

УДК 628.544

ФИЛЬТРАЦИОННО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАМОВ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ШЛАМАМИ ГРУНТОВ

© 2024 К.Л. Чертес, А.Д. Пашков, Н.С. Бухман, О.В. Тупицына, Д.Е. Быков

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 02.08.2024

Элементами нарушенных экосистем выступают фрагменты почв и пород зоны аэрации, загрязненные шламами. Восстановление подобных экосистем требует использования технологий высоконапорной промывки. Расчет и проектирование сооружений промывки затруднены без знания фильтрационных и реологических показателей загрязнений в порах и капиллярах грунтов: коэффициентов проницаемости, динамической вязкости, а также давлений нагнетания. Шламы и загрязнения на их основе представляют собой неньютоновские жидкости от бингамовского состояния до дилатантного. Значения вязкости подобных жидкостей при вымывании из загрязненной геосреды обуславливают необходимость обеспечения давлений в десятки и сотни атмосфер. Соответственно и существующее промывное оборудование должно быть адаптировано под соответствующие параметры среды. Представлены результаты лабораторных исследований фильтрационно-реологических свойств шламов различной природы, а также промышленных испытаний по промывке грунтов, загрязненных шламами на территории одного из накопителей опасных отходов Самарской области.

Ключевые слова: шламы и отходы на их основе, вязкость, дилатантные жидкости, бингамовские жидкости, нарушенная геосреда.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-186-193

EDN: GLMAFC

ВВЕДЕНИЕ

Существование шламонакопителей сопровождается распространением загрязнений в геосреде. Способность пород принимать и проводить жидкие потоки загрязнений оценивается фильтрационными показателями и, в частности, коэффициентом проницаемости ($K_{\text{п}}$, м²). Способность потоков загрязнений скапливаться в геосреде, деформируя её и затем, выноситься в сопредельные среды, оценивается реологическими свойствами жидких флюидов и характеризуется коэффициентом динамической вязкости (μ , мПа/с). [1].

Изучение фильтрационно-реологических свойств шламов и пород необходимо для обоснования методов ликвидации выведенных из эксплуатации накопителей и проектирования сооружений инженерной защиты действующих и вновь создаваемых объектов [2].

Чертес Константин Львович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии.

E-mail: chertes2007@yandex.ru

Пашков Антон Дмитриевич, аспирант.

E-mail: pashkov_ad@mail.ru

Бухман Николай Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики.

E-mail: physics@samgtu.ru

Тупицына Ольга Владимировна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой химической технологии и промышленной экологии.

E-mail: Olgatupicyna@yandex.ru

Быков Дмитрий Евгеньевич, ректор.

E-mail: rector@samgtu.ru

Особенно актуально изучение фильтрационно-реологических свойств при обосновании выбора и конструктивно-аппаратурного оформления технологий промывки пористой среды от загрязнений [3,4].

Примерами здесь выступают образцы загрязненных грунтов, отработанных фильтрующих материалов, шламов и осадков очистных сооружений, а также и других видов отходов, основу которых составляют мелкодисперсные среды с высокой наружной и внутренней пористостью, в том числе капиллярной. При этом, поры и капилляры могут быть заполнены жидкостями как ньютоновской природы (вязкость менее 1 мПа*с), так и высоковязкими неньютоновскими жидкостями с состоянием от бингамовских до дилатантных.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Все шламы, а также жидкие шламовые инфильтраты загрязнений в геосреде по условиям реологии предлагается дифференцировать на ньютоновские и неньютоновские.

К «ньютоновским» можно отнести шламы на водной основе: донные осадки, осадки природных и городских сточных вод, инфильтраты из свалочных тел полигонов ТКО, а также, например, водные эмульсии, содержащие углеводороды в концентрациях не более 1,0% масс. Коэффициент динамической вязкости по опыту многолетних исследований для указанных

шламов составляет менее 1000 мПа*с, при $T = 5,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$.

