

Экспериментальные методы изучения грунтов при инженерно-геологических и геокриологических исследованиях. Состояние вопроса

Вознесенский Е.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н, г. Москва, *eugene@geol.msu.ru*

Брушков А.В.

Заведующий кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н, г. Москва, *brouchkov@geol.msu.ru*

Ключевые слова: методология испытаний грунтов; инженерные изыскания; комплексирование методов испытаний грунтов; мерзлые грунты; засоленные грунты.

Аннотация

Статья представляет собой расширенный вариант докладов на конференциях «Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе» и «Современные методы полевых и лабораторных исследований грунтов» в марте – апреле 2014 г. Характеризуя современное состояние дел в области экспериментальных исследований грунтов, авторы отмечают, что основы методологии их изучения не претерпели за последние десятилетия каких-либо кардинальных изменений. Вместе с тем наряду с развитием и спектра, и технических возможностей методов испытаний грунтов в практике инженерных изысканий наблюдаются и некоторые негативные тенденции – недостаточность определений необходимых показателей свойств грунтов и использование недоработанных нормативно-методических документов для добровольного применения. Рассмотрены основные направления развития методов экспериментальных исследований грунтов на современном этапе.

Experimental methods of soil testing in geotechnical and permafrost investigations. Present state

Voznesensky E.A.

Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology of the Geology Faculty of the Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geology and Mineralogy), *eugene@geol.msu.ru*

Brouchkov A.V.

Head of the Geocryology Department of the Geology Faculty of the Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geology and Mineralogy), Moscow, *brouchkov@geol.msu.ru*

Key words: soil testing methodology; geotechnical investigations; integration of soil testing methods; frozen soils; saline soils.

Abstract

The paper is an extended version of presentations at the conferences of «Current development of academician E.M. Sergeev's scientific ideas» and «Present laboratory and field methods of soil testing» in March – April 2014. Characterizing the current state of experimental soil testing the authors note that there have been no radical changes in the soil study methodology over the last decades. However along with development of both the spectrum and technical possibilities of soil testing methods some negative tendencies such as unscrupulous approach to the necessary

tests and usage of poorly developed standards of voluntary application are observed in the site investigation practice. The primary ways of current development of experimental soil research methods are discussed.

О преемственности в методологии изучения грунтов

Академик Дмитрий Сергеевич Лихачев писал: «Человеческая культура в целом не только обладает памятью, но это память по преимуществу»¹. Наука, безусловно, является частью нашей культуры, и именно память науки обеспечивает то, что мы называем преемственностью в ней, – мы помним важнейшие идеи наших предшественников, в значительной мере основываемся на них и в своих научных поисках. И помним мы их тем лучше (и, следовательно, тем отчетливее преемственность и развитие идей великих предшественников проступают в наших научных построениях), чем ближе наши позиции и понимание природы вещей к подходам наших учителей. То есть, попросту говоря, когда мы согласны с ними в чем-то главном. В противном случае мы вспоминаем о них только в рамках истории науки или чтобы подчеркнуть отличие «современных» – подразумевая «правильных» – взглядов на проблему от «устаревших», т.е. ошибочных. И только в тех временных точках, где под грузом накопленных и признанных большинством научного сообщества фактов меняется основа теоретических построений науки, или ее «парадигма», эти самые устаревшие воззрения поворачиваются некой неожиданной гранью и вдруг снова оказываются «единственно» правильными.

Если говорить о развитии идей академика Е.М. Сергеева по разным проблемам инженерной геологии, то мы согласны с ним в чем-то принципиальном, основополагающем, мы стоим на тех же или очень близких теоретических и методологических позициях. И в самом деле, основы методологии изучения грунтов не претерпели, насколько мы можем судить, оглядываясь даже на 70–80 лет назад, каких-либо важных изменений. Теоретическим базисом этих исследований был и остается генетический подход, заложенный в основной закон грунтоведения: «Состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, постгенетическими преобразованиями и пространственным положением», хотя Е.М. Сергеев и сформулировал его несколько иными словами.

