинематическая при $t = 40\text{ }^\circ\text{C}$ воды составляет $\eta = 0,658\text{ мм}^2/\text{с}$, дизельного топлива – $\eta = 3\text{ мм}^2/\text{с}$ и масла машинного $\eta = 65\text{ мм}^2/\text{с}$.

Выявлено, что с увеличением содержания воды и масла машинного в поровом растворе суглинков песчанистых наблюдается закономерное уменьшение удельного сцепления (рисунок 4). При этом с увеличением первоначальной влажности величина сцепления уменьшается. Так, при $W_n = 5\%$ среднее значение сцепления $\bar{c}_{\text{песч.мас.}} = 0,17\text{ кгс}/\text{см}^2$, а при $W_n = 10\%$ оно составляет $\bar{c}_{\text{песч.мас.}} = 0,045\text{ кгс}/\text{см}^2$.

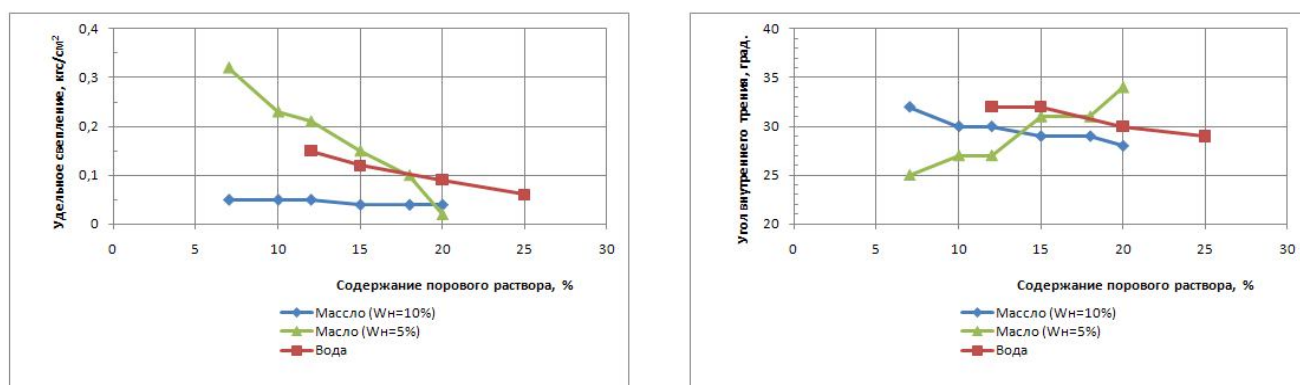


Рисунок 4. Изменение сцепления (c) и угла внутреннего трения (φ) в зависимости от содержания масла машинного в суглинках песчанистых при начальной влажности $W_n = 5\%$ и $W_n = 10\%$

Изменение углов внутреннего трения отличается от вышеописанной закономерности (для дизельного топлива). При начальной влажности $W_n = 5\%$ угол трения возрастает с увеличением содержания масла машинного и составляет

$\bar{\varphi}_{\text{песч. мас.}} = 32^\circ$, а при $W_{\text{н}} = 10\%$ наблюдается обратная зависимость – угол трения уменьшается и составляет в среднем также ($\bar{\varphi}_{\text{песч. мас.}} = 32^\circ$).

Таким образом, с увеличением содержания в суглинках дизельного топлива и масла машинного наблюдается уменьшение сцепления и увеличение углов внутреннего трения. При начальной влажности суглинка, равной 10%, изменение углов внутреннего трения, наоборот, уменьшается, при загрязнении его (суглинка) маслом машинным.

Для суглинка песчанистого, поровой жидкостью которого является дизельное топливо и вода ($W_{\text{н}}=5\%$), установлены статистические связи между содержанием дизельного топлива в грунте (д/т) и его прочностью, а также рассчитаны уравнения связи:

$$C = 0,2414 - 0,0074 * \text{д/т} \quad \text{при } r_p = -0,94 > r_k = 0,81;$$

$$\varphi = 24,582 + 0,55495 * \text{д/т} \quad \text{при } r_p = 0,92 > r_k = 0,81$$

Для суглинка песчанистого, поровой жидкостью которого является дизельное топливо и вода ($W_{\text{н}}=10\%$):

$$C = 0,1782 - 0,0071 * \text{д/т}; \quad \text{при } r_p = -0,93 > r_k = 0,81;$$

$$\varphi = 27,2308 + 0,1538 * \text{д/т} \quad \text{при } r_p = 0,93 > r_k = 0,81,$$

где: д/т – содержание в поровом растворе грунта дизельного топлива, %.

