

УДК 624.131.433

А.А. Коршунов

Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ SOFT SOIL CREEP В PLAXIS ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ

Представлены результаты компрессионных испытаний песчано-глинистых отходов обогащения кимберлитовых руд, которые являются основанием ограждающей дамбы. Установлены линейные зависимости между коэффициентами компрессии (C_c) и вторичной консолидации (C_α) и начальным коэффициентом пористости отходов обогащения. По результатам лабораторных исследований выполнено численное моделирование компрессионных испытаний в Plaxis с использованием модели Soft Soil Creep. Сопоставлены результаты численного моделирования и лабораторных испытаний.

Ключевые слова: коэффициент компрессии, коэффициент вторичной консолидации, реологические свойства, отходы обогащения, Plaxis, модель Soft Soil Creep.

Освоение месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова предусматривает устройство специальных накопителей промышленных отходов, так называемых хвостохранилищ. Одним из основных инженерных сооружений хвостохранилища является многоярусная ограждающая дамба (рис. 1), выполненная насыпным способом. В процессе эксплуатации хвостохранилища выполнялось постепенное наращивание ограждающей дамбы и происходил намыв отходов обогащения кимберлитовых руд на ее верховой откос. Отходы обогащения, представляющие собой песчано-глинистые грунты со специфическими физическими и механическими свойствами, сформировали основание для 2-го и последующих ярусов сооружения. Для оценки деформаций основания ограждающей дамбы за весь срок ее службы необходимо изучить реологические свойства песчано-глинистых отложений и выполнить моделирование поведения сооружения с использованием численной модели грунта, параметры которой учитывают специфические свойства основания. Таким образом, задача исследования реологических свойств отложений и определения параметров численной модели является актуальной для оценки деформаций сооружения во времени.

Для оценки сжимаемости песчано-глинистых отложений использовали следующие параметры: коэффициент компрессии (C_c) и коэффициент вторичной консолидации (C_α). Первый параметр характеризует сжимаемость отложений на фазе фильтрационной консолидации, второй параметр отражает процесс деформирования грунтов во времени под действием постоянной нагрузки, т.е. является характеристикой ползучести [1].

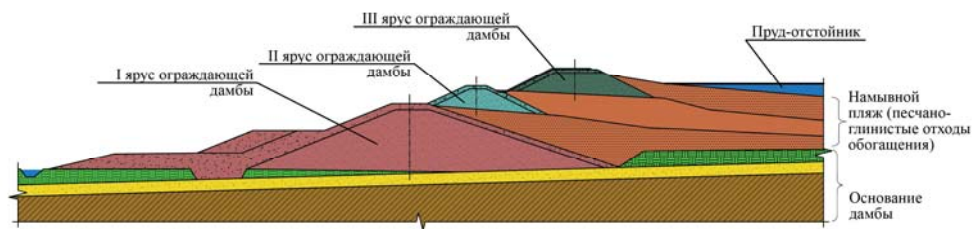


Рис. 1. Поперечный разрез по ограждающей дамбе

Коэффициенты компрессии и вторичной консолидации определяли по результатам компрессионных испытаний при полном водонасыщении образца песчано-глинистых отходов обогащения и в условиях двухстороннего дренирования на автоматизированных комплексах LoadTrac-II (рис. 2). Образец имел следующие размеры: диаметр 73 мм, высота 20,85 мм. Нормальные давления: 12,5; 25; 50; 100; 200; 300 кПа – прикладывали ступенями, при этом каждую ступень нагрузки выдерживали до условной стабилизации деформаций образца. Критерий условной стабилизации грунта определяли путем построения зависимости деформации образца во времени и вычисления времени окончания фильтрационной консолидации (t_{100}), соответствующего 100 % консолидации образца. Для вычисления начала фильтрационной консолидации, соответствующей степени консолидации 0 %, строили график зависимости деформации образца во времени, которую обрабатывали методом «квадратного корня из времени» (рис. 3) [2]. Коэффициент C_α определяли только при нормальном давлении 300 кПа. Для этого на последней стадии нагружения регистрацию деформаций продолжали до установления линейного участка вторичной консолидации (линия 2, см. рис. 3). Коэффициенты компрессии и вторичной консолидации вычислили по результатам испытаний 12 образцов песчано-глинистых отложений, имеющих разные начальные коэффици-

енты пористости. Начальный коэффициент пористости варьировали в пределах 0,78–0,86. Данный интервал включает все значения коэффициента пористости, полученные по результатам лабораторных испытаний песчано-глинистых отложений при проведении геотехнического контроля ограждающей дамбы хвостохранилища [3, 4].



