

УДК 624.131.439

Изменение механических свойств глинистых грунтов при взаимодействии с нефтепродуктами

Л.Р. Золотарёв

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт, 614990, Пермь, ул. Генкеля, 4

E-mail: leonzol@bk.ru

(Статья поступила в редакцию 9 ноября 2017 г.)

Приведены результаты исследований механических свойств и набухания глинистых грунтов при их взаимодействии с нефтепродуктами. Установлено, что при этом изменяются такие механические свойства глинистых грунтов, как сцепление и угол внутреннего трения.

Ключевые слова: *глина, сцепление, угол внутреннего трения, загрязнение грунта, набухание.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.263

Введение

В последние десятилетия добыча, транспортировка и переработка нефти приобрели значительные масштабы, при этом одним из самых распространенных явлений становится загрязнение грунтов нефтепродуктами. При взаимодействии нефтепродуктов с дисперсными грунтами меняются их механические свойства, влияющие на устойчивость зданий и сооружений. Исходя из этого проектирование в районах добычи и переработки нефти следует проводить с учетом возможного изменения механических свойств глинистых грунтов.

Несмотря на важность проблемы, характер взаимодействия нефтепродуктов с глинистыми грунтами изучен недостаточно. В связи с этим *целью* данной работы является исследование механических свойств и набухания глинистых грунтов при их взаимодействии с нефтепродуктами.

Методика исследований

Все лабораторные исследования грунтов, кроме дифрактометрического анализа, проходили в лаборатории грунтоведения при ПГНИУ.

Подготовка образцов для определения механических свойств

Для испытаний использовался грунт с нарушенной структурой, требующий предварительного уплотнения, преимущественно состоящий из глинистых минералов – гидрослюды, каолинита, а также с 25% содержанием кварца (табл. 1). Минералогический состав грунта был определен с помощью дифрактометрического анализа в секторе наноминералогии кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ. Гранулометрический состав глины установлен с помощью ареометрического метода в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 12536-79 (табл. 2). Влажность условно принята за ноль процентов. Были проведены две серии испытаний, в одной из них грунт замачивался водой с различным весовым содержанием – 10, 15, 20 %, а в другой – дизельным топливом с весовым содержанием 10, 12, 15, 17, 20 %.

Грунт помещался в рабочее кольцо, герметично закрывался и подвергался вертикальным деформациям в уплотнителе. Давление, поданное на кольцо, оставалось неизменным и составляло 0,2 МПа. Показания с приборов снимались два раза в сутки. Уплотнение считалось завершённым, когда вертикальные деформации не превышали 0,05 мм/сут.

Таблица 1. Минералогический состав грунта

| Минерал, % | | | | | |
|-----------------------|-------|----------|--------|----------|----------------|
| Иллит (гидрослюда) | Кварц | Каолинит | Альбит | Ортоклаз | Монтмориллонит |
| 28,91 | 25,08 | 20,46 | 11,45 | 7,34 | 6,75 |

Таблица 2. Гранулометрический состав грунта

| Показатели | Песок | | | | Пыль | | Глинистые частицы |
|--------------------|-------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------------|
| | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | 0,1-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | |
| Размер фракции, мм | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | 0,1-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | <0,005 |
| Содержание, % | 0 | 0,12 | 0,95 | 3,07 | 5,31 | 9,64 | 81,09 |

Методика определения механических свойств грунта

Для определения показателей сцепления и угла внутреннего трения глинистого грунта использовался прибор ПСГ-2М.

Испытания для определения прочностных характеристик грунта одной влажности проводились на 3 образцах при различных величинах вертикального давления (Р): 0,05, 0,1 и 0,15 МПа. Значения ступеней касательной нагрузки в зависимости от значений вертикальной приведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения касательной нагрузки

| Вертикальная нагрузка, МПа | Одна ступень касательной нагрузки, кг |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 0,05 | 0,1 |
| 0,1 | 0,15 |
| 0,15 | 0,2 |

Касательная нагрузка увеличивалась каждые 5 мин. Испытание считалось законченным, если при очередной ступени касательной нагрузки происходил мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или общая деформация среза превышала 5 мм.

Методика определения набухания грунта

Замоченный грунт погружался в кольцо, являющееся частью прибора ПНГ-1.

Далее грунт подвергался уплотнению. Давление, поданное на кольцо, оставалось неизменным и составляло 0,2 МПа. Показания с приборов снимались два раза в сутки. Уплотнение считалось законченным, когда вертикальные деформации не превышали 0,05 мм/сут. Затем кольцо с уплотненным грунтом погружалось в емкость с водой, и сверху к нему устанавливался индикатор деформаций образца грунта. Ровно через сутки снимались показания с индикатора.