Сохранились и основные методические принципы экспериментального изучения грунтов:

- 1) принцип цели, определяющий выбор метода исследования в зависимости от назначения использования конечного результата;
- 2) принцип воспроизводимости, определяющий возможность проверки любого полученного экспериментального результата и требующий строгого определения и описания условий проведения испытаний и их независимости от оператора и места проведения исследования;
- 3) принцип достоверности, определяющий необходимую точность измерения контролируемых величин и статистическую сходимость получаемых данных с учетом вероятностной природы их истинных значений;
- 4) принцип адекватности моделирования исследуемого процесса в лабораторном или натурном эксперименте – ибо, если вдуматься, то в основе большинства методов экспериментального изучения грунтов лежит моделирование воздействия на них в определенных граничных условиях.

А что же изменилось в экспериментальном изучении грунтов и почему? Прежде всего изменилась, конечно, интерпретация некоторых наблюдаемых в эксперименте явлений, проступили дополнительные детали. Мы не стали умнее, просто нам стал

¹ Лихачев Д.С. Письма о добром и прекрасном / Под ред. Г.А. Дубровской. М.: Дет. лит., 1985.

доступен гораздо больший объем информации, накопленный за эти годы. Кроме того, у нас появилась возможность весьма эффективно манипулировать этим объемом с помощью современной вычислительной техники, проводить сопоставления и анализировать огромные выборки данных. Это, опять же, не делает нас умнее – это просто новый инструмент исследования, дающий нам преимущество перед исследователями 70–80-х годов прошлого столетия.

Бессмыслицы и смысл изучения свойств грунтов при инженерных изысканиях

Накопленный опыт исследований грунтов вошел в многочисленные методические разработки и стандарты, регламентирующие, т.е. упрощающие, и выбор метода исследования, и процедуру проведения испытаний, сводя их к пошаговому, по сути, описанию простых правил при проведении инженерных изысканий для строительства. Решение более сложных и специальных задач, не предусмотренных нормативно-методической базой, подталкивало и развитие методов исследования, и создание новой аппаратуры для их реализации, и поисковые научные работы.

Однако в связи с изменением законодательной базы обеспечения безопасности строительства стартовала и в настоящее время продолжается так называемая актуализация нормативно-методических документов. Этот процесс приводит главным образом к их ухудшению и бессмысливанию. Мало того, стали появляться разнообразные стандарты организаций, построенные с явными нарушениями не только основных методологических принципов исследования грунтов, но и основного закона грунтоведения. Беда заключается в том, что формально они не противоречат документам более высокого уровня, например государственным или межгосударственным стандартам, но, по сути своей, являются попросту вредными для практики инженерно-геологических работ и безопасности сооружений. Причины этого понятны любому думающему человеку, но их рассмотрение увело бы нас далеко от темы данной статьи.

Вообще, современная практика экспериментальных исследований грунтов при инженерно-геологических изысканиях и использования их результатов в России приводит к парадоксальному выводу об их ненужности. Укажем лишь на три хорошо известных факта.

1. Мы отлично знаем, что большое количество данных о составе и свойствах грунтов в ходе инженерно-геологических работ не получено экспериментально, а выдуманно – «нарисовано» (так же как и часть скважин и горных выработок). Это очевидно, потому что ряд лабораторий выдает огромное количество данных еще до того, как испытания могут быть даже теоретически завершены в соответствии с действующими стандартами.

2. Хорошо известно, что проектировщики часто берут для расчетов не экспериментально полученные показатели свойств грунтов, а просто «подходящие» величины из таблиц нормативных документов. И хорошо еще, если они хотя бы понимают, что это за показатели.

3. В последние годы в разных городах официально – с разрезанием ленточки – в эксплуатацию вводились весьма ответственные сооружения еще до того, как были завершены изыскания. А это значит, что проектирование и строительство предшествовали проведению изысканий.

Нарушается ли во всех этих случаях федеральный закон «О безопасности зданий и сооружений»? Безусловно. Означает ли это, что устойчивость и безопасность таких сооружений находятся под угрозой? Самое смешное, что совсем необязательно – на это и расчет. Что же тогда обеспечивает их устойчивость? Многократный запас прочности, заложенный при проектировании, который обеспечивается многократным же удорожанием сооружения.

