

Abstract. Prediction of hydrographs of breakouts of dammed lakes through the ice channel is very important for the territory of Tajikistan, which is replete with dammed glacial lakes. Based on the analysis of real breakthroughs of Lake Abdukakhor (Western Pamir), theoretical methods for calculating breakthrough hydrographs and their characteristics are estimated, which allows us to more accurately predict the main features of breakthroughs.

Key words: forecast, breakthrough hydrograph, glacial lake, Abdukakhor lake, filtration, flood.

УДК 624.131

ВЫБОР УЧИТЫВАЕМОЙ ГЛУБИНЫ НЕСКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ И РАСЧЕТОВ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

К.В. Кургузов¹, А.В. Дейнеко², И.К. Фоменко³

*Российский государственный геологоразведочный университет
им. С. Орджоникидзе (МГРИ), ¹kurgusov@yandex.ru; ³ifolga@gmail.com;
²ООО "Сигма Тау", deyneko@sigma-tau.xyz*

Аннотация. Проанализирована взаимосвязь глубины сжимаемой толщи основания в аналитических расчетах, глубины расчетной области основания в численных моделях, глубины опробывания грунтов в инженерно-геологических изысканиях. Показана зависимость требуемой глубины расчетной области от типа и жесткости конструкций фундаментов и сооружения в целом. Проведены сопоставительные расчеты в различных программных комплексах при варьировании параметров плитных фундаментов. Показана возможность системной недооценки осадок плитных фундаментов большой площади.

Ключевые слова: глубина сжимаемой толщи, глубина расчетной области, расчет осадок.

Одной из важнейших общетеоретических проблем инженерной геологии является определение границы зон влияния инженерных сооружений на компоненты геологической среды [1]. Эта проблема не имеет однозначного решения. Проведение любой границы принимает неопределенный или условный характер. Критерии их построения в инженерной геологии до сих пор не обоснованы. При этом, именно границы зон влияния определяют размеры области инженерно-геологических исследований.

Проектирование зданий и сооружений требует проведения расчетов оснований по деформациям с целью прогнозирования осадок фундаментов. Соответственно требуется проведение инженерно-геологического опробывания грунтов для определения необходимых физико-механических характеристик на необходимую глубину. В практике реализации строительных проектов наблюдается тенденция к псевдоэкономии за счет сокращения объемов инженерно-геологических изысканий, в частности, путем минимизации глубины

опробывания. Это в последующем приводит к ограничению, а иногда и к искажению представлений конструкторов и геотехников об основаниях зданий и сооружений. Во многих случаях глубина опробывания назначается недостаточной по причине несовершенства нормативно-технической базы.

Существует большое разнообразие методик расчета осадок, основанных на концепции линейно-упругого поведения грунтов: модели местных упругих деформаций (Н.И. Фусс, К.А. Винклер, Н.П. Пузыревский, С.П. Тимошенко, А.Н. Крылов, П.Л. Пастернак и др.), модель упругого полупространства (Г.Э. Проктор, Н.М. Герсегонов, М.И. Горбунов-Посадов, Б.Н. Жемочкина и др.), получившая развитие в 1920-х гг. Данные модели описывают поведение грунтов под действием поля дополнительных напряжений от фундамента.

Решение краевой задачи механики грунтов предполагает определение граничных условий, включая геометрические размеры расчетной области. Нормативные модели линейно деформируемого полупространства (ЛПП) и линейно деформируемого слоя (ЛДС), регламентируемые СП 22.13330 и СП 23.13330, предназначены для проведения расчетов осадок фундаментов методом послойного суммирования в одномерной постановке, т.е. полагая круговую симметрию и бесконечность основания в направлениях, перпендикулярных вертикальной оси.

Общим недостатком упомянутых методик расчетов является то, что при увеличении учитываемой глубины основания – увеличиваются осадки. Поэтому в расчет вводится специальный параметр – глубина сжимаемой толщи основания H_c , которая представляет собой эмпирический калибровочный параметр методики расчета, обеспечивающий получение наблюдаемых осадок зданий и сооружений. Нижнюю границу сжимаемой толщи принимают на глубине, где дополнительные вертикальные напряжения от фундамента σ_{zp} не превышают заданную долю природных вертикальных напряжений σ_{zg} . Эта доля колеблется в широких пределах от 20% до 50%, причем эта величина для одних и тех же условий зависит от года издания нормативных документов.

Глубина сжимаемой толщи является функцией только природных вертикальных напряжений. Ни состав грунтов и гетерогенность их свойств, ни геологическое строение и история формирования грунтового массива, ни его современное состояние, а тем более размер, конфигурация и жесткость фундамента (сооружения) в расчете глубины сжимаемой толщи, согласно действующей нормативной документации, не участвуют.