К «неньютоновским» предлагается отнести шламы на полимерной, углеводородной основе, инфильтраты из целлюлозо-содержащих отходов, нефтешламов с содержанием нефти более 5,0% масс., а также жидкие отходы пищевых, спиртовых производств с содержанием органического вещества более 50% масс. и влажностью менее 75% масс. Примерами «неньютоновских» шламов, по данным авторов, можно считать уплотненные избыточные активные илы станций аэрации, инфильтраты из накопителей, содержащих отходы силиката калия, отдельные образцы глин, обводненных инфильтратами из шламонакопителей высоковязких отходов химических производств. Коэффициент динамической вязкости по опыту многолетних исследований для указанных образцов составляет существенно больше 1000 мПа*с, а в отдельных случаях и 10000 – 50000 мПа*с при $T = 5,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$.

Диапазоны значений фильтрационно-реологических параметров отдельных образцов шламов и загрязненных шламовыми инфильтратами фрагментов геосреды по результатам исследований авторов, представлены в таблице 1.

В таблице $K_{\text{шл}}$ – коэффициент проницаемости шлама (максимальный в выборке); $K_{\text{гс}}$ – коэффициент проницаемости геосреды (максимальный в выборке); $M_{\text{шл}}$ – вязкость шлама (максимальная в выборке); $M_{\text{гс}}$ – вязкость геосреды (максимальная в выборке)

Известно, что поведение и условия фильтрации ньютоновских жидкостей, подчиняются закону вязкого трения (закону Навье – Стокса). Здесь связь между градиентом давления и скоростью фильтрации линейная [5-7], а обустройство нарушенной шламами территории основано на применении пассивных методов геоинженерной защиты: дренажирования, шпунтирования или создания вертикальных грунтовых завес [8].

Поведение в пористой среде потоков загрязнений «не ньютоновской» природы не поддается законам течения обычных жидкостей [9]. В связи с этим выбор и проектирование сооружений инженерной защиты для шламонакопителей, содержащих отходы с реологией неньютоновских жидкостей, основан на использовании приемов увеличения подвижности флюидов загрязнений в пористой среде. Такие приемы, связанные с подачей реагентов, ударным воздействием на среду, приводящим к изменению её физической структуры, относят к активной защите [10-12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для обоснования выбора метода защиты были предложен набор параметров оценки, к диктующим из которых относят производи-

тельность зоны загрязнения ($V_{\text{згр}}$), интенсивность выноса загрязнителя ($M_{\text{згр}}$), а также вязкость (μ) и проницаемость, для шламов и среды, загрязненной инфильтратами из шламов – $K_{\text{шл}}$ и $K_{\text{гс}}$, соответственно.

Производительность зоны загрязнения $V_{\text{згр}}$ (м³/с) – представляет собой расход подземной воды, продуцируемый в единицу времени шламовым телом.

$V_{\text{згр}}$ определяется по формуле (1):

$$V_{\text{згр}} = \text{ПЗ} \times S_{\text{пс}} \times 1000, \quad (1)$$

где ПЗ – поток загрязнения или скорость жидкости, проходящей через поперечное сечение области загрязнений в единицу времени;

$S_{\text{пс}}$ – площадь поперечного сечения природной среды, загрязненной шламовым телом и инфильтратами из него на расстоянии прогнозного радиуса загрязнения R_3 ;

Прогнозный радиус загрязнения R_3 (м) – расстояние от границы шламового тела, как источника загрязнений, до наиболее удаленной точки среды, в которых обнаружено загрязнение;

Интенсивность выноса загрязнителя $M_{\text{згр}}$, представляет собой количество загрязнителя, вымываемого в единицу времени грунтовыми водами из области загрязнения:

$$M_{\text{згр}} = V_{\text{згр}} \times \rho \times C_{\text{нас}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{нас}}$ – концентрация насыщения загрязнителя в подземной воде.

Изучение фильтрационно-реологических свойств проводили для образцов шламов и загрязненных шламами грунтов, отобранных при производстве комплексных инженерных изысканий на действующих и подлежащих ликвидации объектах:

- действующем полигоне г.Самары (разложившийся обводненный материал ТКО);
- накопителе осадков КОС со смесью обводненных отходов ЦБК (Карелия);
- шламонакопителе, содержащем сложные органические соединения и мышьяк (Самарская область).

Изучение фильтрационно-реологических характеристик и их изменения под действием управляющих факторов: давления нагнетания, расстояния от нагнетательной скважины, а также отдельных свойств и видов загрязненной среды: глин, суглинков, песков, отработанных фильтрующих материалов и др. проводили в лабораторных и производственных условиях.

