

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

ЯНВАРЬ • 01-2022





TRUMER
Schutzbauten

www.trumer.cc

Россия:
ООО «РТ Трумер»
119002, г. Москва, переулок Сивцев Вражек,
дом 29/16

Тел.: +7 915 022 75 17
E-Mail: info@trumer.ru

ЗАЩИТА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

TRUMER Schutzbauten — ваш компетентный и опытный партнер в области обеспечения эффективной защиты от природных опасностей:

- ▶ камнепадов,
- ▶ оползней,
- ▶ селей,
- ▶ обвалов,
- ▶ лавин,
- ▶ береговой эрозии.



Следуя девизу

**«БЕЗОПАСНОСТЬ, ОБЕСПЕЧЕННАЯ ПРОФЕССИОНАЛАМИ, —
БЕЗОПАСНОСТЬ БЕЗ КОМПРОМИССОВ»,**

компания ТРУМЕР разрабатывает и реализует надежные,
эффективные и экономичные решения.

ЭКОЛОГИЯ

ИВАН КОРОЛЕВ: Допустив экологическую катастрофу, можно в одночасье потерять бизнес

6

ГЕОТЕХНИКА

Приложения Bentley расширили возможности цифровых технологий для создания промышленного гиганта

10

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

info@geoinfo.ru

BENTLEY SYSTEMS

Зеленая линия метро в Тель-Авиве. Проектирование подземных станций метро в PLAXIS 2D

16

Марко Кандела

Магистр наук, руководитель проекта в компании Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

Лоренцо Горлье

Магистр наук, менеджер по проектированию в Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

Кристиано Бертелло

Магистр наук, инженер по геотехнике и тоннелям в Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

Лука Роза

Магистр наук, инженер по геотехнике и тоннелям в компании Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Прессиометрические испытания в Северной Америке: обзор

26

Бенуа Жан (Benoit Jean)

Профессор кафедры гражданского строительства Университета Нью-Гемпшира, доктор наук, г. Дарем, шт. Нью-Гемпшир, США, jean.benoit@unh.edu

Хауи Джон (Howie John)

Доцент кафедры гражданского строительства Университета Британской Колумбии, доктор наук, г. Ванкувер, пров. Британская Колумбия, Канада, jahowie@civil.ubc.ca

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ

О новом подходе к берегоукреплению с доказанной эффективностью

48

Ккуло Иван Александрович

Директор по маркетингу, «Маккаферри СНГ»

BENTLEY SYSTEMS

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ

МИХАИЛ КИРШИН: Среди потребителей наших бурильных и обсадных труб много изыскательских компаний

54

УПРАВЛЕНИЕ И БИЗНЕС

Какая нужна команда, без которой бизнесу не выжить и не жить

58

Людмила Дьяченко

Специальный корреспондент



ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



Австрийская компания
«TRUMER SCHUTZBAUTEN GMBH»
ООО «РТ ТРУМЕР»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



BENTLEY SYSTEMS



АО «СИЭСДИ» (CSD)



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ

ООО «НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGGEO»



ПрогрессГео
ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ООО «ПРОГРЕССГЕО»



НПО «ТЕРРАЗОНД»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Программный комплекс Roscience

ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES

ООО «СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ» (ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES) - ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ROSCIENCE В РОССИИ



ООО «КБ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ»

ООО НПП «ГЕОТЕК» - ВЕДУЩИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ, МЕРЗЛЫХ, КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ.

ПРИБОРЫ КРИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕРИИ СТАНДАРТ

ХИТ продаж

Прибор компрессионный криологический ГТ 1.1.11



Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14



Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2



Температура окружающей среды **+5 (±2) С°**
 Прибор разработан для эксплуатации в холодильной камере (камера не входит в состав прибора)

ВОЗМОЖНОСТИ:

- автоматизированный режим испытания с поддержанием заданной отрицательной температуры каждого образца;
- прибор работает при пониженных температурах;
- автоматическое управление температурой образца;
- испытание до трех образцов в одном приборе;
- измерение температуры каждого образца.

ПРИБОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ:

- **Прибор компрессионный криологический ГТ.1.1.11**
-испытание по ГОСТ 12248.10-2020 на сжатие и сжатие с оттаиванием;
- **Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14**
-испытания по ГОСТ 12248.8-2020 на срез по поверхности смерзания;
-испытания по ГОСТ Р56726-2015 по определению касательных сил морозного пучения;
- **Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2**
-испытания по ГОСТ 12248.7-2020 шариковым штампом.

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ НАС



Высокое качество



Выгодная цена



Надежный сервис



Экономия бюджета испытаний

440004, Россия, г. Пенза, ул. Центральная, строение 1М,
 +7(8412) 999-189, 8-800-200-16-05 (звонок по России бесплатный),
 sales@npp-geotek.ru, npp-geotek.com

* На правах рекламы



ИВАН КОРОЛЕВ: ДОПУСТИВ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ КАТАСТРОФУ, МОЖНО В ОДНОЧАСЬЕ ПОТЕРЯТЬ БИЗНЕС

Несмотря на усиливающийся контроль со стороны государства за соблюдением бизнесом требований экологического законодательства, говорить о массовом действительно высоком уровне ответственности со стороны недропользователей, транспортных компаний и операторов портов пока не приходится. К сожалению, далеко не все осознают уязвимость морских экосистем и чрезвычайно высокую стоимость и сложность ликвидации последствий аварий, особенно в запущенной стадии. Даже возможные негативные последствия для компаний-виновников часто забываются и не учитываются. Между тем, как показывает практика, допустив экологическую катастрофу и не предприняв максимально оперативно все возможные шаги для ликвидации ее последствий, можно в одночасье потерять крупный бизнес, который выстраивался десятилетиями.

О том, как и почему случаются нефтяные разливы, каковы их последствия и как они могут оперативно выявляться и ликвидироваться, мы поговорили с финансовым директором АО «ИЭПИ» Иваном КОРОЛЕВЫМ.

Ред.: Проблема нефтяных разливов, как на суше, так и в акваториях, в последнее время ощущается в нашей стране очень остро. Эти происшествия случаются все чаще. С чем они связаны и какую опасность представляют для экологии?

И.К.: Нефтяные разливы фиксируются специалистами уже много лет. Наверное, с того момента, когда в Советском Союзе началась активная нефтедобыча в середине XX века. На сегодняшний день главными причинами таких аварий являются технологические сбои, ошибки эксплуатирующих организаций, протаивание вечной мерзлоты, изношенность инфраструктуры и оборудования и пр. В последние годы, в связи с освоением шельфа и увеличением числа морских перевозок, к сожалению, такие аварии все чаще происходят и на морских акваториях. Самая крупная подобная авария произошла в 2010 году, когда взорвалась нефтяная платформа Deepwater Horizon. Напомню, тогда в воды Мексиканского залива на глубине 1500 метров попало около 5 млн баррелей нефти, а нефтяное пятно достигло площади 75 тысяч квадратных километров.

Российским законодательством предусмотрены строгие требования к недропользователям, предписывающие тем в обязательном порядке выполнять достаточно сложные работы по технологическому контролю сооружений нефте-газодобычи и транспортировки, геотехническому мониторингу грунтов основания, особенно на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов. Кроме того требуется проведение работ по экологическому мониторингу и контролю для выявления негативного воздействия на окружающую среду. При этом, пожалуй, самые жесткие требования на сегодняшний день предъявляются к организациям, занимающимся освоением российского шельфа.

Что касается последствий для экологии, то они могут быть буквально катастрофическими. Страдают хрупкие экосистемы как акваторий, так и обширных территорий русского Севера.

Ред.: Почему авария, случившаяся в Норильске, очень долгое время обсуждалась и в обществе, и в средствах массовой информации, а случившаяся позднее авария в Черном море, приведшая к загрязнению некоторых пляжей достаточно большой протяженности, забылась чуть ли не за несколько дней?



И.К.: Этот вопрос находится за рамками экологической проблематики и нашей производственной деятельности, поэтому мне сложно ответить на него. Но и в первом, и во втором случае ответственность за аварию лежит на крупных промышленных группах. Поэтому, думаю, тут надо учитывать и политические моменты, и имеющуюся конъюнктуру, и взаимоотношения с Росприроднадзором, является ли этот случай первым или проблема системная и т.д.

Кстати, в последние годы государство делает недвусмысленные сигналы в части необходимости соблюдения требований экологического законодательства и недопустимости нанесения ущерба окружающей среде. Значительно более тщательным стал контроль, недавно все стали свидетелями назначения беспрецедентного штрафа компании Норильский никель, еще несколько похожих дел продолжают рассматриваться в судах. Поэтому можно однозначно сказать, что риски с точки зрения последствий в этой сфере сегодня очень высоки.

Ред.: Тогда предлагаю вернуться именно к экологической составляющей этой проблемы. Как оценить реальный ущерб экологии от подобных аварий и назначить виновного штраф?

И.К.: Ответа на данный вопрос пока нет ни у кого. В конце прошлого года руководитель Росприроднадзора Светлана Радионова заявила, что у государства пока отсутствует четкая методика расчета ущерба окружающей среде в результате аварии на промыш-

ленном предприятии, а также нет единой системы передачи информации о происшествии. Она анонсировала создание единого метода расчета экологического ущерба в течение ближайших шести месяцев, одновременно отметив, что на начало декабря у Росприроднадзора в работе порядка 40 млрд рублей штрафов, которые еще не предъявлены бизнесу.

При этом, конечно, нужно понимать, что каждый такой случай индивидуален. Первая часть задачи – собственно обнаружить факт разлива и выявить его источник, а также определить ответственную организацию. Часто это не так просто, как кажется на первый взгляд.

Большое значение с точки зрения серьезности последствий аварий имеет территория, где она произошла – только на суше, или на суше с разливом в водоемы, или в морской акватории. В зависимости от ответа на этот вопрос определяются технические средства для установления источника разлива, определяются меры для предотвращения дальнейшего распространения и для ликвидации последствий. Например, на морских акваториях этой проблематикой занимается Морспасслужба.

Затем на основании собранных данных в ходе судебных разбирательств выносится решение о степени вины и назначается тот или иной штраф для возмещения ущерба окружающей среде, проведения компенсационных мероприятий.

Ред.: Почему иногда сложно установить источник загрязнения в акваториях?

Ведь сегодня существует целый комплекс инструментов для этого, включая спутниковый мониторинг?

И.К.: На это влияет несколько факторов. Прежде всего, очень важна оперативность. Действительно, для выявления загрязнений существует множество технологий. Мы, например, как раз занимаемся оперативным экологическим спутниковым мониторингом на морских акваториях. При помощи оперативных радиолокационных изображений мы можем буквально в течение нескольких часов после разлива его обнаружить, а затем смоделировать скорость и направление его распространения с учетом имеющихся моделей.

Однако, например, в крупных портах, таких как Новороссийский, где разливы происходят достаточно часто, оперативно выявлять загрязнения и тем более установить виновников сложно. Там работает много компаний, очень плотный трафик судов. В таких случаях необходимо получать детальные снимки акватории порта с минимальным временным промежутком, передавая информацию в специализированную службу. Пока такая система не налажена, и чаще мы видим борьбу с последствиями, нежели предотвращение загрязнений. Именно так случилось прошедшим летом в Черном море. И до сих пор идут судебные разбирательства, в ходе которых пытаются определить виновников и оценить степень ущерба.

Ред.: Как работает технология оперативного спутникового экологического мониторинга на шельфе? Насколько быстро по факту удается получать и анализировать информацию?

И.К.: Прежде всего, хочу отметить, что в российском законодательстве четко прописана необходимость выполнения оперативного спутникового экологического мониторинга. Все компании, занимающиеся добычей нефти на шельфе, обязаны его проводить. Регламентированы и процедуры разработки программ ликвидации аварийных разливов нефти. Для каждого объекта они согласовываются с аварийными подразделениями, в частности, с Морспасслужбой. Поэтому в случае возникновения любой нештатной ситуации есть четкий план действий по ликвидации последствий разлива, а данные мониторинга позволяют координировать работы и направлять их.

