

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ОБСЕРВАЦИОННОГО МЕТОДА В ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ¹

Профессор, доктор гражданского строительства РАЛЬФ Б. ПЕК²

ПРЕДИСЛОВИЕ К АРМЯНСКОМУ И РУССКОМУ ПЕРЕВОДАМ

При подготовке текста лекции по обсервационному методу в прикладной механике грунтов я заметил, что одно из первых его применений, почти классическое по своей концепции и осуществлению, было описано профессором Графтио в связи с основаниями гидроэлектрической станции Свирь III (Graftio 1936). В этот пример оказались включенными все наиболее существенные особенности, необходимые для успешного применения обсервационной процедуры.

Примеры, на которые я ссылаюсь в настоящей лекции, взяты исключительно из североамериканской практики. Несомненно, однако, что в практике других частей мира имеется много поучительных примеров, включая и новые подходы и технику. Бурное развитие прикладной механики грунтов в СССР неизбежно сопровождалось признанием значения и ценности обсервационной процедуры.

Я хочу надеяться, что перевод настоящей лекции ознакомит инженеров в СССР с некоторым опытом Северной Америки и сможет послужить побудительным мотивом для подобных же оценок и обобщений, вытекающих из большого опыта Советской страны. Поэтому я рад возможности опубликовать статью на русском и армянском языках.

Ральф Б. Пек

Реферат. Обсервационный метод³, который был так успешно применен Терцаги в прикладной механике грунтов, часто позволяет достичь наибольшей экономии и уверенности в безопасности, если только проект может быть видоизменен в процессе строительства. Излагаются наиболее важные особенности метода и даются примеры его применения.

¹ Девятая Рекиновская лекция, прочитанная проф. Р. В. Пеком 12 февраля 1969 г. перед Британским геотехническим обществом, (R. B. Peck, Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics, Géotechnique, 1969, 19(2): 171—187). Перевод с английского проф. Г. И. Тер-Степаняна.

² Профессор фундаментостроения факультета гражданского строительства Иллинойского университета в Урбане, шт. Иллинойс, США; президент Международного общества по механике грунтов и фундаментостроению.

³ В русском переводе книги Терцаги и Пека (1958) применен термин «метод наблюдений»; термин «обсервационный метод» точнее отражает сущность вопроса. Прим. переводчика.

Метод не лишен ловушек и ограничений. Он не должен применяться, если только проектировщик не имеет в виду плана действий для каждой неблагоприятной ситуации, которая может обнаружиться наблюдениями. Наблюдения должны быть надежными, должны обнаруживать важные явления и должны сообщаться так, чтобы вызывать немедленные действия. Серьезным элементом неопределенности является возможность прогрессирующего разрушения.

Несмотря на эти ограничения, возможность экономии времени и средств без принесения в жертву безопасности так велика, что каждый инженер, который имеет дело с прикладной механикой грунтов, должен быть информирован о принципиальных особенностях метода.

ВВЕДЕНИЕ

Обсервационный метод всегда применялся инженерами, работавшими в областях, которые теперь включаются в прикладную механику грунтов, но «обсервационный метод», как термин, имеет специфическое, узко ограниченное значение. В своей полной и окончательной форме обсервационный метод дает четкий и возможно новый подход к проектированию. Я полагаю, что его формулированию и разработке, как систематической процедуры, мы обязаны Карлу Терцаги.

В течение пяти лет, когда писалась «Механика грунтов в инженерной практике», д-р Терцаги и я испытывали большие трудности с разделом С, рассматривавшем вопросы прикладной механики грунтов. Эти трудности явились для нас неприятным сюрпризом, так как наш потребительский интерес к практическим приложениям нашего предмета побуждал полагать, что рассмотрение вопроса о прикладной механике грунтов будет самой легкой частью нашей задачи. Постепенно мы поняли, что огромный опыт Терцаги не привел его сознательно к обдуманной методологии в решении проблем; каждая задача являла собой новую сущность. Действительно, в начале нашего сотрудничества он советовал мне, чтобы каждую новую работу я начинал без предвзятого мнения и что было бы хорошо, если до попыток делать какие-либо интерпретации все факты подверглись строгому расследованию так, как будто механики грунтов не существует.

Работая над книгой, которая должна была содержать последовательный метод атаки на практические проблемы, Терцаги начал осматривательно изучать и размышлять о произвольно развитом им методе. Он делал мало успехов до тех пор, пока не приступил к главе о суффозии и основаниях плотин. Здесь неизбежные недостатки знания подповерхностных условий и их влияния на давление поровой воды привлекли его внимание к необходимости существенного элемента эмпиризма в проектировании и он понял, что общим во всех его работах был глухо проявлявшийся интерес к наблюдениям. Тогда он быстро составил свою концепцию, и в 1945 г. написал в одной из версий введения к книге:

«При осуществлении таких работ, как крупные фундаменты, туннели, выемки или земляные плотины, много усилий и труда затрачивается лишь на установление грубо приближенных значений физических констант, которые входят в уравнения. Остаются неизвестными многие переменные, как, например, степень непрерывности имеющих значение пластов или условия давления в воде, содержащейся в грунте. Поэтому результаты расчетов являются не более, чем рабочими гипотезами, которые должны быть подтверждены или видоизменены в процессе строительства,

«В прошлом применялось только два метода для борьбы с неизбежными неопределенностями: или принять избыточный коэффициент безопасности, или же сделать допущения в соответствии с общим, средним опытом. Обычно не подозревали, что проектировщик, который применяет последнюю процедуру, на самом деле рискует. Между тем, вследствие широкого применения этого метода, не проходило года без нескольких крупных аварий. Это не только простое совпадение, что большинство разрушений было вызвано непредвиденным действием воды, так как поведение воды в большей мере, чем что либо другое, зависит от остающихся неизвестными второстепенных геологических деталей.

«Первый метод расточителен; второй опасен. Механика грунтов, как мы ее сегодня понимаем, дает третий метод, который может быть назван экспериментальным методом. Процедура следующая: базируются проектирование на той информации, которая может быть получена. Составьте подробную опись всех возможных различий между действительностью и допущениями. Затем вычислите, на основе первоначальных допущений различные величины, которые могут быть измерены в поле. Например, если было сделано допущение относительно давления в воде под сооружением, вычислите давление в различных легко доступных точках, измерьте его и сравните результаты с предсказанным. Или, если было сделано допущение относительно свойств напряжения—деформации—вычислите перемещения, измерьте их и сделайте подобное же сравнение. На основании результатов таких измерений постепенно заполняйте пробелы в знании и, если необходимо, видоизменяйте проект во время строительства.

«Механика грунтов дает нам знания, необходимые для этого метода, «двигаясь, учись»⁴.

Для сокращения объема в опубликованной книге это введение было заменено другим, более коротким. Четкие сопоставимые формулировки по вопросу не делались до 1960 г., когда Бьеррум так замечательно уловил сущность метода работы Терцаги в юбилейном томе (Bjerrum et al., 1960) и когда Терцаги сам уделил внимание этому методу при обсуждении прошлого и будущего механики грунтов (Terzaghi, 1961). Последние формулировки были более полными и детальными, чем цитированное выше.

В руках Терцаги обсервационная процедура привела к значительному и даже эффектному успеху; однако у меня сложилось убеждение, что такое последовательное и успешное применение не делалось опытом многих других инженеров. В настоящей статье исследуется, насколько правильно такое убеждение, и если это так, то понятно почему Терцаги имел такой исключительный успех. Не могут ли быть определены условия успешного применения метода? Не имеются ли условия, при которых обсервационный метод не может или не должен применяться?

По крайней мере, на последний вопрос может быть дан один категорический ответ. Если характер сооружения таков, что проект не может быть изменен во время строительства, то метод неприменим. В остальных случаях он может создать возможность для большой экономии времени или для обеспечения требуемой гарантии полной безопас-

⁴Первоначальный черновик Терцаги был в несколько зашифрованной, сокращенной форме. Я взял на себя смелость отредактировать его заметки в соответствии с процедурой, которой я следовал при подготовке к печати окончательной рукописи книги.

ности. Заслуживает рассмотрения возможность получения этой привлекательной выгоды.

ОБЗОР МЕТОДА

Вкратце, полное применение метода включает в себя следующие составные части:

- а) исследования, достаточные для установления, по крайней мере, общей природы, модели и свойств отложения, но не обязательно детально;
- б) оценка наиболее возможных условий и наиболее неблагоприятных мыслимых отклонений от этих условий. В этой оценке геология играет главную роль;
- в) проектирование, основанное на рабочей гипотезе поведения, ожидаемого согласно наиболее вероятным условиям;
- г) выбор величин, которые будут наблюдаться в процессе строительства и вычисление на основе рабочих гипотез ожидаемых значений;
- д) вычисление значений тех же величин при наиболее неблагоприятных условиях, совместимых с имеющимися данными относительно подповерхностных условий;
- е) заблаговременный выбор хода действий или видоизменений проекта для каждого предвидимого значительного отклонения наблюдаемых величин от тех, которые были предсказаны на основе рабочей гипотезы;
- ж) измерение наблюдаемых величин и оценка действительных условий;
- з) видоизменение проекта для следования действительным условиям.

Степень, в которой можно осуществлять все эти этапы, зависит от природы и сложности работ. Мы можем легко провести различие с одной стороны, между строительными объектами, в которых события уже привели к той стадии, когда обсервационный метод является почти единственной надеждой на успех и, с другой—теми, в которых применение метода было задумано с начала строительства. Наиболее обычными являются применения к строительным объектам первого типа.

ПРИМЕНЕНИЯ ТИПА «НАИЛУЧШЕГО ВЫХОДА»

Условия пригодности метода

Всякий раз, когда строительство уже начато и произошли некоторые неожиданные события или когда разрушение или авария угрожают и уже имели место, обсервационный метод может представить единственный удовлетворительный выход из трудностей. При этих обстоятельствах, вероятно, большинство инженеров инстинктивно прибегают к какому-либо наблюдению событий, как-то: изменение осадки или бокового смещения часто подсказывает оздоровительные меры, которые могут оказаться успешными. Однако иногда результаты являются разочаровывающими, а порой губительными, так как наблюдения не составляют части хорошо продуманной программы, включающей в себе все применимые этапы полной процедуры «двигаться, учиться».

Бедный двор в Кливленде

Классический пример применения метода представляет рудный район Рипаблик Стил в Кливленде, Огайо, хорошо известный тем, кто

читал отчет Терцаги в юбилейном томе (Vjeggum et al., 1960). Пример хорошо известен и поэтому будут упомянуты только наиболее значительные аспекты настоящего обсуждения: местоположение, общее расположение и размеры рудного двора были установлены еще до того, как Терцаги появился на объекте; исследование ограничилось четырьмя буровыми, которых было достаточно для установления вероятности разрушения основания, но не для выяснения всей изменчивости подповерхностных условий; обсервационная программа была довольно разработана, запроектирована с большой тщательностью и добросовестно осуществлена; результаты были изучены и интерпретированы без промедления, в течение недели или иногда дней; рудная загрузка могла в любое время или в любом месте выдерживаться постоянной и даже довольно быстро убираться, если это было необходимо для того, чтобы предотвратить разрушение. Таким образом, была гарантирована максимальная возможная эксплуатация рудного двора, но в то же время была устранена возможность разрушения. Если действительная пропускная способность рудного двора оказывалась меньше потребностей доменных печей, сталелитейная компания должна была бы встретиться с экономическими затратами за счет замены руды, доставляемой судами, рудой, потребной для доменных печей, идущей по железной дороге, но она никогда не встречалась с еще большими убытками вследствие разрушения доков или погрузочного и складского оборудования. В этом случае обсервационная процедура, конечно, попадает в категорию «лучшего выхода».