Для суглинка песчанистого, поровой жидкостью которого является масло моторное и вода ($W_{\text{н}}=5\%$):

$$C = 0,4608 - 0,0212 * \text{м/м} \quad \text{при } r_p = -0,95 > r_k = 0,81;$$

$$\varphi = 20,1181 + 0,6621 * \text{м/м} \quad \text{при } r_p = 0,92 > r_k = 0,81,$$

где: м/м – содержание в поровом растворе грунта масла машинного, %.

Для суглинка песчанистого, поровой жидкостью которого является масло моторное и вода ($W_{\text{н}}=10\%$):

$$C = 0,0585 - 0,001 * \text{м/м} \quad \text{при } r = -0,89 > r_k = 0,81;$$

$$\varphi = 33,2335 - 0,261 * \text{м/м} \quad \text{при } r = -0,94 > r_k = 0,81.$$

В четвертой главе описаны методика и результаты исследований по прогнозу прочностных свойств песков, загрязненных углеводородами. Объектом исследований являлись пески мелкие, средние и крупнозернистые. В качестве поровой жидкости использовались: вода дистиллированная, дизельное топливо, масло машинное и трансмиссионное масло. Проведено три серии экспериментов.

В первой серии экспериментов изучались два вопроса: влияние типа поровой жидкости на изменение углов внутреннего трения песков и влияние гранулометрического состава песков, загрязненных углеводородами, на их прочностные свойства.

Влияние типа поровой жидкости на углы внутреннего трения песков. Проведено сопоставление численных значений углов внутреннего трения, полученных в песках, поровым раствором которых являлась вода и трансмиссионное масло. При этом содержание порового раствора составило 7%.

Установлено, что в песках, загрязненных маслом трансмиссионным, углы внутреннего трения принимают всегда меньшие значения, чем в песках, поровым раствором которых является вода. В песках мелких φ уменьшается на 6%, в средних – на 19%, а в крупных – на 16%. Для определения, насколько существенны эти изменения φ , проведен статистический анализ. Сущность его сводилась к следующему. Если прочностные свойства песков, поровыми растворами которых являлись масло и вода, несущественно различаются между собой, то с точки зрения статистики дисперсии и средние значения выборочных совокупностей должны быть близки между собой. Близость дисперсий оценивается по критерию Фишера F , а средних значений – по критерию Стьюдента t .

Результаты расчетов приведены в таблице 2. Из таблицы видно, что во всех случаях расчетные значения критерия Стьюдента больше, чем табличные $t_p > t_m$. *Поэтому можно предположить, что загрязнение песков разной крупности маслом трансмиссионным вызовет существенные понижения их (песков) прочности.*

Таблица 2 – Результаты расчетов статистик

№ выб орки	Песок	Поровая жидкость	Среднее значение, φ	Дисперсия, S^2	Критерий			
					Фишера		Стьюдента	
					F_p	F_m	t_p	t_m
1	Мелкий	вода	32,5	0,50	1,42	2,45	5,74	2,10
2		масло	30,4	0,71				
3	Средний	вода	32,2	1,06	1,89	2,45	10,72	2,10
4		масло	26	2,00				
5	Крупный	вода	33	0,88	2,07	2,45	10,24	2,10
6		масло	27,6	1,82				

Влияние гранулометрического состава песков на изменения их углов внутреннего трения. Анализ экспериментальных данных показал, что средние значения углов внутреннего трения в песках мелких составляет $\varphi_m=32,5^\circ$, в среднезернистых – $\varphi_c=32,5^\circ$ и крупнозернистых – $\varphi_k=33^\circ$, поровым раствором которых является вода. Отсюда видно, что при вышеописанных условиях эксперимента, когда поровым раствором является вода, гранулометрический состав не оказывает существенного влияния на изменения углов внутреннего трения песков.