Вместе с тем, надо отметить, что несмотря на усиливающийся контроль со стороны государства, говорить о массовом действительно высоком уровне ответственности со стороны недропользователей, транспортных компаний и операторов портов пока не приходится. К сожалению, далеко не все осознают уязвимость морских экосистем и чрезвычайно высокую стоимость и сложность ликвидации последствий аварий, особенно в запущенной стадии. Даже возможные негативные последствия для компаний-виновников часто забываются и не учитываются. Между тем, как показывает практика, допустив экологическую катастрофу и не предприняв максимально оперативно все возможные шаги для ликвидации ее последствий, можно в одночасье потерять крупный бизнес, который выстраивался десятилетиями. Потому что сумма штрафов будет просто колоссальной, буквально неподъемной.

Ред.: Как часто выполняются съемки одной локации в рамках спутникового экологического мониторинга?

И.К.: Все зависит от объекта и поставленных заказчиком задач. Все оперативные данные – исключительно коммерческие, их нет в свободном доступе. Поэтому их объем, а также степень оперативности зависят от целей и возможностей заказчика. С учетом баллистики и той группировки спутников, которая существует, можно делать съемку большинства территорий каждые два-четыре часа. Но, как правило, это требуется только при наступлении аварийной ситуации. В режиме мониторинга спутник снимает каждую локацию 1-2 раза в сутки.

Ред.: Чем регламентируется частота выполнения съемки?

И.К.: Начну с того, что на сегодняшний день, к сожалению, не проводится ежедневная тотальная съемка всех российских акваторий для нужд государства, в том числе, Минприроды. Поэтому и 100% контроля за всеми акваториями нет. Конечно, неправильно было бы говорить, что выявление разливов происходит случайно, но часто данные приходят с большим опозданием.

Определяя необходимую степень оперативности съемки, надо отталкиваться от того, какие последствия наступят, если загрязнение будет обнаружено поздно. Потому что, например,

при аварии на шельфе последствия могут стать катастрофическими очень быстро, а загрязнение покрывает настолько огромную площадь, что сама ликвидация может стать практически невозможной.

Ред.: Не является ли препятствием для проведения мониторинга темное время суток, облачность и плохие погодные условия?

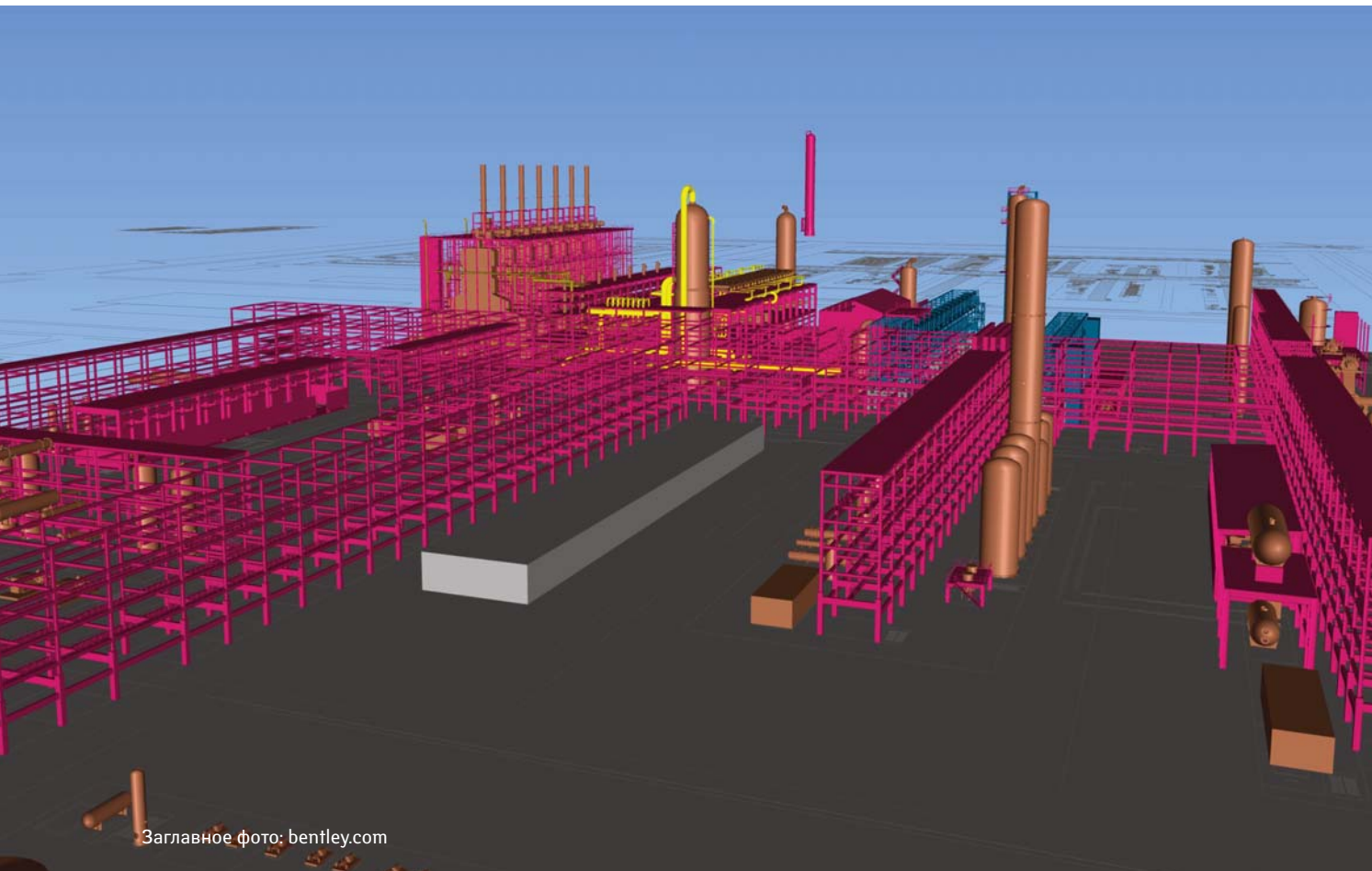
И.К.: Мы пользуемся данными радиолокационной съемки. Для этого метода на акваториях нет никаких ограничений, поэтому это очень эффективная технология. Однако, как я уже говорил, если нет специального запроса, каждая локация снимается не очень часто. А для мониторинга возможных загрязнений и прочих аварийных ситуаций применяются визуальные методы наблюдения. Согласно российскому законодательству, при выполнении разведочного бурения на шельфе на определенном удалении от объекта должна быть обеспечена аварийно-спасательная готовность, а также ведется круглосуточное дежурство. Однако как раз в темное время суток визуальное наблюдение становится практически бесполезным.

Ред.: Фактически интересантами съемки является государство, как владелец недр и карающий орган, а заказчиками – недропользователи? Не может быть такого, что компании закроют глаза на разлив или не сообщат о нем государству? Не возникает ли тут конфликт интересов?

И.К.: Как я уже говорил, все недропользователи обязаны следить за экологической безопасностью и на суше, и на море. И если происходит разлив, главная их задача – оперативно выявить загрязнение, чтобы в максимально короткие сроки его локализовать и затем ликвидировать последствия. Власти законодательно все эти процессы отрегулировали, а также определили организации, участвующие в согласовании планов действий на случай аварий и отвечающие за ликвидацию последствий. Государство в этой цепочке в следующий раз появляется только на этапе оценки ущерба и расчета штрафных санкций.

В целом же государство объективно пока не в состоянии контролировать огромные площади своей территории, где идет разведка, добыча или транспортировка углеводородов.

Ред.: Спасибо за интересную беседу! 



Заглавное фото: bentley.com

ПРИЛОЖЕНИЯ BENTLEY РАСШИРИЛИ ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ГИГАНТА

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
«ГЕОИНФО»

info@geoinfo.ru

BENTLEY SYSTEMS

Компания «Волгограднефтепроект» использовала программные решения Bentley для работы над проектом крупного газоперерабатывающего завода и прежде всего для создания его цифрового двойника на этапе проектирования, что позволило сэкономить около 5,5 млн долларов США. Представляем вниманию читателей краткий обзор различных материалов об этом.

Отметим, что компания Bentley Systems является ведущим мировым разработчиком и поставщиком программного обеспечения в сферах проектирования, строительства и эксплуатации инфраструктурных объектов (кроме того, только за последние несколько лет она приобрела такие известные компании, как PLAXIS, Keynetix, SoilVision, Sensemetrics, Vista Data Vision, Seequent, OXplus и др.).

Статья написана при поддержке партнера журнала «ГеоИнфо» – представительства компании Bentley Systems в России и СНГ.

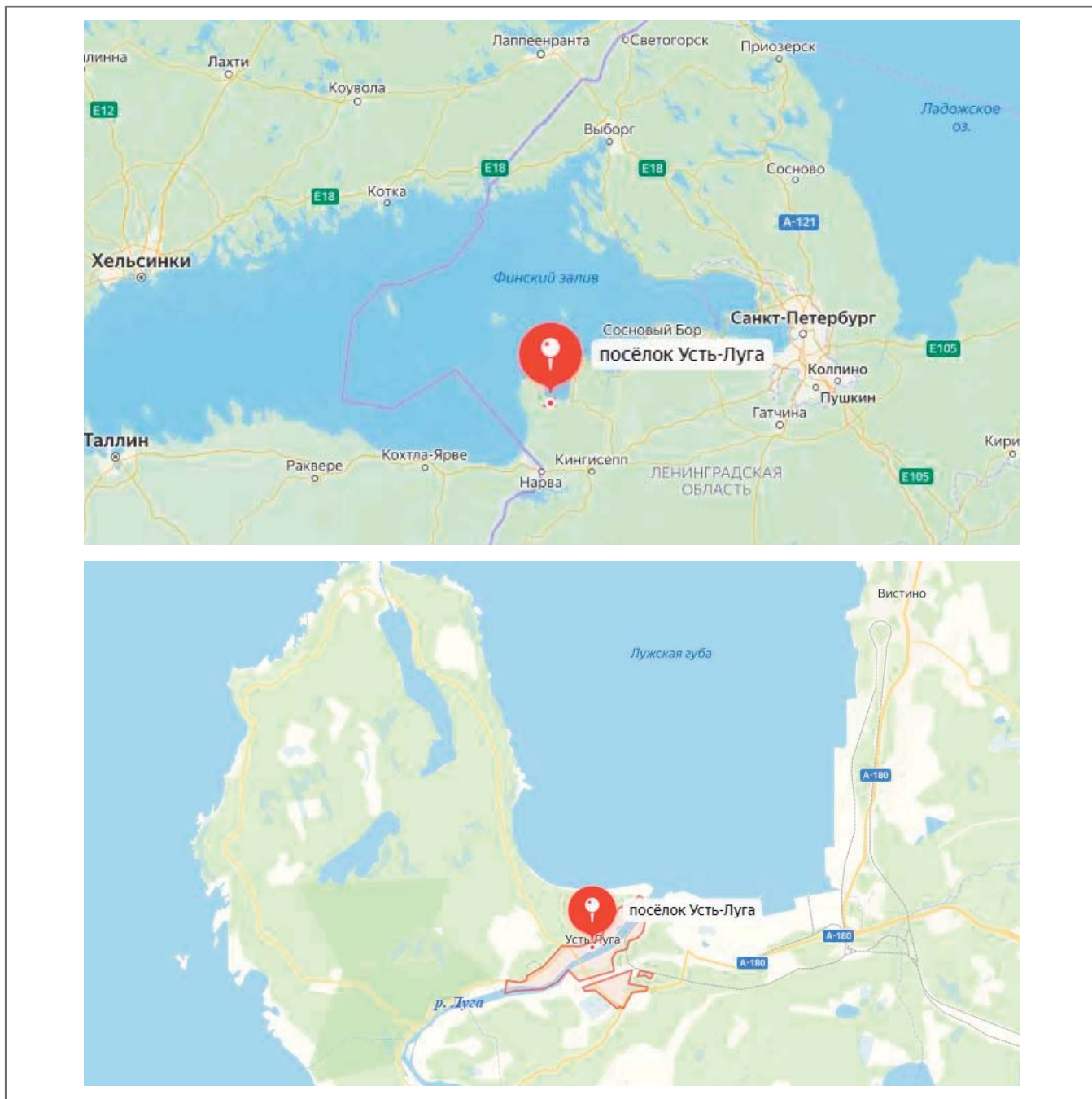


Рис. 1. Расположение поселка Усть-Луга

Введение ►

Российское государство все более активно инвестирует средства в инфраструктурные проекты. И тут реальной необходимостью становится цифровизация результатов инженерных изысканий, проектирования объектов строительства и управления их последующей эксплуатацией.