Дамба мыса Кеннеди

Более современной иллюстрацией, включающей в себя совершенно иные физические явления, представляют собой дамба мыса Кеннеди, позволившая транспортировать ракеты «Сатурн» от вертикальнобортного здания до одной из пусковых площадок на расстоянии около 6 км. Ракеты, каждая высотой с 35-этажный дом, перевозились в вертикальном положении на платформе, которую, в свою очередь, тянули четыре гусеничных тягача, напоминавших огромные бульдозеры. Гусеницы работали на уплотненной поверхности «известковой скалы», толщиной около метра, опирающейся на гидравлически уложенный однородный тонкий песок, покрывающий такой же естественный песок. Общая поверхность грунта поднимается над уровнем моря всего на несколько дециметров.

Первая из двух таких дамб была построена и применялась без затруднения, за исключением нескольких зон малых осадков, где подпочвенный слой содержал глинистые линзы. Соответственно вторая дамба была построена, как первая, на основе предварительного разведочного бурения, которое выявило подобные же пески и только малые включения глины. Вследствие ускоренных темпов осуществления космической программы, строительство было начато еще во время производства разведочных исследований. Большая часть исследований заключалась в испытаниях на динамическую пенетрацию, подобную стандартным пенетрационным испытаниям, за тем исключением, что груз весом 145 кг падал с высоты 45 см. Было сосчитано число ударов, входящихся на каждый фут (30 см) пенетрации. Результаты выявили несколько зон, в которых сопротивление было существенно ниже, чем два удара на фут. Одна из них (рис. 1) вблизи станции 52 была много глубже и рыхлее, чем любая из тех, которые были встречены под первым гусеничным путем, и подсказала возможность разжижения и вне-

плавного разрушения при проходе полностью груженного транспортера. Было составлено заключение, что степень опасности не может быть надежно оценена ни одним из известных методов, использующих результаты лабораторных испытаний, но что тем не менее должны быть сделаны положительные шаги для уверенности, что никакая авария не сможет привести к опрокидыванию транспортера при перевозке ракеты «Сатурн».

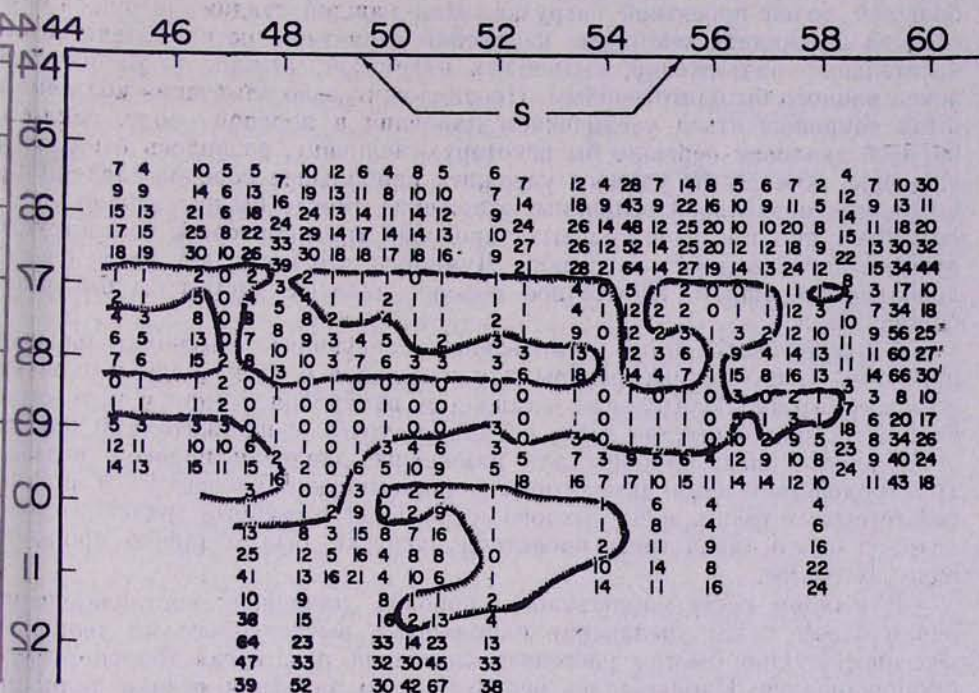


Рис. 1. Результаты испытаний на пенетрацию, показывающие зону чрезвычайно рыхлого песка под дамбой. Числа указывают количество ударов, необходимых для проникновения на фут (30 см) грунтоноса с внешним диаметром 51 мм, весом 136 кг, падающего с высоты 45 см. Абсциссы—пикетаж через 30 м, ординаты—глубина ниже поверхности дамбы, в метрах; S—умеренно-плотный песок до поверхности земли.

1. Պենետրացիայի դիմադրության տվյալները ցույց են տալիս բմբի տակ շափազանց թվաքիմիայի ալագի գոտին: Բմբը ցույց են տալիս գրունտահանը 30 սմ ներարկման համար անհրաժեշտ հարվածների քանակը. գրունտահանն ունի 5 սմ արտաքին տրամագիծ, 136 կգ կշիռ և ընկնում է 45 սմ բարձրությունից: Արագիսները պրիկետներ 30 մ հեռավորությամբ, օրդինատները՝ խորությունը բմբի մակերեսից ցածր, մետրերով: S—շափավոր-խիտ ալագ միջին գետնի մակերեսային:

Среди рассмотренных положительных шагов была инъекция химических веществ для достижения стабилизации, уплотнение гидровибраторами, уборка рыхлых песков и их замена устойчивой засыпкой и удаление воды или дополнительное нагружение для того, чтобы, по крайней мере, вызвать разрушение структуры рыхлого песка. Высокая стоимость каждой из этих мер делала их непривлекательными, и, что более важно, время, требуемое для работ, могло сорвать всю программу «Сатурн». Наконец, в интересах безопасности каждый метод дол-

жен был быть применен на многих участках, где мог быть вовсе не нужен.

Была разработана обсервационная процедура, которая могла бы устранить все серьезные недостатки «позитивного» метода таким образом, чтобы взамен появилось бы несколько присущих ему преимуществ. В основном он должен был заключаться в проходе ненагруженного транспортера по дамбе, а затем транспортера со все большей и большей долей проектной нагрузки. Для каждой стадии нагружения следовало ожидать некоторых изменений структуры песка вследствие касательных напряжений, вызванных нагрузкой; каждое такое изменение явилось бы благотворным. Предположительно изменения должны были сопровождаться увеличением давления в поровой воде. Если поровое давление перешло бы некоторую величину, развилось бы разжижение, но если бы удалось удержать наибольшее поровое давление ниже этой предельной величины, отложение смогло бы интенсивно уплотняться при последовательных проходах транспортера с соответствующей долей полной нагрузки. Думалось, что поскольку песок был довольно проницаем, избыточное поровое давление могло бы быстро рассеиваться.

Соответственно были установлены следующие наблюдательные приборы: поверхностные реперы для измерения осадок вдоль и около всей дамбы, наблюдательные плиты для измерения осадок у верхней и нижней границ рыхлой зоны; обсадные трубы с индикаторами наклона вдоль зоны; приборы для измерения давления поровой воды (быстродействующие и автоматически записывающие) в верхней и нижней четвертях толщ зоны рыхлого песка. Ненагруженный транспортер, дающий около одной трети проектной нагрузки, был медленно пропущен по дамбе.

В рыхлом песке наблюдалось поровое давление, составлявшее около одной трети увеличения напряжения, вычисленного по теории Буссинеска. Оно быстро рассеивалось всякий раз, когда транспортер останавливался. Наблюдалась небольшая, но заметная осадка толщ песка, даже после единичного прохода транспортера. Эти наблюдения были признаны благоприятными, так как они показали, что структура песка может быть изменена сравнительно низкой нагрузкой, если необходимо, при повторном нагружении, и что повышение порового давления может быть уменьшено замедлением транспортера.

На этой стадии были получены результаты изучения способности транспортера нести такую нагрузку, как ящики с землей или баки с водой, равными 50 или 75% проектной нагрузки. Изучения показали, что требуемые видоизменения конструкции могли быть сделаны быстро и за приемлемую цену. После нагружения деталями строительного каркаса транспортера, следующим практическим приращением нагрузки должен был быть вес башни пусковой установки (БПУ). Вес транспортера и БПУ составляли бы 90% от проектной нагрузки, включая вес ракеты.

Благоприятные результаты, полученные для ненагруженного транспортера, послужили подтверждением заключения, что было бы безопасно подвергнуть дамбу действию транспортера и БПУ, поскольку транспортер мог при необходимости перемещаться чрезвычайно медленно и, таким образом, поровое давление находилось бы под контролем. Единственный недостаток заключался в возможности того, что перемещение было бы настолько медленным, что была бы задержана космическая программа. Было сочтено, что этот риск невелик, и он был принят.

Была доказана возможность контролировать поровое давление с допуском в узких пределах путем умеренной регулировки скорости продвижения груза. Типичные результаты наблюдений приведены на рис. 2. При каждом проходе происходило уплотнение песка и вообще поровое давление при следующем нагружении было меньше, чем раньше. Наиболее рыхлые зоны, хорошо выявленные измерением осадки поверхности, были пройдены несколько раз до тех пор пока их поведение не стало таким же, как и под удовлетворительными участками дамбы. Боковые перемещения, ясно показанные индикаторами наклона, выявили перекашивание при сдвиге массы песка. Оно не превосходило около 40 мм.

После этого комбинированного полевого испытания и «пробного нагружения», дамба была признана кондиционной в той степени, что она могла быть безопасно использована под полностью нагруженным транспортером при его нормальной скорости с тем единственным ограничением, что поровое давление должно измеряться и контролироваться. Если эти давления будут превышать заранее определенную величину, которая в действительности уже была достигнута в предыдущих испытаниях, скорость перемещения транспортера при необходимости должна быть снижена.

Эта программа была осуществлена с большим успехом. В обычной работе транспортера не требовалось никаких ограничений скорости перемещения, и с каждым проходом груза опасность уменьшалась.

