

УДК: 624.1

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.3

EDN: CDOEUV



Изменения параметров напряженно-деформированного состояния песчаных оснований, подверженных техногенному загрязнению

Р.А. Мангушев, А. В. Квашук

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: Загрязнение грунтов нефтепродуктами негативно влияет не только на плодородные свойства почв и грунтов, но также приводит к снижению их прочностных характеристик, необходимых для проектирования оснований и фундаментов. Цель работы заключается в анализе изменения параметров напряженно-деформированного состояния песчаных оснований, подверженных техногенному загрязнению. Задачами исследования являются лабораторные исследования изменения удельного сцепления и угла внутреннего трения с учетом ряда изменяемых параметров, таких как крупность песка, вид нефтепродукта и его концентрация, а также анализ изменения величины расчетного сопротивления и предельного давления на основе полученных лабораторных данных. В работе представлены экспериментально установленные закономерности изменения прочностных характеристик песчаных грунтов при взаимодействии с нефтепродуктами различного вида, а также обосновано снижение расчетного сопротивления на 10-38% и предельного давления на грунт основания на 17-60% в зависимости от крупности песка, вида нефтепродукта и его концентрации. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в возможности их применения при разработке рекомендаций к геотехническим расчетам.

Ключевые слова: песчаные грунты, нефть, дизельное топливо, бензин, напряженно-деформированное состояние грунта, расчетное сопротивление, предельное давление

Для цитирования: Мангушев Р.А., Квашук А.В. Изменение параметров напряженно-деформированного состояния песчаных оснований, подверженных техногенному загрязнению // Известия КГАСУ, 2026, № 1 (75), с. 30-38, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.3, EDN: CDOEUV

Changes in the parameters of the stress-strain state of sand foundations exposed to technogenic pollution

R.A. Mangushev, A.V. Kvashuk

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract: Contamination of soils with oil products has a negative effect not only on the fertile properties of soils and grounds, but also leads to a decrease in their strength characteristics necessary for the design of foundations and bases. The purpose of the work is to analyze changes in the parameters of the stress-strain state of sand foundations exposed to technogenic pollution. The tasks of the research are laboratory studies of changes in specific adhesion and the angle of internal friction, taking into account a number of variable parameters, such as sand size, type of oil product and its concentration, as well as the analysis of changes in the value of the design resistance and ultimate pressure based on the obtained laboratory data. The paper presents experimentally established patterns of changes in the strength characteristics of sandy soils when interacting with various types of oil products, and also substantiates a reduction in

the design resistance by 10-38% and the ultimate pressure on the foundation soil by 17-60% depending on the size of the sand, the type of oil product and its concentration. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the possibility of their application in developing recommendations for geotechnical calculations.

Keywords: sandy soils, oil, diesel fuel, gasoline, stress-strain state of soil, design resistance, ultimate pressure

For citation: Mangushev R.A., Kvashuk A.V. Changes in the parameters of the stress-strain state of sand foundations exposed to technogenic pollution // News of KSUAE, 2026, № 1 (75), p. 30-38, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.3, EDN: CDOEUV

1. Введение

Согласно информации Министерства энергетики Российской Федерации, в 2019 году на территории страны было зафиксировано более 17 000 инцидентов, связанных с разливами нефтепродуктов [1-3]. В 2024 в году в Керченском проливе произошло крушение двух танкеров, что привело к масштабному разливу мазута, который затронул побережье Анапы и других районов Краснодарского края. По официальным данным Министерства транспорта, в море вылилось около 2,4 тысяч тонн мазута, который покрыл пляжи Анапы и Темрюкского района. Другие менее крупные разливы нефтепродуктов были зафиксированы в Новороссийске в 2025 году, Находке и Норильске в 2020. Инфильтрация нефтепродуктов в грунт не только ограничивает его использование в народно-хозяйственных целях, но и приводит к изменению его физико-механических свойств [4].