В том числе все больше используются облачные сервисы iTwin от компании Bentley Systems, являющиеся инновационной технологической основой информационного моделирования проектируемых зданий и сооружений (BIM) для построения наиболее эффективных цифровых двойни-

ков реальных объектов инфраструктуры. Комплексная платформа iTwin, несомненно, помогает проектным институтам, инжиниринговым компаниям, строительным фирмам и владельцам промышленных предприятий повышать прибыльность своего бизнеса и сохранять конкурентоспособность на рынке.

Отметим, что цифровой двойник отличается от BIM-модели наличием дополнительной информации, то есть является моделью не только самого объекта строительства, но и организационных процессов при реализации проекта. Он агрегирует данные из разных источников, имеет открытый API (Ar-

plication Programming Interface – программный интерфейс приложения) для разработки собственных приложений.

Использование BIM-технологий и цифровых двойников позволяет визуализировать объекты на всех этапах их жизненного цикла, оптимизировать эффективность их проектирования, эксплуатации, ремонта, реконструкции или ликвидации, заранее без рисков проигрывать сценарии «что, если», отслеживать и анализировать любые изменения, обеспечивать согласованность работы участников проектов.

В 2020 году российская компания «Волгограднефтепроект» стала лауреа-



Рис. 2. В поселке Усть-Луга и его окрестностях

том премии «За особые достижения» ежегодного конкурса *«Год в инфраструктуре»*, в рамках которого присуждаются награды за успехи пользователей программного обеспечения Bentley в сферах проектирования, строительства и эксплуатации инфраструктуры по всему миру. Эта компания победила в категории «Комплексное использование цифровых двойников промышленных объектов», представив проект «Комплекс переработки этаносодержащего газа. Обеспечение строительства». Об этом проекте и пойдет дальше речь.

Комплекс, которому нет аналогов в мире ▶

Российский поставщик природного газа ПАО «Газпром» решил создать

комплекс по переработке этаносодержащего газа (КПЭГ) общей площадью более 4 кв. км рядом с поселком Усть-Луга, расположенным вблизи места впадения реки Луга в Финский залив Балтийского моря в северо-западной части Кингисеппского района Ленинградской области (рис. 1, 2). Этот поселок существует под разными названиями с 1571 года. Его население на сегодняшний день составляет около 2,3 тыс. человек. В нем имеется рыбоперерабатывающий комбинат, рядом находятся железнодорожная станция, автодорога 41К-109 и стремительно развивающийся морской торговый порт. Благодаря строительству КПЭГ население этого населенного пункта предположительно увеличится. Тем более что в его районе планируется

создание рекреационных зон, грузового аэропорта, нефтеперерабатывающего завода и других промышленных парков. В самом поселке идет строительство нового жилья.

В указанный газпромовский комплекс войдут газоперерабатывающий завод (ГПЗ), газохимический комплекс (ГХК) и соответствующая транспортная инфраструктура. Там будут производиться этилен и этиленовые полимеры методом пиролиза этана. Данный промышленный гигант пока не имеет аналогов в мире по планируемым объемам переработки сырья и производимой полимерной продукции (3 млн т в год).

Для работы над этим проектом стоимостью 12 млрд евро было необходимо эффективное управление инфор-

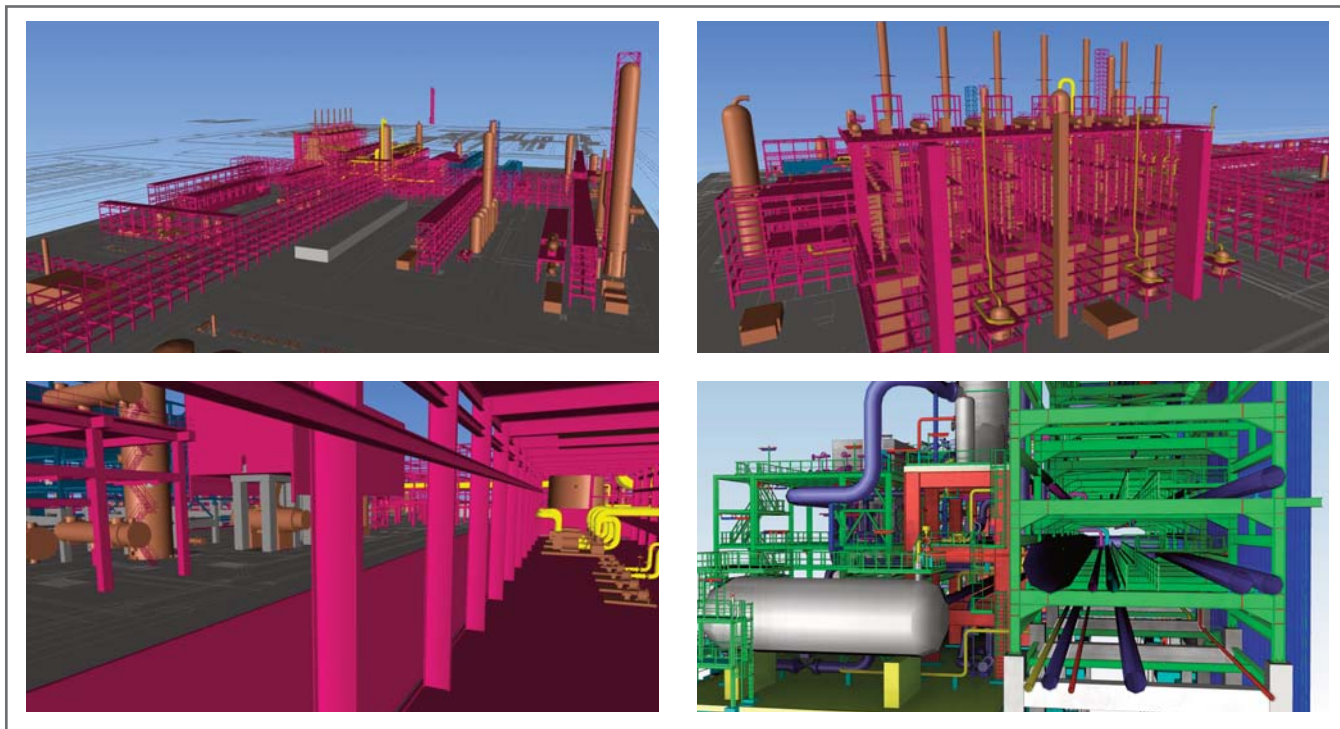


Рис. 3. Элементы цифрового двойника газоперерабатывающего комплекса, строящегося вблизи поселка Усть-Луга

мацией и координация работы множества специалистов с учетом сжатых сроков. В качестве основного исполнителя была выбрана российская компания «Волгограднефтепроект». Однако в развитии проекта приняли участие специалисты и из других стран – Нидерландов, Южной Кореи и Китая.

Для производства полиэтилена необходимо большое количество воды (130 тыс. куб. м в день) и практически полное отсутствие загрязненных отходов. Поэтому для КПЭГ требовалось обеспечить максимально возможное повторное использование воды. И перед проектной командой прежде всего стояла задача разработать систему для сбора и очистки промышленных, дождевых и сточных вод для их использования на производстве, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду.

Цифровые инструменты проектирования и управления строительством

Для успешного развития такого крупномасштабного и высокотехнологичного проекта надо было расширить возможности цифровых технологий. Необходимо было найти наилучшее многофункциональное решение BIM, обеспечивающее:

- оперативный и надежный обмен данными для организации эффективной совместной деятельности участников проекта (в том числе находящихся в разных странах);



Рис. 4. Подготовка территории для строительства газоперерабатывающего комплекса вблизи поселка Усть-Луга

- создание цифрового двойника КПЭГ на этапе проектирования с учетом требований к объекту при его эксплуатации, а также с возможностью внесения изменений для обеспечения актуальности двойника на протяжении всех этапов проектирования, строительства и эксплуатации;

- управление информацией и работами на всех стадиях разработки и реализации проекта с соблюдением назначенных сроков, а также на этапе эксплуатации построенного предприятия.

В ООО «Волгограднефтепроект» поняли, что соответствующее программное обеспечение может предо-

ставить компания Bentley Systems. Созданный с его помощью цифровой двойник выступил в роли комплексной динамичной среды для организации совместной работы международной команды.

Для просмотра, проверки, сравнения и сборки 3D-модели, элементы которой были созданы в различных приложениях для информационного моделирования и проектирования (таких как AVEVA, TEKLA, решения Bentley и др.), использовались сервисы Bentley iTwin.

Для организации совместной работы, управления проектными данными, контрактной документацией и анали-

тической информацией, для получения достоверных данных из единого источника, для создания единой системы планирования и приемки работ использовался программный комплекс Bentley ProjectWise.

Для моделирования строительства и создания рабочих пакетов для планирования и управления строительными работами применялся комплекс программных решений Bentley SYNCHRO. При этом для планирования и управления строительством использовали подход AWP (Advanced Work Packaging – общий процесс разбиения данных и материалов по объекту на последовательность подробных рабочих пакетов различного назначения и разной детализации).

Наконец, в будущем для умной эксплуатации объекта, его технического обслуживания и контроля активов цифровой двойник будет привязан к Bentley AssetWise ALIM (полной информационной системе жизненного цикла активов, объединяющей управление документами, данными и физической конфигурацией с проверенным механизмом контроля изменений).

Следует отметить, что помимо указанных выше инструментов для развития проекта использовались также следующие программные продукты от

Bentley: Bentley Raceway and Cable Management; iModel.js; iTwin Design Review; iTwin Design Validation; MicroStation; OpenBuildings; OpenPlant; ProStructures; SYNCHRO 4D.

Заключение ►

При работе над проектом нового российского комплекса по переработке этаносодержащего газа (КПЭГ) компания «Волгограднефтепроект» использовала многофункциональное решение BIM на основе приложений Bentley для разработки системы управления информацией и цифрового двойника данного промышленного объекта (рис. 3). Причем цифровой двойник был получен уже в процессе проектирования и лишь частично изменялся во время возведения КПЭГ без дополнительных затрат, которые бы потребовались при его создании после завершения строительства. Это позволило сэкономить на выполнении дополнительных организационных задач от шести месяцев до года и примерно 5,5 млн долларов США.

Выбранный подход компании «Волгограднефтепроект» к применению передовых технологий для управления данными позволил создать комплексную динамичную среду для совместной работы участников проекта, информа-

ционного моделирования, визуального планирования и управления проектированием, строительством и эксплуатацией газоперерабатывающего комплекса.

На этой основе проект газоперерабатывающего комплекса был разработан с большой экономией времени и денег. А теперь, на этапе строительства (рис. 4), каждый комплект строительной документации разрабатывается быстрее и полностью готов к началу соответствующих работ, все необходимые материалы поступают на площадку строго к моменту необходимости (что ликвидирует простои, сокращая рабочее время на 10–15%), распределение задач по ведению работ и их приемка происходят точно в соответствии со строительной документацией. В результате увеличение темпов строительства составляет около 10% и ожидается, что оно завершится на 3–6 месяцев раньше, чем было бы при использовании привычных старых технологий. При этом на этапе эксплуатации предприятие будет оказывать минимальное воздействие на окружающую среду: не будет сброса в водоемы загрязненных отходов и будет сокращен забор воды из внешних источников почти на 50% благодаря ее повторному использованию после очистки. **И**

«...Возможности цифровых двойников в будущем неограниченны и позволят нам устранить потенциальные ошибки в реальном мире. Цифровые модели объединяют участников проекта (вне зависимости от их количества и местоположения) в процессе принятия и реализации решений. Это язык международного общения».