В лабораторных условиях вязкость и проницаемость образцов и их изменение при различных абиотических факторах среды проводили на лабораторных установках (см. рисунки 1-3).

В производственных условиях аналогичные показатели изучали с использованием промышленного экструдера. Здесь определяли изменение фильтрационно-реологических свойств

Таблица 1. Отдельные фильтрационные и реологические характеристики образцов, отобранных при производстве инженерно-экологических изысканий с участием авторов

Объект	Наименование образца шлама/геосреды	$K_{шл},$ m^2	$K_{гс},$ m^2	$M_{шл},$ $Pa \cdot c \cdot 10^{-5}$ при $5,0 \pm 2,0^\circ C$	$M_{гс},$ $Pa \cdot c \cdot 10^{-5}$ при $5,0 \pm 2,0^\circ C$
Полигон ТКО	Свалочный материал разложившийся, обводненный; возраст более 30 лет; вода – (60,0-80,0)±5,0%; органическое вещество > 60%	$2,3 \cdot 10^{-8} - 6,5 \cdot 10^{-9}$	-	118-269	-
	Песок загрязненный инфильтратом из свалочного материала; вода – (60,0-80,0)±5,0%; органическое вещество < 10%	-	$1,9 \cdot 10^{-9} - 3,4 \cdot 10^{-10}$	-	98-344
	То же; вода – (20,0-30,0)±5,0%; органическое вещество > 30%	-	$2,1 \cdot 10^{-10} - 9,2 \cdot 10^{-11}$	-	248-852
	Глина обводненная инфильтратом из свалочного материала; вода – (30,0-50,0)±5,0%; органическое вещество > 30%	-	$5,5 \cdot 10^{-11} - 6,8 \cdot 10^{-12}$	-	922-2014
Накопитель осадков КОС со смесью обводненных отходов ЦБК	Смесь целлюлозного скопа и лигнина обводненная (отход ЦБК); вода – (50,0-65,0)±5,0%; органическое вещество – (70,0-80,0)±5,0%	$3,2 \cdot 10^{-13} - 5,1 \cdot 10^{-14}$	-	5360-7567	-
	Песок с инфильтратом отходов ЦБК; вода – (20,0-30,0)±5,0%; органическое вещество – (1,0-5,0)±0,5%	-	$2,2 \cdot 10^{-9} - 3,8 \cdot 10^{-10}$	-	2274-4320
	То же; вода – (20,0-30,0)±5,0%; органическое вещество – (5,0-10,0)±1,0%	-	$6,6 \cdot 10^{-10} - 4,2 \cdot 10^{-11}$	-	3690-6217
	Глина обводненная инфильтратом отходов ЦБК;	-	$5,3 \cdot 10^{-11} - 1,8 \cdot 10^{-12}$	-	12452-18584
	То же; вода – (30,0-40,0) ±5,0%; органическое вещество – (20,0-30,0) ±5,0%	-	$8,2 \cdot 10^{-12} - 1,1 \cdot 10^{-13}$	-	27633-38488
Накопитель шламов, содержащих сложные органические соединения и мышьяк	Шлам мышьяксодержащий, обводненный; вода – (60,0-75,0) ±5,0%; органическое вещество – (5,0-10,0) ±2,0%	$1,8 \cdot 10^{-9} - 9,4 \cdot 10^{-10}$	-	1092-2315	-
	Песок, обводненный инфильтратом мышьяксодержащего шлама; вода – (45,0-65,0) ±5,0%; органическое вещество – < 1,0%	-	$2,9 \cdot 10^{-8} - 4,7 \cdot 10^{-9}$	-	544-1102