Согласно данным исследований [5–7], загрязнение песчаных грунтов нефтепродуктами способствует образованию маслянистых оболочек вокруг минеральных частиц, что вызывает эффект «проскальзывания» частиц песка относительно друг друга и сопровождается снижением угла внутреннего трения. Кроме техногенного загрязнения на изменение прочностных характеристик грунтов оказывают влияние влажность грунта и процесс циклического нагружения [8].

В работах [9,10] изучались пески средней крупности с относительной плотностью 50% и 75%, загрязнённые нефтью в концентрациях от 0% до 4,5% по массе сухого песка. Испытания на одноплоскостной срез проводились при вертикальном давлении 40 кПа. Результаты показали значительное снижение *угла внутреннего трения* при концентрации нефти 1,3%, а дальнейшее увеличение концентрации привело к незначительному дополнительному снижению угла внутреннего трения. Аналогичные результаты были получены в исследованиях [11–13].

Противоположные результаты, в рамках которых наблюдалось увеличение угла внутреннего трения, получены в исследовании [14], где в качестве испытуемого грунта принимался крупный песок, загрязнённый бензином и керосином. Авторы констатируют увеличение угла внутреннего трения на 3–8° с ростом концентрации нефтепродуктов от 0 до 8%. Результаты отдельных исследований [15] свидетельствуют об отсутствии закономерности между углом внутреннего трения и концентрацией нефтепродукта.

Исследование [13] показало, что *удельное сцепление песчаного грунта* увеличивается с ростом процентного содержания нефтепродуктов в его составе (табл.1). Аналогичная зависимость получена в исследованиях [16, 17].

Таблица 1

Характеристики образцов песка с различным процентным содержанием нефти

Содержание нефти в песке, %	Сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град.	Оптимальная влажность, %
0	8	37,8	10,2
4	12	36,2	9,5
8	17	33,5	8,5
12	19	31,4	8,2
16	23	29,7	8

Однако в исследовании [15] зафиксировано увеличение удельного сцепления с ростом концентрации от 7 до 13% и снижение при дальнейшем повышении концентрации нефтепродукта.

Полученные результаты не позволяют установить общие закономерности изменения прочностных характеристик песчаных грунтов при взаимодействии с нефтепродуктами и, следовательно, их влияние на изменение параметров напряженно-деформированного состояния грунтового основания.

С учетом недостаточной изученности вопроса *целью работы* является анализ изменения параметров напряженно-деформированного состояния песчаных оснований (R , p_u), подверженных техногенному загрязнению.

Объектом исследования являются песчаные грунты разной крупности при взаимодействии с нефтепродуктами.

Предмет исследования – параметры напряженно-деформированного состояния песчаных грунтов с учетом степени их загрязнения нефтепродуктами.

Задачи исследования:

- лабораторные исследования изменения удельного сцепления c (кПа) и угла внутреннего трения φ (град.) с учетом ряда изменяемых параметров, таких как крупность песка, вид нефтепродукта и его концентрация;
- анализ изменения величины расчетного сопротивления R (кПа) и предельного давления p_u (кПа) на основе полученных лабораторных данных.

2. Материалы и методы

Лабораторные исследования изменения прочностных характеристик (c , φ) песчаных грунтов при взаимодействии с нефтепродуктами проводились для грунтов, их загрязнителей и условий испытаний, представленных в табл.2.

Таблица 2

Условия проведения лабораторных испытаний

Наименование ГОСТ	ГОСТ 12248.1-2020 «Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза»
Наименование грунта	Песчаный грунт (монофракционный)
Крупность грунта	Крупный, средний, мелкий
Вид нефтепродукта	Нефть, дизельное топливо, бензин А-95
Концентрация нефтепродукта	2%, 6%, 12% по массе сухого грунта
Схема приложения нагрузки	Статическая
Давление предварительного уплотнения	0,1 МПа, 0,2 МПа, 0,3 МПа
Повторяемость одного испытания	3 раза

Объемы нефтепродуктов (1) и воды (2), для подготовки образцов к испытанию задавались исходя из следующих выражений (рис.1.):

$$V_{nn} = C \cdot V_s \cdot \frac{\rho_s}{\rho_{nn}}, \quad (1)$$

$$V_w = V_s \cdot \left(e - C \frac{\rho_s}{\rho_{nn}} \right), \quad (2)$$

где C - концентрация нефтепродукта, д. е.; V_s - объем твердых частиц грунта, см³; ρ_s - плотность твердых частиц грунта, г/см³; ρ_{nn} - плотность нефтепродукта, г/см³; e - коэффициент пористости, д. е.