В то же время, известно, что задача по определению активной зоны распределения напряжений для однородной изотропной плоской среды была решена Ж.В. Буссинеском в 1885 г. Решение этой задачи позволяет определить напряжения и деформации в любой точке полупространства от действия силы на поверхности грунта. Из решения задачи следует, что на характер распределения изолиний напряжений существенное влияние оказывает размер фундамента.

Таким образом, глубина сжимаемой толщи H_c как расчетный параметр нормативных методик не эквивалентна глубине, в пределах которой развиваются дополнительные деформации от воздействия фундамента. Причем весьма распространено заблуждение об обратном, по причине буквального прочтения термина «глубина сжимаемой толщи» при отсутствии соответствующего разъяснения в нормативных документах.

Поскольку действительное напряженно-деформированное состояние (НДС) массива грунтов зависит от многих факторов, не учитываемых при определении H_c , таких как размер, форма и жесткость фундамента, связанная с этим погрешность в расчетах также будет зависеть от многих факторов. Известно, что методика СП 22.13330, основанная на модели упругого полупространства подходит в основном для расчета фундаментов с небольшой площадью опирания (ленточных, столбчатых) [2].

В настоящее время в расчетах НДС литотехнических систем (ЛТС) широко применяются численные методы, особенно метод конечных элементов (МКЭ). Многочисленные преимущества численных методов обуславливают их популярность и определяют дальнейшее интенсивное развитие.

Численные методы позволяют качественно повышать точность определения НДС благодаря учету реальной геометрической конфигурации и свойств расчетной области ЛТС (форма и жесткость фундамента, напластование грунтов), а также учету нелинейности: физической (зависимость характера деформирования от величины напряжений), геометрической (изменение размеров расчетной схемы в силу собственной деформации), конструктивной (сдвиги и раскрытия по контактам), генетической (позатпность). Совершенствуются модели геотехнических материалов, реализующие физическую нелинейность. Одной из таких моделей является нелинейно-пластическая модель с упрочнением *Hardening Soil* [3], учитывающая различие работы грунта при нагружении, разгрузке и повторном нагружении, переуплотнение грунта в результате диагнеза, боковое давление в покое.

Эффективность применения численного моделирования и качество получаемых результатов ключевым образом зависит от корректности

назначения граничных условий, в частности, от выбора размеров расчетной области (в плоской или пространственной постановке).

Осадки зависят от глубины расчетной области. Однако алгоритм выбора этой глубины в рамках численного моделирования нормами не установлен. С расчетно-теоретической точки зрения представляется некорректным распространённый в реальном проектировании прием, когда в качестве глубины расчетной области численной модели принимается глубина сжимаемой толщи H_c . Во-первых, эта величина имеет иной смысл, проясненный выше, и не описывает реальную область возникновения дополнительных деформаций. Во-вторых, это ведет к искажению полей дополнительных напряжений и деформаций. Как следствие, выбор размеров численной модели, не соответствующий области локализации моделируемого физического процесса с назначением не соответствующих действительности граничных условий, снижает достоверность численного расчета и девальвирует его преимущества. Это ведет к возникновению распространенной проблемы низкой достоверности расчетного прогнозирования осадок.

Величина возникающей погрешности зависит от многих факторов, особенно от типа фундамента. Проведенные авторами сопоставительные численные расчеты плитного фундамента с варьированием размера и глубины расчетной области в геотехнических конечно-элементных расчетных программах MIDAS GTS NX, PLAXIS 3D, RS3 и Z_SOIL позволили получить результаты, сопоставимые с решением Ж.В.Буссинеска. Влияние глубины расчетной области оказывает прямо пропорциональное влияние на величину осадки до определенной глубины, затем зависимость глубина-осадка получает гиперболический характер развития и на некоторых глубинах значения осадки асимптотически стремятся к постоянной величине. На величину осадки также влияет ширина расчетной области. Данные численных расчетов показывают сильную взаимосвязь между осадками и размером фундамента.

Дальнейшее сопоставление результатов аналитических и численных расчетов для плитных фундаментов резервуаров позволило выявить существенные расхождения, обусловленные учетом нереалистичного значения глубины сжимаемой толщи H_c согласно нормативной методике. Практика строительства и эксплуатации резервуаров подтверждает высокую погрешность прогнозирования осадок плитных фундаментов большой площади [4, 5]. Результаты теоретических расчетов находят подкрепление и в полевых испытаниях. Так по данным экспериментальных исследований [6] было установлено, что активная область, участвующая в деформациях основания, составляла $2b \dots 5b$, где b – характерный размер фундамента.