	Глина, обводненная инфильтратом мышьяксодержащего шлама; вода – (40,0-50,0) ±5,0%; органическое вещество – (1,0-5,0) ±0,5%	-	$1,5 \cdot 10^{-9}$ – $2,1 \cdot 10^{-10}$	-	2579-3023
Накопитель отходов спиртовой барды	Спиртовая барда застарелая; возраст 3 – 5 лет; вода – (45,0-60,0) ±5,0%; органическое вещество – (80,0-85,0) ±5,0%	$4,1 \cdot 10^{-12}$ – $6,3 \cdot 10^{-13}$	-	2097-8433	-
	Песок обводненный инфильтратом отходов спиртовой барды; вода – (40,0-50,0) ±5,0%; органическое вещество – (2,0-7,0) ±0,5%	-	$3,4 \cdot 10^{-8}$ – $4,1 \cdot 10^{-9}$	-	3514-11381
	Глина обводненная инфильтратом спиртовой барды; вода – (45,0-65,0) ±5,0%; органическое вещество – (1,0-5,0) ±0,5%	-	$1,2 \cdot 10^{-11}$ – $3,6 \cdot 10^{-12}$	-	14863-32118
Аварийный пруд НПЗ	Донный нефтешлам застарелый (возраст более 50 лет); вода – (30,0-50,0) ±5,0%; углеводороды (общее содержание) > 10% масс.	$3,3 \cdot 10^{-11}$ – $5,7 \cdot 10^{-12}$	-	870-2739	-
	Песок, загрязненный углеводородами; вода – (10,0-20,0) ±5,0%; углеводороды (общее содержание) – (1,0-2,0) ±0,5%	-	$1,4 \cdot 10^{-11}$ – $8,7 \cdot 10^{-12}$	-	3176-5892
	Глина, загрязненная углеводородами; вода – (10,0-20,0) ±5,0%; углеводороды (общее содержание) – (2,0-5,0) ±0,5%	-	$3,7 \cdot 10^{-13}$ – $6,6 \cdot 10^{-14}$	-	7925-11290

образцов в условиях выведенного из эксплуатации шламонакопителя. Для этих целей на его территории была обустроена опытно-производственная площадка. Отбор проб производили до глубин водоупора с шагом $0,5 \pm 0,1$ м при различных значениях давления (0,2 – 40,0 МПа), температуры (0 – 5,0°C), доз реагентов (1,0-10,0 мг/кг масс), расстояний от точки нагнетания (2,0 – 100,0 м). Общий вид промышленного оборудования представлен на рисунках 4-7.

Для образцов шламов и загрязненной ими среды различной природы строились зависимости:

- эффектов изменения водопритока загрязненных вод и интенсивности выноса загрязнений при различных давлениях нагнетания по траектории эффективного радиуса воздействия (см. рисунки 8 и 9);

- между напряжением и скоростью сдвига

(кривые течения) для различных типов реологически стационарных жидкостей на основе инфильтратов из шламовых тел (см. рисунок 9);

Данный набор зависимостей был необходим для последующего выбора и обоснования методов ликвидации накопителей различных типов и реологий шламовых тел, а также различных условий фильтрации среды.

Высоконапорное воздействие на структуру образцов на основе неньютоновских жидкостей, позволило снизить их вязкость с улучшением подвижности загрязнений в растворе и последующим выносом в дренаж.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований был разработан способ высоконапорной реагентной про-



Рис. 1. Оборудование для определения реологических свойств отобранных образцов шламов в лабораторных условиях



Рис. 2. Оборудование для определения фильтрационных свойств образцов шламов в лабораторных условиях



Рис. 3. Оборудование для определения деформационных характеристик в лабораторных условиях

мывки пород зоны аэрации от загрязнений органической и минеральной природы, содержащихся в инфильтратах на основе жидкостей различной вязкости. Эффективность промывки составила до 90 %. Разрабатываемый состав можно приспособить под условия работы заводских очистных сооружений с целью минимизации затрат на совместную очистку загрязненных подземных вод с производственным стоком КОС.

Для оценки эффективности очистки геосреды от остаточных загрязнений был использован метод опытных наливов в скважины, с последующим отбором проб на анализ. Пробы воды из проходок, обработанных методом высоконапорной промывки, отбирали по направлениям от накопителей к областям разгрузки с целью оценки скорости движения жидкости в пористой среде. Поведение потока позволило выявить гидродинамическую связь между поглощающей и извлекаемыми скважинами в условиях опытных участков. Отслеживание концентраций загрязнителей, отобранных до и