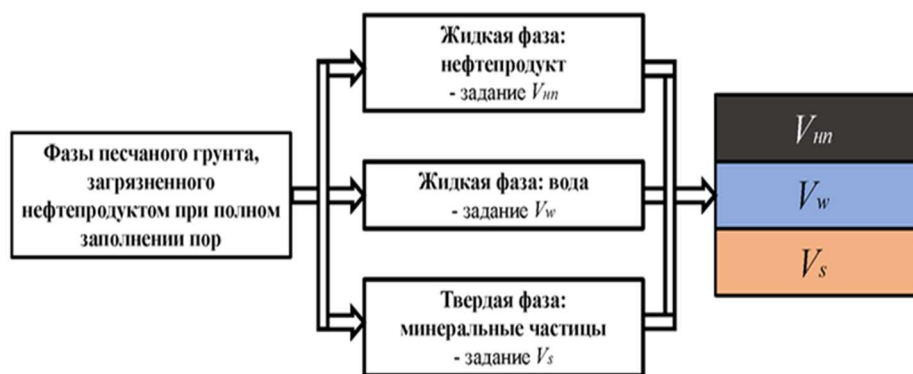


Рис.1. Этапы подготовки песчаных образцов для одноплоскостного среза (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Stages of preparation of sand samples for single-plane cutting (illustration by the authors)

Расчетное сопротивление и предельное давление определялись при ширине фундамента $b=1$ м, с глубиной заложения подошвы фундамента $d=3$ м для основания, сложенного песком заданной крупности без учета уровня подземных вод. Характеристики грунта назначались по результатам лабораторных исследований.

3. Результаты и обсуждение

Результаты лабораторных исследований характера и степени изменения угла внутреннего трения и удельного сцепления песчаного грунта при загрязнении нефтепродуктами сведены в табл. 3 и 4.

Результаты анализа изменения параметров напряженно-деформированного состояния песчаных грунтов (R , p_u) представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 3

Результаты лабораторных испытаний по определению угла внутреннего трения
песчаного грунта при загрязнении нефтепродуктами

	Песок крупный				Песок средней крупности				Песок мелкий			
Поровое пространство заполнено тяжёлой нефтью												
<i>C</i> , %	0	2	6	12	0	2	6	12	0	2	6	12
<i>φ</i>	43,2	39,5	36,9	36,3	41,8	38,7	35,2	35,2	40,5	35,5	33,7	33,2
Поровое пространство заполнено бензином А-95												
<i>C</i> , %	0	2	6	12	0	2	6	12	0	2	6	12
<i>φ</i>	43,2	40,8	39,5	39	41,8	40	39	38,7	40,4	37,7	35	34,6
Поровое пространство заполнено дизельным топливом												
<i>C</i> , %	0	2	6	12	0	2	6	12	0	2	6	12
<i>φ</i>	43,2	40,2	38,2	37,8	41,8	39,6	36,7	36,7	40,4	35,7	34,6	34

Таблица 4

Результаты лабораторных испытаний по определению удельного сцепления песчаного
грунта при загрязнении нефтепродуктами

	Песок крупный				Песок средней крупности				Песок мелкий			
Поровое пространство заполнено тяжелой нефтью и водой												
<i>C, %</i>	0	2	6	12	0	2	6	12	0	2	6	12
<i>c, кПа</i>	0,51	2,04	4,01	4,92	2,18	6,12	9,14	9,12	9,69	12,00	12,69	12,90
Поровое пространство заполнено бензином А-95 и водой												
<i>C, %</i>	0	2	6	12	0	2	6	12	0	2	6	12
<i>c, кПа</i>	0,51	1,23	2,35	3,28	2,18	4,59	7,14	7,65	9,69	10,74	10,71	11,01
Поровое пространство заполнено дизельным топливом и водой												
<i>C, %</i>	0	2	6	12	0	2	6	12	0	2	6	12
<i>c, кПа</i>	0,51	1,76	3,02	3,62	2,18	5,83	8,19	8,67	9,69	11,16	11,47	12,29