Проблема нереалистичных значений глубины сжимаемой толщи H_c для плитных фундаментов большой площади усугубляется необходимостью определения объема инженерно-геологических исследований на основе величины H_c . В европейской практике размер области инженерно-геологических изысканий определяется Приложением В.3 Еврокода 7 [7], который регламентирует минимальную глубину буровых работ: для ленточных фундаментов не менее $3b$, но не менее 6 м; для плитных фундаментов не менее 1.5b; для плитно-свайного фундамента не менее 1.0b. Таким образом, при характерном размере плитного фундамента резервуара 114 м, глубина буровых работ должна была бы составить 171 м (или до кровли твердых скальных пород). В соответствии с СП 446.1325800.2019 (п. 7.1.9) «Глубина выработок должна быть не менее чем на 2 м больше суммы предполагаемой глубины фундамента и минимальной глубины сжимаемой толщи. Минимальную глубину сжимаемой толщи следует принимать в соответствии с СП 22.13330.2016 (п. 5.6.41)», согласно которому глубина сжимаемой толщи должна быть не меньше H_{min} , равного $b/2$ при $b \leq 10$ м, $(4 + 0.1b)$ при $10 < b \leq 60$ м, и 10 м при $b > 60$ м. Столь значительное сокращение глубины опробывания предопределяет недооценку осадок плитных фундаментов большой площади.

Таким образом, действующие нормы в РФ ограничивают возможности по повышению достоверности расчетов осадок. Инженеры-геологи не имеют нормативных оснований для изысканий глубже H_c , следовательно, нет исходных данных для реалистичных расчетов. Проектировщики не имеют нормативных оснований для обоснования реалистичной величины глубины сжимаемой толщи в аналитических расчетах (с учетом специфики плитных фундаментов большой площади), а также репрезентативной глубины расчетной области в численных расчетах.

Выводы

1. Следует различать понятия глубины сжимаемой толщи H_c в рамках нормативной аналитической методики расчета (СП 22.13330, СП 23.13330), и глубины расчетной области в рамках численных расчетов.

2. В отдельных случаях наблюдается недооценка требуемой глубины сжимаемой толщи согласно СП 22.13330.2016 (п. 5.6.41), что вызывает недооценку требуемой глубины инженерно-геологических выработок согласно СП 446.1325800.2019 (п. 7.1.9), и влечет недостаток исходных данных для проведения реалистичных расчётов осадок.

3. Имеются предпосылки к системной недооценке осадок плитных фундаментов большой площади.

Список литературы

1. Королёв В. А., Трофимов В. Т. Инженерная геология: история, методология и номологические основы. — КДУ Москва, 2016. — 292 с.
2. С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев Механика грунтов, основания и фундаменты // Издательство АСВ, 1994, С118-126.
3. Rafael F. Truty O.A. The Hardening Soil Model - A Practical Guidebook. Edition 2018. Zace Services Ltd., Lausanne, Switzerland, 2018.
4. Ю.К. Иванов, П.А. Коновалов, Р.А. Мангушев, С.Н. Сотников Основания и фундаменты резервуаров // Стройиздат, 1989. – 223с.
5. Л.А. Димов, И.Л. Димов, Е.М. Богущевская Осадка и крен крупного резервуара для нефти при гидравлическом испытании // ОФМГ, №3, 2017. DOI 10.1007/s11204-017-9457-1
6. В.Б. Швец, Г.Б. Кульчитский Экспериментальные исследования глубины сжимаемой толщи основания под подошвой штампов // ОФМГ, №1, 1970, С4.
7. EN 1997-2 Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing.

BEARING SOIL STRATA EVALUATION FOR DEPTH OF GEOLOGY INVESTIGATION AND FINITE ELEMENT ANALYSIS

K.V.Kurguzov¹, A.V. Deyneko², I.K.Fomenko³

Sergo Ordzhonikidze Russian state university for geological prospecting (MGRI),

¹kurqusov@yandex.ru; ³ifolga@gmail.com

²«SigmaTau” deyneko@sigma-tau.yxz

Abstract. The relationship between depth of stresses under foundations was analyzed in this article. Also, interconnection between thickness of foundation it's flexibility and the level of settlement has been analyzed. It was shown that the size of finite element model strongly influences the final results of soil settlement. Currently used Russian standards (RS) which regulates the calculation method of the depth of stressed and deformed soil layer have not been reviewed and changed for a long period of time. RS methods not taking in account the specifics of finite element methodology. All these leads to incorrect evaluation of foundation settlements, especially this issue concerns raft foundations. Besides, the quantity and quality of engineering surveys depends on the evaluation of the depth of soil deformations and stress. Incorrect evaluation of the deformed layer leads to insufficient quantity of surveys.

Key words: depth of soil deformations, foundation settlements, quantity of geology surveys, finite-element calculation.

УДК 502/504; 624.131

НЕОБХОДИМОСТЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В.В. Рукавицын¹, В.Н. Экзарьян

ФГБОУ ВПО Российский Государственный геологоразведочный университет им. С.

Орджоникидзе (МГРИ), ¹vadichruk@list.ru