

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ СВОЙСТВ НАМИВНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ИХ КОНСОЛИДАЦИИ

Пургина Д.В.¹, Зарипова Н.А.², Моисеева Ю.А.¹, Гусев В.В.²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²ООО «Красноярская буровая компания», г. Красноярск, Россия

Намывные грунты имеют широкий спектр применения как при строительстве (дамбы, плотины, насыпи и отсыпки), так и в промышленности (золошлакоотвалы, хвостохранилища и пр.). При этом физические свойства таких грунтов существенно изменяются со временем в ходе уплотнения, особенно подвержены изменению водные свойства. Таким образом, целью работы является изучение условий формирования водных свойств намывных грунтов, сформированных в ходе гидронамыва отходов в хвостохранилище Талнахской обогатительной фабрики (ТОФ), и прогноз их изменения в ходе консолидации.

При проведении фильтрационных и воднобалансовых исследований актуальной является задача оценки способности грунтов вмещать и отдавать воду, так как это позволит спрогнозировать не только условия и скорость формирования тела хвостохранилища, но и его ресурсные возможности.

В работе были использованы данные полученные в ходе инженерных изысканий сотрудниками АО «Красноярская буровая компания» в 2022 г. Район исследования приурочен к северной части Красноярского края, в 5,5 км северо-западной городского района Талнах и приурочен к правобережной части долины нижнего течения р. Норильская, у юго-западного подножия гор Хараелах (Еловый камень) плато Путорана северо-западной части Среднесибирского плоскогорья.

Анализ свойств грунтового массива производился по четырнадцати створам на всей площади исследования. Определение физико-механических свойств грунтов (пористости, влажности, грансостава и пр.) и коэффициента фильтрации (ПКФ-01 (Союздорнии)), осуществлялась лабораторными методами. Всего было проанализировано 88 проб, отобранных из 32-х скважин.

В результате были получены профили фильтрационной изменчивости намывных грунтов, в которых коэффициент фильтрации (кф) изменяется в пределах от 1,0 м/сут до 3,5 м/сут, при влажности естественного сложения от 0,196 до 0,304 д.е. Величина плотности изменяется по глубине снизу в верх – от 1,9 до 2,1 г/см³. При этом прослеживается линейная зависимость плотности грунта от природной влажности (рис. 1).

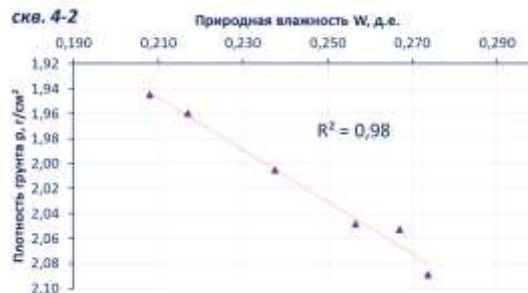


Рис. 1. Графики зависимости плотности грунта от естественной влажности в скв. 4-2

Одной из важных задач является изучение изменения поведения коэффициента фильтрации в зависимости от коэффициента пористости, а также отношения размерности частиц (песчаной фракции к пылеватой). Линии тренда имеют параболическую форму и описываются квадратичной функцией, с экстремумом в точке, при которой кф составляет 2,5 м/сут (рис. 2).

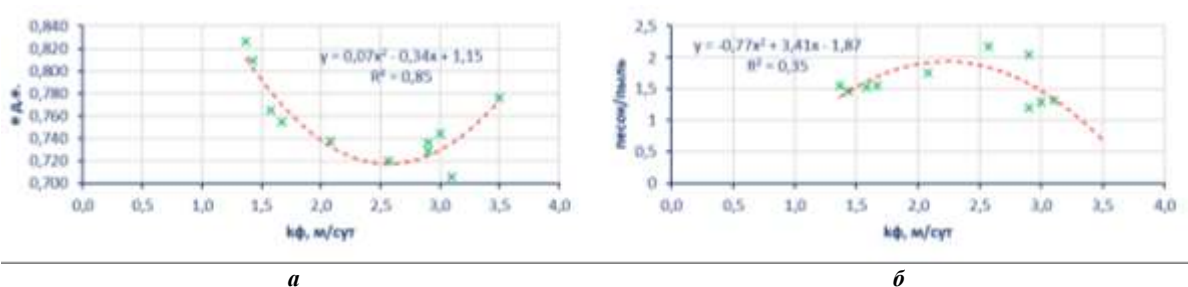


Рис. 2. Графики изменчивости коэффициента пористости в зависимости от коэффициента фильтрации (а) и размерности частиц (б)

Выявлено, что рост кф в интервале от 1,3 до 2,5 м/сут, сопровождается увеличением процентного содержания песчаных частиц (рис. 2б) и ростом эффективной пористости на фоне снижения общей пористости (рис. 2а). При достижении Кф – 2,5 м/сут (точка, где на песок приходится 2/3 от общего числа частиц), рост скорости фильтрации определяется уже суммарным ростом общей пористости.

