

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСЛА МОТОРНОГО КАК ПОРОВОЙ ЖИДКОСТИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕСКОВ

Осовецкий Б.М., Растегаев А.В., Ибламинов Р.Г., Каченов В.И., Ядзинская М.Р.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: kafedra.ingeo@gmail.com

В результате проливов нефти и нефтепродуктов на земную поверхность происходит частичное замещение поровой жидкости пород, вода замещается углеводородами. Эти замещения оказывают влияние на несущую способность грунтового основания, что влечет за собой аварийные ситуации на нефтеперерабатывающих установках, зданиях и сооружениях. При попадании в грунт масла от 7 до 28% наблюдается понижение удельного сцепления и увеличение угла внутреннего трения. Уменьшение сцепления вызвано тем, что масло, попадая в песок, раздвигает песчинки друг от друга за счет поверхностно-активных веществ, которые находятся в нем. Особенно сильное влияние на механический контакт в грунтах оказывают пленки поверхностно-активных (ПАВ) жидкостей. Молекулы ПАВ способны определенным образом ориентироваться в контактном зазоре вдоль границы раздела «твердое тело – жидкость», формируя мономолекулярный слой, и тем самым еще больше снижать трение и поверхностную энергию системы.

Ключевые слова: грунты, физико-механические свойства, инженерная геология, микроагрегатный состав песков.

THE INFLUENCE OF ENGINE OIL AS PORE FLUID ON THE STRENGTH PROPERTIES OF THE SANDS

Osovetskiy B.M., Rastegaev A.V., Iblaminov R.G., Kachenov V.I., Yadzinskaya M.R.

Perm State National Research University, 614000, Perm, Bukirev st., 15, georif@yandex.ru

As a result of spills of oil and oil products on the earth's surface, there is a partial replacement of the pore fluid rocks, the water is replaced by hydrocarbons. These substitutions affect the carrying capacity of the subgrade, which entails emergencies at oil installations, buildings and structures. When injected into the ground oil from 7 to 28% there is a decrease of the specific adhesion and increase the angle of internal friction. Reduced adhesion due to the fact that the oil entering the sand grains spreads apart by surfactants that are therein. Particularly strong influence on the mechanical contact in the soil have a film of surface-active (surfactant) fluids. Surfactant molecules can be oriented in a certain way in the contact gap along the interface "solid - liquid", forming a monolayer, and thus further reduce friction and surface energy of the system.

Keywords: soils, physical and mechanical properties, engineering geology, microaggregate composition of sands.

Негативное воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду общеизвестный факт [2; 3; 6-9]. В результате проливов нефти и нефтепродуктов на земную поверхность происходит частичное замещение поровой жидкости пород, вода замещается углеводородами. Эти замещения оказывают влияние на несущую способность грунтового основания, что влечет за собой аварийные ситуации на нефтеперерабатывающих установках, зданиях и сооружениях [1; 4; 5; 11-14]. Поэтому **актуальными** являются вопросы прогноза изменения свойств грунтов, подвергшихся нефтяному воздействию.

Исследованиями изменений физико-механических свойств грунтов при загрязнении их нефтью и нефтепродуктами занимались многие ученые. Среди них В.В. Середин, В.И. Каченов, Л.О. Лейбович, Н.Н. Бракоренко и Т.Я. Емельянова, Ю.А. Нефедьева, А.П. Казёнников, Ю.Н. Копылов, Л.В. Шевченко и И.В. Ширшова и др. [1; 2; 4; 7; 11; 13; 14].

Целью работы является изучить влияние масла машинного, как поровой жидкости, на прочностные свойства песков разной крупности.

Объектом исследований являлись пески мелкие, средние и крупные. В качестве поровой жидкости использовалось масло машинное «Лукойл мото 2т» (вязкостью кинематической $\eta = 106 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $t=40 \text{ }^\circ\text{C}$) и вода дистиллированная (вязкостью $\eta = 0.658 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $t=40 \text{ }^\circ\text{C}$).

Методика исследований включала в себя высушивание песка, разделение его на фракции (мелкую, среднюю и крупную). Пробы песка формировались следующим образом: из каждой фракции отбиралось 200 граммов песка, в который добавляли дистиллированную воду и масло машинное в объемах от 5 до 28%. Затем полученную смесь уплотняли под нагрузкой $\sigma = 0.15 \text{ МПа}$.