Результаты исследований

Результаты определения механических свойств грунта

По итогам испытаний были построены графики зависимости сцепления и угла внутреннего трения от содержания добавленной в грунт жидкости (рис. 1, 2). Из графиков видно, что с увеличением влажности сцепление и угол внутреннего трения уменьшаются.

При смешивании глины с дизельным топливом отмечается параболическая зависимость: сцепление уменьшается с 0,011 до 0,003 МПа и затем увеличивается до 0,015 МПа (рис. 3).

До 15% содержания дизельного топлива в глине сцепление уменьшается. Однако после 15% сцепление увеличивается, это связано с увеличением содержания тонкодисперсной фракции, т. е., вероятно,

начинается процесс диспергации (Брако-ренко, 2011).

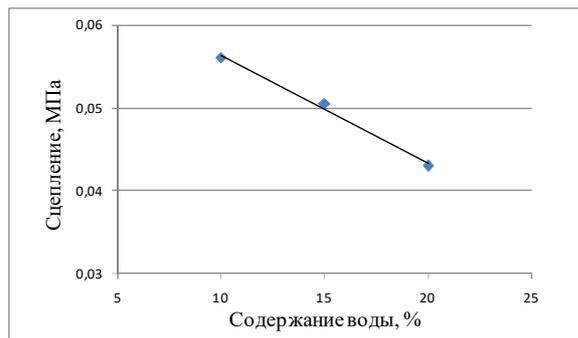


Рис.1. График зависимости сцепления от содержания воды

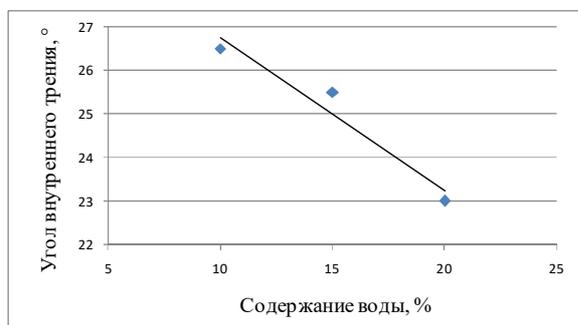


Рис. 2. Зависимость угла внутреннего трения от содержания воды

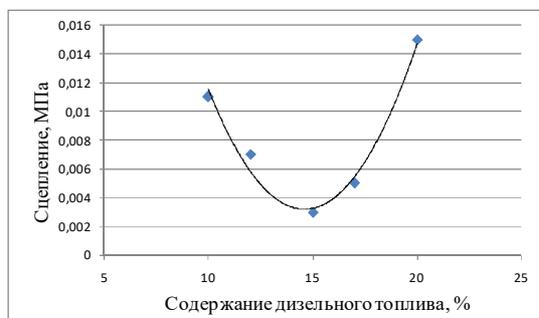


Рис. 3. Зависимость изменения сцепления от увеличения содержания дизельного топлива



Рис. 4. Зависимость изменения угла внутреннего трения от содержания дизельного топлива

При содержании дизельного топлива менее 17 % происходит увеличение значений угла внутреннего трения (рис. 4). После 17% содержания дизельного топлива угол падает, и это также объясняется вероятной диспергацией глинистых частиц.

Результаты определения набухания грунта

Результаты набухания глины приведены на рис. 5.

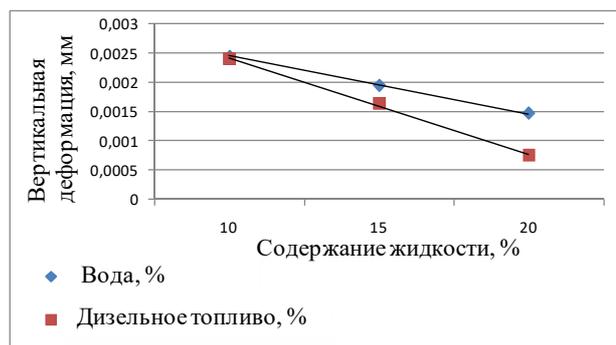


Рис. 5. График набухания при изменении содержания жидкой фазы

Выводы

Такое изменение механических свойств можно объяснить следующим образом: дизельное топливо является неполярной жидкостью, а при взаимодействии с неполярной органической жидкостью грунт полностью теряет свою пластичность (Трофимов, 2005). Пластичность в грунте обеспечена водно-коллоидными связями, т.е. коллоиды являются «смазкой» между частицами при их отдельном перемещении. Можно сделать вывод, что дизельное топливо разрушает водно-коллоидные связи, благодаря чему «смазка» между частицами разрушается, и, следовательно, силы трения возрастают. В целом механические и другие свойства глинистых грунтов под действием производных нефти ухудшаются (Rasheed, 2014).