после обработки высоконапорной реагентной промывкой, способствовало уточнению цифровой модели природной среды, разработке мероприятий по изменению фильтрации и обеспечению снижения негативного экологического воздействия на объекты в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малкин, А.Я. Реология: концепции, методы, приложения [Пер. с англ.] / А.Я. Малкин, А.И. Исаев. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.
2. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
3. Чертес, К.Л. Геоинженерная защита территорий, нарушенных объектами накопленного экологического вреда / К.Л. Чертес, О.В. Тупицына, В.Н. Пыстин, В.Я. Шишкин, А.А. Михасек, Е.Н. Петренко, А.А. Букин, А.В. Сергеева, Д.Н. Шерстобитов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24. – № 4. – С. 10–15.
4. Желвакова, Е.А. Загрязнение нефтепродуктами песчаных грунтов различного гранулометрического состава и промывка их водой. Автореферат дисс... ученой степени канд. техн. наук / Е.А. Желвакова. – Санкт-Петербургский политехнический университет. – Санкт-Петербург, 2004.
5. Петров, С.К. Мероприятия, снижающие негативное воздействие ликвидации отходов на окружающую среду / С.К. Петров, Т.Н. Патрушева, А.Ю. Олейников, П.В. Матвеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S7. – С. 471–483.



Рис. 4. Высоконапорная насосная станция



Рис. 5. Мобильный экструдер
в нерабочем состоянии



Рис. 6. Опытный участок; скважины,
подготовленные для высоконапорной закачки
рабочего раствора флокулянта



Рис. 7. Скважины, подготовленные
для высоконапорной закачки (фрагмент);
шаг 1,0 м; глубина – 20,0 м

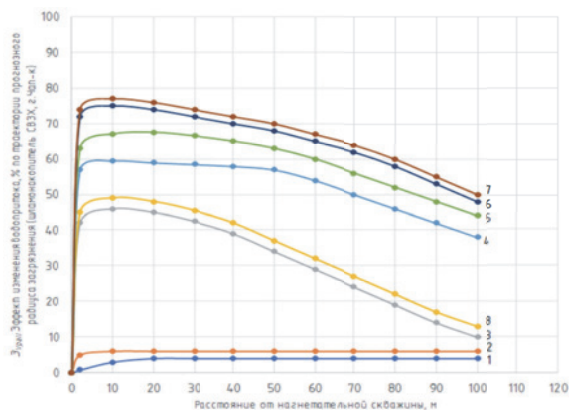


Рис. 8. Эффект изменения водопритока в зависимости от удаления от нагнетательной скважины:

- 1 - Естественный водоприток;
- 2 - Подача реагента 5 мг/л; $P_n < 2,0$ МПа;
- 3 - Реагент отсутствует $P_n = 10$ МПа;
- 4 - Подача реагента $P_n = 10$ МПа;
- 5 - Подача реагента $P_n = 20$ МПа;
- 6 - Подача реагента $P_n = 30$ МПа;
- 7 - Подача реагента $P_n = 40$ МПа;
- 8 - Реагент отсутствует $P_n = 40$ МПа

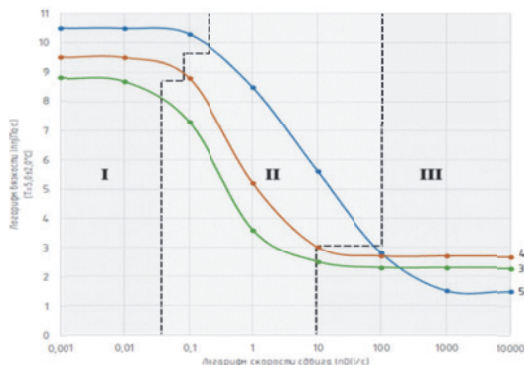


Рис. 10. Вязкостно-деформационная характеристика образцов ПТЭ из шламонакопителя г. Чапаевск:

3 – Смесь целлюлозного скопа и гидролизованного лигнина, обводненная; $W = 60 \pm 5,0\%$; $C_{орг} = 75 \pm 5,0\%$; 4 – Глина обводненная целлюлозным скопом $W = 60 \pm 5,0\%$; $C_{орг} = 30 \pm 5,0\%$; 5 – Глина обводненная целлюлозным скопом $W = 30 \pm 5,0\%$; $C_{орг} = 20 \pm 5,0\%$. Температура отбора образцов $-5,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$, с глубины $20,0 \pm 0,5$ м. I – Первая ньютоновская область; II – Область падения вязкости; III – Третья ньютоновская область.