Таблица 5

Изменение расчетного сопротивления песчаных грунтов разной крупности при загрязнении нефтью и нефтепродуктами

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа									
Вид НП	Дизель	Бензин	Нефть	Дизель	Бензин	Нефть	Дизель	Бензин	Нефть
C , %	Крупный песок			Песок средней крупности			Мелкий песок		
0	772.7			769.4			798.9		
1	704.9 (9 %)	712.4 (8 %)	682.4 (11.7 %)	727.3 (5.5 %)	731.7 (5 %)	749.2 (2.6 %)	690.3 (13.6 %)	733.4 (8 %)	685.9 (14 %)
2	645.3 (16 %)	658.7 (15%)	605.9 (21.6 %)	689.4 (10.4 %)	697.2 (9 %)	730.1 (5.1 %)	600.5 (24.8 %)	675.5 (15 %)	593.9 (25.7 %)
3	618.8 (20 %)	646.8 (16%)	583.5 (24.5 %)	663.2 (13.8 %)	687.3 (11 %)	725 (5.8 %)	589.1 (26.3 %)	636.5 (20 %)	573.9 (28 %)
4	593.4 (23%)	634.8 (17%)	562.9 (27.2 %)	639.1 (16.9 %)	677.5 (12 %)	719.5 (6.5 %)	577.8 (27.7 %)	600.8 (25 %)	555.4 (30.5 %)
5	582.9 (25 %)	623.7 (19%)	545.8 (29.4 %)	615.9 (20 %)	670.3 (13 %)	709 (7.9 %)	565.2 (29.3 %)	576.1 (28 %)	535.7 (32.9 %)
6	572.7 (26 %)	612.9 (21%)	529 (31.5 %)	593.9 (22.8 %)	663 (14 %)	698.9 (9.2 %)	553.1 (30.8 %)	552.3 (31 %)	517.1 (35.3 %)
7	571.4 (26 %)	611.3 (21 %)	524.5 (32.1 %)	588.2 (23.6 %)	655.7 (15 %)	692.7 (10 %)	545.8 (31.7 %)	549.7 (31 %)	513.9 (35.7 %)
8	570.1 (26 %)	609.7 (21%)	520 (32.7 %)	582.5 (24.3%)	648.4 (16 %)	686.5 (10.8 %)	538.6 (32.6 %)	547.2 (31 %)	510.7 (36.1 %)
9	568.7 (27 %)	611 (21%)	521.2 (32.5 %)	577.8 (24.9 %)	634.8 (17 %)	674.4 (12.3 %)	534.8 (33.1 %)	540.7 (32 %)	507.5 (36.5 %)
10	567.3 (27 %)	612.1 (21%)	522.3 (32.4 %)	573.2 (25.5 %)	621.2 (19 %)	662.5 (13.9 %)	531 (33.5 %)	534.3 (33 %)	504.4 (36.9 %)
11	566 (27 %)	610.5 (21%)	520.8 (32.6%)	568.6 (26.1 %)	619.9 (19 %)	656.2 (14.7 %)	523.8 (34.4 %)	528 (34 %)	499.8 (37.4 %)
12	564.7 (27 %)	608.9 (21%)	519.4 (32.8 %)	564 (26.7 %)	618.5 (20 %)	649.9 (15.5 %)	516.7 (35.3 %)	521.7 (35 %)	495.3 (38 %)

Примечание: промежуточные значения R при концентрациях в диапазоне от 1 до 5% и от 7 до 11% получены методом линейной интерполяции.