Здесь уместно вспомнить прекрасных зодчих далекого прошлого, которые построили дожившие до наших дней дворцы и храмы, пользуясь исключительно опытом своих

учителей и интуицией – без экспериментального определения свойств грунтов. Даже если принять во внимание, что до наших дней дошли только «удачные» варианты их решений, все равно уместен вопрос: а стали ли мы умнее, имея инструмент для грамотного проектирования и не пользуясь им? Ответ очевиден. Не говоря уже об облике современных зданий...

Так в чем же сегодня смысл экспериментального определения свойств грунтов для целей проектирования сооружений? Ответ также очевиден – в обеспечении безопасности сооружений при минимуме затрат. А не залитые в бетон средства могут быть использованы для других целей, в том числе и благородных. С таким подходом мы часто сталкиваемся в тех случаях, когда проектировщиком или инвестором строительства выступает дорожающая своей репутацией зарубежная компания или частное лицо. Вот тогда сразу возникает интерес и к точности определения всех характеристик, и к выбору оптимального – пусть и нестандартного – метода исследования, и к реальным срокам экспериментального изучения грунтов.

Здесь уместно также отметить, что некачественные экспериментальные определения ключевых характеристик состава и свойств грунтов или выбор неадекватного в конкретной ситуации метода их определения катастрофическим образом влияют на результаты прогноза развития современных геологических процессов даже с помощью самых современных моделей на базе численных методов. Этим моделям также нужны корректные данные для получения осмысленных результатов.

Современные предпосылки развития методов изучения состава и свойств грунтов

Сегодня человечество ставит перед собой множество сложных и совсем нестандартных инженерных задач, часто идя на риск, оправданность которого зависит от надежности полученного решения. И конечно, это решение не может не отразиться на развитии экспериментальных методов исследований грунтов. Среди основных современных тенденций здесь следует отметить следующие.

1. Сложность современного полевого испытательного оборудования повышает стоимость работ не только из-за его цены, но и из-за необходимости использования высококвалифицированного персонала для выполнения и обработки данных испытаний. Это привело к комплексированию разных видов экспериментальных исследований – совмещению различных измерительных устройств, например в пределах одного зонда при статическом зондировании (оснащение его излучателями и приемниками сейсмических волн, системой измерения электропроводности и др.), прессиометрии (использовании сейсмодилатометров) и др. Эти же причины в свое время обусловили оснащение дополнительными инструментами (системами измерения порового давления и полных напряжений, лопастями для вращательного среза) и самозабуривающихся прессиометров.

2. Все больше становится интерес к получению (как правило, на основе обоснованных корреляционных взаимосвязей) возможно большего количества характеристик грунтов на основании нескольких измеренных величин. Таковы подходы к обработке данных статического зондирования (получению потенциала разжижения, модулей деформации – статических и динамических, недренированной прочности, степени переуплотнения, степени плотности, др.), дилатометрии. Есть случаи, когда такие зависимости вводятся в стандарты организаций и начинают необоснованно использоваться на практике. Следует помнить, что все подобные зависимости являются территориально специфичными, поскольку они получены в рамках обработки выборки для одного или максимум нескольких стратиграфо-генетических комплексов отложений и не могут использоваться за ее пределами без дополнительного обоснования. А дополнительное обоснование – это дополнительная экспериментальная совокупность. Так, не могут зависимости, полученные для грунтов четвертичного комплекса, применяться, например, по отношению к юрским глинам, и наоборот. Иначе это было бы прямым

нарушением основного закона грунтоведения. Не следует также пытаться получить какие-то прямо определяемые характеристики грунта из корреляционных соотношений. Это бессмысленное занятие, снижающее надежность определения. Такие зависимости могут позволить получать лишь некий «коридор» наиболее вероятных значений, который целесообразно учитывать при анализе и интерпретации полевых и лабораторных данных.

3. Ведется разработка методик и технических средств (автоматических СРТ-модулей, донных пьезометров, пенетраторов, совмещенных SPT-СРТ-модулей и др.) для изучения грунтов в условиях подводного залегания, в том числе для глубин воды до 6 км. Дело здесь главным образом в том, что максимальное число показателей свойств субаквальных грунтов, за исключением разве что их минерального состава, дисперсности и некоторых классификационных характеристик, необходимо получать в подводных условиях, поскольку извлечение проб на поверхность может вести к резкому изменению сложения грунтов и их исследуемых характеристик на неизвестные, возможно весьма значимые, величины.