ПРИМЕНЕНИЕ «С НАЧАЛА»

Крепление котлована Гаррис Траст

Хотя обсервационный метод часто дает наилучший выход из уже возникших трудностей, его преднамеренное применение с начала стро-

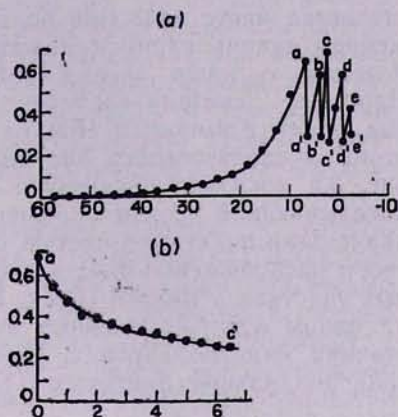


Рис. 2. Типичные наблюдения за поровым давлением во время первой проходки транспортера и БПУ по дамбе Сатурн. Датчик давления расположен на глубине 5.85 м. а) нормальная скорость 0,16 км/час; абсциссы—горизонтальное расстояние от центра дамбы до датчика давления; ординаты—избыточное поровое давление в кг/см^2 ; aa' —остановка на $4\frac{1}{2}$ мин., bb' —остановка на $5\frac{1}{2}$ мин., cc' —остановка на $6\frac{1}{2}$ мин., dd' —остановка на $5\frac{1}{2}$ мин., ee' —остановка на 2 мин; б) скорость рассеивания во время интервала cc' ; абсциссы—время в минутах, ординаты—избыточное поровое давление в кг/см^2 .

նկ. 2. Մակոտկենային ճնշման տիպիկ դիտումների արդյունքները «Սատուրն» բմրի վրայով տրանսպորտորի և բողակման կայանի աշտարակի առաջին անցման ժամանակ: Ձգալուն ճնշման տվյալները տեղադրվել են 5,85 մ խորության վրա: ա) նորմալ արագությունը՝ 160 մ/ժամ, Արցխիսներ՝ հորիզոնական տարածությունը մետրերով ուղղատու գծից մինչև ճնշման տվյալները, օրդինատները՝ հավելուրդային ծակոտկենային ճնշումը կգ/սմ²-ով: Կանգառները՝ aa' — $4\frac{1}{2}$ րոպ., bb' — $5\frac{1}{2}$ րոպ., cc' — $6\frac{1}{2}$ րոպ., dd' — $5\frac{1}{2}$ րոպ. ee' —2րոպ. б) Յրման արագությունը cc' ժամանակամիջոցում. արցխիսներ՝ ժամանակը րոպեներով, օրդինատները՝ հավելուրդային ծակոտկենային ճնշումը կգ/սմ²-ով:

ительства часто дает еще большие возможности для богатого воображением планирования и может вести к возможно лучшему проектированию с точки зрения безопасности, экономичности и времени⁵. Например, система крепления стенок котлована здания Гаррис Бенк энд Траст Компани в Чикаго была запроектирована таким образом, чтобы воспользоваться знанием действительных условий участка. На рис. 3,а показано поперечное сечение через проектируемый котлован, показывающий уровни крепления, определяемые требованиями, предъявляемыми подземной частью постоянного строения. Подрядчик имел в своем распоряжении наблюдения над нагрузкой на распорки на различных участках в Чикаго (Peck, 1943; Wu and Bergman, 1953), в том числе на одном из произведенных им последних строительствах всего на расстоянии одного квартала. Полученная информация была сведена к трапециoidalной диаграмме (рис. 3,б), представляющей огибающую всех нагрузок на распорки, измеренные на подобной выемке в Чикаго.

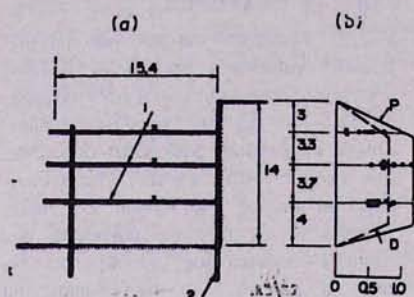


Рис. 3. Крепление котлована для здания Гаррис Бенк энд Транс Компани в Чикаго. а) сечение через котлован, показывающее крепление; 1—распорки на расстоянии 5,4 м между центрами; 2—маячные стойки на расстоянии 1,8 м между центрами; б) сравнение давлений, вычисленных по измеренным нагрузкам на распорки (точки с давлениями, принятыми при проектировании (D) и предсказанными по полуэмпирической огибающей (P). Внизу—масштаб в кг/см².

Նկ. 3. Զիկագոյում Հարիս Բենկ եւ Տրաստ Կոմպանիի շէնքի փոստակի պատերի ամրակապում. ա) կտրվածք փոստակի միջով, որը ցույց է տալիս ամրակապումը. 1—հենակներ յուրաքանչյուր 5,4 մ հեռավորությամբ կենտրոնների մեջ. 2—կանգնակներ յուրաքանչյուրը 1,8 մ հեռավորությամբ կենտրոնների մեջ. б) ճնշումների համեմատությունը, հաշվարկված ըստ ձեռնակների վրա չափված բեռվածքների (կետեր), կիրառված նախագծման ժամանակ (D) և կանխագուշակված ըստ կիսաէմպիրիկ պահուսիի (P): Ներքևում՝ ճնշումների մասշտաբը կգ/սմ²-ով:

Проектирование распорок для нового котлована могло бы быть основано на трапециoidalной диаграмме с гарантией, что ни одна распорка новой системы не будет перегружена. Так как, однако, трапеция является огибающей, большинство распорок в любой выемке должны нести нагрузку значительно меньшую, чем та, которая соответствует диаграмме. Подрядчик предложил запроектировать все распорки со сравнительно низким коэффициентом запаса для нагрузок, равным двум третям тех нагрузок, которые предвычисляются огибающей, или примерно равным средним нагрузкам, соответствующих всем предшествующим измерениям. Он нашел, что, поступая так, он может добиться значительной экономии. Для того, чтобы уберечь от перегрузки те немногочисленные распорки, которые могли бы быть подвергнуты нагрузкам, приближающимися к определяемым по проектной огибающей, он предложил измерять осевую нагрузку в каждой распорке на всех главных этапах строительства и иметь подготовленные для немедленной установки дополнительные распорки, где бы и когда бы они не потребовались. В дополнение к 39 распоркам, необходимым для всего

⁵ Одним из ранних и лучших примеров применения метода с начала строительства было обеспечение вертикальности турбинных валов гидроэлектростанции Свирь-III (Graftio, 1936; Терцаги и Пек, 1958). Поскольку Терцаги был консультантом строительства, то более чем вероятно, что он являлся ответственным за этот подход.

строительства, было добавлено всего 3 распорки. Их стоимость была мала по сравнению с экономией, даже включая сюда стоимость наблюдений. Эта процедура была не только экономичной, но она обеспечивалась гарантией, что ни одна распорка всей системы не была перегружена (White, 1958). Детали системы креплений были запроектированы так, чтобы позволить легко вставлять новые распорки. Этим требованиям удовлетворило применение непрерывной стальной стенки и стальных распорок двутаврового сечения.

В этом примере запланированный порядок действий в случае, если нагрузки на распорки были бы выше, чем ожидалось, заключался попросту в установке дополнительных распорок. Даже при весьма неблагоприятных обстоятельствах издержки заключались бы в умеренном повышении стоимости и задержке на несколько дней. Наоборот, в следующем примере выигрыш был значительно выше и возможные издержки на много больше; тем не менее, обсервационная процедура оказалась весьма успешной.

Транзитный туннель Бей Эриа

Трассы двух скоростных транзитных туннелей Бей Эриа в Сан-Франциско плавно изгибаются в одном пункте от одной улицы к другой. Как показано на рис. 4, один из туннелей проходит попросту под углом подвала восьмизэтажного железобетонного здания, опирающегося на отдельные и комбинированные уширяющиеся фундаменты. Здание полностью занято владельцем, который активно использует площадь подвала; более того, предполагается, что оно будет нести дополнительно восемь этажей, которые, вероятно, будут построены в ближайшем будущем.

Положение туннелей по отношению к сооружению и общие грунтовые условия показаны на рис. 5. Отложения, расположенные между отметками подошвы фундамента сооружения и обратного свода туннелей, состоят главным образом из тонких песков, слабо связанных в некоторых зонах и, по-видимому, очень плотных, судя по результатам стандартных испытаний на пенетрацию. Выше уровня подошвы фундаментов песок рыхлый и, возможно, является насыпью. Внутри и в нижней части пласта верхних песков на разной глубине встречаются включения органического вещества, а в окрестностях на тех же отметках известны погребенные русловые отложения. Поэтому понижение уровня грунтовых вод в связи с проходкой туннелей было безусловно запрещено для того, чтобы предотвратить осадки соседних неглубоких фундаментов. Предполагалось, что фундаменты сооружений были заложены как раз под органическими зонами. Осадка сооружения под действием собственного веса была неизвестна, однако при проектировании сооружения консультант предсказал дальнейшую осадку 5—8 см после добавления новых восьми этажей.

Ввиду важности здания, до проходки туннеля потребовалось бы подведение фундаментов общепринятым методом. Однако в данных обстоятельствах, казалось, не могло быть и речи о подведении фундаментов. Если бы были подведены фундаменты только в ряду, ближайшим к туннелям, и если действительно дополнительные этажи вызвали бы позже осадку оставшейся части здания в несколько сантиметров, то в результате были бы причинены серьезные повреждения. Далее, подведение фундаментов потребовало бы производства работ либо в пределах площади подвала, с вмешательством, который владелец не смог бы терпеть, либо под существующими фундаментами. Последняя аль-

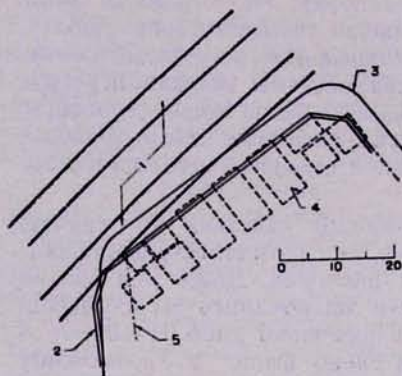


Рис. 4. План, показывающий относительное положение фундаментов здания и туннелей метрополитена. 1—туннели; 2—стены подвала; 3—линия бордюра; 4—фундаменты; 5—граница владения.

նկ. 4. Պլանը՝ որը ցույց է տալիս շենքի հիմքերի և մետրոպոլիտենի բունկերների հարաբերական դիրքը. 1—բունկերներ. 2—նկուղի պատերը. 3—հզրափարերի գիծ. 4—հիմքեր. 5—կալվածքի սահման:

тернатива потребовала бы понижения уровня у грунтовых вод по крайней мере на 2,4—3,0 м и поэтому была неприемлемой. Водопроницаемость песка, в особенности там, где он имел небольшую примесь глины, была слишком низка для того, чтобы позволить инъектирование цементного раствора или даже химическое закрепление. Следовательно, казались неподходящими как нормальные, так и более необычные методы подведения фундаментов.