Сергей Голуб,
начальник отдела
комплексного проектирования и аудита
ООО «Волгограднефтепроект»

Источники ►

1. bentley.com/ru.
2. bentley.com/ru/about-us/news/2020/october/19/ai-volgogradnefteprojekt.
3. bentley.com/ru/products/brands/projectwise.
4. bentley.com/ru/products/brands/synchro.
5. bentley.com/ru/products/product-line/asset-performance/assetwise-alim.
6. bentley-soft.ru/itwin/.
7. cadmaster.ru/magazin/articles/cm_96_02.html.
8. facebook.com/BentleyRussia/posts/695153884522301.
9. formtotics.ru/bentley-systems-obiavliaet-pobeditelei-konkyrsa-god-v-infrastryktyre-2020/.
10. ibcon.ru/awp.
11. interfax.ru/pressreleases/734172.
12. ru.wikipedia.org/wiki/Усть-Луга.
13. [ru.wikipedia.org/wiki/Усть-Луга_\(порт\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Усть-Луга_(порт)).
14. trends.rbc.ru/trends/industry/6107e5339a79478125166eeb.
15. yandex.ru/maps.



ЗЕЛЕНАЯ ЛИНИЯ МЕТРО В ТЕЛЬ-АВИВЕ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ МЕТРО В PLAXIS 2D

МАРКО КАНДЕЛА

Магистр наук, руководитель проекта в компании Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

ЛОРЕНЦО ГОРЬЕ

Магистр наук, менеджер по проектированию в Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

КРИСТИАНО БЕРТЕЛЛО

Магистр наук, инженер по геотехнике и тоннелям в Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

ЛУКА РОЗА

Магистр наук, инженер по геотехнике и тоннелям в компании Geodata Engineering S.p.A, Турин (Италия)

Тель-Авив имеет самую большую экономику на душу населения на Ближнем Востоке. В последние годы растущий спрос на улучшение мобильности привёл к ускоренному развитию городской системы общественного транспорта.

Проектируемая сеть включает три линии метро (M1, M2 и M3) и три линии легкорельсового транспорта (скоростной трамвай): Red, Green и Purple (Красная, Зелёная и Фиолетовая ветки).

Зелёная линия — это проект легкорельсового транспорта, который входит в сеть общественного транспорта.

В статье представлены основные аспекты, касающиеся двух станций метро, входящих в этот проект, в качестве конкретных примеров, с акцентом на двухмерный численный анализ, выполненный с помощью программного обеспечения PLAXIS 2D, основанного на методе конечных элементов.

Цель статьи — продемонстрировать на примере станций Arlozorov West и Rabin пригодность двухмерного конечно-элементного анализа для проектирования конструктивных элементов наружных корпусов станций метро даже в сложных условиях.

Перевод статьи подготовлен и предоставлен для публикации компанией «НИП-Информатика».

Проект Зелёной ветки ▶

Проект Зелёной ветки — это линия легкорельсового транспорта, которая соединит южные районы агломерации Гуш-Дан. Она представляет собой одно из основных решений для развития транспортной инфраструктуры на побережье Средиземного моря и упрощает доступ к университетским и производственным районам. Длина линии легкорельсового транспорта составит ~39 км (4,5 км под землёй) и 62 станции, четыре из которых расположены под землёй. Две из них описаны ниже.

Станция Arlozorov West ▶

Станция Arlozorov West имеет размеры внешнего корпуса около 23×197 м при глубине около -27 м. Котлован будет вырыт по технологии cut and cover (букв. «разрезать и накрыть», это открытый способ проходки с устройством временных перекрытий), а постоянные конструкции станции будут строиться по технологии bottom-up («снизу вверх»). Стены в грунте достигают отметок -40 м над уровнем моря, а их толщина составляет 1,2/1,5 метра. В качестве несущей системы запроектированы четыре уров-

ня стальных распорок: круглые полые профили диаметром 914/1219 мм и толщиной 16/25 мм с шагом 3/5 метра. Стандартное поперечное сечение дополнено временной бетонной плитой на уровне дна котлована (толщиной 200 см) и стальной ферменной конструкцией на уровне земли, выполняющей роль настила для обеспечения работоспособности городской дорожной сети во время строительных работ (рис. 1).

Окрестности станции характеризуются наличием подпорных стен, невысокой застройкой (четыре этажа),