В том случае, когда поровым раствором является трансмиссионное масло, в песках мелких $\varphi_m=30,4^\circ$, в средних – $\varphi_c=26^\circ$ и крупнозернистых – $\varphi_k=27,6^\circ$. Чтобы установить, носят ли выявленные изменения закономерный характер, проведен статистический анализ. Результаты расчетов показали, что значения критерия Фишера между мелкими и средними песками составляет $F_p=2,82$, а между мелкими и крупными $F_p=2,57$. Критическое (табличное) F_m при числе степеней свободы $\kappa_1 = n_1 - 1 = 9$, $\kappa_2 = n_1 + n_2 - 2 = 18$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$ составляет $F_m=2,45$. Сопоставляя эти данные, видим, что $F_p > F_m$, отсюда следует, что исследуемые совокупности имеют существенные различия между собой. Таким образом, природа формирования углов внутреннего трения в песках, загрязненных маслом трансмиссионным, в концентрации 7% между песком мелким и средней крупности, а также между песком мелким и крупнозернистым,

различна. Из этого следует, что гранулометрический состав оказывает существенное влияние на прочностные свойства песков, поровым раствором которых является масло трансмиссионное.

Во второй серии экспериментов изучалось влияние содержания воды, дизельного топлива, масла моторного и масла трансмиссионного на изменение углов внутреннего трения песков разной крупности. Результаты экспериментов показали, что при увеличении содержания воды и УВ в мелких песках от 7% до 21 % наблюдается уменьшение угла внутреннего трения (Рисунок 5).

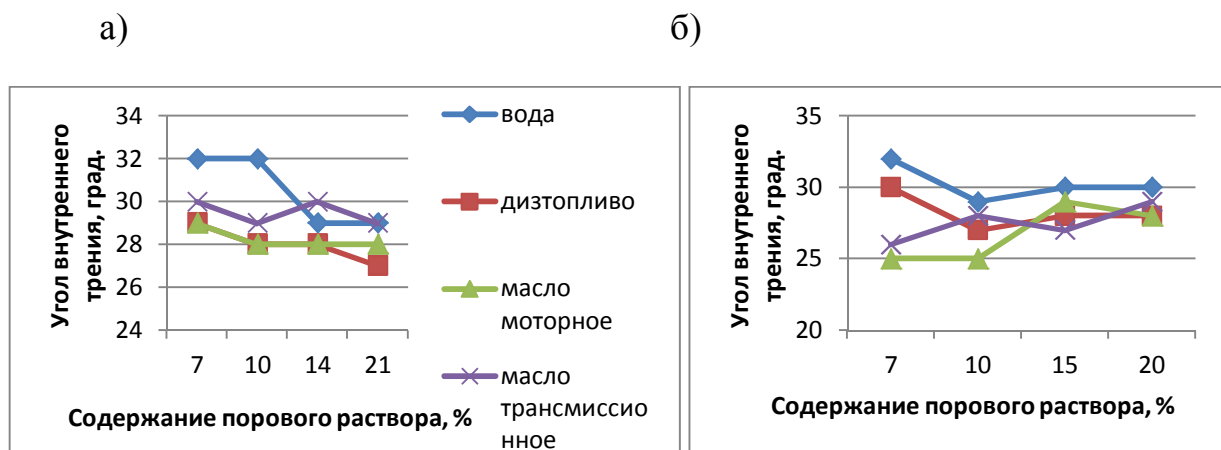


Рисунок 5. Изменение угла внутреннего трения (ϕ) в зависимости от влажности и содержания углеводородов в песках мелких (а) и средних (б)

При этом наиболее тесная и статистически значимая связь установлена между содержанием в песке дизельного топлива ($C_{д.т.}$) и углом внутреннего трения (ϕ_m), о чем свидетельствует наибольшее и статистически значимое значение коэффициента парной корреляции $r_{д.т.} = -0,94 > r_k = 0,81$ при $k_1=4$ степенях свободы. Также статистически значимая связь обнаружена между содержанием в песке воды (C_v) и углом внутреннего трения $r_{в.} = -0,86 > r_k = 0,81$. Связи между содержанием в песке масла моторного и углом внутреннего трения ($r_{м.м.} = -0,66 < r_k = 0,81$), а также масла трансмиссионного и ϕ ($r_{м.т.} = -0,48 < r_k = 0,81$) статистически незначимы. На основании выявленных закономерностей и с использованием регрессионного анализа рассчитаны следующие математические модели для прогноза углов внутреннего трения ϕ_m :

-для песка мелкого, загрязненного дизельным топливом $\varphi_M = 29,6545 - 0,1273 C_{д.т.}$,

где: $C_{д.т.}$ – концентрация дизельного топлива, как поровой жидкости в песках,

-для песка мелкого, насыщенного водой $\varphi_M = 33,6909 - 0,2455 C_B$,

где: C_B – влажность в песках.