4. Расширяются технические возможности и разрешение современной испытательной аппаратуры. Мы сегодня имеем технические средства для электрического измерения таких важнейших параметров, как сила и перемещение, с фантастической чувствительностью (до долей паскаля и сотых долей микрона), избыточной для потребностей изучения показателей свойств грунтов. Но созданные на базе этих средств устройства (например, датчики локальных деформаций и точечного измерения порового давления в образце) позволяют перейти к оценке деформируемости оснований в гораздо более реалистичных диапазонах малых деформаций, практически развивающихся под хорошо спроектированными фундаментами ответственных сооружений. Тем самым достигается значительное снижение стоимости сооружения.

В расчет оснований в некоторых моделях вводится модуль при малых деформациях, когда реально встает задача надежного измерения относительных деформаций величиной не более 10^{-5} . Показано, что локальные деформации, измеряемые непосредственно на «теле» образца, существенно отличаются от «общих», фиксируемых внешней измерительной системой, за счет неравномерного деформирования образца по центру и у торцов, неидеальной параллельности его торцов, деформируемости самой измерительной системы и пр. При таком подходе фиксируется иное соотношение между обратимыми и остаточными деформациями, отчетливо прослеживается нелинейность деформаций при сколь угодно малых их величинах, а также отмечаются резкие различия значений порового давления, измеренных в центральной части образца и на его торцах. Все это, очевидно, приводит к иным величинам показателей физико-механических свойств грунтов.

Весьма перспективными представляются также исследования поведения грунтов в области предкритических состояний, когда разрушение еще не реализуется, но становится возможным. Описание закономерностей этого поведения – важная и актуальная инженерная задача, также требующая высокой точности всех измерений.

Целый ряд совершенно особых и сложных задач стоит сегодня и в области экспериментальных исследований мерзлых грунтов.

Экспериментальные методы исследований мерзлых грунтов

Современные исследования мерзлых грунтов в основном развиваются в плане совершенствования автоматизации измерений, позволяющей проводить одновременно большое количество испытаний. В этом плане достигнуты некоторые успехи, дающие возможность лабораториям выполнять испытания десятков и в некоторых случаях сотен образцов в относительно короткие сроки, обычно требуемые при проведении инженерно-геологических изысканий. При этом происходит мало значительных усовершенствований

самого экспериментального оборудования – более того, наблюдается естественная тенденция к росту применения экспресс-методов, т.е. к упрощению методик.

Вместе с тем разработка и усовершенствование методов прогноза устойчивости инженерных сооружений и развития криогенных процессов, проектирование сложных и ответственных сооружений в Арктике требуют применения универсальных и информативных методов испытаний – таких, например, как трехосные, которые получили развитие за рубежом, где некоторые компании выпускают современные автоматизированные трехосные установки, специально спроектированные для работы с мерзлыми грунтами. В России же экспериментальное оборудование для трехосных испытаний мерзлых грунтов, несмотря на то что оно появилось достаточно давно, фактически не получило широкого распространения.

В практике изысканий до сих пор преобладает определение физических характеристик мерзлых грунтов, а для расчетов устойчивости инженерных сооружений проектировщиками используются рекомендуемые приложения к нормативным документам, что в некоторых случаях приводит к серьезным деформациям сооружений в криолитозоне. Редко проводятся, например, свайные испытания, позволяющие определить несущую способность фундаментов с большей достоверностью. При этом для некоторых типов мерзлых пород, например засоленных, несущая способность фундаментов по результатам испытаний может оказаться заметно ниже рекомендованных для этих условий величин из таблиц СНиП.

Важными особенностями поведения под нагрузками мерзлых грунтов (в частности, их засоленных и высокольдистых разновидностей, распространенных в осваиваемых районах Арктического побережья) являются их сравнительно высокие деформируемость и способность к длительным деформациям, в связи с чем необходима оценка устойчивости возводимых на них инженерных сооружений по деформациям. При этом для оснований из мерзлых грунтов, требующих проведения расчетов по деформациям (в некоторых случаях по температурным условиям) СНиП рекомендует нормативные характеристики прочности под подошвой фундамента или на сдвиг по поверхности смерзания, а экспериментальные определения модуля деформации не проводятся, что приводит к ошибкам при проектировании и деформированию инженерных сооружений. Как известно, число деформированных зданий в криолитозоне неоправданно велико и достигает 40% и более от общего их числа.