-  - снижение R не более, чем на 15% в сравнении с условно чистым основанием;
-  - снижение R на 15-25% в сравнении с условно чистым основанием;
-  - снижение R на 26-35% в сравнении с условно чистым основанием;
-  - снижение R на 35-38% в сравнении с условно чистым основанием.

Таблица 6

Изменение предельного давления p_u для песчаных грунтов разной крупности при загрязнении нефтью и нефтепродуктами

Предельное давление на грунт основания p_u , кПа									
Вид НП	Дизель	Бензин	Нефть	Дизель	Бензин	Нефть	Дизель	Бензин	Нефть
C, %	Крупный песок			Песок средней крупности			Мелкий песок		
0	3653,9			3453,3			3256,3		
2	2719,3 (26 %)	2895,2 (21 %)	2426,9 (34 %)	2731,4 (21 %)	2856 (17 %)	2294,1 (34 %)	1958,9 (40 %)	2347,9 (28 %)	1906,6 (41 %)
6	2045,1 (44 %)	2394,8 (34 %)	1814,4 (50 %)	1996,6 (42 %)	2445,8 (29 %)	1673,8 (52 %)	1675,1 (49 %)	1718,7 (47 %)	1466,3 (55 %)
12	1982,4 (46 %)	2275,4 (38 %)	1736,9 (52 %)	1882,3 (45 %)	2196,8 (36 %)	1602,5 (54 %)	1504,8 (54 %)	1577,4 (52 %)	1361,2 (58 %)

Примечание:



- снижение p_u на 15-25% в сравнении с условно чистым основанием;



- снижение p_u на 26-35% в сравнении с условно чистым основанием;



- снижение p_u на 35-58% в сравнении с условно чистым основанием.

Результаты лабораторных испытаний показали следующее *снижение угла внутреннего трения* в зависимости от крупности испытуемых образцов грунта:

Песок крупный:

от 9% до 19% при загрязнении тяжелой нефтью; от 6% до 11% бензином А-95; от 8% до 14% - ДТ;

Песок средней крупности:

от 8% до 19% при загрязнении тяжелой нефтью; от 5% до 8% - бензином А-95; от 5% до 14% - ДТ;

Песок мелкий:

от 14% до 22% при загрязнении тяжелой нефтью; от 7% до 17% - бензином А-95; от 13% до 19% - ДТ.

Максимальное снижение угла трения наблюдается при взаимодействии с тяжелой нефтью. При росте концентрации от 0 до 12 %, угол внутреннего трения снижается вплоть до 22 % в зависимости от крупности песка.

Минимальное снижение угла внутреннего трения наблюдается при загрязнении грунта бензином. С ростом концентрации от 0 до 12 %, угол внутреннего трения снижается вплоть до 17 % в зависимости от крупности песка.

При взаимодействии с дизельным топливом, трение между частицами снижается вплоть до 19 %. Таким образом, степень снижения угла внутреннего трения зависит от вида НП в поровом пространстве грунта и не зависит от крупности, исходя из полученных графиков, где не прослеживается определенная кучность кривых по крупности.

Удельное сцепление увеличивается в зависимости от крупности испытуемых образцов:

Песок крупный:

При загрязнении нефтью - в 10 раз; ДТ - в 7 раз; бензином в 6 раз;

Песок средней крупности:

При загрязнении нефтью - в 5 раз; ДТ - в 4 раза; бензином - в 3 раза;

Песок мелкий:

При загрязнении нефтью - на 30 %; ДТ - на 20%; бензином - на 12%

Максимальное увеличение удельного сцепления наблюдается при загрязнении песчаного грунта тяжелой нефтью. С увеличением концентрации до 12% удельное сцепление увеличивается от 30 % до 10 раз в зависимости от крупности песка.

Минимальное увеличение удельного сцепления наблюдается при загрязнении песчаного грунта бензином. С увеличением концентрации до 12% удельное сцепление увеличивается от 12% до почти 6 раз в зависимости от крупности испытуемого песка. При загрязнении дизельным топливом сцепление увеличивается более интенсивно, чем при загрязнении бензином и менее интенсивно, чем при загрязнении нефтью. Увеличивая концентрацию дизельного топлива от 0 до 12% сцепление увеличивается от 20 % (верный вариант) до 7 раз в зависимости от крупности песка.