Следует отметить, что наиболее надежные данные по углу внутреннего трения песков мелких можно получить при загрязнении их от 7% до 21%.

В песках средней крупности (рисунок 5), с увеличением содержания воды и дизельного топлива наблюдается закономерное уменьшение угла внутреннего трения. Однако, с увеличением содержания масел моторного и трансмиссионного, наоборот, наблюдается увеличение углов внутреннего трения. То есть при изменении свойств углеводородов от дизельного топлива до масла машинного изменяется природа формирования углов внутреннего трения. Вероятно, одним из признаков такой инверсии φ является вязкость углеводородного загрязнителя.

Коэффициенты корреляции между углом внутреннего трения и содержанием в песке дизельного топлива составляют $r_{д.т.} = -0,42$, а между φ и C_B воды имеют также отрицательное значение $r_B = -0,42$. Хотя эти коэффициенты корреляции и не значимы, однако, тенденцию изменения φ от C установить возможно: с увеличением C наблюдается уменьшение φ .

Связи между содержанием в песке масла моторного и φ ($r_{м.м.} = 0,82$), а также между содержанием масла трансмиссионного и φ ($r_{м.т.} = 0,77$), положительные. То есть, с увеличением C угол трения возрастает.

На основании выявленных закономерностей и с использованием регрессионного анализа рассчитаны следующие математические модели для прогноза углов внутреннего трения φ_c :

-для песка, загрязненного маслом моторным $\varphi_c = 22,9031 + 0,2959 C_{м.м.}$,

-для песка, насыщенного маслом трансмиссионным $\varphi_c = 25,2449 + 0,1735 C_{м.т.}$,

где: где: $C_{м.м.}$ – содержание масла моторного, $C_{м.т.}$ – содержание масла трансмиссионного. Следует отметить, что наиболее надежные данные по углу внутреннего трения песков можно получить при загрязнении их от 7% до 20%.

В песках крупнозернистых с увеличением содержания воды и дизельного топлива наблюдается уменьшение углов внутреннего трения. При этом установлена статистическая связь между содержанием в песке воды и φ , о чем свидетельствует значимое значение коэффициента корреляции $r_{в.} = -0,97 > r_{к} = 0,81$. Связь между $C_{д.т.}$ и φ также отрицательная и составляет $r_{д.т.} = -0,75$. Для песков, загрязненных маслами моторным и трансмиссионным, наблюдается обратная зависимость. С увеличением содержания этих загрязнителей в песках их углы внутреннего трения, наоборот, растут. Установлена статистическая связь между φ и содержанием в песках масла трансмиссионного ($r_{м.т.} = 0,91 > r_{к} = 0,81$). Между $C_{м.м.}$ и φ также наблюдается прямая связь ($r_{м.м.} = 0,27$). На основании выявленных закономерностей для крупнозернистого песка рассчитаны математические модели по прогнозу прочностных свойств (φ_k) песков, загрязненных водой и маслом трансмиссионным: -для песка, насыщенного водой $\varphi_k = 34,5951 - 0,1609 C_{в.}$

-для песка, загрязненного маслом трансмиссионным $\varphi_k = 25,9899 + 0,146 C_{м.т.}$ где: $C_{в.}$ – влажность песка, $C_{м.т.}$ – содержание масла трансмиссионного. Следует отметить, что наиболее надежные данные по углу внутреннего трения песков можно получить при загрязнении их от 5,5% до 22%.

Таким образом, установлены взаимосвязи между прочностными характеристиками песков и содержанием в них углеводородов. В песках средне- и крупнозернистых при изменении поровой жидкости в ряду вода, дизельное топливо, масла моторное и трансмиссионное наблюдается изменение природы формирования углов внутреннего трения в диапазоне дизельное топливо-масло моторное. Вероятно, одним из признаков такой инверсии φ является вязкость углеводородного загрязнителя.