Рис. 2. Автоматизированная система LoadTrac-II для проведения компрессионных испытаний

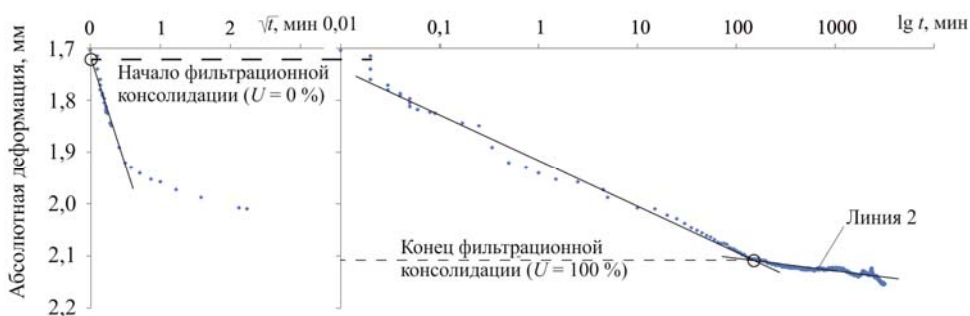


Рис. 3. Определение фильтрационного этапа консолидации образца при давлении 300 кПа

Коэффициент компрессии C_c определили для каждого значения начального коэффициента пористости полулогарифмическим методом путем построения аппроксимирующей прямой на прямолинейном участке зависимости коэффициента пористости от логарифма нормального давления (рис. 4) и [5]. Зависимость коэффициента компрессии от

начального коэффициента пористости для промышленных отходов представлена на рис. 5. По результатам исследований получена линейная зависимость между начальным коэффициентом пористости e_0 и C_c :

$$C_c = 0,5871 \cdot e_0 - 0,3671. \quad (1)$$

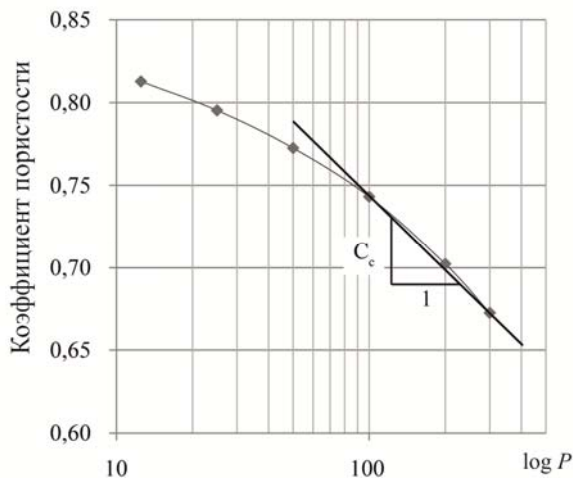


Рис. 4. К определению коэффициента компресси

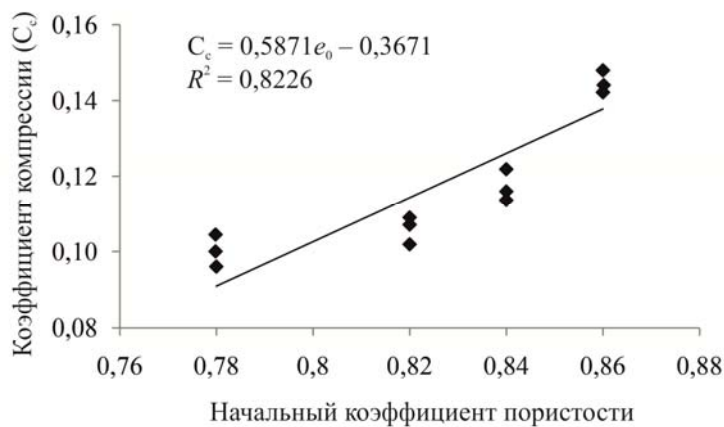


Рис. 5. Зависимость коэффициента компресси от начального коэффициента пористости

Для определения значений C_a логарифмическим методом строили кривую консолидации в координатах: относительная деформация (ε) – время (t , мин), откладываемое на логарифмической шкале. Коэффицици-

ент вторичной консолидации определяют как тангенс угла между линейным отрезком кривой на участке вторичной консолидации и прямой, параллельной оси абсцисс (см. рис. 3). Результаты исследований показали, что деформация уплотнения развивается во времени, подчиняясь логарифмическому закону.