Отметим, что у крупных песков сцепление увеличилось примерно в 6 - 10 раз; у средних – в 3- 5 раза, а у мелких – до 30%. Следовательно, интенсивность изменения удельного сцепления тем выше, чем больше крупность песка. Однако значение удельного сцепления возрастает по мере уменьшения крупности испытуемых образцов, т.е. чем меньше крупность, тем выше сцепление.

С учетом выполненного анализа существующих исследований по заданной теме, отметим, что корректное сопоставление результатов лабораторных исследований возможно при схожей крупности песка, минералогическом составе, методике приготовления образцов, их температуры, вида нефтепродукта, его концентрации, взятого по массе или объёму.

Расчеты показали, что значения величин расчетного сопротивления грунта основания снижаются в диапазоне от 10% до почти 40 % в зависимости от крупности песка, вида нефтепродукта и его концентрации. Минимальное снижение расчетного сопротивления зафиксировано при загрязнении бензином и дизельным топливом вне зависимости от крупности песчаного грунта, максимальное – при загрязнении мелких песков нефтью. Полученные результаты сопоставимы с результатами исследований [18], где изменение механических характеристик составляло до 40%.

Следует отметить, что при максимальном снижении расчетного сопротивления грунта среднее давление под подошвой фундамента $p=200$ кПа не превышает R , что свидетельствует о сохранении линейного характера деформирования основания и его работе в допредельной стадии, и, как следствие, возможности применения модели прочности Мора-Кулона при численном моделировании и метода послойного суммирования для определения конечной осадки фундамента.

Величина предельного давления на грунт основания снижается в диапазоне от 17% до почти 60% в зависимости от крупности песчаного грунта основания, вида нефтепродукта и его концентрации. Минимальное снижение предельного давления зафиксировано при загрязнении бензином и дизельным топливом вне зависимости от крупности песчаного грунта, максимальное – при загрязнении мелких песков нефтью.

4. Заключение

- 1) Экспериментально установлено, что угол внутреннего трения φ° песчаных грунтов уменьшается при их взаимодействии с нефтепродуктами в диапазоне от 5 % до 22 % в зависимости от гранулометрического состава песка, типа нефтепродукта и его концентрации. При этом удельное сцепление песчаных грунтов возрастает в интервале от 12 % до 10 раз.
- 2) Результаты расчетов показали, что расчетное сопротивление и предельное давление снижаются при загрязнении грунта нефтепродуктами вне зависимости от крупности песчаного грунта, вида нефтепродукта и его концентрации.
- 3) Результаты выполненного исследования могут быть использованы при разработке рекомендаций к методике расчета фундаментов зданий и сооружений по I и II группам предельных состояний на песчаных основаниях, подверженных нефтяному загрязнению.

Статья публикуется по результатам выполнения гранта НПР СПбГАСУ 2026 года.