В третьей серии экспериментов изучалось влияние вязкости порового раствора на изменение углов внутреннего трения песков разной крупности.

Пески мелкие. Изменение угла внутреннего трения (φ) в зависимости от вязкости углеводородов различной концентрации приведено на рисунке 6. Из рисунка видно, что при изменении вязкости поровой жидкости от $\eta = 0,66$ мм²/с (вода) до $\eta = 3$ мм²/с (дизельное топливо) наблюдается уменьшение углов

внутреннего трения песков. В диапазоне вязкости от $\eta=3$ мм²/с (дизельное топливо) до $\eta=65$ мм²/с (масло моторное) существенных изменений ϕ не наблюдается. При увеличении вязкости от $\eta=65$ мм²/сек (масло моторное) до $\eta=164$ мм²/сек (масло трансмиссионное) наблюдается увеличение углов внутреннего трения песков. Следует отметить, что вязкость оказывает наиболее значительное влияние на изменение угла внутреннего трения песков при их загрязнении до 10%.

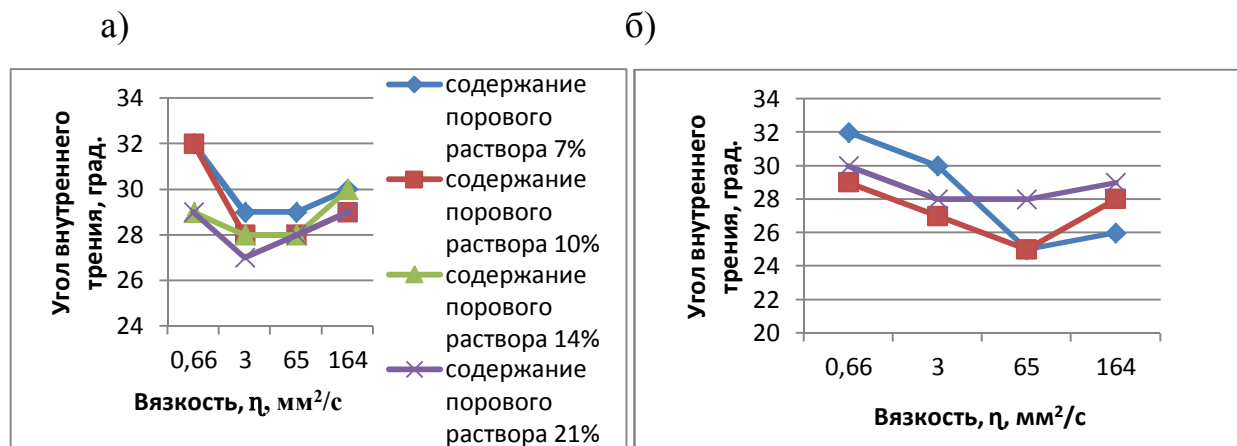


Рисунок 6. Изменение угла внутреннего трения (ϕ) в зависимости от вязкости углеводородов в песках мелких (а) и средних(б)

В песках средней крупности наибольшие изменения ϕ установлены также в диапазоне вязкости порового раствора от $\eta=0,66$ мм²/с до $\eta=3$ мм²/с (рисунок 6).

Для песка крупнозернистого наблюдаются подобные же закономерности. С увеличением вязкости порового раствора до $\eta=3$ мм²/с наблюдается уменьшение углов внутреннего трения, при дальнейшем увеличении – до $\eta=164$ мм²/с угол трения, наоборот, возрастает (рисунок 7). Выявленную закономерность можно объяснить следующим образом. Сдвигающие напряжения в песках складываются из двух составляющих: первая определяется трением частиц грунта между собой и вторая – сдвигающими напряжениями поровой жидкости, которые можно оценить через их вязкость.