Многие инженеры, связанные с работами, чувствовали, что осадка у края сооружения была бы слишком малой для причинения ущерба, но не было никакого приемлемого опыта, который мог бы подтвердить заключение о том, произошла бы или не произошла чрезмерная осадка вслед-

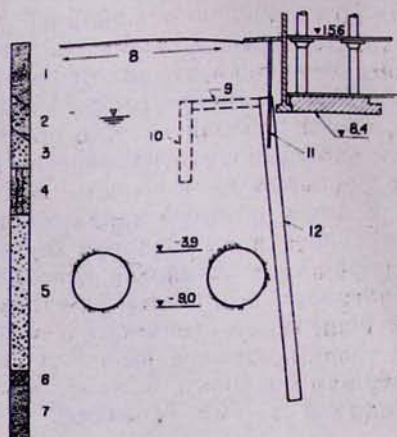


Рис. 5. Запроектированная стенка из цилиндров для защиты здания от перемещения при строительстве метрополитена. 1—песчаная насыпь; 2—темно-серый пылеватоглинистый мелкий песок, с разложившимися остатками растений; 3—средний до тонкого плотный песок; 4—средний до тонкого плотный песок с пылеватым связывателем; 5—средний до тонкого песок со слабо сцементированными пылеватыми прослойками; 6—плотный глинистый тонкий песок; 7—средний до тонкого чистый песок, очень плотный, с глубиной цементация увеличивается; 8—многочисленные коммуникации; 9—распорки; 10—цилиндры для восприятия реакции; 11—существующие сваи-стойки; 12—стенка из цилиндров диаметром 1,2 м на расстоянии 1,8 м между центрами.

նկ. 5. Գլաններից նախագծված պատ՝ բունկի կառուցման ժամանակ շենքի տեղաշարժումից պաշտպանելու համար: 1—ավազային լիցք. 2—մուգ մոխրագույն փոշեկավային նուրբ ավազ ներկված բուսականության մնացորդներով. 3—միջին միջև նուրբ խիտ ավազ. 4—միջին միջև նուրբ խիտ ավազ փոշային կապակցիչով. 5—միջին միջև նուրբ խիտ ավազ թույլ հեմնետացված փոշային երկաթաբյուրեղով. 6—խիտ կավային նուրբ ավազ. 7—միջին միջև նուրբ ավազ, շատ խիտ. ցեմենտացումն աճում է խորության հետ միասին. 8—բազմաթիվ կոմունիկացիաներ. 9—հեմակներ. 10—ռեակցիան ընկալող դաշներ. 11—գոյություն ունեցող ցից-կանգնակներ. 12—պատ՝ 1,2 մ տրամագծով դաշներ. 1,8 մ հեռավորությամբ կենտրոնների մեջ:

ствие проходки туннеля. Была признана необходимость позитивной гарантии того, что здание не будет повреждено.

Из многих изученных альтернатив только одна, казалось, давала позитивную гарантию. Она заключалась в устройстве конструктивной стены или рамы, помещенной между туннелем и зданием для экранирования здания от перемещений, вызванных проходкой туннеля. Должен был быть устроен ряд сильно армированных железобетонных цилиндров (рис. 5), слегка наклоненных для получения требуемого зазора, каждый раз по одному цилиндру, изготавливаемых в заполненных глинистым раствором скважинах до глубины, достаточной для заделки в плотном песке ниже уровня проектируемого туннеля. Если оказалось бы необходимым обеспечить дальнейшее ограничение, могли быть изготовлены дополнительные цилиндры и поперечные распорки, показанные пунктиром на рис. 5.

Стоимость защитных работ была оценена почти в полмиллиона долларов, однако нужда в них была проблематичной. Обсервационный метод был привлечен в следующей форме. Защитные работы не были включены в туннельный контракт, но проект на них был готов на случай необходимости. Туннельный подрядчик должен был начать работы в километре от здания и продвигаться к нему. Этим его оборудование и методы работ могли быть оценены за несколько месяцев до приближения к критической точке, так как он проходил по грунтам, которые предположительно были подобными материалу на участке здания. На поверхности по мере продвижения работ должны были вестись наблюдения за осадкой по поверхностным реперам и по зданию. Если бы оказалось, что туннельные работы были хорошо проконтролированы и осадка была минимальной, то контракт на защитные работы не был бы утвержден. С другой стороны, если осадка была бы чрезмерной и не могла контролироваться, был бы утвержден контракт на защитные работы с датой завершения до ожидаемого приближения туннеля. В маловероятном случае, что осадки над туннелем в начале были бы настолько малы, что защитные работы могли не производиться, а затем увеличиваться при приближении туннеля к зданию, туннельный контакт мог быть приостановлен до того, как были бы выполнены защитные работы.

Подрядчик остановился на применении врубной машины. Он действительно испытывал некоторые трудности на первых нескольких сотнях метров проходки, и на поверхности улицы над одним из туннелей могла наблюдаться потеря грунта. Однако он вскоре приспособился к обстановке и в дальнейшем продвигался вперед с максимальной осадкой над осевой линией туннелей около 1 см. Над краями труб происходила значительно меньшая осадка. Поэтому не возникло необходимости в защитных работах. В действительности при сооружении туннеля около здания оно испытало незначительную осадку.

Если бы имелась менее дорогая альтернатива для защиты сооружения, она, вероятно, была бы применена вместо обсервационного метода. Ставка была выше обычного ввиду большой стоимости стенки из цилиндров. Однако начальные недоумения возникли не только из-за стоимости защиты сооружения. Оно было вызвано также отсутствием убедительных полевых данных о действительном поведении подобного грунта при проходке через него подобных туннелей. Имеется поразительно малых адекватных случаев из практики с регистрацией влияния туннелирования в различных грунтах.

Приведенные примеры иллюстрируют большое разнообразие строительных объектов, к которым может быть применен обсервационный

метод, и широкие возможности изобретательности при планировании и интерпретации обсервационного метода⁶. Во всех примерах была получена существенная выгода, которая была бы потеряна, если была бы применена общепринятая процедура. Тем не менее, метод не лишен ловушек. Понимание их природы и следствия из них являются предпосылкой для повторяющегося успеха.

ЛОВУШКИ ОБСЕРВАЦИОННОГО МЕТОДА

Неудача с предвидением неблагоприятных условий

Потенциально наиболее грубая ошибка при применении обсервационного метода заключается в неудаче при заблаговременном выборе подходящего образа действия для всех предвидимых отклонений реальных условий от принятых в проекте, которые выявляются наблюдениями. Если инженер внезапно осознает, что наблюдения указывают на приближение аварий, против которых он не имеет защиты, он может применять под давлением момента решающие меры. Если он неудачник, то он может прийти к выводу, что вовсе не имеется адекватного решения. Если он предварительно обсудил все возможности, он может заранее заключить, что если возникнут определенные неблагоприятные обстоятельства, он не сможет осуществить проект, и тогда он не станет делать проект уязвимым для подобных условий.

Короче говоря, инженер должен продумать решения всех проблем, возникающих при наименее благоприятных условиях, которые могут остаться невыясненными до того, как сделаны полевые наблюдения. Если он не может решить этих гипотетических задач, даже если вероятность их возникновения весьма мала, он должен обратиться к проектированию, основанному на наименее благоприятных условиях. В этом случае он уже не сможет использовать преимущества обсервационного метода в экономии средств и времени.

Плотина над погребенной долиной

Замечательное воздействие на стоимость строительного объекта может иметь решение всего одной потенциальной проблемы. Исследование участка для невысокой плотины в ледниковой области⁷ обнаружило долину в коренных породах, имеющую приблизительные размеры, показанные на рис. 6. На основании немногих скважин, пробуренных с большими издержками, выяснилось, что заполнение долины состоит из трех зон. Верхняя зона была интерпретирована как состоящая из смеси песчанистой и гравелистой валунной глины, перемешанной с делювием, весьма эрратической и местами проницаемой. Средняя зона, значительно более мощная, чем остальные две, состояла из трех пластов песка, каждый из которых был более мелкозернистым, чем вышележащий пласт. Нижний пласт средней зоны был пылеватым и имел озерное происхождение, был видимо слоистым и обладал низкой вертикальной и умеренной боковой проницаемостью. Самая нижняя из трех главных

⁶ В практике сделалось широко распространенным применение в строительных объектах пробных насыпей или пробных дамб для того, чтобы позволить видоизменить проект. Выдающимся примером этого рода является пересечение Большого Солёного Озера, с пробными насыпями в натуральную величину и обширными наблюдениями во время строительства (Casagrande, 1960).

⁷ Плотина Лоуер Нотч (Lower Notch), построенная Гидроэлектросиловой комиссией Онтарио. Прим. переводчика.

зон была проницаемой и казалось состояла из линз зернистого материала, из них некоторые были вполне крупнозернистые.

Простое испытание на откачку из самого нижнего отложения убедительно показало, что зернистый материал был заключен в почти водонепроницаемую среду, так как весьма небольшая откачка резко понизила пьезометрический уровень в отложении на значительном расстоянии вверх и вниз по течению. Ледниковая геология района показала, что вышележащие озерные отложения должны были быть сильно переуплотнены весом льда. Эти благоприятные условия вели к серьезным выводам о возможности основания плотины над озерным материалом без устройства какой-либо диафрагмы, прорезающей эти отложения или нижележащие зернистые грунты. Стоимость была бы существенно ниже, чем в случае отрывки до скалы и сооружения перемычки из уплотненной глины с соответствующими фильтрами и переходами к существующему руслу реки. Существенной была бы также экономия времени, которая могла бы привести к более раннему производству товарной энергии.

Из различных проблем подлежащих рассмотрению только одна не поддавалась приемлемому решению. Вследствие крутизны скальных стен и серии вертикальных трещин отдельности, параллельных течению реки было вероятным наличие открытых или разгрузочных трещин вблизи погребенных скальных обрывов. Эти щели могли бы дать возможность потоку переходить из верхнего бьефа в нижний за легкоразмываемыми озерными грунтами. Если бы оказались открытые трещины другой серии, пересекающие разгрузочные трещины, то под действием гидравлического градиента можно было бы предположить сетку течения, вызывающую суффозию грунтов. Хотя вероятность такого случая казалась малой, ее возможность нельзя было опускать. Детальные наблюдения за поровым давлением вблизи стенок долины в ее заполнении и в скальных породах могло обнаружить некоторую неблагоприятную обстановку, хотя сетка течения местами могла быть очень сложной и нелегко интерпретируемой. Тем не менее, если даже участки неблагоприятных условий и могли бы быть обнаружены, нельзя бы найти подходящих, защищенных от неправильных действий способов устранения проблемы. Стоимость работ по цементации и их неопределенность в местных условиях не оправдывали надежд на инъекцию. Ввиду отсутствия подходящего хода действий в этом возможном случае, этот проект был оставлен в пользу отрывки до дна погребенного ущелья, осмотра и обработки скальных склонов в натуре и сооружения полной перемычки. К сожалению, не могла быть реализована возможная эко-

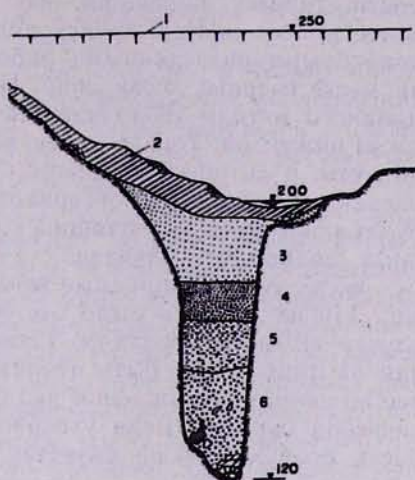


Рис. 6. Сечение через погребенное ущелье в коренных породах на створе плотины. 1—гребень плотины; 2—делювий и валунная глина; 3—тонкий до мелкого песок; 4—тонкий песок; 5—чередующиеся слои песка и ила; 6—песок, гравий и валуны.