- 6. Темам, Р. Уравнения Навье–Стокса. Теория и численный анализ / Р. Темам. – 2-е изд. – М.: Мир, 1981. – 408 с.
- 7. Бетяев, С.К. Локальные теории в гидродинамике. уравнение Навье - Стокса: задачи, математические модели, решения / С.К. Бетяев // Труды ЦАГИ. – 2010. – № 2687. – С. 1-80.
- 8. Остах, С.В. Комплексирование методов гидроге-

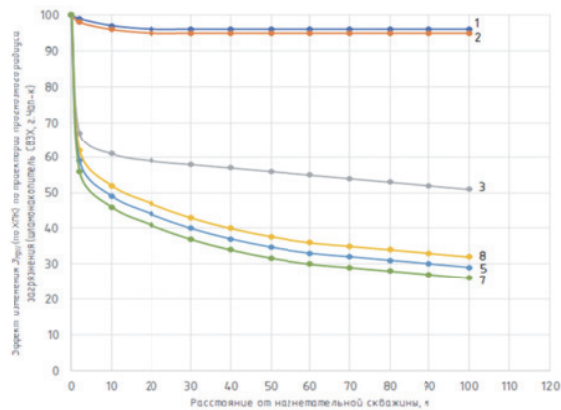


Рис. 9. Эффект изменения интенсивности массы выносимых загрязнений по траектории прогнозного радиуса ПТЭ:

- 1 - Естественный водоприток;
- 2 - Подача реагента 5 мг/л; $P_n < 2,0$ МПа;
- 3 - Реагент отсутствует $P_n = 10$ МПа;
- 5 - Подача реагента $P_n = 20$ МПа;
- 6 - Подача реагента $P_n = 40$ МПа;
- 7 - Реагент отсутствует $P_n = 40$ МПа

ологического и гидроэкологического прогнозирования последствий воздействия на литосферу несанкционировано размещенных отходов / С.В. Остах, М.П. Папини, П. Чиаппи, Н.Ю. Ольховикова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2020. – № 5 (296). – С. 12-20.

- 9. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с
- 10. Овчинникова, К.С. Неньютоновские жидкости. Матрица научного познания / К.С. Овчинникова. – 2022. – № 12-1. – С. 21-29.
- 11. Гафаров, Ш.А. Исследование фильтрационных параметров неньютоновской нефти при течении в карбонатных пористых средах / Ш.А. Гафаров, Г.А. Шамаев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2005. № 1. С. 28]
- 12. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. – М., 2003.
- 13. Шишкин, В.Я. Применение струйной геотехнологии при реконструкции объектов в условиях городской застройки / В.Я. Шишкин, А.Е. Погорелов // Интеграл. – 2011. – № 3. – С. 124-128.
- 14. Чертес, К.Л. Геоинженерная защита территорий, нарушенных объектами накопленного экологического вреда / К.Л. Чертес, О.В. Тупицына, В.Н. Пыстин, В.Я. Шишкин, А.А. Михасек, Е.Н. Петренко, А.А. Букин, А.В. Сергеева, Д.Н. Шерстобитов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24. – № 4. – С. 10–15.

FILTRATION AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SLUDGE AND SLUDGE-CONTAMINATED SOILS

© 2024 K.L. Chertes, A.D.Pashkov, N.S. Bukhman, O.V. Tupitsyna, D.E. Bykov

Samara State Technical University, Samara, Russia

Elements of disturbed ecosystems are fragments of soils and rocks of the aeration zone, contaminated with sludge. Restoring such ecosystems requires the use of high-pressure flushing technologies. Calculation and design of flushing structures are difficult without knowledge of the filtration and rheological parameters of contaminants in the pores and capillaries of soils: permeability coefficients, dynamic viscosity, and injection pressures. Sludges and contaminants based on them are non-Newtonian fluids from the Bingham state to the dilatant state. The viscosity values of such liquids when washed out of a polluted geoenvironment necessitate the provision of pressures of tens and hundreds of atmospheres. Accordingly, existing washing equipment must be adapted to the appropriate environmental parameters. The results of laboratory studies of the filtration and rheological properties of sludges of various natures, as well as industrial tests on washing soils contaminated with sludge on the territory of one of the hazardous waste storage facilities in the Samara region are presented.