Испытание грунтов на сдвиг определяли методом одноплоскостного среза на приборе ГПП-30 при нормальных напряжениях, равных $\sigma = 0.05 \text{ МПа}$, $\sigma = 0.10 \text{ МПа}$ и $\sigma = 0.15 \text{ МПа}$. Первичная обработка результатов испытаний производилась путем построения паспортов прочности, с которых снимались значения сцепления (c) и углов внутреннего трения (φ) (таблица).

Прочностные свойства песков, поровым раствором которых является вода и машинное масло

Наименование песка	Содержание раствора, % от массы сухого грунта		Прочностные свойства	
	Масло машинное (K_M)	Вода (K_B)	Удельное сцепление (c), кгс/см ²	Угол внутреннего трения (φ), град.
Песок мелкий ($K_{Mм}$)	–	7,0	0,10	31
	–	14,0	0,10	29
	–	21,0	0,11	29
	–	28,0	0,08	33
	7,0	–	0,06	29
	14,0	–	0,08	28
	21,0	–	0,13	28
	28,0	–	0,02	33
Песок средней крупности (K_{Mc})	–	10,0	0,08	29
	–	15,0	0,05	31
	–	20,0	0,08	30
	–	25,0	0,05	33
	10,0	–	0,11	25
	15,0	–	0,06	29
	20,0	–	0,08	28
	25,0	–	0,04	33
Песок крупный ($K_{Mк}$)	–	5,5	0,03	34
	–	11,0	0,05	33
	–	16,5	0,06	32
	–	22,0	0,11	31
	5,5	–	0,06	28
	11,0	–	0,12	25
	16,5	–	0,11	27
	22,0	–	0,08	29

Обсуждение результатов исследований

На рис. 1 приведены данные по изменению сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от типа и количества порового раствора в песках мелких.

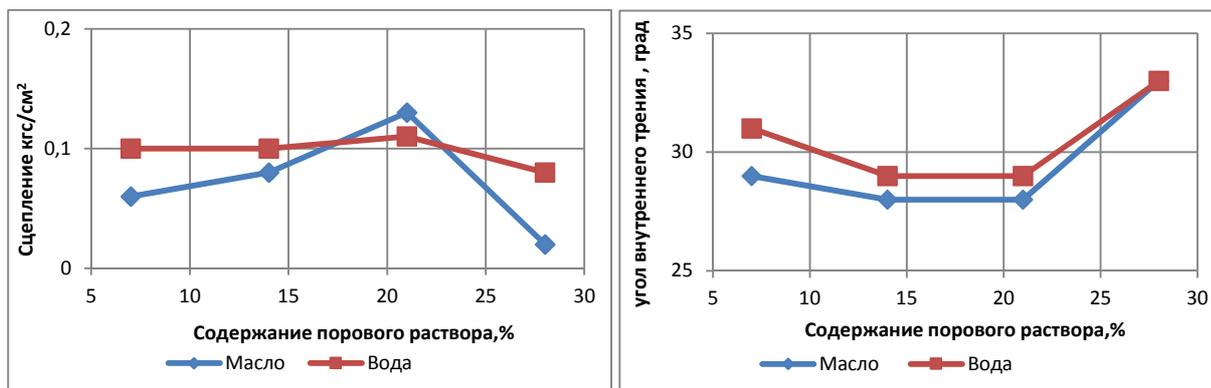


Рис. 1. Изменение сцепления (c) и угла внутреннего трения (ϕ) в зависимости от влажности и содержания машинного масла в песках мелких.

Из рисунка 1 видно, что при увеличении содержания воды от 7 до 21% наблюдается возрастание удельного сцепления и уменьшение угла внутреннего трения. Рост удельного сцепления может быть вызван формированием структурных связей за счет увеличения влажности. Например, это может быть связано с образованием капиллярных контактов.

Капиллярные контакты между дисперсными частицами в грунтах образуются в трехкомпонентных системах «твердая фаза – жидкость – газ» за счет капиллярных менисков жидкости, располагающихся в виде манжет непосредственно в контактном зазоре (рис. 2). Такие контакты характерны для частиц в не полностью увлажненных песках. В зависимости от размера частиц и степени водонасыщения грунта размер капиллярных манжет, а главное радиусы их кривизны, могут меняться в широких пределах.

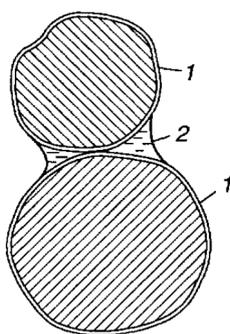


Рис. 2. Схема капиллярного контакта в трехфазном грунте: 1 — пленка связанной воды; 2 — мениск капиллярной влаги.