Судя по результатам исследований набухания, можно прийти к выводу, что деформации данного глинистого грунта тем меньше, чем больше его влажность. Час-

тица глинистого вещества представляет собой агрегат из слипшихся первичных зерен глинистых минералов, часто цементированных природными цеменами катионного типа. Набухание глин происходит вследствие того, что поляризованные молекулы воды вклиниваются между отдельными агрегатами глины и, адсорбируясь на их поверхности, раздвигают их, создавая вокруг водную оболочку, проникают в пространство между отдельными слоями решетки, образуя межслоевую воду (Karpinski, 2015).

Процесс набухания проходит в две стадии: первая стадия – адсорбционное, или внутрикристаллическое набухание, вторая – макроскопическое, или «осмотическое» набухание. На первой стадии глинистая порода впитывает влагу за счет адсорбции молекул воды поверхностью глинистых частиц и межслоевыми промежутками кристаллической решетки глинистых минералов. Эта стадия практически не влияет на изменение объема породы. На второй стадии набухания влага поглощается с помощью осмотического давления. Оно возникает вблизи поверхности глинистых частиц за счет избыточной концентрации многочисленных обменных катионов, отдиссоциированных (отошедших) с поверхности глинистых частиц в раствор. Основное увеличение объема набухающей глины происходит именно на этой макроскопической стадии (Соколов, 2000). С ростом концентрации загрязнителя набухаемость грунта снижается вследствие падения ионно-электростатической составляющей расклинивающего давления. При первоначальной влажности в 10% на поверхности и между слоями решетки глинистых частиц есть большие площади, которые еще не заняты молекулами прочносвязанной воды. При влажности в 20% этих площадей меньше, соответственно деформации глины уменьшаются.

Уменьшение деформаций глины, замоченной в дизельном топливе, объясняется тем, что эта неполярная жидкость не адсорбируется глиной. Нефтепродукт не может проникнуть в межслойное пространство, и набухание ничтожно. По сути, нефтепродукт является рыхлосвязанной жидкостью, которая «обволакивает» глинистые частицы, затрудняет проникновение воды к их поверхности и к их межслойному пространству. Поэтому чем больше процент содержания нефтепродукта, тем более труднодоступными становятся отрицательно заряженные поверхности частиц глины. Этим и объясняются меньшие деформации грунта, содержащего дизельное топливо, по сравнению с грунтом, содержащим воду.

Библиографический список

- ГОСТ 12536-79.* Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2008.
- Бракоренко Н.Н., Емельянова Т.Я.* Влияние нефтепродуктов на петрографический состав и физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов (на примере г. Томска)//Вестник Томского государственного университета. 2011. Вып. 342. С. 197-200,
- Соколов В.Н.* Глинистые породы и их свойства //Науки о Земле. М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 59-65.
- Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С.* Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
- Karpinski B., Szkodo M.* Clay minerals - mineralogy and phenomenon of clay swelling in oil & gas industry // De Gruyter Open. 2015. P. 37-55,
- Rasheed Z.N., Ahmed F.R. & Jassim H.M.* Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. Vol. 186. P. 353-361,

Alteration in Mechanical Properties of Clay Soils due to the Interaction with Petroleum Products

L.R. Zolotarev

Natural Science Institute, Perm State University, 4 Genkelya Str., Perm 614990, Russia

E-mail: leonzol@bk.ru

The article presents the results of study of the mechanical properties of clay observed due to interaction with oil products. It had been established that the interaction of hydrocarbons with clay soils affects their mechanical properties, such as adhesion and the angle of internal friction.

Key words: *clay; cohesion; angle of internal friction; soil contamination; oil products; swelling.*

References

- GOST 12536-79.* Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i microagregatnogo sostava [Methods of laboratory specification of the granulometric (grain size) and microaggregate composition]. Standartinform, Moskva, 2008. (in Russian)
- Brakorenko N.N., Emelyanova T.Y.* 2011. Vliyanie nefteproduktov na petrograficheskiy sostav i fiziko-mekhanicheskie svoystva peschano-glinistykh gruntov (na primere g. Tomsk) [Influence of oil products on the petrographic composition and physical mechanical properties of the sand-clay soil (example of city of Tomsk)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 342: 197-200. (in Russian)
- Sokolov V.N.* 2000. Glinistye porody i ikh svoystva [Clays and their properties]. Nauki o Zemle. 6(9): 59-65. (in Russian)
- Trofimov V.T., Korolyov V.A., Voznesenskiy E.A., Golodkovskaya G.A., Vasilchuk Y.K., Ziangirov R.S.* 2005. Gruntovedenie [Soil study]. MGU. Moskva, p. 1024. (in Russian)
- Karpinski B., Szkodo M.* 2015. Clay minerals - mineralogy and phenomenon of clay swelling in oil & gas industry. Advances in Materials Science. 15(1): 37-55. doi:10.1515/adms-2015-0006
- Rasheed Z.N., Ahmed F.R., Jassim H.M.* 2014. Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 186: 353-361. doi: 10.2495/ESUS140301