Ввиду того, что на участке работ планируется проведение работ по уплотнению грунтов, возникла необходимость оценить величину водоотдачи. Для решения данной задачи требуется выделить следующие составляющие – естественную гравитационную водоотдачу (воды, вытекающей под действиями сил тяжести) и уплотненную водоотдачу (формирующуюся под нагрузками и заключающаяся в переходе физически-связной воды в свободную).

Расчет максимальной водоотдачи под нагрузкой производился на основе компрессионных испытаний и заключался в оценке остаточной влажности дренируемого грунта на конец испытаний (формула 1).

$$m' = m - \omega_{oc}, \quad (1)$$

где m – пористость, ω_{oc} – остаточная влагосодержание в объемном относительном выражении.

Следующим этапом производился решение обратной задачи: ступенчатый расчет водоотдачи под нагрузкой, зависящий от изменения величины пористости между ближайшими ступенями нагрузки (формула 2).

$$m'' = m' - \Delta n, \quad (2)$$

где m' – максимальная водоотдача, Δn – изменение пористости между ступенями нагрузки.

Данный подход позволил дифференцировать величину гравитационной водоотдачи, а также воспроизвести ее рост под нагрузками (таблица).

Таблица

Прогноз изменения коэффициента водоотдачи грунтов при их консолидации m'' , %

Нагрузка, МПа	0.00	0.05	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	m'' -м
Среднее	28,24	33,27	33,99	34,89	36,02	36,77	37,52	9,28
Минимум	24,10	31,22	32,14	32,79	33,72	34,52	35,36	6,89
Максимум	31,83	35,65	36,4	37,13	38,22	38,87	39,56	13,45

Проведенный расчёт позволил оценить величину максимальной водоотдачи грунтового массива, значения которой изменяются в пределах от 35 % до 40 %, при этом на гравитационную водоотдачу приходится от 24 % до 32 %, а на водоотдачу, зависящую от уплотнения от 7 % до 13 %.

Также прослеживается линейная зависимость суммарного коэффициент водоотдачи от коэффициента уплотнения (рис. 2).

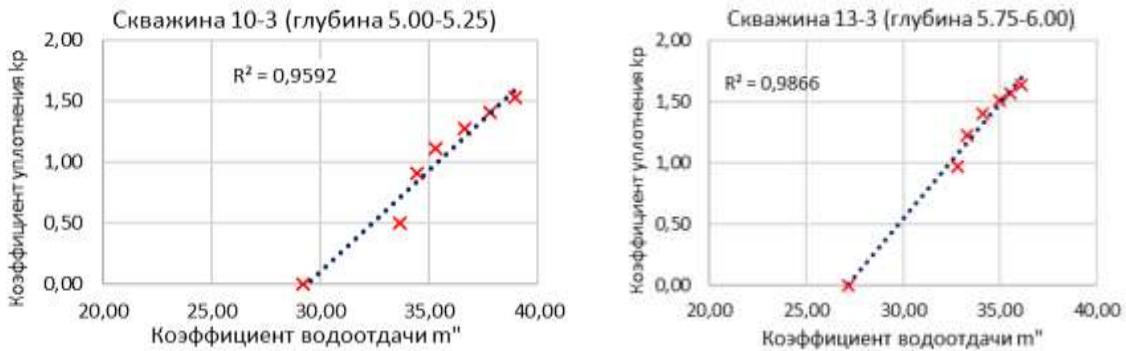


Рис. 2. Водоотдача грунта при заданных нагрузках, зависимость коэффициента водоотдачи от коэффициента уплотнения грунта

На основе полученных зависимостей (рис. 2) выведен поправочный коэффициент ($tg(\alpha)$) составляющий 0,04 д. е., при помощи которого можно рассчитать предварительные значения водоотдачи в зависимости от изменения плотностей под нагрузкой (формула 3).

$$m' = (\rho_2 - \rho_1) / 0.04 \quad (3)$$

Полученные результаты позволяют представить эмпирически выведенную формулу для расчета суммарной водоотдачи при уплотнении однородного грунтового массива.

Данная работа позволила изучить закономерности изменения водных свойств намывных грунтов, сформированных в ходе гидронамыва отходов в хвостохранилище и провести эмпирический расчет водоотдачи грунтов под нагрузками. При этом важно понимать, что процесс водоотдачи является растянутым во времени и зависит от латеральной фильтрационной неоднородности, уклона потока, а также технологии уплотнения грунтового массива.

Работа выполнена в рамках Государственным Заданием РФ «Наука». Проект FSWW-2023-0008

Литература

1. Ameen A., Özener P. Unsaturated soil properties of a high compacted fill with settlement monitoring system // Computers and Electrical Engineering. – 2022. – Т. 104. – С. 108435.
2. Liu B. et al. Influence of water loss on mechanical properties of superfine tailing–blast-furnace slag backfill // Construction and Building Materials. – 2020. – Т. 246. – С. 118482.