Недостаточно проводится определений и теплофизических характеристик мерзлых пород, особенно верхних горизонтов, в значительной степени определяющих температурный режим грунтов. В результате проектировщики оказываются лишенными возможности его оценки и прогноза, обязательного при нарушениях земной поверхности, характерных при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

В последнее время появились эффективные методы прогноза опасных криогенных процессов, требующие, однако, определения особых характеристик, не определявшихся ранее широко, – таких как коэффициенты температурного расширения, вязкости или размываемости и др. Фактически исследования этих характеристик еще не покинули стены лабораторий, и в этом плане требуется как совершенствование нормативных и методических документов, так и создание соответствующего оборудования.

Отдельной и весьма важной темой является применение дистанционных методов и их обоснование. В частности, электроразведка на мерзлоте, уже хорошо себя показавшая в различных районах криолитозоны, и ее разновидности, такие как, например, георадар, требуют методического обеспечения в части определения характеристик электропроводности и других геофизических свойств мерзлых грунтов.

Особенности полевых исследований

Исследования состава, строения и свойств мерзлых грунтов, как известно, должны основываться на историко-геологических представлениях, что всегда подчеркивал Е.М. Сергеев. Мерзлые грунты рассматриваются как осадочные образования, сформировавшиеся в различных структурно-тектонических, ландшафтно-климатических и мерзлотных условиях и изменяющиеся под влиянием геологических процессов и техногенного воздействия. К сожалению, недостаточный анализ общих геологических условий является одной из причин неэффективности инженерных изысканий в криолитозоне.

При определении расчетных показателей свойств мерзлых пород важно также соответствие результатов лабораторных и полевых испытаний. Последние, как правило, являются приоритетным средством определения, поскольку имитируют в реальном масштабе пространства (иногда и времени) взаимодействие сооружений с мерзлыми породами. При правильном применении выбранных методов наблюдается удовлетворительная сходимости результатов полевых и лабораторных определений механических характеристик мерзлых грунтов. Правда, в ряде случаев возникает заметное расхождение с рекомендациями СНиП. Вместе с тем необходимо совершенствование методов прогноза механической устойчивости оснований, в том числе с учетом неоднородности механических напряжений и осадок по глубине.

Изучение состава, строения и физических свойств мерзлых грунтов

Исследования состава, строения и физических свойств мерзлых грунтов проводятся как традиционными методами, так и методами, разработанными сравнительно недавно. Так, одной из проблем является определение засоленности, которая находится тремя способами – титрометрическим, по сухому остатку и по электрическому сопротивлению раствора. Все эти методы имеют удовлетворительную и близкую друг к другу точность, однако не лишены недостатков. Титрометрический метод трудоемок и может давать ошибки, связанные с недостаточным очищением вытяжек от коллоидов. Фильтрация вытяжек иногда занимает не один день, а при неудовлетворительном ее выполнении является причиной завышения получаемых значений засоленности при использовании метода сухого остатка. При условии что химический состав вытяжки известен, удобен метод электрических сопротивлений. Засоленность по данным изучения водных вытяжек, как правило, выше на 10–30% за счет нарушения химического равновесия порового раствора при приготовлении вытяжки. К сожалению, инженерные изыскания в районах с широким распространением засоленных мерзлых грунтов, например на севере Западной Сибири, часто страдают недостаточным количеством определений.

Для определения содержания незамерзшей воды можно рекомендовать использование криоскопического метода, который одновременно прост в техническом исполнении и достаточно обоснован теоретически.

Важность исследований пучинистых свойств грунтов очевидна. Для этого разработаны различные конструкции приборов, но они мало используются в практике изысканий.

Изучение механических свойств мерзлых грунтов

В практике инженерных изысканий допускаются нарушения при отборе и хранении образцов, в том числе связанные с отсутствием необходимого оборудования и материалов. Редко контролируются целостность образцов и потеря влажности (льдистости), что приводит к неточным результатам.