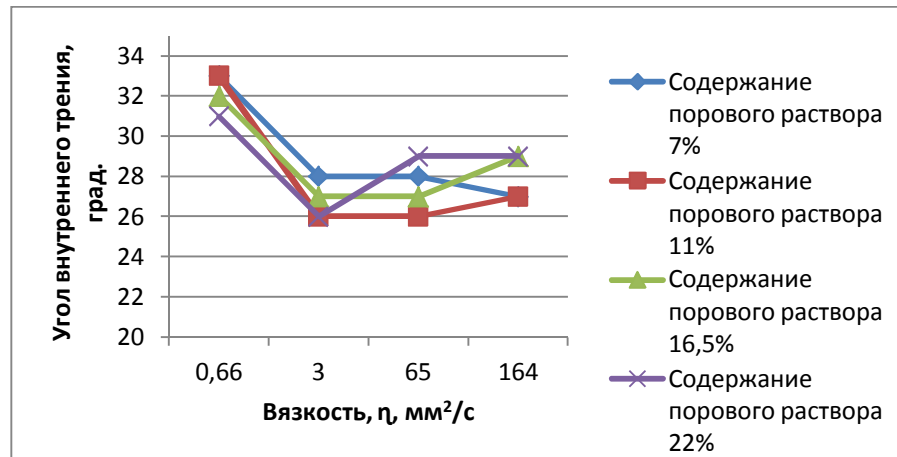


Рисунок 7. Изменение угла внутреннего трения (ϕ) в зависимости от вязкости углеводородов в песках крупнозернистых

Отсюда углеводороды вязкостью от 3 мм²/с до 65 мм²/с имея незначительные сдвигающие напряжения, выполняют роль «смазки» между частицами песка, поэтому ϕ естественно уменьшается. При увеличении вязкости от 65 мм²/с до $\eta=164$ мм²/с сдвигающие напряжения углеводородов вносят значительный вклад в общую величину трения, поэтому и угол внутреннего трения возрастает. При этом трение между частицами песка в водном растворе, всегда выше, чем трение частиц поровым раствором которых являются углеводороды. Это подтверждается также результатами первого эксперимента.

Влияние вязкости и гранулометрического состава на изменение угла внутреннего трения песков. На рисунке 8 приведены данные по изменению угла внутреннего трения (ϕ) в зависимости от вязкости углеводородов в песках разной крупности при степени их загрязнения от 20%-22%. Из рисунка видно, что наибольшие изменения угла внутреннего трения характерны для песков крупнозернистых. В мелко- и среднезернистых песках воздействие вязкости порового раствора на изменение углов внутреннего трения оказывает одинаковое влияние. *Прогноз прочностных свойств грунтов при углеводородном загрязнении.* В первой главе приведены нормативные значения прочностных характеристик залегающего в естественном состоянии суглинка ИГЭ 3 (таблица 1).

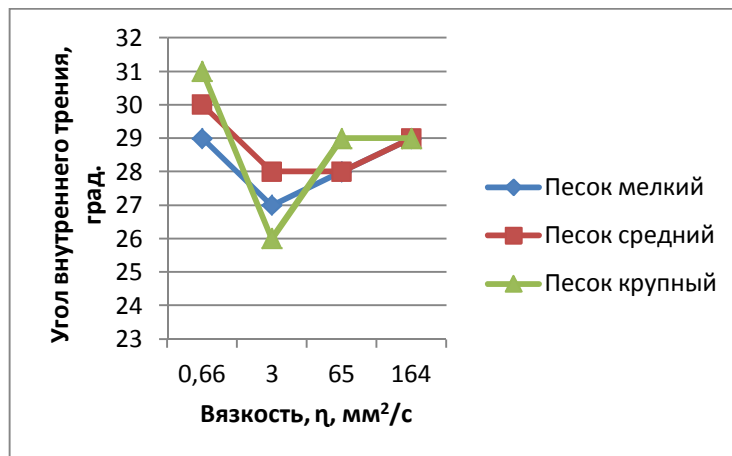


Рисунок 8. Изменение угла внутреннего трения (ϕ) в зависимости от вязкости углеводородов в песках разной крупности при степени их загрязнения от 20%-22%

В состав проектируемых сооружений куста входит емкость с дизельным топливом. При разливе дизельного топлива на земную поверхность содержание УВ в грунте может достигать 15%. При таком сценарии аварийной ситуации удельное сцепление (ИГЭ 3) уменьшится от $C=0,030$ МПа до $C=0,017$ МПа, а угол внутреннего трения возрастет с $\phi=17^\circ$ до $\phi=27^\circ$. Данные изменения приведут к понижению несущей способности основания емкости.