Зависимость коэффициента вторичной консолидации от начального коэффициента пористости при постоянном давлении 300 кПа представлена на рис. 6. На основе исследований установлена линейная зависимость между начальным коэффициентом пористости e_0 и C_α :

$$C_\alpha = (-4,2925e_0 + 4,6467) \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

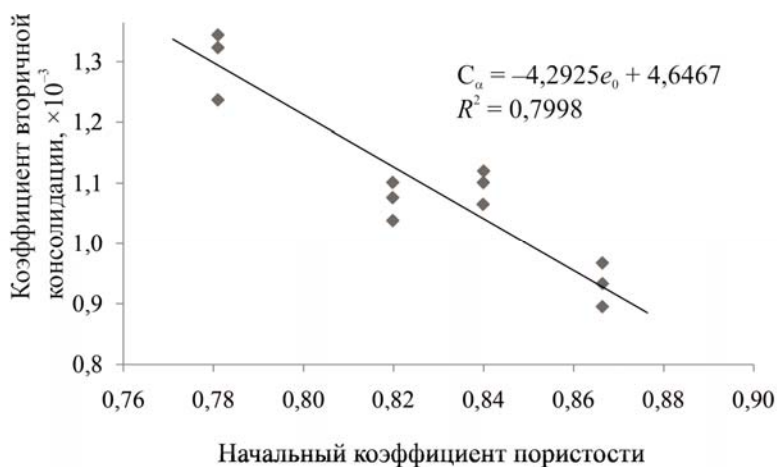


Рис. 6. Зависимость коэффициента вторичной консолидации от начального коэффициента пористости

Для оценки деформаций сооружения во времени используют численные модели, позволяющие моделировать процесс ползучести грунтов. В Plaxis 2D используют модель Soft Soil Creep. Основными параметрами модели ползучести грунта являются: коэффициент компрессии (C_c), коэффициент компрессии при нагрузке/разгрузке (C_r), коэффициент вторичной консолидации (C_α) и начальный коэффициент пористости (e_0) [6].

Для корректного моделирования поведения песчано-глинистых отходов обогащения в основании дамбы необходимо провести верификацию модели по результатам лабораторных испытаний путем численного моделирования компрессионных испытаний отходов обогащения в осесимметричной постановке. Конечно-элементная модель

одометрической ячейки автоматизированного комплекса LoadTrac-II представлена на рис. 7. Поведение грунта численной модели принято как дренированное. Физико-механические характеристики модели соответствуют свойствам лабораторных образцов. Значения C_c и C_α приняты по линейным зависимостям 1 и 2. Коэффициент компрессии при нагрузке/разгрузке в модели Soft Soil Creep равен $0,5C_c$ в соответствии с рекомендациями разработчиков программы Plaxis. Уровень воды в ячейке установлен по верхнему торцу образца. Моделирование выполняли в несколько стадий путем последовательного приложения следующих давлений: 12,5; 25; 50; 100; 200; 300 кПа. По завершении фильтрационной консолидации на каждой стадии и вторичной консолидации на последней стадии фиксировали значения осадок. На рис. 8 представлены деформации образцов песчано-глинистых отложений в одометрической ячейке, полученные по результатам лабораторных испытаний и численного моделирования. Результаты моделирования показали, что на этапе фильтрационной консолидации при нормальных давлениях менее 100 кПа вертикальные деформации по Plaxis на 20–30 % меньше лабораторных значений. При давлении 100–300 кПа расчетные деформации на этапе фильтрационной консолидации больше, а на этапе вторичной – меньше осадок, полученных при лабораторных испытаниях, на 2–6 %.