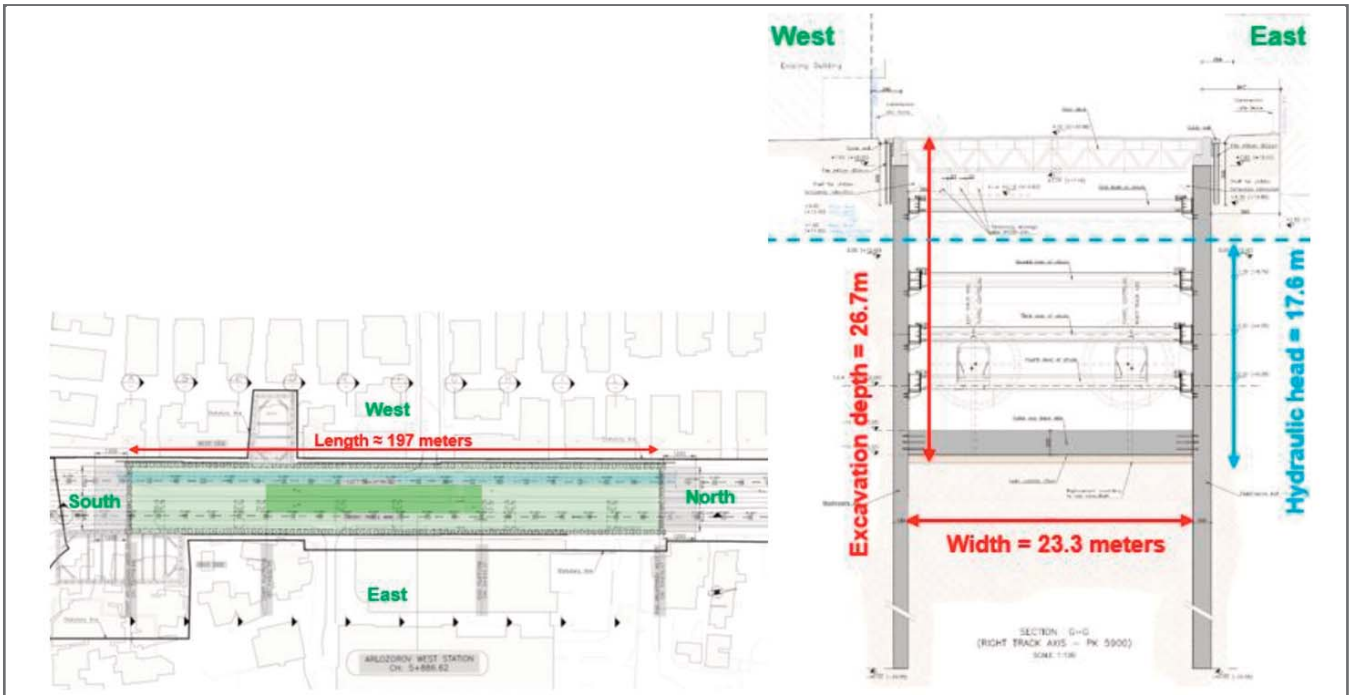


Рис. 1. Вид в плане и поперечное сечение станции Arlozorov West

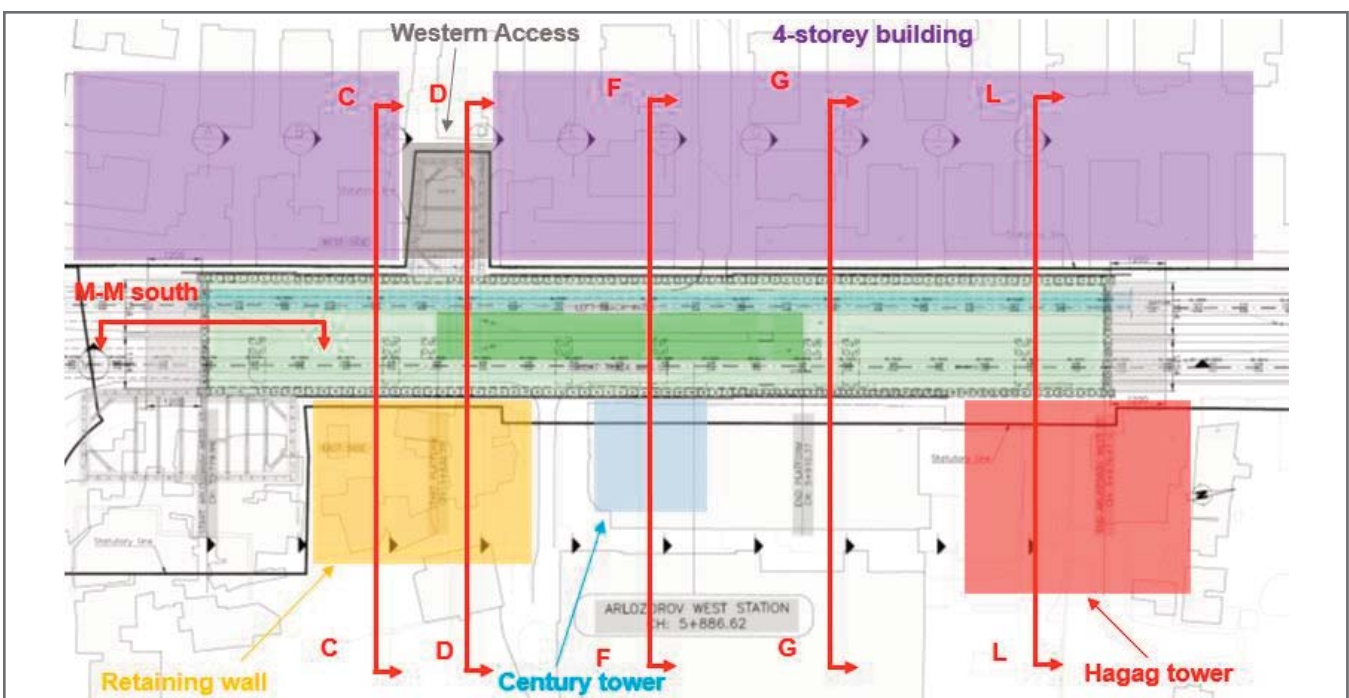


Рис. 2. Рассматриваемые участки и окрестности станции Arlozorov West

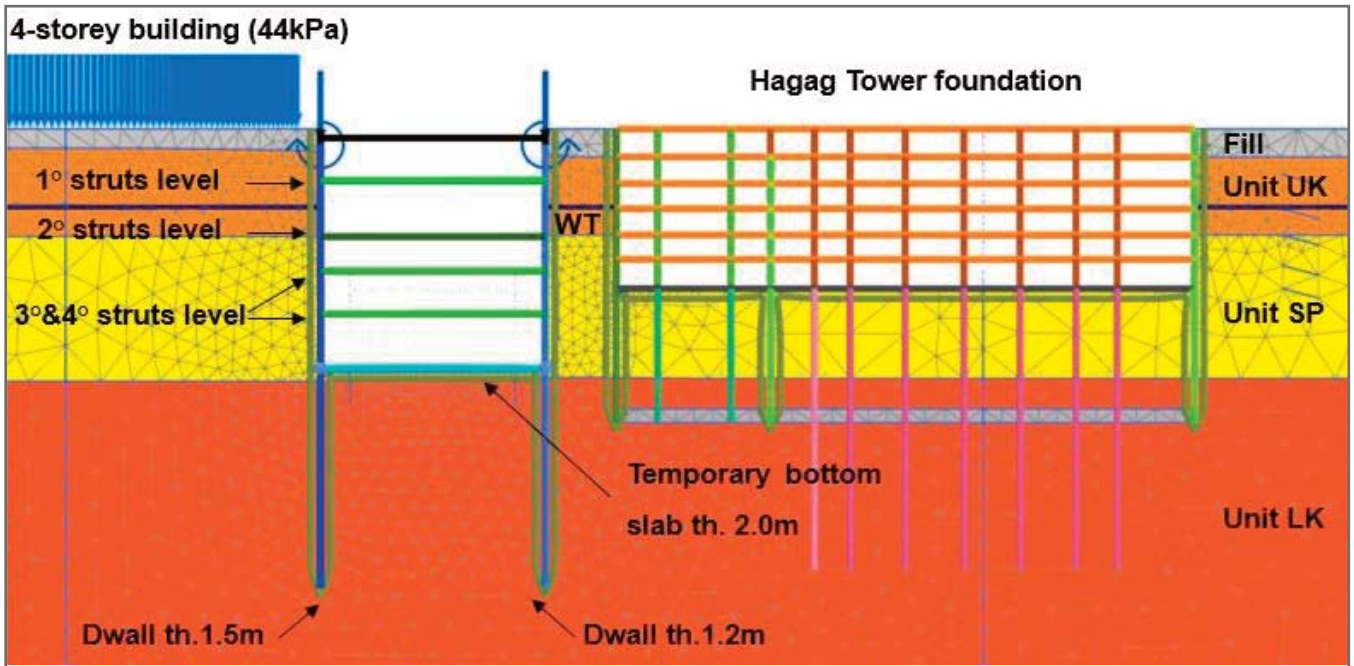


Рис. 3. Модель станции Arlozorov West в PLAXIS 2D

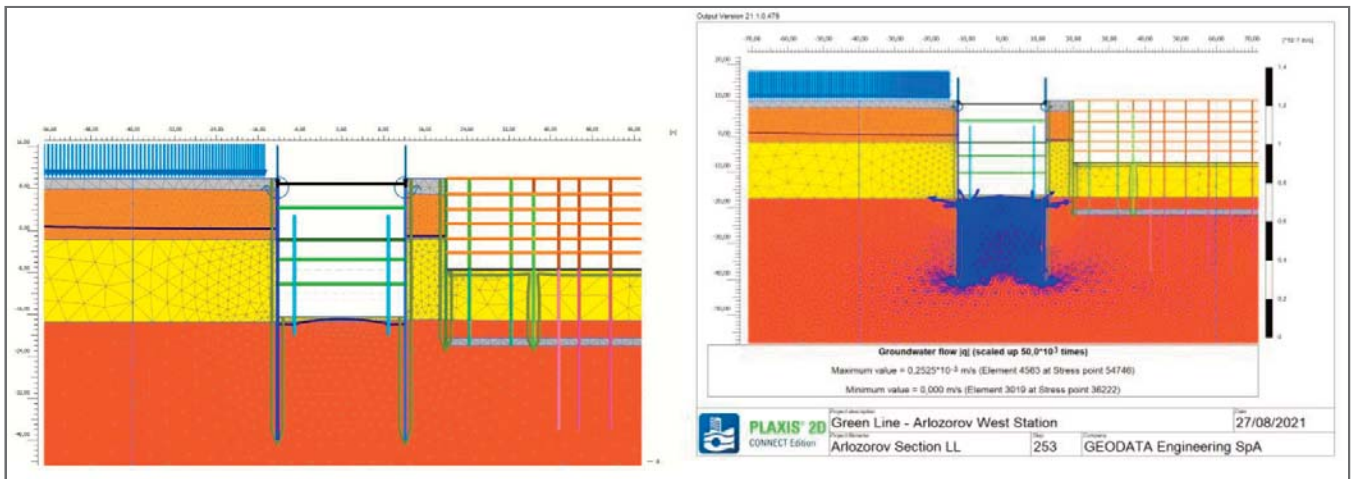


Рис. 4. Моделирование системы водопонижения на станции Arlozorov West

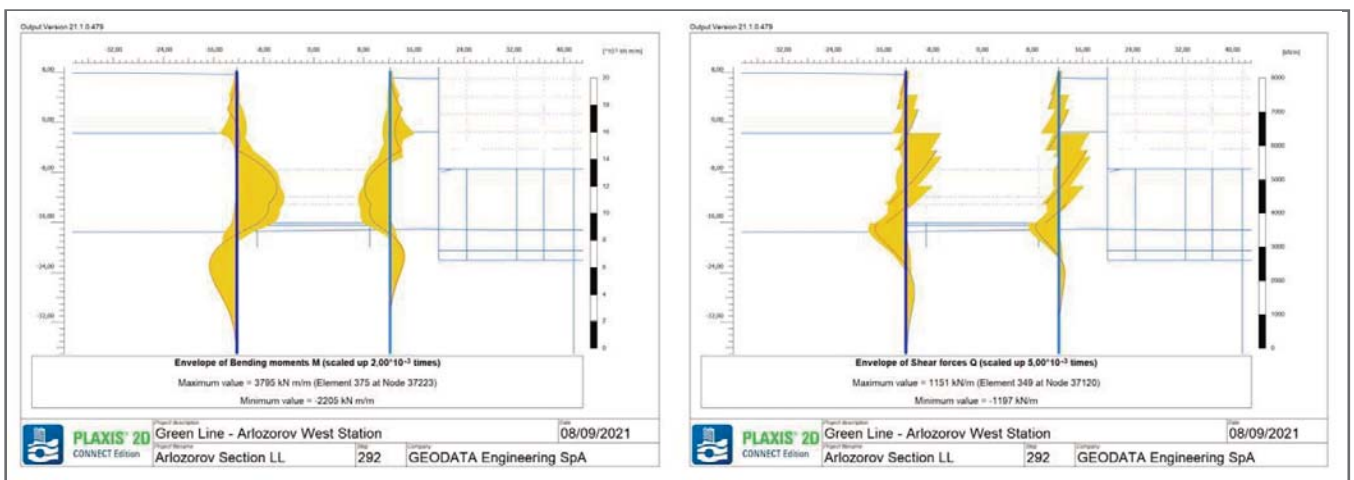


Рис. 5. Огибающие изгибающих моментов и поперечных сил в стенах в грунте на станции Arlozorov West

высотками (существующие и строящиеся) и входами на станцию — см. рисунок 2.

Далее представлен анализ участка L-L (см. рис. 2), расположенного между четырёхэтажными зданиями в

западной части и будущей башней Хагаг (Hagag Tower) в восточной части. В настоящее время выполнены только

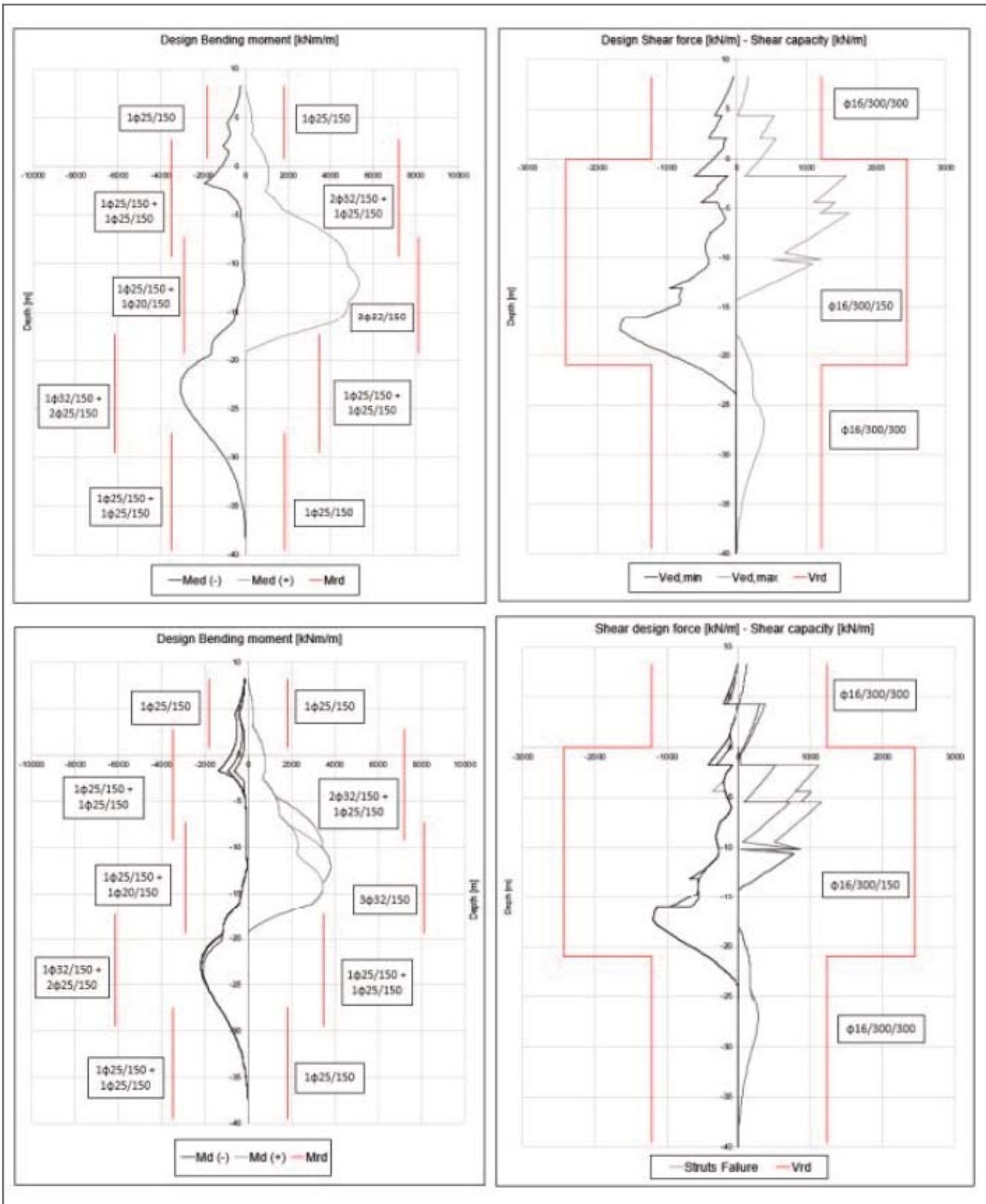


Рис. 6. Проверка конструкции стен в грунте на станции Arlozorov West

земляные работы на подземных этажах башни и её фундаменте. Расстояние между будущей башней и станцией составляет 7,5 м, а фундамент здания достигает 7,4 м над уровнем моря (около 17,5 м от поверхности).

Геологические и гидрогеологические условия соответствуют результатам ис-

следований, проведённых в данном районе: геология в основном характеризуется плотным и известняковым песком, а в расчётах была использована модель упрочняющегося грунта *Hardening soil*, обеспечивающая надёжные результаты в отношении деформаций. Уровень грунтовых вод в период строительства нахо-

дится на отметке +1,5 м над уровнем моря, примерно на 9 м ниже уровня земли.

В модели были использованы различные конструктивные элементы, представляющие бетонные стены в грунте и конструкции перекрытия (плитные элементы) и стальные элементы (т. е. стойки и стальной настил, смоделированные с по-

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	34678	1	-12.250	4.350	-2746.385	-2746.385	0.000
Element 3-3 (Node-to-node anchor)	9150	2	12.250	4.350	-2746.385	-2746.385	0.000

Maximum Axial force (Static combination) – first row level struts

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_2_1	12053	1	12.250	-1.750	-7009.394	-7009.394	0.000
Element 7-7 (Node-to-node anchor)	36218	2	-12.250	-1.750	-7009.394	-7009.394	0.000

Maximum Axial force (Static combination) – second level of struts

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_3_1	15261	1	12.250	-5.500	-5465.195	-5465.195	0.000
Element 11-11 (Node-to-node anchor)	37120	2	-12.250	-5.500	-5465.195	-5465.195	0.000

Maximum Axial force (Static combination) – third level of struts

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_4_1	15589	2	12.250	-10.150	-4337.208	-4337.208	0.000
Element 13-13 (Node-to-node anchor)	37222	1	-12.250	-10.150	-4337.208	-4337.208	0.000

Maximum Axial force (Static combination) – fourth level of struts

Israeli standard - IS 1225 § 6.1: Compression		
Section classification	CL	3
Design compression	N _d [kN]	8212
Design strength of steel	f _t [MPa]	319
Cross section area	A [mm ²]	62581
Design compression resistance	N _{res} [kN]	19991
Compression verification	P _{comp} [-]	✓ 0.41

Israeli standard - IS 1225 § 7.2.2: Bending Moment		
Section classification	CL	3
Design bending moment	M _d [kNm]	651
Design strength of steel	f _t [MPa]	319
Calculation resistance modulus	W _y [mm ³]	1.53E+07
Design bending moment resistance	M _{res} [kNm]	4882
Flexural verification	P _{flex} [-]	✓ 0.13