Նկ. 6. Կտրվածքի արձատական ապահանջում բաղված ձորի միջով, ամրաբարակի տեղում. 1—ամրաբարակի կառույց. 2—դելուվի և զլարարային կավ. 3—հոտր բիշեկ մանր ավազ. 4—հոտր ավազ. 5—ավազի և տիղմի հերթադարձող շերտեր. 6—ավազ, կոպիկ և զլարարներ.

номия по проекту, в котором давление воды в нижнем зернистом материале могло бы наблюдаться и контролироваться.

Возможно, что более подробное и тщательное изучение сеток течения внутри и вне открытых трещин отдельности на поверхностях раздела с озерными грунтами показало бы, что с гидравлической точки зрения неблагоприятные сетки течения не могут быть в действительности такими опасными, как это принималось; другими словами, более полное знание происходящих явлений, может дополненное более подробными разведочными работами могло бы оправдать оставление на месте озерных отложений. Несомненно, что применимость наблюдационного метода увеличивается с увеличением знаний и изобретательности инженера. Тем не менее, всегда будут существовать строительные объекты, в которых не может быть получено никаких преимуществ из расчетов на экономии наблюдационного метода, так как для них нельзя будет придумать подходящий ход действий в случае некоторых ожидаемых возможных случаев.

Более того, избираемые ходы действий должны быть реалистическими. Для владельцев было бы успокоением, если бы им сказали, что в случае неблагоприятности, только что описанные гидравлические условия плотины могут быть исправлены «цементацией». Слишком часто все подобные утверждения делаются больше с надеждой, чем с реалистической оценкой. Если утверждения слишком оптимистичны, безопасность сооружения не является обеспеченной.

Выбор имеющих значение наблюдений

Производство правильных наблюдений имеет значение, равное по важности определению адекватного хода действий для всех возможных случаев. Выбор надлежащих величин для наблюдений и измерений требует чутья в отношении имеющих значение физических явлений, управляющих поведением строительного объекта во время сооружения и после его завершения. На некоторых строительных объектах эти явления хорошо известны и наблюдения требуются только для оценки степени влияния на поведение. Например, на работах с дренированием песка инженерам является несомненно понятным, что для достижения цели установки, большое значение имеет рассеивание порового давления. Однако, скорость с которой оно совершается не может быть достаточно надежно предсказана для того, чтобы предопределить скорость нагружения, и наблюдения требуются для строительного контроля. Существует небольшой риск, по крайней мере, на обычных работах по дренированию песка, что поведением управляет какое-либо неожиданное явление.

Оседание химического завода

Если управляющее явление сложно, или еще не оценено, инженер может измерять совершенно неправильные величины и может прийти к опасным, ошибочным выводам. Возможность серьезной ошибки по такой причине мне резко угрожала более, чем двадцать лет назад. В те дни, в дополнение к своим регулярным обязанностям в Гарварде, Терцаги являлся лектором и исследовательским консультантом Иллинойского Университета. Каждый семестр он добросовестно проводил большую часть недели в Урбане, читая лекции и обсуждая последние события со студентами и с сотрудниками. Обычно он забирал с собой в гостиницу любые отчеты, которые я писал на работе со времени его последнего визита, и на следующий день постоянно устраивал мне подробный перекрестный допрос.

В одном из таких случаев я вручил ему отчет об оседании большой площади, занятой химическим заводом. Участок подстилался тонким поверхностным отложением песка со случайными органическими включениями, за которым шло около 15 м мягкой, нормально уплотненной глины, которая в свою очередь покоилась на коренных известняках. Было известно, что верхняя часть известняков была пористой и в начале девятисотых годов содержала воду с пьезометрическим уровнем на 6 м выше современной поверхности грунта.

В течении многих лет на участке были широко распространены нерегулярные оседания. До прихода нового главного инженера, они привлекали к себе небольшое внимание. Когда он устроился в своем вновь выкрашенном кабинете, он заметил появление и расширение трещин на стенках и решил исследовать их причины.

Выяснилось, что вскоре после 1900 г. химический завод начал добывать свое основное сырье—хлористый натрий путем растворения пластов соли на глубине 240—330 м. В скважины накачивалась вода из ближайшей реки, она насыщалась солью и извлекалась. Однако в некоторые старые скважины вода не подавалась. В верхней проницаемой части известняков внешние обсадные трубы скважин на рассол были попросту перфорированы или изношены, и грунтовая вода свободно вливалась в скважины. Соответственно пьезометрический уровень в известняках был понижен примерно на 24 м. Я заключил, что понижение пьезометрического уровня в основании глин вызвало консолидацию мягкого вышележащего материала. Расчет осадки на основании лабораторных величин коэффициента компрессии глины показал, что предельные осадки должны быть порядка 0,9—1,5 м, т. е. величины, хорошо согласующиеся с полученными на основании наблюдений за осадками. Согласие было настолько удовлетворительным, что я считал объясненными наблюдаемые осадки и доверился этому толкованию.

Я до сих пор живо помню разговор с Терцаги, утром после прочтения отчета:

«А теперь относительно отчета об оседании...».

«Да?»

«Я думаю Вы упустили главное...». Он помедлил. «Очевидно, что осадка происходит в коренных породах».

«Но это невозможно. Коренные породы имеют слишком большую мощность». Я запротестовал.

«Откуда Вы знаете что это невозможно? Вы установили какие-либо реперы на поверхности коренных пород?»

«Нет, но общая величина наблюдаемых осадок согласуется с вычисленной!»

«Не заметили ли Вы что действительная картина дифференциальной осадки значительно более обрывистая и эрратическая, чем вычисленная?»

«Да, но я думаю что эта разность вызвана наличием эрратических, сжимаемых органических отложений у поверхности грунта».

«Каковы доказательства? Вы натянули доказательства и подогнали их к Вашему предвзятому мнению» обвинил он меня.

Действительно, я это постепенно и мучительно осознал. Терцаги и я совместно пустились в путь, длительностью более десятилетия, в направлении применения обсервационного метода, на этот раз уже не в механике грунтов, а инженерной геологии. Изучение в конце концов убедительно доказало, что оседание пластов скальных пород произошло над пустотами выщелачивания, и поэтому было найдено необходимым

разработать новое соляное месторождение, не расположенное под территорией завода. Если бы поверили моим первоначальным заключениям, вполне вероятно, что могла бы произойти серьезная авария, как-то: образование поверхностной карстовой воронки, с возможной гибелью жителей и имущества.

Терцаги с его огромным опытом встречался с подобными ситуациями раньше; я—нет. Моя обсервационная программа была недостаточной для обнаружения явления, существование которого я не подозревал. Однако отсутствие у меня опыта не было единственной причиной моей неудачи: я не смог также непредубежденно изучить все доступные данные.

Тщательное внимание к деталям наблюдений, которыми я намеревался подкрепить свою рабочую гипотезу могла бы вызвать сомнение в ее обоснованности. Существенно, однако, что предубеждение в отношении ошибочного явления содействовало созданию мертвой точки в отношении существенного явления. При применении обсервационного метода следует постоянно сознавать эту возможность.

Влияние прогрессирующего разрушения

Присутствие хрупких элементов в сопротивляющейся массе, если оно не будет принято во внимание, может привести к разрушению, несмотря на применение обсервационного метода. Хрупкие элементы могут состоять из жестких слоев связного грунта, которые при малых деформациях могут развить высокое сопротивление, но могут внезапно разрушиться и передать свою нагрузку слабым, более деформируемым слоям. Таким образом может начаться прогрессирующее разрушение до того, как будут наблюдаться движения. Во многих оползнях происходят обнаруживаемые движения мягкого грунта до разрушения жестких элементов и тщательные наблюдения могут выявить возможность разрушения, но в некоторых случаях обнаружение может потребовать проникательное проникновение в возможное поведение и наиболее точных измерений.

Соседний зерновой элеватор

Различное поведение двух подобных зерновых элеваторов, опирающихся на деревянные сваи, забитых в подобные грунты, иллюстрируется рис. 7, на котором показано боковое движение элеваторов, как функция времени. Каждый из элеваторов воспринимал существенную боковую силу, вызванную насыпью на поверхности грунта. Большое отклонение одного элеватора (кривая *a*) показывает приближение к разрушению, тогда как слабое отклонение испытанное в течении тридцати лет другим элеватором может быть легко принято, как указание на его лучшее поведение (кривая *b*). Однако элеватор *b* разрушился сразу при значительно меньшем предшествующем отклонении, чем элеватор *a*. Следующее объяснение является предположительным, но соответствующим известным фактам. Было найдено, что в обоих фундаментах имеются наклонные сваи. Под фундаментом *a* было так мало наклонных свай, что они оказали лишь незначительное сопротивление и даже могли разрушиться в раннем периоде. Похоже, что сопротивление боковому отклонению развивалось целиком при медленном деформировании блоков грунта, в который были погружены вертикальные сваи. Другой фундамент содержал большее количественное отношение наклонных свай, способных сопротивляться боковым нагрузкам при осевом сжатии с малым коэффициентом безопасности и при малом боковом отклонении. В результате небольшой аварии было повреждено

несколько свай; они передали свою боковую нагрузку соседним наклонным сваям. При перегрузке эти сваи разломались одна за другой. Тогда боковая нагрузка быстро перебросилась на вертикальные сваи. Окружающий грунт, в котором, вероятно, возникло высокое поровое давление, не смог сопротивляться быстро приложенной боковой нагрузке и разрушился. Так как не ожидали существенного различия поведения, по-видимому, связанного с нелогичным различием числа наклонных свай в двух фундаментах, владельцы элеватора *b* были к несчастью успокоены его незначительным отклонением в течении многих лет. Отсюда можно заключить, что инженер, который планирует обзорную программу или берется интерпретировать уже полученные данные, должен иметь прочное знание условий, относящихся к проблеме—в данном случае расположение и тип наклонных свай,—и должен принять во внимание все возможные виды поведения или разрушения; в противном случае может незаметно развиваться один из недооцененных, неучтенных им неизвестных видов разрушения, так как не было проведено подходящих наблюдений, рассчитанных на его обнаружение.

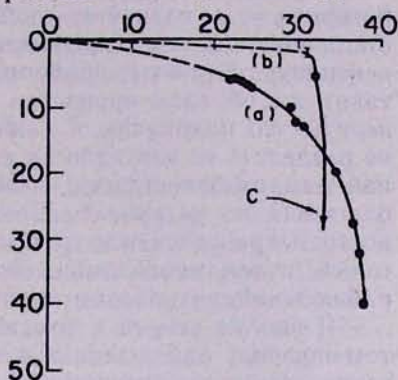


Рис. 7. Соотношение между боковым движением и временем для двух зерновых элеваторов, опирающихся на свои на одинаковых глинистых основаниях. Абсциссы— время в годах, ординаты—боковое движение в см, C—разрушение.