Капиллярные контакты являются обратимо разрушающимися при гидратации – дегидратации: в сухих грунтах они исчезают при уменьшении и исчезновении манжет; во влажных грунтах они постепенно исчезают по мере водонасыщения и перехода грунта от трехфазной к двухфазной системе. Это относительно слабые по прочности контакты, однако

их наличие в песчаных грунтах способно обеспечить некоторую связность грунтов, называемую капиллярной. Следует иметь в виду, что доля площади истинных контактов между частицами в общем сечении (A) трехкомпонентного грунта составляет лишь небольшую величину (рисунок 2)

С увеличением содержания воды более 21% расстояние между частицами грунта увеличивается и, следовательно, удельное сцепление уменьшается. Водные пленки на механических контактах частиц участвуют в формировании прочности таких механических контактов. Чаще всего наличие водной пленки в контактном зазоре снижает коэффициент трения, и прочность таких механических контактов уменьшается по сравнению с воздушной средой.

При добавлении в пробу масла от 7 до 28% наблюдается понижение удельного сцепления и увеличение угла внутреннего трения. Уменьшение сцепления вызвано тем, что масло, попадая в песок, раздвигает песчинки друг от друга за счет поверхностно-активных веществ, которые находятся в нем. Особенно сильное влияние на механический контакт в грунтах оказывают пленки поверхностно-активных (ПАВ) жидкостей. Молекулы ПАВ способны определенным образом ориентироваться в контактном зазоре вдоль границы раздела «твердое тело – жидкость», формируя мономолекулярный слой, и тем самым еще больше снижать трение и поверхностную энергию системы (рис. 3).

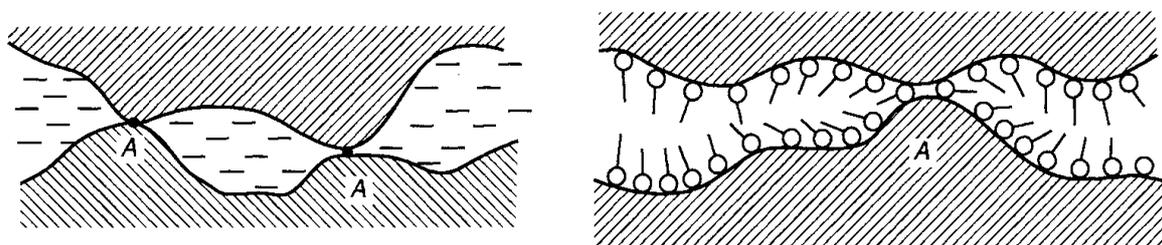


Рис. 3. Схема контакта трещащих поверхностей с прослойкой жидкости - слева и ПАВ - справа.

На рисунке 4 приведены данные по изменению сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от типа и количества порового раствора в песках средней крупности.

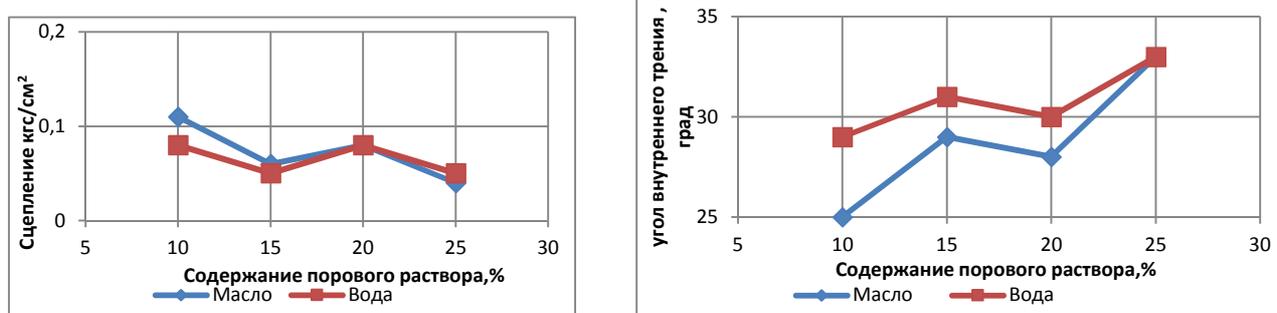


Рис. 4. Изменение сцепления (c) - слева и угла внутреннего трения (φ) - справа в зависимости от влажности и содержания машинного масла в песках средней крупности.