Список литературы/References

1. Квашук А. В. Влияние загрязнения песчаного грунта нефтепродуктами на его физические свойства // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 1(96). – С. 57-66. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-57-66. – EDN EGNVSV.
Kvashuk A. V. The influence of pollution of sandy soil with oil products on its physical properties // Bulletin of civil engineers. - 2023. - No. 1 (96). - P. 57-66. - DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-57-66. - EDN EGNVSV.
2. Квашук А. В. Изменение механических свойств песчаных грунтов при их загрязнении нефтепродуктами // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 3(98). – С. 33-43. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-3-33-43. – EDN VRIDZK.
Kvashuk A. V. Changes in the mechanical properties of sandy soils when contaminated with oil products // Bulletin of civil engineers. - 2023. - No. 3 (98). - P. 33-43. - DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-3-33-43. - EDN VRIDZK.
3. Селуянов А.А., Чернова К.В., Шутов Н.В. Анализ источников попадания нефти в гидросферу Земли // Нефтегазовое дело. - 2011.- Т. 9, №3.- С. 94-104. – EDN PAITYX.
Seluyanov A.A., Chernova K.V., Shutov N.V. Analysis of sources of oil entering the hydrosphere of the Earth // Oil and Gas Business. - 2011.- Vol. 9, No. 3.- P. 94-104. - EDN PAITYX.
4. Dashko R. E., Lange I. Yu. Negative consequences of contamination of the underground environment with petroleum hydrocarbons: transformation of soils and structural materials // Housing construction. 2014. No. 10. P. 56-59.
5. Korolev V.A. Cleaning and restoration of the geological environment / Textbook for universities - M.: SamPrint. 2019.- 430 p.
6. Rajab M. A., Manalo A., Lokuge W., Shiau J. Oil contaminated sand: An emerging and sustainable construction material // Procedia Engineering. 2015. Vol. 118. P. 1119–1126.
7. Rajabi H., Sharifipour M. Geotechnical properties of hydrocarbon-contaminated soils: a comprehensive review// Springer-Verlag, Germany, part of Springer Nature. 2018. P. 546-549.
8. Mirsayapov I., Koroleva I. Influence of initial defects on the strength of clay soil under triaxial compression // Smart Geotechnics for Smart Societies. 2023. No.1. P. 417-421. DOI: 10.1201/9781003299127-45.
9. Dashko R. E. Forecasting changes in the bearing capacity of sandy-clayey soils during their contamination with oil products / R. E. Dashko, I. Yu. Lange // Notes of the Mining Institute. - 2015. - Vol. 211. - P. 16-21. - EDN TQMGNX.
10. SHIN E.C., LEE J.B., DAS B.M. Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand // Geotechnical and Geological Engineering. 1999. No. 17. P. 123–132.
11. Al-Sanad H.A., Eid W.K, Ismael N.F. Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand // J Geotech Eng. ASCE. 1995. No.121 (5). P. 407–412.
12. Mohammadi A., Ebadi T., Ahmadi M. Effect of Bentonite Addition on Geotechnical Properties of Oil-Contaminated Sandy Soil // Journal of Civil Engineering and Construction. 2018. 7(4). P. 153-162
13. Dashko R.E., Lange I.Yu. Engineering and geological aspects of the negative consequences of contamination of dispersed soils with oil products // Notes of the Mining Institute. 2017. Vol. 228. P. 624-630. DOI: 10.25515/PMI.2017Z.
14. Rasheed 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. DOI: 10.2495/ESUS140301
15. Osovetskiy B. M., Kachenov V. I., Rastegaev A. V., Afanasyev R. A., Pikulev D. A. Regularities of changes in the strength properties of sands contaminated with diesel fuel // Geological and mineralogical sciences. 2014. No. 9. P. 1769-1774.
16. Kachenov V.I., Seredin V.V., Karmanov S.V. On the influence of oil pollution on soil properties // Geology and mineral resources of the Western Urals. 2011. No. 14. P.164-165.

17. Zahraa Noori, Faris Rashled Ahmed, Hamed M. Jassim. Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. Vol.186. P.353-362.
18. Mohanad T. A., Wilkinson S. Effect of crude-oil-contaminated soil on the geotechnical behaviour of pile foundation // Geotechnical Research. 2020. Vol. 7 (2). P.76–89. DOI: 10.1680/jgere.19.00017.

Информация об авторах

Мангушев Рашид Абдуллович член-корреспондент РААСН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный работник высшего образования РФ, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Email: geotechnica@spbgasu.ru, ORCID: 0000-0003-1077-0562

Квашук Алина Витальевна, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: alina_kvashuk@mail.ru

Information about the authors

Rashid A. Mangushev, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation
Email: geotechnica@spbgasu.ru, ORCID: 0000-0003-1077-0562

Alina Vitalievna Kvashuk, post-graduate student, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation
E-mail: alina_kvashuk@mail.ru

Дата поступления: 15.05.2025

Дата принятия: 27.04.2026