

допользования НАН Беларуси, их концентрация на тот момент составляла 7,2–30,0 мг/дм³. Это непосредственно сказалось на росте цветности воды, показатель которого существенно превысил допустимый уровень. По данной причине скважины водозабора оказались фактически непригодными для эксплуатации, что в дальнейшем потребовало полной реконструкции водозабора с бурением новых скважин на более глубокие водоносные горизонты.

Заключение. Резюмируя вышесказанное отметим, что описанные качественные и количественные изменения подземных вод на участке размещения карьера «Гралево» носят комплексный характер, и обусловлены тремя главными техногенными причинами – это интенсивный водоотлив из карьера и работа водозаборов, способствующих формированию депрессионной воронки, а также сооружение руслового водохранилища Витебской ГЭС, создающего за счет перетекания речных вод условия изменений гидродинамического и гидрохимического режимов подземной гидросферы. При этом следует заметить, что при разработке месторождений глинистого сырья, песков и песчано-гравийных смесей ситуация складывается несколько иная. В большинстве случаев эти месторождения характеризуются довольно простыми гидрогеологическими условиями с небольшими водопритоками из вскрытых водоносных горизонтов четвертичной толщи, которые требуют несложную организацию водоотлива, оказывающего не столь существенное влияние на качественный состав и состояние поверхностных и подземных вод [3].

Исследования выполнены в рамках реализации задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Витебской области как основы рационального и эколого-безопасного недропользования» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

1. Галкин, А.Н. Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования / А.Н. Галкин, А.В. Матвеев, В.Г. Жогло. – Витебск: Изд-во ВГУ имени П.М. Машерова, 2006. – 208 с.

2. Оценка условий формирования повышенных водопритоков в карьере «Гралево» в зоне влияния водохранилища Витебской ГЭС / В.И. Пашкевич, Ю.П. Анцух, Н.М. Томина, М.М. Черепанский // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 274–278.

3. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / Под ред. П.З. Хомич и др. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.

4. Физическая география Витебской области / Под ред. А.Н. Галкина. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2021. – 235 с.
URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/30798> (дата обращения: 25.04.2024)

К ОЦЕНКЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КОМПРЕССИИ-ДЕКОМПРЕССИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИКИ

Матвеев В.В.,

*магистрант МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
Научный руководитель – Королев В.А., доктор геол.-минерал. наук, профессор*

Ключевые слова. Работа диссипации, работа деформирования, площадь петли гистерезиса.

Keywords. Dissipation energy, strain energy, hysteresis loop square.

При ведении строительной и хозяйственной деятельности грунты могут подвергаться попеременному уплотнению и разуплотнению. Исследование посвящено выявлению особенностей механического поведения грунтов при их компрессии-декомпрессии на основе термодинамики. Большинство математических моделей механического поведения грунтов адекватно рассматривают в основном первичное нагружение, понимаемое как упругопластический процесс, и разгрузку, рассматриваемую как упругий линейный процесс. При этом, процесс компрессии-декомпрессии в общем случае нелинейный и для его характеристики возможно использовать энергетический подход [1; 3; 5; 6].

Целью работы было установить особенности механического поведения грунтов при их компрессии, декомпрессии.

Материал и методы. Экспериментальные исследования проводились с использованием грунтов природного сложения. В качестве объектов исследования выбраны широко распространенные на территории Москвы моренные суглинки (glds).

Для изучения деформационных свойств глинистых грунтов проводились компрессионные испытания с нагрузкой, разгрузкой и повторной нагрузкой по ГОСТ 12248.4-2020, в приборах ООО «НПП ГеоТек» (Пенза) при максимальных ступенях нагрузок 1,6 МПа на предварительно водонасыщенных под вакуумом образцах [4].

Обработка результатов испытаний. Использование величины работы деформации для описания механического поведения грунтов представляет особый интерес, поскольку позволяет одной величиной охарактеризовать деформируемость на любом интервале напряжений, и что очень важно – даже в случае нелинейной зависимости деформаций от напряжений.

Работа упругопластического деформирования (МДж) грунта на этапе компрессии (A_1) рассчитывается по формуле [2]:

$$A_1 = \int_0^{\varepsilon_1} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon,$$

где ε_1 – относительная деформация в конце этапа компрессии; $\sigma(\varepsilon)$ – вертикальное напряжение.

Работа упругопластического деформирования (МДж) на этапе рекомпрессии (A_i) рассчитывается по формуле:

$$A_i = \int_{\varepsilon_{i-1} - \Delta\varepsilon_{i-1}^e}^{\varepsilon_i} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon,$$

где $\varepsilon_{i-1} - \Delta\varepsilon_{i-1}^e$ – относительная деформация в начале этапа ($i - 1$) рекомпрессии;

ε_i – относительная деформация в конце этапа ($i - 1$) рекомпрессии; $\sigma(\varepsilon)$ – вертикальное напряжение.