Նկ. 7. Կողային տեղաշարժման և ժամանակի հարաբերությունը երկու հատիկային էլեատորների համար, որոնք հենված են նման կավային հիմնատակ ունեցող ցցերի վրա: Արագիւններ—ժամանակը տարիներով, օրհիստները կողային տեղաշարժումները սանտիմետրերով. C—բախշյուն:

САМИ НАБЛЮДЕНИЯ

Надежность

Целью статьи не является обсуждение специфической техники наблюдений, хотя и могут быть оправданы некоторые обобщения вследствие того, что они относятся к методологии и применимости обзорной процедуры.

Конечно существенно, чтобы наблюдаемые величины отражали явления, которые в действительности управляют поведением возводимого сооружения. Как указывалось, ошибочное предвзятое мнение о природе задачи может привести к упущению того типа наблюдений, которые могли бы выявить действительные причины неполадок.

Результаты наблюдений должны быть надежными. Если мы приняли обзорный метод, как окончательную основу проектирования и если наблюдения окажутся неудачными, наше положение будет очень безнадежным. К сожалению, обычно гораздо меньше мыслей вкладывается в планирование наблюдений, чем это необходимо. Слишком много полагаются на отчеты об успешном исполнении приборов, в действительности почти неиспытанных в полевых условиях или оказавшихся на деле несостоятельными или дававшими во многих установках ошибочные показания. В значительной степени эта неудачная ситуация возникает вследствие того, что лица, испытывающие необходимость в измерениях и планирующие программу не являются теми, кто

имеет личный опыт в установке, наблюдениях и содержании различного типа приборов в разных условиях и в течении ряда лет. Они не могут поверить, что случайно сообщенная в отчетах неудача скорее является правилом, чем исключением и что происшедшая в последнее время неисправная работа прибора на какой-либо другой стройке может таким же образом произойти и на их работах. Они не могут также поверить, что подрядчик, и даже работающий на стройке инженер может не разделять из взглядов на важность наблюдений и не проявлять сильной заинтересованности, необходимой для охраны приборов и наблюдений на установке. Для установки приборов произвольной сложности потребуется все то искусство, которое может быть приобретено только путем многолетнего опыта работы действительной установки и наблюдений на полевом измерительном оборудовании.

Я вполне уверен в том, что лишь немногие обладают личным опытом полевых наблюдений, и я также уверен в том, что недостаток таких людей служит помехой для тех, кто хотел бы применить обсервационный метод. Чтобы удовлетворить эти требования, возникла группа специалистов по полевым установкам и необходимой аппаратуре. Такие специалисты играют созидательную роль в прикладной механике грунтов.

С другой стороны, было бы весьма нереалистичным заключить, что все приложения обсервационного метода требуют специалистов и усложненных приборов. На многих стройках совершенно достаточны простые наблюдения с теодолитом и нивелиром, и определения уровня воды в открытых вертикальных трубах, которые могут и должны проводиться людьми, связанными со стройками. Действительно, часто наблюдения бывают значительно более сложными и дорогими, чем необходимо, иногда в ущерб строительному объекту. Это несомненно область «быстрых и нечистых» испытаний.

Грубые испытания на откачку

Основным вопросам проектирования плотины, показанной на рис. 6, была необходимость устройства перемычки, прорезающей крупный аллювий на дне древнего русла в коренных породах. Существовала обоснованная вероятность того, что вышележащий озерный материал был непрерывным и создавал непрерывную изоляцию у примыкания к скале по бортам. Для исследования этих условий были проведены испытания на откачку из аллювия. В буровых скважинах были установлены пьезометры, соответственно расположенные в различных свитах пластов и в коренных породах и началось бурение скважины для откачки. Был разработан детальный режим откачек и производство наблюдений, который мог позволить надежную интерпретацию результатов.

К несчастью подрядчик откачной скважины затратил необыкновенно много времени на сооружение буровой платформы для работ, а впоследствии нашел, что буровое оборудование было неподходящим для проходки встреченных многочисленных валунов и обломков породы. Наконец, всего за несколько дней до принятия временного решения о проекте, был приглашен новый подрядчик по бурению, которому удалось пройти скважиной в гравии несколько десятков сантиметров и в течение почти двух часов откачивать с помощью эрлифта. Скорость откачки было всего 110 литров в минуту, но пьезометрический уровень в аллювии упал на 24 м на расстоянии 30 м от откачной скважины. Даже на расстоянии 200 м понижение уровня воды в подстилающих трещиноватых породах составляла около 6 м. Эта грубая информация была совершенно достаточной для установления в прак-

тических целях отсутствия гидравлической связи между аллювием и водой в реке; она полностью подтвердила серьезные соображения в пользу проекта, включающего колодцы для снятия напора, а не полной перемычки. Последующие более усовершенствованные контрольные испытания подтвердили выводы, полученные при этой грубой процедуре.

Отчеты о полевых наблюдениях

Каким бы способом не были проведены полевые наблюдения и насколько они тщательны и точны, или сделаны «быстро и нечисто», результаты полезны, если только они немедленно изложены в такой форме, чтобы быстро и ясно показать существенные особенности. Отчеты, содержащие эти результаты должны рассматриваться, как рабочие документы, которые могут быть использованы, как только потребуются новейшая информация. К сожалению, имеется тенденция накапливать данные до тех пор, пока не может быть подготовлен тщательно разработанный, полностью документированный окончательный отчет. Такой отчет может превратиться в самоцель. Нередко меньше думают о значении данных для проектирования и анализа поведения, чем о технике изготовления документа, и наблюдения производят скорее для заполнения пробелов в таблице, чем для понимания того, когда происходят важные события. Эта тенденция находится в резком противоречии с многими исследованиями и плодотворными поисками, которые производил Терцаги при расследовании значения даже случайных наблюдений.

ВЫВОДЫ

Было показано, что обсервационный метод имеет свои ограничения и недостатки. Он может быть применен, если только проект может быть изменен во время строительства. Эта существенная особенность часто вносит сложности в подрядные взаимоотношения. Если строительный контракт существует еще до применения обсервационной процедуры, расходы владельца могут подняться, хотя и действительная стоимость производства работ может уменьшиться.

Часто для большей уверенности принимается процедура, согласно которой может пройти достаточно времени для достижения некоторого желательного результата, как-то: устранение известной величины осадки или приобретения требуемого сопротивления сдвига. Время, требующееся для этого не может быть надежно предсказано, так как в противном случае обсервационная процедура не была бы применена. Возможность задержат строительство является недостатком, свойственным этому методу. Она может вызвать финансовые потери и даже может затруднить финансирование строительного объекта. Наконец, в некоторых случаях вероятность встретиться с наиболее неблагоприятными условиями может быть так высока, что применение процедуры не стоит связанных с ней расходов. Например, на плотине Чикамус Терцаги почувствовал себя обязанным основать проект на наихудшие возможные условия вместо средних ожидаемых условий (Vjeggum et al., 1960).

Несмотря на эти недостатки, метод предлагает много возможностей для эффективной экономии времени или средств, и он может дать гарантии надежного сооружения без финансовых издержек на избыточную безопасность. Поэтому каждому, кто занимается приложениями механики грунтов, необходимо быть осведомленным о потенциальной ценности обсервационного метода и знать предпосылки его успеха.

Нет никакого сомнения в том, что метод не может быть полноценно реализован, если только инженер не знает хорошо предмет своей задачи, не производит постоянно изменения в проекте и в процедуре по мере получения информации и если не вправе действовать быстро в соответствии со своими решениями и заключениями. Эти требования, казалось бы благоприятствуют передаче управления обсервационным строительным объектом в руки одной личности. Я действительно склонен верить, что доля секрета успеха Терцаги заключалась в его настойчивом требовании личной, полной ответственности и полномочий на критических стройках. Однако, строительный объект на мысе Кеннеди был проведен большой организацией с бюро из трех консультантов.⁸ Обмен идеями улучшил решение, и было нетрудно достичь необходимого тесного контакта со стройкой.

Существенной составной частью, без которой все остальное не к чему не приведет, заключается в способности зрительно представить все возможные случаи и подготовке заранее хода действий для преодоления любой ситуации, которая может быть создана. Только в том случае, если все это будет сделано можно считать, что применение обсервационного метода не было пустым словом.

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱՅՈՒՄ ԴԻՏԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԱՌԱՎԵԼՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿՈՒՄՆԵՐԸ⁹

Պրոֆեսոր, ֆաղափարական շինարարության դոկտոր ՌԱՅ Բ. Պեկ¹⁰

ՀԱՅԵՐԵՆ ԵՎ ՌՈՒՍՆԵՆ ԹՍՐԳՄԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՆԱԽԱՐԱՆ

Կիրառական գրունտների մեխանիկայում դիտական մեթոդի մասին դասախոսության տեխնիկա պատրաստելիս ես նկատեցի, որ դրա առաջին կիրառումը, համարյա դասական իր գաղափարով և իրականացումով նկարագրված էր պրոֆեսոր Գրաֆտիոյի կողմից՝ Սվիթ 3 հիդրոկայանի հիմքերի կապակցության մասին (Graftio, 1936). Այդ օրինակը պարունակում է բոլոր կարևորագույն յուրահատկությունները, որոնք անհրաժեշտ են դիտական ընթացակարգի համար շող կիրառման համար:

Օրինակներ, որոնք ես վկայակոչում եմ տվյալ դասախոսությունում, և վերցված են բացառապես հյուսիս-ամերիկյան պրակտիկայից: Սակայն անհրաժեշտ է նկատել, որ աշխարհի ուրիշ մասերի պրակտիկայում կան շատ ուսանելի օրինակներ, ներառյալ նոր մոտեցումներ և տեխնիկան: ՍՍՀՄ-ում կիրառական գրունտների մեխանիկայի բուն զարգացումն անխուսափելիորեն ուղեկցվում էր դիտական ընթացակարգի նշանակության և արժեքի նաեղացումով:

Ես հուսով եմ, որ սույն դասախոսության բարգմանությունը կծանոթացնի ՍՍՀՄ-ի ինժեներներին Հյուսիսային Ամերիկայի մի որոշ փորձի հետ և կծառայի յեղնի նման զեմահատումներին ու ընդհանրացումներին, որոնք բխում են սույն

⁸ Бюро консультантов состояло из д-ра Ральфа Е. Федама, д-ра Уиллама Дж. Тарнбулла и проф. Ральфа Б. Пека. Прим. переводчика.