В отношении деформирования и разрушения мерзлые дисперсные грунты, в частности засоленные и сильнольдистые, изучение которых сегодня особенно актуально, обладают рядом особенностей: затухающим характером деформирования, увеличением

объема при одноосном сжатии с началом деформирования, наличием переломов на логарифмических кривых деформаций и изменением кривизны реологических кривых, (обусловленных изменением характера деформирования), значительным снижением прочности во времени.

В понятие «прочность мерзлых грунтов» вкладывают различный смысл в зависимости от решаемой задачи. Может использоваться как критерий собственно разрушения, так и критерий избыточной деформации, что связано с особенностями поведения мерзлых грунтов под нагрузкой. Принято считать, что мерзлые породы при больших напряжениях в большинстве случаев разрушаются, что фиксируется увеличением скоростей деформирования при постоянной нагрузке. Однако для многих из них характерно вязкое и (или) пластичное «разрушение» с большими деформациями и сплющиванием образца без нарушения его сплошности. Причем длительность стадии неустановившейся ползучести для мерзлых пород может составлять сотни и даже тысячи часов. Поэтому в понятие прочности приходится вкладывать и избыточную деформацию, например значение 0,2. Учитывая затухающий характер деформирования, основной характеристикой для оценки устойчивости сооружений можно считать предел допустимой ползучести (предел ползучести), определяемый либо по равномерной скорости ползучести, либо по суммарной деформации, которая допустима для данного сооружения. При использовании этой характеристики следует учитывать, однако, что она зависит от конкретного сооружения. Необходимо иметь в виду, что, по мнению многих исследователей, потери прочности грунта на стадии затухающей ползучести все-таки не происходит. Поэтому целесообразно проводить сравнение полученной таким образом условной прочности с ее значениями, определенными по другим критериям, таким как изменение характера деформирования, а также по данным других испытаний (например, сдвиговых), в которых разрушение более очевидно. Определение момента потери прочности возможно и на основании некоторых других признаков. Так, изохронные кривые деформирования в логарифмических координатах для мерзлых пород могут иметь переломы, которые связаны с изменением характера деформируемости грунта. Предел затухающей ползучести может быть определен и по реологическим кривым, если их удастся построить для установившихся скоростей деформирования.

Использование новых представлений о разрушении, например кинетической теории прочности, полезно для объяснения экспериментальных данных по мерзлым породам. На первый взгляд, уравнение кинетической теории более приемлемо по физическому смыслу, чем, например, уравнение С.С. Вялова. Известны довольно резкие оценки относительно использования уравнения кинетической теории для практических расчетов. В частности, Г.П. Черепанов и другие, признавая, что кинетические формулы позволяют объяснить большинство экспериментальных данных, отмечал, что они требуют слишком высокой точности определения эмпирических постоянных. Для мерзлых грунтов, однако, нельзя не отметить физическую простоту исходных предпосылок кинетической теории и некоторые заслуживающие внимания закономерности, выявляющиеся при анализе ее с позиций экспериментального материала по механике мерзлых грунтов.

Кратко остановимся на некоторых широко распространенных методах испытаний.

Метод шарикового штампа считается применимым для всех разновидностей мерзлых пород с массивной, мелкосетчатой и тонкослоистой криогенной текстурой в диапазоне температур от минус 1 до минус 10 °С. При этом используется наиболее подходящий для мерзлых пород диаметр штампа, равный 2,6 см. Данный метод получил сравнительно широкое распространение из-за его простоты и дешевизны используемого оборудования, однако он отличается недостаточной точностью, особенно при испытаниях образцов с выраженными криогенными текстурами. Важно соблюдать соотношения осадок штампа для различных видов грунтов. Часто для расчетов эквивалентного сцепления по данным 8-часовых испытаний используется переходный коэффициент,

величину которого необходимо уточнять при исследованиях в различных районах. Длительность испытаний для получения достоверной конечной осадки штампа иногда достигает 15–40 и более суток.