Из рис. 4 видно, что с увеличением количества воды в поровом растворе песков средней крупности наблюдается закономерное уменьшение удельного сцепления и увеличение угла внутреннего трения. Таким образом, с увеличением содержания воды расстояние между частицами грунта увеличивается и, следовательно, сцепление уменьшается. При увеличении содержания масла машинного также наблюдается уменьшение удельного сцепления и увеличение угла внутреннего трения. Это также объясняется свойствами масла и наличием в нем поверхностно-активных веществ.

На рис. 5 приведены данные по изменению сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от типа и количества порового раствора в песках крупных.

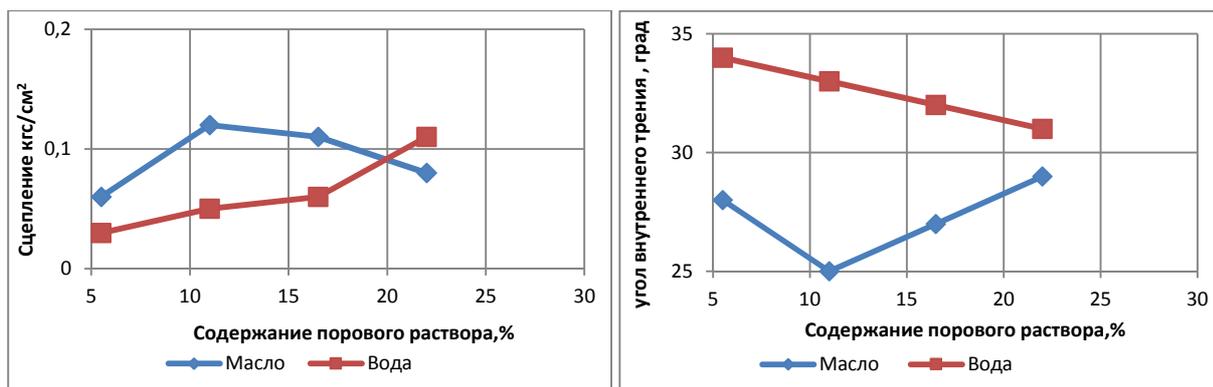


Рис. 5. Изменение сцепления (с) - слева и угла внутреннего трения (φ) - справа в зависимости от влажности и содержания масла машинного в песках крупных.

Из рисунка 5 видно, что с увеличением содержания масла машинного в грунтах значение удельного сцепления возрастает, а угла внутреннего трения снижается. Это связано с формированием структурных связей за счет масла машинного. При увлажнении песков значение сцепления возрастает, а затем уменьшается. Для угла внутреннего трения наблюдается обратная зависимость.

Для оценки влияния масла машинного на процессы формирования структурных связей, которые можно оценить через показатель «сцепление», и трение частиц в зоне разрушения, оцениваемое через показатель «угол внутреннего трения», проведен корреляционный анализ между содержанием в песках масла машинного и их (песков) прочностью (сцеплением и углом внутреннего трения).

Показателем тесноты связи является линейный коэффициент корреляции (r), который рассчитывался по зависимости:

$$r = \frac{\sum t_x \cdot t_y}{n},$$

где: t_x - нормированное значение признака, характеризующего степень загрязнения песков маслом машинным;

t_y - нормированные значения признака, характеризующего прочность песков;

n - объем выборки.

После расчета коэффициента корреляции необходимо провести его оценку, т.е. оценить возможность распространения выводов по результатам выборки на генеральную совокупность. В зависимости от объема выборочной совокупности предлагаются различные методы оценки коэффициента корреляции.

Для малого объема выборочной совокупности используется критерий Стьюдента $t_p = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$

Полученную величину t_p сравнивают с табличным значением t_α (при $k=n-2$ числа степеней свободы). Если рассчитанная величина $t_p > t_\alpha$, то найденное значение r значимо. Если же вычисленная величина $t_p < t_\alpha$, то полагают, что коэффициент корреляции существенно не отличается от нуля, незначим, то есть статистической связи между исследуемыми признаками не наблюдается.

Песок мелкий

Для оценки связи между прочностью (c и ϕ) песков и содержанием в нем машинного масла рассчитаны коэффициенты корреляции и t_p :

для угла внутреннего трения $r_m = 0,65$ и $t_p=1,21$;

для сцепления $r_m = -0,20$ и $t_p=0,29$.