Работа деформирования (МДж) на этапе декомпрессии (A^e) рассчитывается по формуле:

$$A_i^e = \int_{\varepsilon_i}^{\varepsilon_i - \Delta\varepsilon_i^e} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon,$$

где ε_i – относительная деформация в начале этапа i -й декомпрессии, равная относительной деформации в конце предыдущего этапа; $\varepsilon_i - \Delta\varepsilon_i^e$ – относительная деформация в конце этапа i -й декомпрессии; $\sigma(\varepsilon)$ – вертикальное напряжение.

Работа деформирования A^e не может рассматриваться как упругая для глинистых грунтов, испытываемых в условиях возможности набухания.

Работа диссипации при упруго-пластическом деформировании грунта за цикл нагрузка-разгрузка A^p (МДж) может оценена опытным путем при определении общей и обратимой деформации как функции от напряжений, исходя из уравнения:

$$A_i^p = A_i - A_i^e.$$

Работа диссипации A^p представляет собой работу, затраченную на необратимую деформацию за счет ее рассеяния и превращения в тепло, т. е. потерянную работу. Исходя из её физического смысла, величина A^p таким образом характеризует процессы необратимого разрушения в глинистом грунте контактов точечных и фазовых, в отличие от обратимых (восстанавливающихся) коагуляционных контактов.

Доля работы диссипации (в процентах) определяется как отношение работы диссипации к удельной работе на этапе нагрузки:

$$DSER = \frac{A_i^p}{A_i}.$$

Площадь петли гистерезиса в цикле декомпрессии-рекомпрессии H (МДж/м³) вычисляется по формуле: $H_i = A_{i+1} - A_i^e$.

Результаты и их обсуждение. Для оценки влияния фактора количества циклов на закономерности уплотнения и разуплотнения грунтов образец грунта был испытан в режиме многократной нагрузки-разгрузки (рисунок). После первого нагружения происходит заметная деформация, при последующих разгрузках и нагрузках деформация становится меньше, причем чем больше номер цикла, тем меньше приращение деформации за цикл. По-видимому, это связано с проявлением остаточных необратимых деформаций в результате переупаковки частиц и достижения более плотного сложения грунта от цикла к циклу.

Максимальное значение удельная работа достигает на этапе компрессии. Далее от цикла к циклу удельная работа заметно снижается и колеблется в узком интервале. Причем работа от цикла к циклу в пределах группы этапов декомпрессии или рекомпрессии устанавливается на близких значениях, однако в целом характерные для групп значения отличаются почти в два раза (5,5–8,1 против 3,2–3,6 кДж/м³ для этапов рекомпрессии и декомпрессии, соответственно).

Нами установлено, что с ростом количества циклов закономерно уменьшается работа диссипации A^p , причем резкий спад происходит уже на втором цикле с 24,6 до 4,8 кДж/м³, далее темп снижается, на 5–8 циклах работа диссипации A^p колеблется в диапазоне от 2,3 до 3,7 кДж/м³.

Интересно отметить, что работа декомпрессии A^e практически не изменяется от цикла к циклу, находясь в диапазоне от 3,2 до 3,6 кДж/м³. Таким образом, доля работы диссипации от полной работы деформирования $DSER$ сокращается от 87% на первом цикле до 40% на восьмом.

Зависимость доли работы диссипации $DSER$ от номера цикла может быть описана показательным уравнением с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,83$. Это объясняется проявлением остаточных необратимых деформаций в результате переупаковки частиц и достижения грунтом от цикла к циклу более плотного сложения.

Площадь петли гистерезиса H от цикла к циклу уменьшается с 4,5 кДж/м³ на первом цикле до 2,2–3,5 кДж/м³ на последующих циклах. Зависимость площади петли гистерезиса от номера цикла описывается показательным уравнением с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,68$. По-видимому, выход на постоянную петлю гистерезиса обусловлен неоднородностью распределения пор в водонасыщенных грунтах и наличием среди них таких, в которых не проявляется действие расклинивающего давления, тем самым в процессе циклических нагрузок-разгрузок вода из крупных пор постепенно необратимо выжимается, а вода, находящаяся в микропорах глинистого грунта, попеременно выжимается и всасывается.

Таким образом, с ростом количества циклов закономерно уменьшается работа диссипации, причем на последних циклах она и работа декомпрессии практически остаются постоянными.