Основные выводы по результатам работы:

1. Дана оценка инженерно- геологических условий трассы нефтепровода на Северо - Харьягинском нефтяном месторождении.
2. Экспериментально установлено, что при загрязнении глинистых грунтов (глин, суглинка и супеси) маслом машинным до 2,5% в них протекают процессы коагуляции, а при увеличении загрязнения – диспергации. Наиболее интенсивно эти процессы протекают в глинах. Изменение агрегатного состава влечет за собой изменение их физических свойств.
3. Выявлены закономерности изменения прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных углеводородами. На основании которых разработаны математические модели для прогноза сцепления и угла внутреннего трения глин.
4. Установлено, что в песках средне- и крупнозернистых при изменении поровой жидкости в ряду вода, дизельное топливо, масла моторное и

трансмиссионное наблюдается изменение природы формирования углов внутреннего трения в диапазоне дизельное топливо-масло моторное. Одним из признаков такой инверсии угла внутреннего трения ϕ является вязкость углеводородного загрязнителя.

5. Выявлено закономерное изменение углов внутреннего трения песков в зависимости от вязкости поровой жидкости. При увеличении вязкости поровой жидкости от $\eta=0,66$ мм²/с (вода) до $\eta=3$ мм²/с (дизельное топливо) наблюдается уменьшение углов внутреннего трения песков, а при дальнейшем увеличении вязкости до $\eta=164$ мм²/с (масло трансмиссионное) углы внутреннего трения песков возрастают.

6. Рассчитаны прогнозные модели для определения прочностных свойств песков, подверженных углеводородному загрязнению.

Публикации в изданиях, определенных ВАК

1. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Исследование механизма агрегации частиц в глинистых грунтах при загрязнении их углеводородами // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 8 (Часть 6). С. 1408-1412.
2. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Закономерности изменения прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных нефтепродуктами // *Инженерная геология*. №2. 2014. С. 26-32.
3. Середин В.В., Ядзинская М.Р., Красильников П.А. Прогноз прочностных свойств песков, загрязненных углеводородами // *Инженерная геология*. 2014. №6. С.50-55.
4. Осовецкий Б.М., Растегаев А.В., Ибламинов Р.Г., Каченов В.И., Ядзинская М.Р. Изучение влияния масла моторного, как поровой жидкости, на прочностные свойства песков // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 4.
5. Ядзинская М.Р., Галиахметова А.В. Инженерно-геологические изыскания в районах островного распространения многолетнемерзлых грунтов// *Инженерные изыскания*. 2009. №12. С. 52-56.

6. Галиахметова А.В., Ядзинская М.Р., Канева И.В. Оценка природных и техногенных условий для целей инженерной защиты трубопроводов в криолитозоне // Инженерные изыскания. 2013. №1. С. 52-55.

7. Ядзинская М.Р., Галиахметова А.В., Соловьева И.В. Сравнительный анализ методов определения осадки при оттаивании многолетнемерзлых грунтов (на примере Заполярья) // Инженерная геология. 2011. №4. С.58-60.

8. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Районирование территории коридора коммуникаций на Северо-Харьягинском нефтяном месторождении // Современные проблемы науки и образования. 2014. №5

Публикации в других научных изданиях:

9. Ядзинская М.Р., Агеева Т.А. Исследование процессов диспергации и агрегации грунтов при загрязнении их углеводородами //Сборник научных трудов «Геология в развивающемся мире». Том II. Пермь 2014. С.51-53.

10. Ядзинская М.Р., Андрианов А.В. Исследование деформационных свойств глин. //Сборник научных трудов «Геология в развивающемся мире». Том II. Пермь 2015. С.150-154.

11. Ядзинская М.Р., Тамоян К.А., Андрианов А.В. К вопросу о повышении надежности модуля общей деформации глинистых грунтов. //Сборник научных трудов «Геология в развивающемся мире». Том II. Пермь 2015. С.154-157.

12. Ядзинская М.Р. К вопросу о инженерно-геологическом районировании // Сборник научных трудов «Геология в развивающемся мире». Том I. Пермь 2016. С.508-511.

13. Ядзинская М.Р. Прогноз прочностных свойств дисперсных грунтов, загрязненных углеводородами // Сборник научных трудов «Геология в развивающемся мире». Том I. Пермь 2016. С.511-515