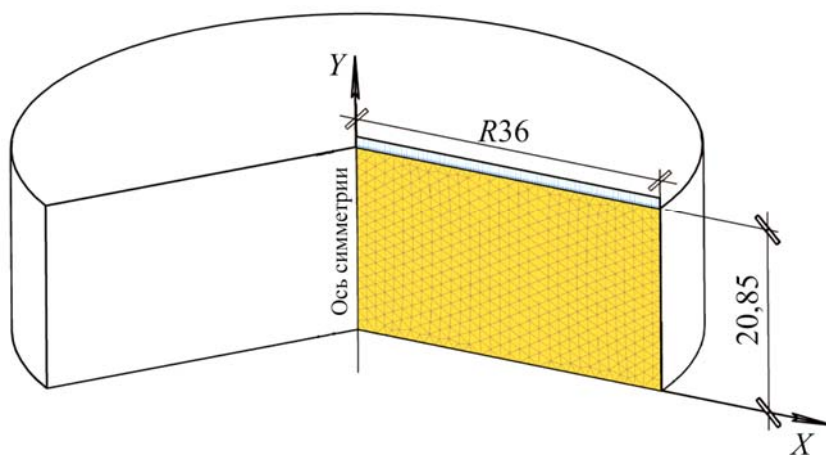


Рис. 7. Конечно-элементная модель одометрической ячейки

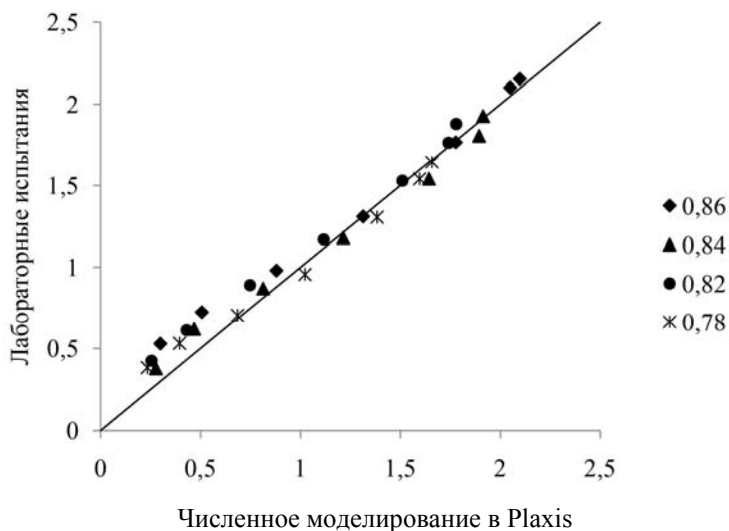


Рис. 8. Вертикальные деформации (мм) песчано-глинистых отходов обогащения по результатам численного моделирования и лабораторных исследований

Результаты численного моделирования и лабораторных испытаний показали, что модель Soft Soil Creep достаточно точно моделирует процессы фильтрационной и вторичной консолидации песчано-глинистых отходов обогащения и может быть использована для прогноза деформаций оснований ограждающей дамбы во времени.

Библиографический список

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие для строительных вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 447 с.
2. ГОСТ 12248–2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Взамен ГОСТ 12248–96 и ГОСТ 24143–80; введ. 2011-01-01. – М.: МНТКС: Изд-во стандартов, 2010. – 162 с.
3. Результаты геотехнического контроля строительства и эксплуатации ограждающей дамбы хвостохранилища / А.Л. Невзоров [и др.] // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций, оснований и фундаментов: материалы V междунар. науч.-техн. конф. / ВолгГАСУ. – Волгоград, 2009. – Ч. III. – С. 94–100.
4. Nevzorov A., Koptyev V., Korshunov A. Results of geotechnical monitoring for the erection and operation of the tailing dam at the diamond deposit named after M.V. Lomonosov // Proceedings of the 15th European

conference on Soil Mechanics and Geotechnical engineering, ISSMGE, Athens, Greece. – Athens, 2011. – P. 1177–1184.

5. V.N.S. Murthy Geotechnical Engineering: principles and practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering / V.N.S. Murthy-Marcel Dekker Inc. – New York, 2003. – 1029 p.

6. User Guide Plaxis 2D 2012, Plaxis bv. – Netherlands, 2011.

A.A. Korshunov

**THE DETERMINATION OF PARAMETERS OF SOFT SOIL
CREEP MODEL IN PLAXIS ON BASIS OF STUDYING
SAND-CLAY TAILINGS OF KIMBERLITE ORE DRESSING
AT DIAMOND DEPOSIT**

The article deals with results of consolidation tests of sand-clay tailings of kimberlite ore dressing. Linear relationship between compression index (C_c) and initial void ratio is determined. Linear dependence between coefficient of secondary consolidation (C_α) and initial void ratio is defined. Numerical simulation of consolidation tests were carried out in Plaxis via Soft Soil Creep model. Evaluation of results of laboratory tests and numerical simulation are represented.

Keywords: compression index, coefficient of secondary consolidation, rheological properties, tailings, Plaxis, Soft Soil Creep model.

Сведения об авторах

Коршунов Алексей Анатольевич (Архангельск, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (e-mail: a.a.korshunov@yandex.ru).

About the authors

Korshunov Aleksei Anatolevich (Arkhangelsk, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Geotechnics, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (e-mail: a.a.korshunov@yandex.ru).

Получено 19.03.2013