Заключение. Разработана методика энергетической оценки процессов компрессии-декомпрессии и рекомпрессии глинистых грунтов на основе величин работы в этих процессах. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет выявлять закономерности уплотнения-разуплотнения в глинистых грунтах, а также давать сравнительную

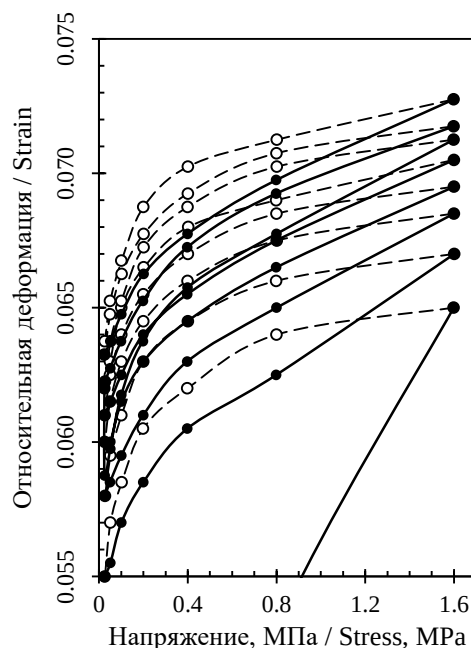


Рисунок — Фрагмент компрессионной кривой

характеристику деформационных свойств исследуемых грунтов с использованием интегральных параметров, отражающих весь нелинейный процесс деформирования во всем интервале действующих напряжений.

1. Зиангиров Р.С. Объемная деформируемость глинистых грунтов. – М.: Наука, 1979. – 164 с.
2. Королёв В.А. Термодинамика грунтов: Учебник. — ООО Сам полиграфист г. Москва, 2016. – 258 с.
3. Кульчицкий Л.И., Усъяров О.Г. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. – М.: Недра – 1981. – 178 с.
4. Лабораторные работы по грунтоведению: уч. пособие / под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва, изд. – 3-е испр. и доп. / В.А. Королёв, В.Т. Трофимов, Е.Н. Самарин и др. – КДУ Москва, 2017. – 654 с.
5. Физико-химическая механика природных дисперсных систем / под ред. Е.Д. Щукина, Н.В. Перцова, В.И. Осипова, Р.И. Злочевской / Ю.П. Акимов, Е.А. Амелина, С.Д. Воронкевич и др. – Москва, 1985. – 266 с.
6. Suddeepong A., Chai J., Shen S., Carter J. Deformation behaviour of clay under repeated one-dimensional unloading-reloading. (2015) Canadian Geotechnical Journal. 52(8): 1035–1044.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ АНДЕЗИБАЗАЛЬТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ СЕРНОКИСЛОТНОМУ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ (ЮЖНО-КАМБАЛЬНОЕ ЦЕНТРАЛЬНОЕ ТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ, КАМЧАТКА)

Никулина М.А.,

магистрант МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

Научный руководитель – Большаков И.Е., канд. геол.-минерал. наук, мл. науч. сотрудник

Ключевые слова. Термальное поле, андезибазальты, гидротермальные изменения, сернокислотное выщелачивание.

Keywords. Thermal field, basaltic andesites, hydrothermal alteration, sulfuric acid leaching.

Гидротермальные системы содержат огромные промышленные запасы пара и высокотемпературных вод, которые служат основой для развития геотермальных электростанций, тепличных хозяйств, систем теплоснабжения. ГеоТЭС чаще всего располагают в районах с широко развитыми поверхностными разгрузками термальных вод и пара, таким образом, основаниями для самих станций и сопутствующих сооружений служат именно гидротермально измененные породы [1; 2]. Именно поэтому так необходимо изучать влияние на состав и свойства процессов гидротермального преобразования пород, пробовать моделировать природные процессы в лабораторных условиях. Объектом исследования данной работы являются андезибазальты Южно-Камбального Центрального термального поля.

Цель работы – изучить особенности изменения состава и свойств андезибазальтов исследуемого поля в условиях сернокислотного выщелачивания. Для достижения цели были поставлены задачи, связанные с исследованием природноизмененных образцов; проведением экспериментов, моделирующих природные условия сернокислотного выщелачивания, определением влияния процесса сернокислотного выщелачивания

Материал и методы. В ходе полевых работ в районе Паужетской гидротермальной системы на Южно-Камбальном Центральном термальном поле в 2022 году были отобраны 4 образца андезибазальтов различной степени гидротермальных изменений: неизменный, слабоизмененный, среднеизмененный, опалит. Отбор проводился в северной уже остывшей части поля из трех неглубоких выработок глубиной до 80 см. Участок отбора находился приблизительно в 50 м от прогретой части поля.

Из образцов в общей сложности были изготовлены 54 цилиндрические пробы. Для всех проб были определены следующие показатели физических и физико-механических свойств грунтов: плотность твердой компоненты (ρ_s) с помощью прибора В. Я. Калачева, скорость распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии, магнитная восприимчивость (χ_{cr}), рассчитаны плотность воздушно-сухого грунта (ρ), динамический модуль упругости ($E_{дин}$) и коэффициент Пуассона (μ), прочность на одноосное сжатие в сухом (R_c) и водонасыщенном ($R_{св}$) состоянии, прочность на растяжение в сухом и водонасыщенном состоянии (R_p), коэффициент размягчаемости ($K_{разм}$), степень водопоглощения ($W_p, \%$), общая (n) и открытая пористость ($n_o, \%$). Все определения проводились по стандартным методикам [3]. Параллельно