⁹ Ռենկինյան ինժեներող դասախոսություն, կարդացված պրոֆ. Ռ. Բ. Պեկի կողմից 1969 թ. փետրվարի 12-ին Բրիտանական գեոտեխնիկական ընկերության առաջ (R. B. Peck, Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics, Géotechnique, 1969, 19(2): 171--187). Բնագրից շարադրեց պրոֆ. Գ. Տեր-Ստեփանյանը:

¹⁰ ԱՄՆ-ի Իլինոյս նահանգի Ուրբանա քաղաքի Իլինոյսի համալսարանի քաղաքացիական շինարարության ֆակուլտետի հիմնադրության պրոֆեսոր, Գրունտների մեխանիկայի և հիմքային շինության միջազգային հասարակության պրեզիդենտ:

վետական երկրի մեծ փորձից: Այդ իսկ պատճառով ես ուրախանում եմ հոդ-
վածի ռուսերեն և հայերեն լեզուներով հրատարակման հնարավորությամբ:

Ռալֆ Բ. Պեկ

Ռե ֆ ե ա տ:—Դիտական մեթոդը, որն այդպես հաջող կիրառվել էր կիրառական գրունտնե-
րի մեխանիկայում՝ Տերցագիի կողմից, հաճախ թույլ է տալիս հասնել առավելագույն խնայո-
ղության և անվտանգության, եթե միայն նախագիծը կարող է ձևափոխվել շինարարության ըն-
թացքում: Շարադրվում են մեթոդի ամենակարևոր յուրահատկությունները և տրվում են դրա օգ-
տագործման օրինակները:

Մեթոդը զուրկ չէ թակարդներից և սահմանափակումներից. այն չպետք է իրագործել, եթե
նախագիծն ի նկատի չունենա գործողության մի պլան. յուրաքանչյուր անբարենպաստ իրա-
դրության համար, որը կարող է բացահայտվել դիտումների ժամանակ: Դիտումները պետք է
լինեն վստահելի, բացահայտեն կարևոր երևույթներ և ի հայտ գան այնպես, որ առաջացնեն ան-
միջական գործողություն: Անորոշության յուրջ տարրն է առաջին թաց քայլայման հնարավորու-
թյունը:

Չնայած այս սահմանափակումներին, ժամանակի և միջոցների տնտեսման հնարավորու-
թյունը, առանց զոհարելու անվտանգությանը, այնքան մեծ է, որ ամեն մի ինժեներ, որը գործ
ունի կիրառական գրունտների մեխանիկայի հետ, պետք է տեղեկանա մեթոդի սկզբունքային յու-
րահատկություններին:

Ն ա խ ա բ ա ն

Դիտումների մեթոդը միշտ գործածվել է կիրառական գրունտների մեխա-
նիկայի բնագավառներում աշխատող ինժեներների կողմից, բայց «դիտական
մեթոդ»-ը, որպես տերմին, ունի յուրահատուկ, նեղ, սահմանափակ նշանակու-
թյուն: Դիտական մեթոդն իր լրիվ և վերջնական ձևով նախագծմանը տալիս է
պարզ և, հավանական է, նոր մոտեցում: Դրա բանաձևման և մշակման համար
մենք պարտական ենք Կարլ Տերցագիին: Նրա առաջին հայացքների համա-
կարգը այսպես շարադրվեց 1945 թ. «Դրունտների մեխանիկա ինժեներական
պրակտիկայում» գրքի նախաբանի նախագծում. «Այնպիսի աշխատանքներ,
ինչպիսին են՝ խոշոր հիմքերը, թունելները, հանվածքները, կամ հողե պատ-
նեղներ իրագործելիս ճիգի և աշխատանքի մեծ քանակը ծախսվում է մի-
այն ֆիզիկական հաստատունների կոպիտ մոտավոր մեծությունների որոշմա-
նը, որոնք մտնում են բանաձևերի մեջ: Ծատ փոփոխականներ մտնում են ան-
հայտ, ինչպես, օրինակ, նշանակություն ունեցող շերտերի անընդհատության
աստիճանը, կամ գրունտում գտնվող ջրի ճնշման պայմանները: Այդ իսկ պատ-
ճառով հաշվարկների արդյունքները ոչ այլ ինչ են, եթե ոչ աշխատանքային
վարվածքներ (հիպոթեզներ), որոնք պետք է հաստատվեն կամ ձևափոխվեն
շինարարության ընթացքում:

«Անցյալում, անխուսափելի անորոշությունների դեմ պայքարելու համար
կիրառում էին միայն երկու մեթոդ՝ կամ ընդունել անվտանգության գործակցի
հավելորդային մեծությունը, կամ ենթադրություններ անել ընդհանուր, միջին
փորձին համապատասխան: Սովորաբար չէին կռահում, որ նախագիծը, որը
կիրառում է վերջին ընթացակարգը, իսկապես ռիսկի է դիմում: Չնայած դրան,
այդ մեթոդի լայն կիրառման հետևանքով չէր լինում տարի, որ անցներ առանց
մի քանի խոշոր վթարների: Դա սովորական զուգահեռություն չէ, որ քայքա-
յումների մեծամասնությունն առաջանում է ջրի անսպասելի գործողությունից,
որովհետև ջրի վարքը ավելի քան մի որևէ ուրիշը կախված է անհայտ մնացող
երկրաբանական երկրորդական մանրամասնություններից:

«Առաջին մեթոդը վատնող է, երկրորդը՝ վտանգավոր: Դրունտների մեխա-
նիկան, ինչպես մենք հասկանում ենք այսօր, տալիս է երրորդ մեթոդը, որը
կարող է անվանվել փորձնական մեթոդ: Ընթացակարգը հետևյալն է՝ նախա-
գծումը հիմնավորեք այն ինֆորմացիայի վրա, որը կարելի է ստանալ: Կազմե-
ցեք իրականությունն և ենթադրությունների միջև եղած բոլոր հնարավոր տար-
բերությունների մանրամասն ցուցակ: Հետո հաշվարկեք, հիմնված սկզբնական
ենթադրությունների վրա, տարբեր մեծություններ, որոնք կարող են ջախջախել

դաշտում: Օրինակ, եթե որևէ ենթադրություն էր արվել կառուցվածքի տակ դաշտում: Օրինակ, եթե որևէ ենթադրություն էր արվել կառուցվածքի տակ գտնվող ջրի ճնշման մասին, հաշվարկներ ճնշումը տարբեր հեշտ մատչելի կե-տներում, չափեր այն և համեմատել արդյունքները կանխագուշակվածի հետ: Կամ եթե որևէ ենթադրություն էր արվել լարում-դեֆորմացիայի հատկություն-ներին մասին, հաշվարկներ տեղաշարժումները, չափեր այն և կատարել նույն-համեմատումը: Այդպիսի չափումների վրա հիմնվելով աստիճանաբար լրաց-րեք ձեռք գիտելիքների բացերը, և եթե անհրաժեշտ է, նախագիծը ձևափոխեք շինարարության ժամանակ:

«Գրությունների մեխանիկան տալիս է մեզ գիտելիք, որն անհրաժեշտ է «շարժվելով սովորիր» մեթոդի համար»:

Գրքի ծավալի կրճատման պատճառով հրատարակված այդ նախաբանը փոխարինված է մի ուրիշ, ավելի կարճ նախաբանով (Терцаги и Пек, 1958): Տեղագրի շնորհիվ դիտական մեթոդը բերեց նշանակալից, նույնիսկ էֆեկ-տիվ, տպավորիչ հաջողություն, բայց ես կարծում եմ, որ այդ չկիրառվեց ինժեներների կողմից: Եթե դա այդպես է, ապա պետք է ուսումնասիրել, թե որքանով ճիշտ է այդ համոզմունքը, և եթե դա այդպես է, հասկանալի է, ինչո՞ւ Տեղագրի ունեւր այդպիսի բացառիկ հաջողություն: Հնարավոր է, որ արդյոք որոշել մեթոդի կիրառման հաջող պայմանները: Արդյո՞ք չկան այնպիսի պայ-մաններ, երբ գիտական մեթոդը չի կարող կամ չպետք է կիրառվի:

Գոնե մեղքին հարցին կարելի է տալ կտրուկ պատասխան: Եթե կառուց-վածքի բնույթն այնպիսին է, որ նախագիծը չի կարող փոփոխվել շինարարու-թյան ժամանակ, մեթոդը կիրառելի չէ: Մնացած բոլոր դեպքերում դա կարող է տալ ժամանակի մեծ խնայողություն կամ լրիվ անվտանգության ապահով-ման հնարավորություն:

Մեթոդի ակնարկ

Հակիրճ, մեթոդի լրիվ կիրառումը բաղկացած է հետևյալ մասերից՝

ա) հետազոտությունները, որոնք առնվազն բավական են նստվածքի ընդ-հանուր բնույթի, մոդելի և հատկությունների որոշման համար, բայց ոչ ան-պայման մանրամասնորեն.

բ) ամենահավանական պայմանների և այդ պայմաններից ամենաանբա-րեն պատժ հնարավոր շեղումների գնահատումը. այդ գնահատման մեջ գլխա-վոր դերը հաճախ խաղում է երկրաբանությունը.

գ) ամենահավանական պայմանների համաձայն սպասվող վարքի աշխա-տանքային վարվածքի վրա հիմնված նախագիծումը.

դ) մեծությունների ընտրումը, որոնք պետք է դիտվեն շինարարության ընթացքում և աշխատանքային վարվածքի վրա հիմնված սպասվող մեծու-թյունների հաշվարկումը.

ե) նույն մեծությունների հաշվարկումն ամենաանբարենպաստ պայման-ների համար, որոնք համատեղելի են ենթամակերեսային պայմանների մասին եղած տվյալների հետ.

զ) աշխատանքային վարվածքի հիմքի վրա կանխագուշակված մեծու-թյուններից ամեն մի նախատեսվող զգալի շեղման համար գործողության ըն-թացքի կամ նախագծի ձևափոխման նախօրոք ընտրումը.

է) դիտվող մեծությունների չափումը և իրական պայմանների գնահատու-մը.