Одноосное сжатие является важным видом испытаний мерзлых грунтов, но применяется недостаточно широко из-за его трудоемкости. Здесь предъявляются строгие требования к оборудованию, которое должно обеспечивать нагрузку на образец. Преимущество этого метода заключается в том, что испытание грунта происходит в условиях, близких к обстановке в основании здания или сооружения. Нагрузки не возрастают ступенями после условной стабилизации, а остаются постоянными в течение всего времени опыта. При этом вместо 3–6 образцов-близнецов, используемых для соблюдения условия повторности и правильности статистической обработки результатов, испытывается серия образцов в количестве 10–20 штук. Достоинство этого метода для мерзлых грунтов заключается еще и в том, что для многих их разновидностей, например засоленных и высокольдистых, может быть нехарактерно течение под нагрузкой с постоянной или прогрессирующей скоростью, по крайней мере, до достижения ими деформаций размером 20%. В связи с этим результат испытаний ступенчатыми нагрузками может зависеть от величины ступени, поскольку в качестве критерия разрушения в этом случае приходится использовать величину деформации 20% (или другую). Испытания продолжаются до нескольких суток или недель, а в некоторых случаях более двух месяцев. Для сохранения постоянства напряжения в течение всего процесса тестирования нагрузка увеличивается пропорционально росту поперечного сечения образца грунта по мере его деформирования. При этом редко учитывается дилатансия.

Метод определения величины сопротивления сдвигу по поверхности смерзания достаточно трудоемок и сложен в проведении. В данном случае применяется ступенчатое нагружение. Ступени выдерживаются или в течение суток, или до затухания деформаций. Интересно, что тип прибора и даже приложение нормальной нагрузки из-за слабого уплотнения мерзлых грунтов в некоторых случаях слабо влияют на результаты. Сопротивление сдвигу при смерзании, получаемое на лабораторных приборах, обычно является несколько завышенным по сравнению с результатами испытаний натуральных свай. Возможно, это вызвано влиянием сил бокового обжатия при вмораживании моделей свай на лабораторных приборах. Определение прочности на сдвиг до сих пор выполняется на приборах конструкции Гидропроекта или аналогичных им. Для исключения перекосов образцов по мере их деформирования применяется сдвиг нижней части образца при приложении сверху нормальной к поверхности нагрузки, задаваемой динамометром.

Компрессионный метод применим для испытаний мерзлых грунтов на сжимаемость. При этом необходимо учитывать некоторые особенности этих грунтов. Из-за повышенной пластичности и сжимаемости некоторых их типов продолжительность опытов может достигать четырех и более месяцев, а это, в свою очередь, предъявляет особые требования к коррозионной защите деталей прибора и к поддержанию температуры.

Испытания свай являются крайне необходимыми из-за недостаточной точности лабораторных испытаний и важности определения несущей способности фундаментов. Предварительно площадка испытаний должна разбуриваться до глубины не менее 10 м с документацией скважин и опробованием грунтов. Продолжительность каждой ступени нагружения может составлять 24 часа. Или же ступень выдерживается до условной стабилизации осадки.

Трехосные испытания являются наиболее предпочтительными, однако они до сих пор не получили должного практического развития, в том числе и при инженерных изысканиях, по крайней мере в России.

Исследования особенностей деформирования мерзлых грунтов и влияния различных факторов на их прочность в последнее время позволили выработать ряд

частных рекомендаций для проведения механических испытаний и оценки несущей способности этих грунтов. В их числе:

1) рекомендованный ГОСТ метод испытаний на одноосное сжатие ступенчатыми нагрузками не позволяет определить несущую способность глинистых засоленных пород из-за затухающего характера деформаций – в этом случае необходимо проведение испытаний на ползучесть постоянными нагрузками;

2) для оценки деформационных характеристик продолжительность испытаний должна составлять не менее 3 суток – только в этом случае параметры аппроксимации можно использовать для прогноза длительных деформаций;

3) из-за высокой сжимаемости и деформируемости засоленные и сильнольдистые мерзлые породы в большинстве случаев относятся к категории пластичномерзлых, что предполагает проведение расчета по деформациям при проектировании сооружений на таких основаниях.

В заключение хотелось бы ещё раз подчеркнуть, что в целом механические испытания мерзлых грунтов в сегодняшней практике инженерно-геологических изысканий проводятся в недостаточном объеме, что является одной из основных причин деформаций сооружений, возводимых в криолитозоне.