Вычислены критические значения $t_\alpha=4,303$ при числе степеней свободы $k = n-2$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$. Сопоставление расчетных и критических значений критериев Стьюдента показывает, что как для угла внутреннего трения $t_p=1,21 < t_\alpha=4,03$, так и для сцепления $t_p=0,29 < t_\alpha=4,03$, поэтому можно предположить, что между содержанием масла машинного в грунте и его сцеплением и углом внутреннего трения статистических связей не установлено.

Песок средней крупности. Рассчитаны коэффициенты корреляции и критерий Стьюдента:

для угла внутреннего трения $r_c = 0,90$ и $t_p=2,93$;

для сцепления $r_c = -0,82$ и $t_p=2,02$.

Сопоставление расчетных и критических значений критериев Стьюдента показывает, что как для угла внутреннего трения $t_p=2,93 < t_\alpha=4,03$, так и сцепления $t_p=2,02 < t_\alpha=4,03$, поэтому можно предположить, что между содержанием масла машинного в грунте и его сцеплением и углом внутреннего трения статистических связей не установлено.

Песок крупный. Рассчитаны коэффициенты корреляции и критерий Стьюдента:

для угла внутреннего трения $r_1 = 0,38$ и $t_p=0,58$;

для сцепления $r_2 = 0,23$ и $t_p=0,33$.

Сопоставление расчетных и критических значений критериев Стьюдента показывает, что как для угла внутреннего трения $t_p=0,38 < t_\alpha=4,03$, так и сцепления $t_p=0,33 < t_\alpha=4,03$, поэтому можно предположить, что между содержанием масла машинного в грунте и его сцеплением и углом внутреннего трения статистических связей не установлено.

Заключение

В процессе исследований установлено, что масло машинное, как поровая жидкость, на процессы формирования структурных связей и трение частиц в зоне разрушения песков оказывает незначительное влияние. Поэтому изменение прочностных свойств песков разной крупности в данном эксперименте обусловлено, вероятно, флуктуациями локального порядка, хотя и имеют под собой теоретическую базу.

Список литературы

1. 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. - № 342. - С. 197-200.
2. Григорьева И.Ю. Нефтяное загрязнение грунтов: инженерно-геологический и эколого-геологический аспекты. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG (Германия), 2010. - 198 с.
3. Инженерно-геологические и геоэкологические условия прибрежной зоны Камского водохранилища, осваиваемой для строительства объектов нефтедобычи / Чемус А.А., Красильников П.А., Пенский О.Г., Гершанок В.А., Карасева Т.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. - URL: www.science-education.ru/106-7777.
4. Каченов В.И., Середин В.В., Карманов С.В. К вопросу о влиянии нефтяных загрязнений на свойства грунтов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. - 2011. - № 14. - С. 164-165.
5. Копылов Ю.Н. Изменение свойств песчаного и глинистого грунта в результате воздействия моторного масла // Сборник научных статей молодых ученых и студентов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2003. - С. 31–33.
6. Красильников П.А., Коноплев А.В., Кустов И.В., Красильникова С.А. Геоинформационное обеспечение инженерно-экологических изысканий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 14). – С. 3161-3165.
7. Лейбович Л.О., Середин В.В., Пушкарева М.В., Чиркова А.А., Копылов И.С. Экологическая оценка территорий месторождений углеводородного сырья для определения возмож-

ности размещения объектов нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2012. - № 12. - С. 13–16.

8. Пушкарева М.В., Май И.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Вековшинина С.А. Экологическая оценка среды обитания и состояния здоровья населения на территориях нефтедобычи Пермского края // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2013. - № 2. - С. 40-45.

9. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Бахарев А.О. Корректировка границ зон санитарной охраны (ЗСО) питьевого водозабора // Здоровье населения и среда обитания. - 2011. - № 10. - С. 46; Середин В.В. Санация территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2000. - № 6. - С. 525.

10. Середин В.В. К вопросу о прочности засоленных глинистых грунтов // Инженерная геология. - 2014. - № 1. - С. 66-69.

11. Середин В.В., Андрианов А.В. К вопросу о методике определения прочностных характеристик грунтов // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 6. - С. 946.

12. Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 10–14. - С. 3189–3193.

13. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Закономерности изменений прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных нефтепродуктами // Инженерная геология. - 2014. - № 2. - С. 26-32.

14. Шевченко Л.В., Ширшова И.В. Прочностные свойства мерзлых глинистых грунтов // Геоэкология. - 2002. - № 1. - С. 78–84.

Рецензенты:

Гершанок В.А., д.т.н., профессор кафедры геофизики Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Наумова О.Б., д.г.м-н., зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.