Israeli standard - IS 1225 § 7.2.2: Shear force		
Design compression	V _d [kN]	74
Design shear strength	f _t [MPa]	191.7
Cross section area	A [mm ²]	62581
Shear resistant area	A _v [mm ²]	37548
Plastic design shear resistance	V _{res} [kN]	7197
Shear - Torsion verification	P _{shear} [-]	✓ 0.01

Israeli standard - IS 1225 § 7.2.2 Bending moment and Shear force		
Section classification (y direction)	CL	3
Design bending moment	M _d [kNm]	651
Reduction factor for the presence of the shear force	1 - ρ _{shear} [-]	1.00
Reduced design bending moment resistance	M _{res} [kNm]	4882
Flexural verification	P _{flex} [-]	✓ 0.13

Israeli standard - IS 1225 § 8.1: Buckling resistance - Axial force		
Section classification	CL	3
Area of the cross-section	A [mm ²]	62581
Slenderness around	λ [-]	62.46
Adimensional slenderness	λ _{rel} [-]	0.82
Instability curve	α [-]	0.21
Instability coefficient	χ [-]	1.35
Reduction coefficient of resistance	χ [-]	0.79
Characteristic strength (considering buckling)	f _t [MPa]	271
Design strength (considering buckling)	f _t [MPa]	251
Compression capacity of steel element (considering buckling)	N _{res} [kN]	15726
Instability flexural verifications	P _{flex} [-]	✓ 0.52

Israeli standard - IS 1225 § 9.3: Buckling resistance - Axial force and bending moment		
Design compression	N _d [kN]	8212
Compression capacity of steel element (considering buckling)	N _{res} [kN]	15726
Design bending moment	M _d [kNm]	651
Reduced design bending moment resistance	M _{res} [kNm]	4882
Moment end ratio	β [-]	-1.00
Moment configuration coefficient	η [-]	1.00
Moment coefficient	β _{tr} [-]	1.34
Instability verification for Bending-Compression	P _{flex} [-]	✓ 0.20

Israeli standard - IS 1225 § 9.2: Bending, Shear and Axial Force		
Design compression	N _d [kN]	8212
Design compression resistance	N _{res} [kN]	19991
Design bending moment	M _d [kNm]	651
Reduced design bending moment resistance	M _{res} [kNm]	4882
Verification of Bending moment - Axial force	P _{flex} [-]	✓ 0.54

Рис. 7. Осевые силы (сверху) и проверки конструкции (снизу) круглых полых стоек на станции Arlozorov West

мощью межузловых анкеров node-to-node anchors). Описанная выше 2D модель PLAXIS представлена на рисунке 3.

Последовательность строительства, рассмотренная в модели:

1. Приложение существующей нагрузки на западной стороне станции.
2. Выемка грунта для первой части фундамента башни Хагаг (метод bottom-up).
3. Выемка грунта для второй части фундамента башни Хагаг (метод top-down).
4. Установка стен в грунте.

5. Первый этап выемки котлована станции и последующая установка стального настила.

6. Активация системы водопонижения.

7. Этапы выемки грунта станции и установка четырёх уровней стальных стоек.

8. Установка временной бетонной нижней плиты и деактивация системы водопонижения.

9. Деактивация четвёртого уровня стоек, чтобы освободить место для прохода ТБМ через станцию.

10. Моделирование строительства внутреннего короба и деактивация стальных стоек и настила.

Особое внимание было уделено моделированию системы водопонижения. Фактически, она задаётся путём применения двух вертикальных дренажных элементов в модели. Активированные на первых этапах расчёта дренажи были смоделированы путём установки различных значений напора воды на дренажные элементы в модели последовательно с фазами выемки грунта. После установки времен-