Key words: sludge and waste based on it, viscosity, dilatant liquids, Bingham liquids, disturbed geoenvironment.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-186-193

EDN: GLMAFC

REFERENCES

1. *Malkin, A.Ya.* Reologiya: koncepcii, metody, prilozheniya [Per. s angl.] / A.Ya. Malkin, A.I. Isaev. – SPb.: Professiya, 2007. – 560 s.
2. GOST 8.417–2002. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Edinicy velichin.
3. *Chertes, K.L.* Geoinzhenernaya zashchita territorij, narushennyh ob'ektami nakoplenogo ekologicheskogo vreda / K.L. Chertes, O.V. Tupitsyna, V.N. Pystin, V.Ya. Shishkin, A.A. Mihasek, E.N. Petrenko, A.A. Bukin, A.V. Sergeeva, D.N. Sherstobitov // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* – 2020. – T. 24. – № 4. – S. 10–15.
4. *Zhelvakova, E.A.* Zagryaznenie nefteproduktami peschanyh gruntov razlichnogo granulometricheskogo sostava i promyvka ih vodoj. Avtoreferat diss... uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk / E.A. Zhelvakova. – Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet. – Sankt-Peterburg, 2004.
5. *Petrov, S.K.* Meropriyatiya, snizhayushchie negativnoe vozdejstvie likvidacii othodov na okruzhayushchuyu sredu / S.K. Petrov, T.N. Patrusheva, A.Yu. Olejnikov, P.V. Matveev // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal).* – 2019. – № S7. – S. 471–483.
6. *Temam, R.* Uravneniya Nav'e-Stoksa. Teoriya i chislennyj analiz / R. Temam. – 2-e izd. – M.: Mir, 1981. – 408 s.
7. *Betyaev, S.K.* Lokal'nye teorii v gidrodinamike. uravnenie Nav'e - Stoksa: zadachi, matematicheskie modeli, resheniya / S.K. Betyaev // *Trudy CAGI.* – 2010. – № 2687. – S. 1–80.
8. *Ostah, S.V.* Kompleksirovanie metodov gidrogeologicheskogo i gidroekologicheskogo prognozirovaniya posledstvij vozdejstviya na litosferu nesankcionirovano razmeshchennyh othodov / S.V. Ostah, M.P. Papini, P. Chiampi, N.YU. Ol'hovikova // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse.* – 2020. – № 5 (296). – S. 12–20.
9. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya / Pod obshchej red. V.A. Il'icheva i R.A. Mangusheva.* – M.: Izd-vo ASV, 2014. – 728 s
10. *Ovchinnikova, K.S.* Nen'yutonovskie zhidkosti. Matrica nauchnogo poznaniya / K.S. Ovchinnikova. – 2022. – № 12-1. – S. 21–29.
11. *Gafarov, Sh.A.* Issledovanie fil'tracionnyh parametrov nen'yutonovskoj nefti pri techenii v karbonatnyh poristyh sredah / Sh.A. Gafarov, G.A. Shamaev // *Elektronnyj nauchnyj zhurnal Neftegazovoe delo.* 2005. № 1. S. 28]
12. SNiP 22-02-2003. Inzhenernaya zashchita territorij, zdaniy i sooruzhenij ot opasnyh geologicheskikh processov. Osnovnye polozheniya. – M., 2003.
13. *Shishkin, V.Ya.* Primenenie strujnoj geotekhnologii pri rekonstrukcii ob'ektov v usloviyah gorodskoj zastrojki / V.Ya. Shishkin, A.E. Pogorelov // *Integral.* – 2011. – № 3. – S. 124–128.
14. *Chertes, K.L.* Geoinzhenernaya zashchita territorij, narushennyh ob'ektami nakoplenogo ekologicheskogo vreda / K.L. Chertes, O.V. Tupitsyna, V.N. Pystin, V.Ya. Shishkin, A.A. Mihasek, E.N. Petrenko, A.A. Bukin, A.V. Sergeeva, D.N. Sherstobitov // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* – 2020. – T. 24. – № 4. – S. 10–15.

Konstantin Chertes, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences. E-mail: chertes2007@yandex.ru
Anton Pashkov, Post-Graduate Student.
E-mail: pashkov_ad@mail.ru

Nikolay Bukhman, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics. E-mail: physics@samgtu.ru
Olga Tupitsyna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology. E-mail: Olgatupitsyna@yandex.ru
Dmitry Bykov, Rector. E-mail: rector@samgtu.ru