ը) նախագծի ձևափոխումն իրական պայմաններին հետևելու համար:

Աստիճանը, ըստ որի կարելի է իրագործել այդ բոլոր փուլերը, կախված է աշխատանքի բնույթից և բարդությունից: Հեշտությամբ տարբերվում են այն շինարարական օբյեկտները, որտեղ իրադարձություններն արդեն բերում են մի փուլի, երբ դիտական մեթոդը համարյա եզակի հույս է հաջողության հասնե-լու, և այն օբյեկտները, որտեղ մեթոդի կիրառումը նախատեսված է շինարա-րության սկզբից: Ամենասովորականն է կիրառումը առաջին տիպի շինարարա-կան օբյեկտներում:

«Լավագույն ելքի» տիպի կիրառում

Ամեն անգամ, երբ շինարարությունն արդեն սկսվել է և պատահում են անսպասելի իրադրություններ, սպառնում է քայքայում կամ վթար, ապա այդ դժվարություններից միակ դրականն էլքը դիտական մեթոդն է:

Այդպիսի դեպքերում ինժեներների մեծամասնությունը գիմում է նման գործակալների: Իրադրությունների պարզ դիտումը, օրինակ՝ նստեցման կամ կողային տեղաշարժման դիտումը, կարող է հաճախ առողջարար միջոցառումներ հուշել, որոնք կարող են հաջող լինել: Սակայն երբեմն արդյունքները կարող են լինել հիասթափեցնող, նույնիսկ կործանարար, քանի դիտումները չեն ներկայացնում նախօրոք լավ մտածված ծրագրի մաս: Այդպիսի ծրագրերը պետք է պարունակի «շարժվելով սովորելը» ընթացակարգի բոլոր կիրառելի փուլերը:

Օրինակ կարող է ծառայել Կլիվլենդում (Օհայո) հանքային բակը, որտեղ բեռնվածքի քանակը փոխվում էր կախված կառուցվածքների և սարքավորումների վարքից, բայց այն երբեք չէր հասցվում այնպիսի մեծության, որը կարողանար առաջացնել քայքայում:

Երկրորդ օրինակն է Քենեդիի հրվանդանի թումբը, որը կառուցվել էր «Սատուրն» ռակետները հավաքման շենքից մինչև թողարկման հրապարակը տեղափոխելու համար: 35-հարկանի շենքի բարձրությամբ ռակետները պետք է տեղափոխվեին կալային ենթաշերտեր պարունակող նուրբ ավազի լիցքի վրայով: պենետրացիայի փորձարկման արդյունքները ցույց են տրված նկ. 1-ի վրա¹⁾: Ըստ մշակված դիտական ընթացակարգի, թմբի վրայով նախ անցկացվեց չբեռնավորված տրանսպորտորը, ապա մի քանի անգամ՝ աստիճանաբար աճող բեռնվածք կրող տրանսպորտորը: Դրա շնորհիվ գրոնտն աստիճանաբար խտացավ և, ի վերջո, ի վիճակի դարձավ կրել ամբողջ բեռը առանց քայքայվելու վտանգի: Տրանսպորտորն անցկացնելիս կատարվում էին նստման և ծակոտկենային ճնշման դիտումներ, որոնք ցույց տվին գրոնտի կրողունակության աստիճանական աճը (նկ. 2):

«Սկզբից» կիրառում

Դիտական ընթացակարգի սկզբից կիրառումը ավելի ձեռնտու է անվտանգության, տնտեսման և ժամանակ շահելու տեսակետից: Օրինակ է ծառայում Զիկագոյում Հարիս Բենկ էնդ Տրաստ Կոմպանիի շենքի փոստրակի ամրակապումը: Հենակները հաշվարկելիս բեռնվածքը վերցված էր ոչ թե առավելագույն, այլ զգալի նվազ (նկ. 3): Նախատեսված էին որոշ քանակով լրացուցիչ հենակներ, որոնք, ըստ դիտումների տվյալների, կարող էին անհրաժեշտ դեպքերում օգտագործվել:

Մյուս օրինակն է Սան-Ֆրանցիսկոյում մետրոպոլիտենի Բեյ էրիա մասում տարանցման թունելների կառուցումը անմիջապես 8-հարկանի մի շենքի գործածվող նկուղի պատերի մոտ: Անհավասար նստվածք շառաչացնելու համար հիմքի տեղական ենթահաստումը բացառված էր: Կառուցվեց ուժեղ ամրակապված երկաթբետոնե գլաններից բաղկացած մի կոնստրուկտիվ պատ, որը պետք է վահանավորեր շենքը թունելի անցման ժամանակ՝ գրոնտում առաջացած տեղաշարժից (նկ. 5): Անհրաժեշտ դեպքում կարող էին կառուցվել լրացուցիչ գլաններ և հենակներ (կետագիծ նկ. 5-ի վրա): Թունելային աշխատանքները սկսվեցին շենքից մոտ մեկ կիլոմետր հեռավորությունից և աստիճանաբար մոտենում էին շենքին. միաժամանակ կատարվում էին շենքի և գետնի նստման դիտումները:

Դիտական մեթոդի թակարդները:

Դիտական մեթոդը կիրառելիս ներուժայնորեն ամենամեծ սխալը կատարվում է հարմար գործելակերպի ընտրման ժամանակ նախագծային պայմաննե-

¹⁾ Նկարները տե՛ս էջ 30—50:

տեղաշարժ (կորագիծ *б*) համեմատած առաջինի հետ (կորագիծ *а*). այդ հասկացվում էր, որպես ավելի լավ վարք. շնայած դրան *б* էլեկտրորը քանդվեց: Բացատրությունը այն է, որ առաջին էլեկտրորի հիմքն ունեւր փոքր քանակով թեք ցցեր, որոնք շնչին դիմադրութուն էին ցուցաբերում, և գուցե նույնիսկ քանդվեցին սկզբնական ժամանակաշրջանում. ուստի գրոշնտում զարգացավ դիմադրութուն դանդաղ գեֆորմացիայի պայմաններում: Երկրորդ էլեկտրորն ունեւր մեծ քանակով թեք ցցեր, որոնք ընդունում էին կողային ճնշումը, թողնելով գրոշնտը չբեռնավորված: Ոչ մեծ վթարի հետեանքով մի քանի թեք ցցեր վնասվեցին. բեռնվածքը փոխանցվեց հարեան ցցերին, որոնք նույնպես հաջորդաբար կոտրվեցին և կողային բեռնվածքն անցավ ուղղաձիգ ցցերին: Գրոշնտում առաջացավ բարձր ծակոտկենային ճնշում, և հիմքը քայքայվեց: Այստեղից երևում է գրոշնտի աշխատանքի պայմանների ճիշտ հասկացման նշանակությունը:

ԽճՔՐ ՊԻՊՈՒՄԵՆՐԸ.

Դիտումները պետք է լինեն վստահելի: Սովորաբար չափիչ գործիքների ցուցմունքների արժեքը գերազանհատվում է: Այստեղ մեծ դեր է խաղում դիտողների անձնական փորձը: Մի շարք դեպքերում բավական են պարզ սարքեր, ինչպիսին է թեոդոլիտը, հարթաչափը կամ հիդրավլիկ պլեզոմետրը: Զրի պոմպով քաշելու կոպիտ փորձարկումը, որը հանգեցրեց պլեզոմետրիկ մակարդակի արագ իջեցմանը (նկ. 6), բավական էր եզրակացնելու գետաբերուկում գետնաջրերի և գետի ջրերի մեջ հիդրավլիկ կապի բացակայության մասին: Անհրաժեշտ է, որ հաշվետվութունները դիտումների մասին տրվեն արագ և պարզ: Դժբախտաբար գոյութունի ունի միտում՝ կուտակել դիտման տվյալները, մինչև չպատրաստվի լավ հիմնավորված վերջնական հաշվետվութուն, որը, այդպիսով, դառնում է ինքնանպատակ: Այդ միտումը խստորեն հակասում է հետադոտութուններին, որոնք կատարում էր Տեքցագին նույնիսկ պատահական դիտումների նշանակության հետաքննության ժամանակ:

ՆԳՐԱԿԱՅՈՒՔՅՈՒՆՆԵՐ

Դիտական մեթոդն ունի իր սահմանափակութուններն ու պակասութունները: Այն կիրառելի է, եթե նախագիծը հնարավոր է ձևափոխել կառուցման ընթացքում: Հաճախ պետք է անցնի բավական ժամանակ ցանկալի արդյունքների հասնելու համար: Այդ ժամանակը չի կարող վստահելի կանխագուշակվել: Այդ պակասութունները կարող են խոչընդոտել շինարարության ֆինանսավորումը: Չնայած այդ պակասութուններին, մեթոդը տալիս է շատ հնարավորութուններ ժամանակի կամ միջոցների տնտեսման համար, և կարող է տալ վստահելի կառուցման երաշխիք, առանց գերածախսի հավելուրդային անվրտանգության համար: Մեթոդը չի կարող կիրառվել, եթե ինժեները չգիտե իր գործը, չի կարող մտցնել փոփոխութուններ նախագծի մեջ և իրավունք չունի գործել ինքնուրույն և արագ իր որոշումներին և եզրակացութուններին համապատասխան:

Ուստի նպատակահարմար է, որ դիտական շինարարական օբյեկտը ղեկավարվի մի մարդու կողմից: Տեքցագիի հաջողության գաղտնիքի մի մասը նրա հաստատման պահանջի մեջ էր, անձնական, լիովին պատասխանատվությունը և լիազորութունն էր կրիտիկական շինարարութունների վրա:

ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF THE OBSERVATIONAL METHOD IN APPLIED SOIL MECHANICS¹²

Professor Ralph B. PECK, C.E., D.C.E.¹³

PREFACE TO THE ARMENIAN AND RUSSIAN TRANSLATIONS

While preparing the text for the lecture on the *Observational Method in Applied Soil Mechanics*, I noticed that one of the first applications, almost classic in its conception and execution, was reported by Professor Graftio in Leningrad in connection with the foundation of Svir 3 Hydroelectric Power Development. All the essential features for the successful use of the observational procedure were incorporated in this example.

The case histories to which I refer in the lecture are drawn entirely from North American Practice. Undoubtedly, however, there are many instructive examples, including novel approaches and techniques, from practice in other parts of the world. The vigorous development of applied soil mechanics in the USSR has surely been accompanied by an appreciation of the significance and value of the observational procedure.

It would be my hope that the translations of this lecture, which may bring to engineers in the USSR some experience acquired in North America, may furnish an incentive for a similar evaluation and review growing out of the many experiences in Soviet countries. Hence, I welcome the opportunity for the publication of the paper in Russian and in Armenian.

RALPH B. PECK

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

- Терцаги К. и Пек Р., 1958. Механика грунтов в инженерной практике. М., Госстройиздат.
- Bjerrum L., Casagrande A., Peck R. B. and Skempton A. W. (editors), 1960. From theory to practice in soil mechanics. Selections from the writings of Karl Terzaghi. New York: Wiley.
- Casagrande A., 1960. An unsolved problem of embankment stability on soft ground. Proc. 1st Pan-American Conf. Soil Mech., Mexico, 2:721—746.
- Graftio H., 1936. Some features in connection with the foundations of Svir 3 hydroelectric power development. Proc. 1st Conf. Soil Mech. Found. Engg., Cambridge, Mass., 1:284—290.
- Peck R. B., 1943. Earth pressure measurements in open cuts, Chicago subway. Trans. Amer. Soc. Civ. Engrs., 108:1008—1036.

¹² Ninth Rankine Lecture given by Professor R. B. Peck before the British Geotechnical Society in January, 1969, was published in *Geotechnique*, 1969, vol. 19, No. 2, pp. 171—187.

¹³ Professor of Foundation Engineering, University of Illinois, Urbana, Ill., U.S.A. President of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering.

- Terzaghi K.**, 1961. Past and future of applied soil mechanics. Journ., Boston Soc. Civ. Engrs., 68:110—139. Harvard Soil Mech. Series, No. 62.
- Terzaghi K. and Peck R. P.**, 1947. Soil mechanics in engineering practice. New York: Wiley.
- White E. E.**, 1958. Deep foundations in soft Chicago clay. Civil Engineering, Am. Soc. Civ. Engrs, 28:816—818.
- Wu T. H. and Berman S.**, 1953. Earth pressure measurements in open cut: Contract D8, Chicago subway. Géotechnique 13(3):248--258.