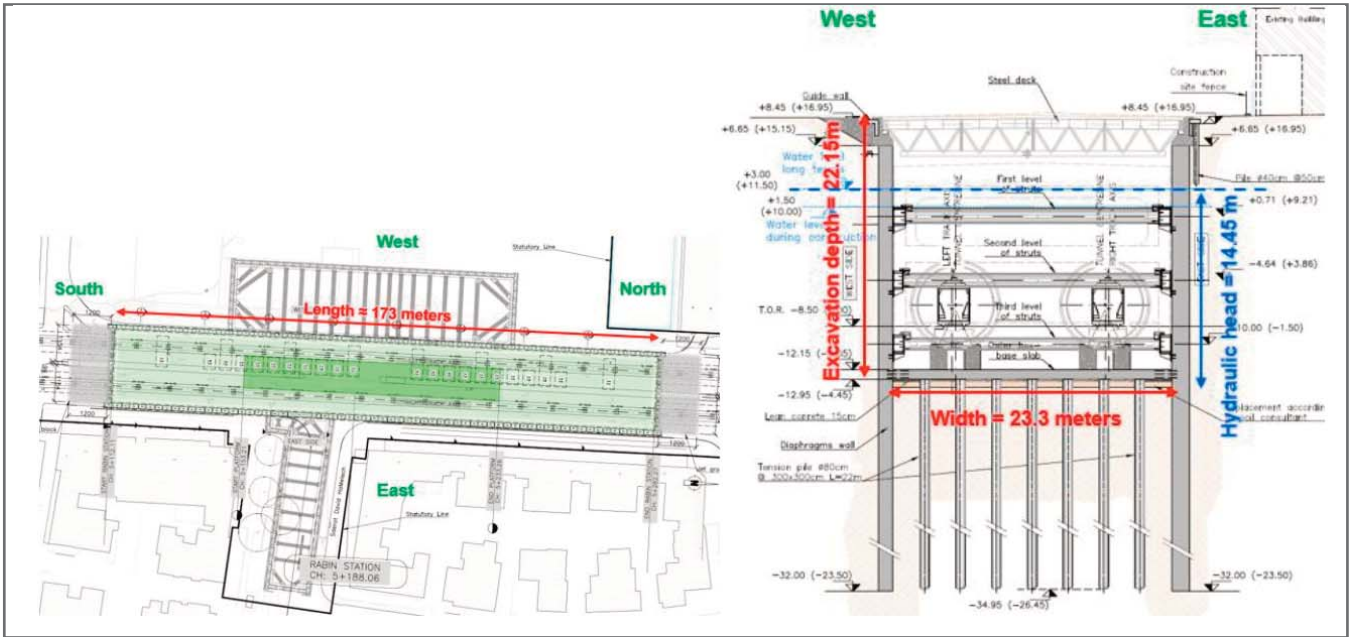


Рис. 8. Вид в плане (слева) и поперечное сечение (справа) станции Rabin

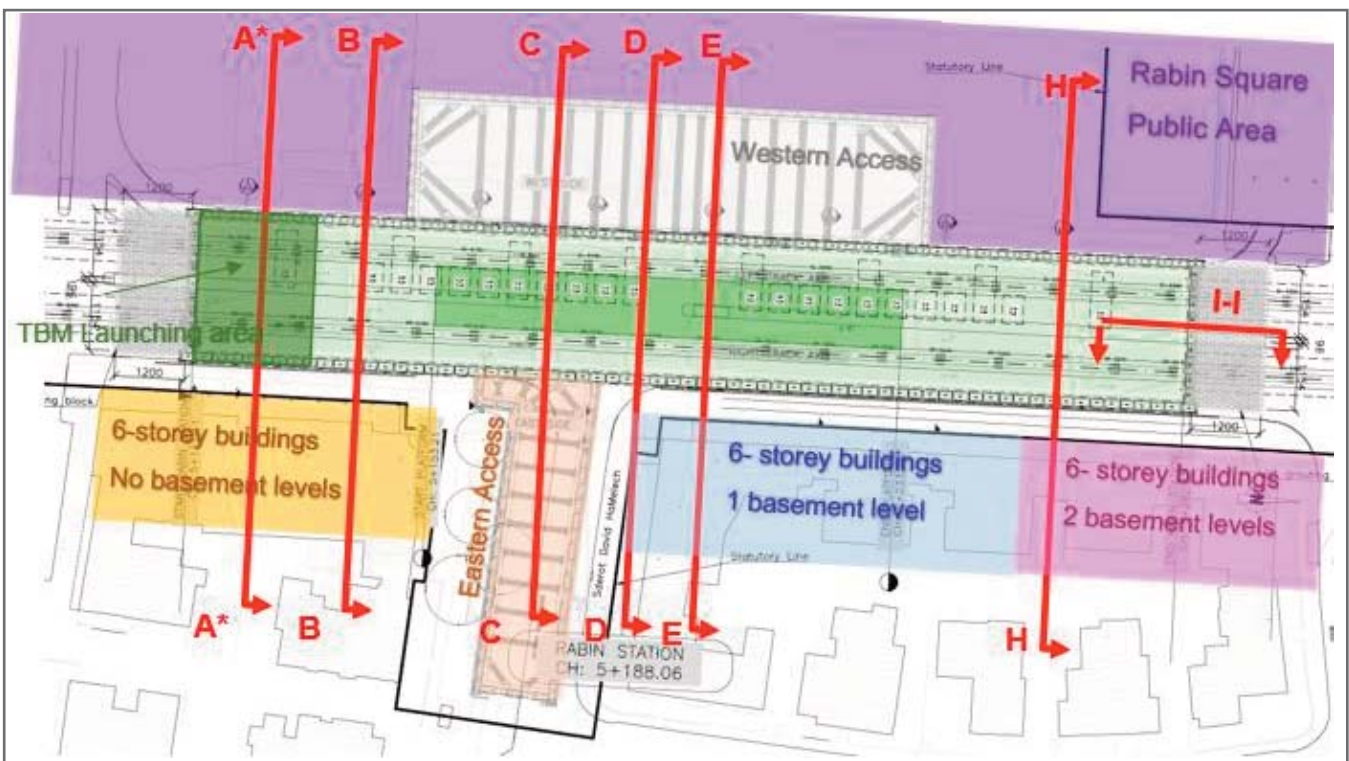


Рис. 9. Анализируемые участки и окрестности станции Rabin

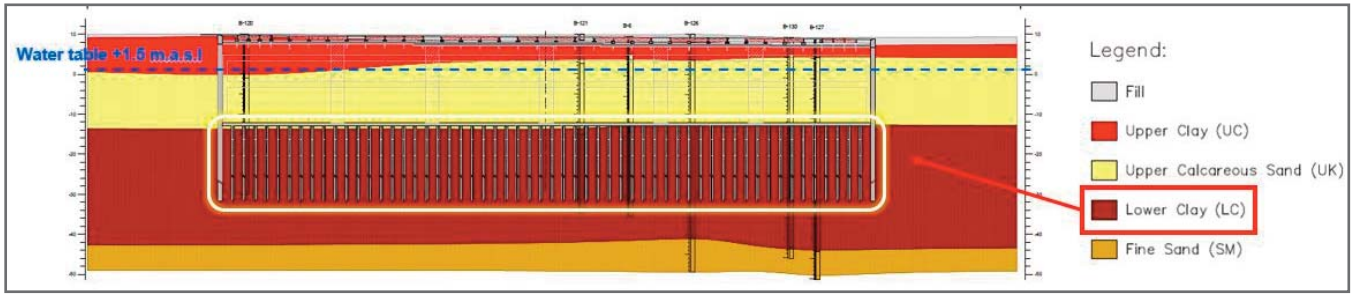


Рис. 10. Продольный разрез под станцией Rabin. Lower Clay — нижний слой глины

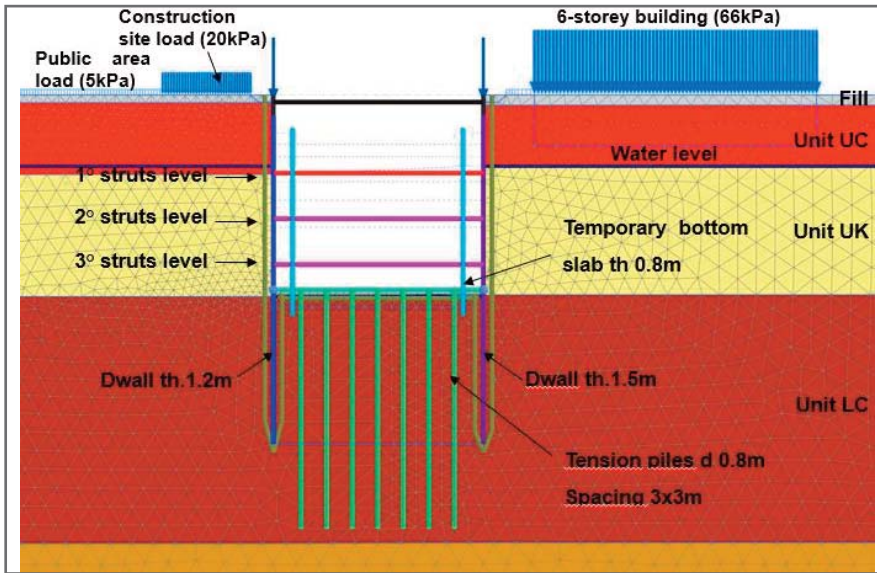


Рис. 11. Модель станции Rabin в PLAXIS 2D

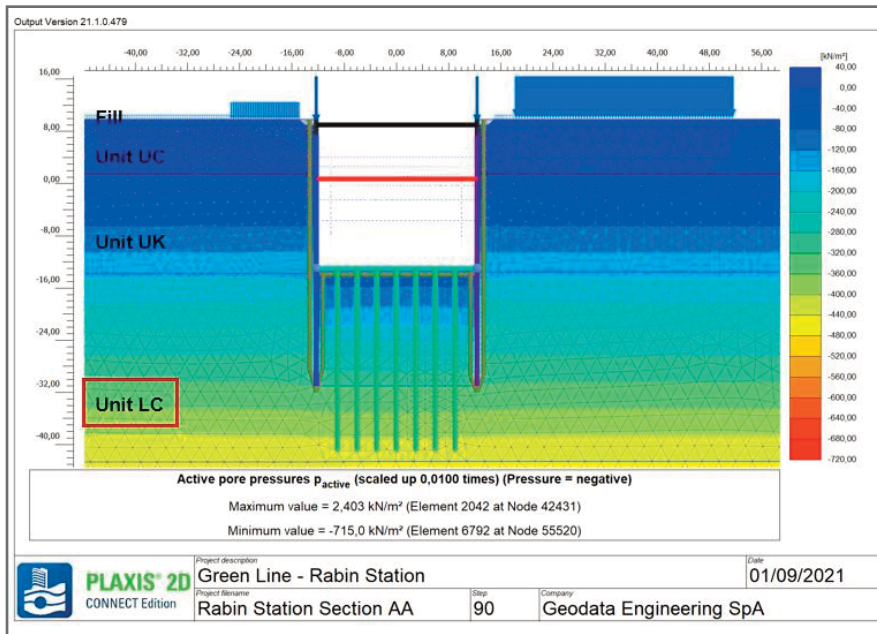


Рис. 12. Активное поровое давление после консолидации на станции Rabin

ной бетонной нижней плиты эти элементы деактивируются, а уровень грунтовых вод восстанавливается до исходного уровня. На рисунке 4 показано расположение дренажных элементов и высота уровня грунтовых вод для последней стадии выемки грунта,

а также соответствующие выходные данные, показывающие векторы потока грунтовых вод при расчёте стационарной фильтрации.

Созданная численная модель позволила команде рассчитать огибающие изгибающего момента и поперечных

сил в стенах в грунте (рис. 5), на основании которых можно было выполнить проверку конструкции (рис. 6).

Описанная численная модель даже позволила команде провести проверку структуры круглых полых стоек после расчёта максимальных осевых усилий в элементах (рис. 7).

Станция Rabin ▶

Станция Rabin имеет размер внешнего корпуса примерно 23×173 м при глубине около 22 м. Метод выемки грунта — cut and cover (см. выше), а внутренний корпус будет построен методом down-up. Стены в грунте в данном случае достигают глубины -32 м над уровнем моря, а их толщина составляет 1,2 м на западной стороне и 1,5 м на восточной. На станции Rabin в качестве опорной системы предусмотрены три уровня стальных стоек:

1. Первый уровень имеет профили диаметром 1219 мм и толщиной 25 мм.
2. На втором — профили диаметром 1219 мм и толщиной 20 мм.
3. Третий, разделённый на две типологии, на северной стороне имеет профили диаметром 1016 мм и толщиной 20 мм, а на южной стороне — диаметром 1219 мм и толщиной 20 мм.

Стандартное поперечное сечение (рис. 8) вновь дополнено временной бетонной плитой на уровне дна котлована (толщиной 80 см) и аналогичной стальной ферменной конструкцией на уровне земли (см. предыдущий пример).

При этом окрестности станции характеризуются наличием общественных площадей, невысоких зданий (до шести этажей) с различными уровнями подвалов и больших подъездов, особенно с западной стороны (рис. 9).

Представленный пример относится к участку А*-А*, который располагается в южной части станции. На восточной стороне находится шестизэтажное здание без подвальных этажей, а на западной стороне — площадь Ицхака Рабина — важное общественное место массового скопления людей.

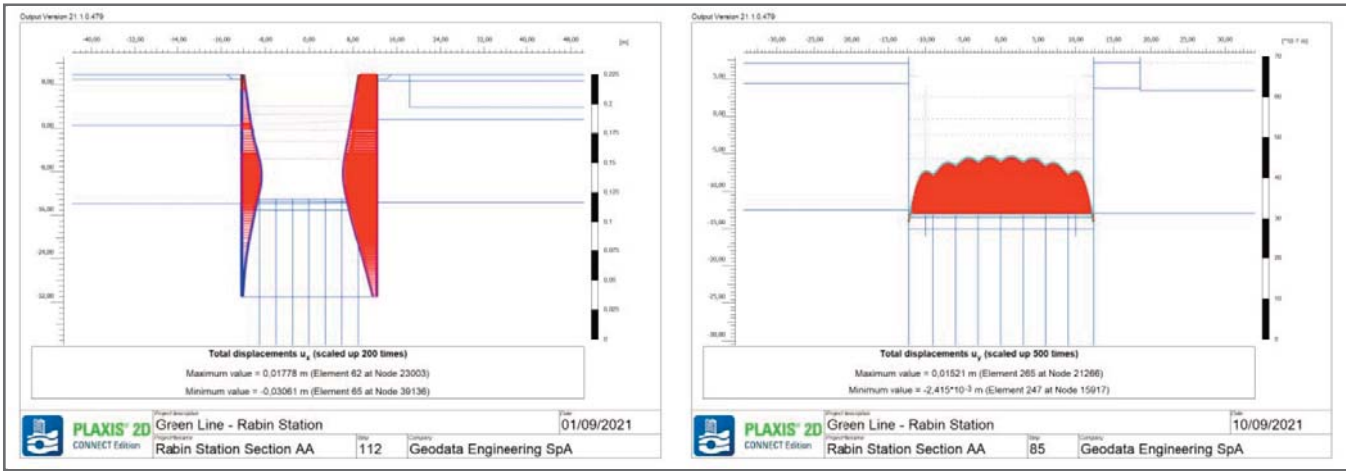


Рис. 13. Горизонтальные прогибы стен в грунте (слева) и вертикальный прогиб нижней плиты (справа) на станции Rabin

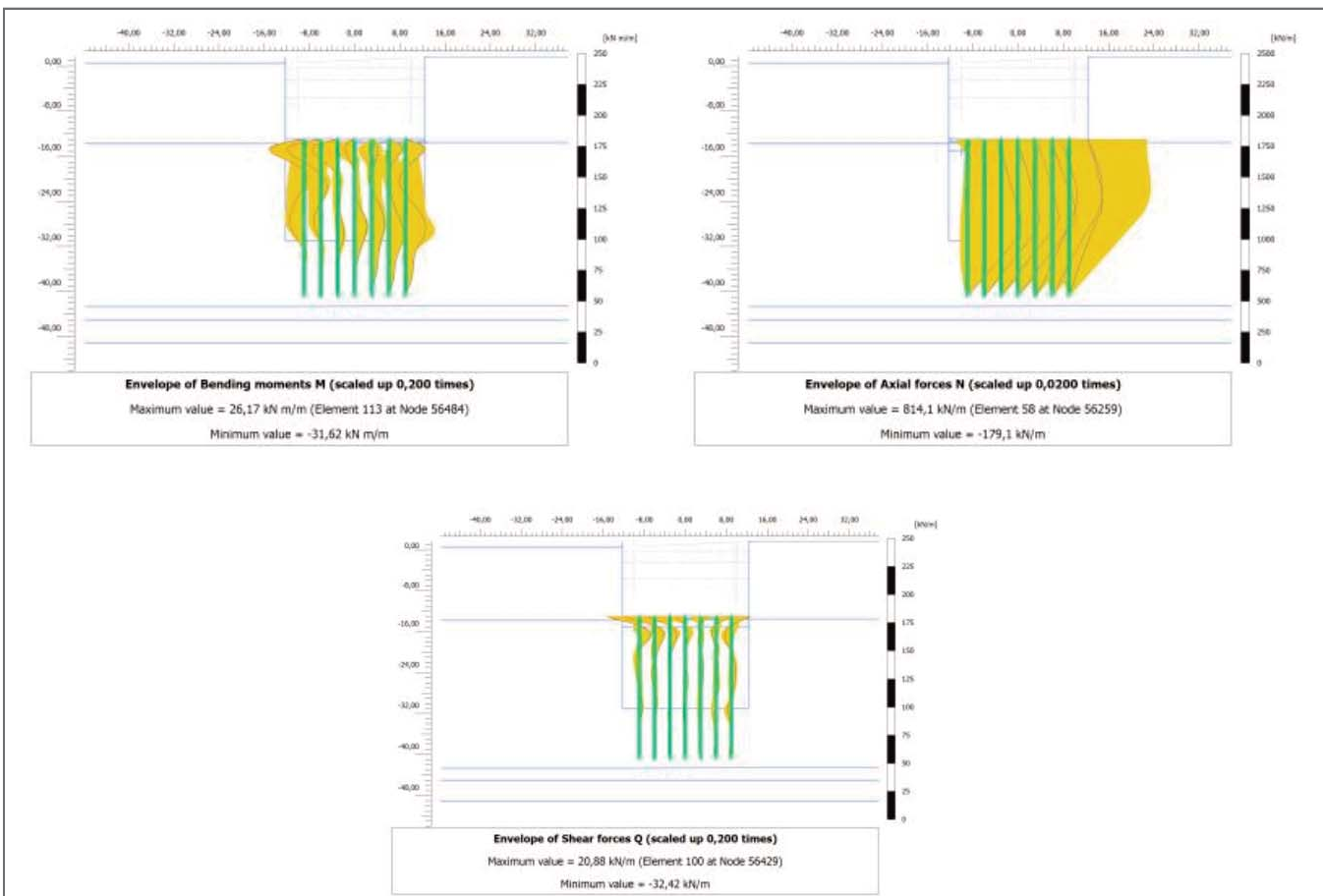


Рис. 14. Эпюры огибающих изгибающего момента, осевой силы и поперечной силы натяжных свай на станции Rabin

Геологические и гидрогеологические условия соответствуют результатам исследований, ещё раз проведенных в этом районе. В данном случае геология в основном характеризуется известковым песком, глинистым песком и песчаной глиной. Таким образом, для анализа была выбрана модель Hardening soil. Кроме того, на этом участке присутствует слой глины большой мощности, глубина подошвы которого приблизительно находится на уровне окончательного

котлована станции и достигает глубины, превышающей уровень нижней границы стены в грунте. Такая конфигурация позволила команде создать «герметичный» котлован, сократив объёмы водопонижения. Уровень грунтовых вод в период строительства находился на отметке +1,5 м над уровнем моря, примерно на 8 м ниже уровня дневной поверхности.

Элементы конструкции, которые до этого использовались для станции Arglozorov West, также применяются и в

этой модели с добавлением элемента Embedded beam rows для моделирования анкерных свай (tension piles) под нижней плитой станции. Эти технологические элементы, также известные как сваи работающие на растяжение (uplift piles) или анкерные сваи (anchor piles), представляют собой тип свайного фундамента, который используется для противодействия подъёмным силам.

Анкерные сваи были разработаны для снижения давления набухания глины, действующего на временную ниж-

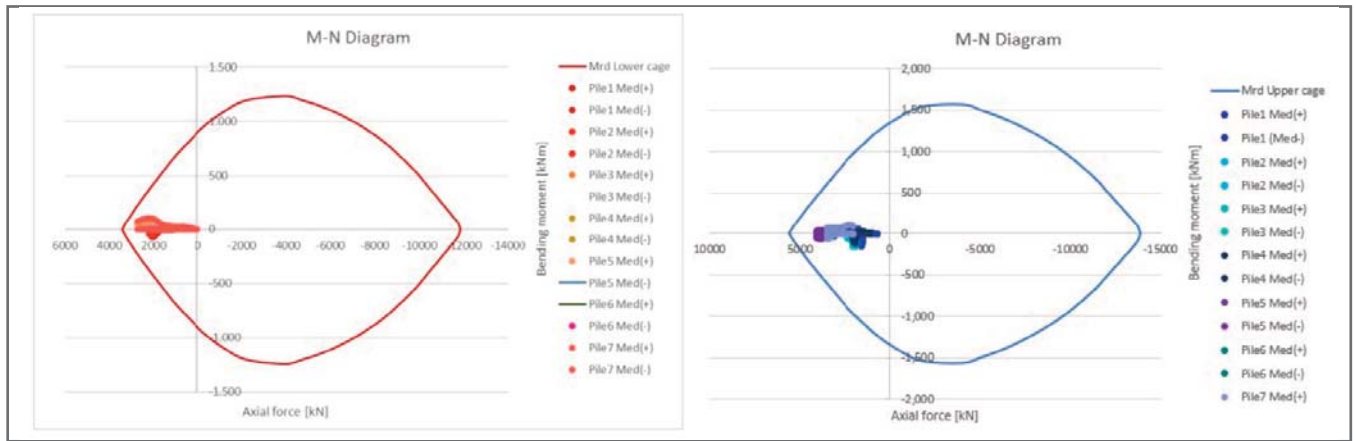


Рис. 15. Проверка конструкции на натяжных сваях на станции Рабин

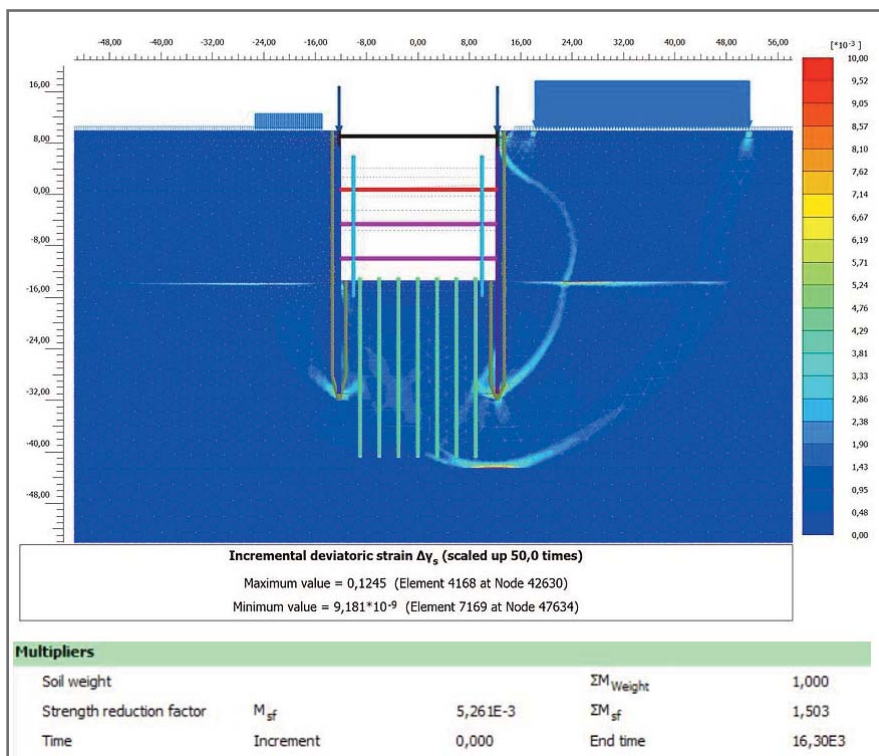


Рис. 16. Пример расчёта общей устойчивости и коэффициента запаса устойчивости (1.503)

ную плиту. Они помогают уменьшить глубину котлована, ограничивая деформации стен в грунте и осадки грунта, и, следовательно, воздействие на соседние здания. Было рассмотрено шарнирное соединение между натяжными сваями и нижней плитой. Описанная 2D модель изображена на рисунке 11.

Последовательность строительства может быть представлена следующим образом:

1. Приложение существующей нагрузки с восточной и с западной сторон станции.
2. Начальная консолидация для устранения перемещений, вызванных дополнительными нагрузками.
3. Установка стен в грунте и анкерных свай.

4. Первый этап выемки грунта под станцию и установка стального настила.

5. Активация системы водопонижения.

6. Этапы откопки котлована станции и установки трёх уровней стальных стоек.

7. Установка временной бетонной нижней плиты и деактивация системы водопонижения.

8. Деактивация третьего уровня раскосов и моделирование нагрузки при прохождении ТБМ.

9. Окончательное уплотнение после земляных работ.

10. Моделирование строительства внутреннего короба и деактивация стальных стоек и настила.

Как и в случае со станцией Arlozov West, система водопонижения задаётся с помощью вертикальных дренажных элементов в PLAXIS 2D, а уровень воды снова устанавливается на разных отметках в соответствии с фазами земляных работ. После установки бетонной временной плиты перекрытия система водопонижения отключается. Однако наличие глинистого слоя на дне котлована действует как «пробка» и создаёт избыточное поровое давление. По этой причине при проектировании была учтена консолидация. Для определения стадии, на которой необходимо было применить процесс консолидации, была проведена оценка времени консолидации. В связи с длительным временем консолидации расчёт проводился после того, как в численной модели было достигнуто конечное состояние котлована. На рисунке 12 показано распределение активного порового давления после этапа консолидации.

С помощью этой модели можно было вычислить необходимые результаты, которые требовались в представленном ранее проекте (оггибающие силы и изгибающие моменты, осевые усилия в стальных элементах). Но в данном случае особый интерес представляют другие аспекты: деформации стен в грунте и нижнего перекрытия (рис. 13).

Анкерные сваи также были проверены, в т.ч. по прочности материала. На рисунке 14 показаны эпюры изгибающего момента, осевой и сдвигающей силы на этих элементах. Рисунок 15 иллюстрирует структурные проверки, полученные на основе результатов численной модели.

Наконец, с помощью той же модели был проведен расчёт общей устойчивости (Safety). Это было сделано путём вычисления коэффициента запаса


устойчивости и проверки соответствующих поверхностей разрушения (рис. 16).

Заключение ►

Расчёты, представленные в данной статье в качестве тематических исследований, показывают применимость программного обеспечения PLAXIS 2D для геотехнического проектирования котлованов, разработанных компанией

Geodata Engineering в рамках проекта «Зелёная линия метро» в Тель-Авиве.

PLAXIS позволил команде выполнить геотехнический расчёт и принять проектное решение. Например, команда могла анализировать осадки грунта, набухание глины и фильтрацию при водопонижении. В то же время на основании выполненных расчетов они смогли запроектировать железобетонные элементы (например, секции стен

в грунте) и стальные элементы (например, стойки и ригели). 

Перевод статьи подготовлен и любезно предоставлен редакции журнала «ГеоИнфо» компанией «НИП-Информатика».

Оригинал статьи: <https://blog.virtuosity.com/green-line-metro-design-of-underground-metro-stations-with-plaxis-2d>

ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
будет выходить ежемесячно
в формате *PDF.



WWW.GEOINFO.RU



Заглавное фото: directindustry.com.ru/prod/apageo/product-60855-389496.html

ПРЕССИОМЕТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ В СЕВЕРНОЙ АМЕРИКЕ: ОБЗОР

БЕНУА ЖАН (BENOIT JEAN)

Профессор кафедры гражданского строительства Университета Нью-Гемпшира, доктор наук, г. Дарем, шт. Нью-Гемпшир, США, jean.benoit@unh.edu

ХАУИ ДЖОН (HOWIE JOHN)

Доцент кафедры гражданского строительства Университета Британской Колумбии, доктор наук, г. Ванкувер, пров. Британская Колумбия, Канада, jahowie@civil.ubc.ca

В 2022 году по инициативе и при поддержке генерального директора ООО «Петромоделинг» Алексея Бершова редакция журнала «ГеоИнфо» продолжит знакомство читателей с методом pressiометрических испытаний грунтов. Данные испытания большинством изыскателей и проектировщиков воспринимаются как «более дешевая и простая альтернатива штамповых испытаний». На деле данная технология является уникальным методом испытаний грунтов в массиве. Она используется для определения как действующих горизонтальных напряжений и коэффициента K_0 (без которого, как известно, невозможны оценка начального (природного) состояния геологической среды и дальнейшие расчетные обоснования конструкций), так и физико-механических откликов геологической среды на горизонтальное механическое воздействие. Например, таких как зависимость между напряжениями и деформациями и недренамированная прочность.

Как отмечает А. Бершов, понимание методов оценки напряженно-деформированного состояния массива грунтов очень важно для эффективного перехода к трехмерному моделированию геологической среды и построению инженерных цифровых моделей геологической среды. Это базовая часть информационной цифровой модели объекта капитального строительства, без которой любые информационные проектные построения просто «повисают в воздухе».

Сегодня предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод обзора [1] по прессиометрическим испытаниям с акцентом на проблемы таких исследований в США и Канаде, написанный профессором кафедры гражданского строительства Университета Нью-Гемпшира Жаном Бенуа (США) и доцентом кафедры геотехники и геозеологической инженерии Soils and Rocks («Дисперсные и скальные грунты»), который ежеквартально издается на английском языке в печатной и электронной версиях Бразильской ассоциацией механики грунтов и геотехники и Португальским геотехническим обществом. Практически все содержимое интернет-версии данного журнала, в том числе и переведенная статья, находится в открытом доступе в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution BY (CC BY), в связи с чем эти материалы можно использовать в некоммерческих и коммерческих целях, переводить или изменять при условии ссылки на первоисточник.

Прессиометр был разработан в 1957 году Луи Менаром. Это устройство состоит из цилиндрического зонда, который вводится в грунт путем самозабуривания или помещения в предварительно пройденную скважину, а затем расширяется, оказывая давление на грунт. На основе соответствующих измерений получают кривую зависимости расширения от давления. Методы интерпретации результатов прессиометрических испытаний, основанные на теории расширения полости, применяемой к реалистичным моделям поведения грунта, позволяют получить такие характеристики тестируемого материала, как горизонтальное напряжение в условиях естественного залегания, жесткость, прочность и изменение объема.

С момента своего появления прессиометрические испытания (PMT) были популярной темой для исследований, но не получили широкого распространения в практике геотехнических изысканий в Северной Америке, где по-прежнему преобладают стандартные динамические испытания на пенетрацию (SPT), а со сравнительно недавних пор – статические испытания на внедрение конуса с измерением порового давления (CPTu). В тот же период во Франции основными инструментами при геотехнических изысканиях для проектирования фундаментов стали прессиометры, данные которых используются там эмпирически с применением также очень большого количества испытаний на нагрузку и практического опыта. В переведенном обзоре рассматривается использование прессиометрических испытаний в практике Северной Америки, обсуждаются их сильные и слабые стороны, выявляются тенденции в их применении для описания грунтовых условий площадки и геотехнического проектирования, а также определяются возможные причины их недостаточного внедрения в отрасли.

Авторы переведенной работы пришли к выводу, что метод PMT не может конкурировать с CPTu и SPT для общей характеристики площадки, на которой такие испытания возможны, но, по их мнению, PMT имеет большой потенциал для определения проектных геотехнических параметров проблемных материалов, таких как твердые, очень плотные, гравелистые, остаточные, сапролитовые или латеритные дисперсные грунты, слабые и трещиноватые скальные породы, мерзлые грунты и лед. PMT также находит применение во всех грунтах, где возможные серьезные последствия нарушений требуют детальнейших расчетов, анализа и проектирования. Жан Бенуа и Джон Хауи также подчеркнули необходимость более серьезного обучения практикующих геотехников в отношении использования прессиометрических испытаний.

Консультационную помощь редакции при подготовке адаптированного перевода оказали генеральный директор ООО «Петромоделинг» Алексей Бершов и другие специалисты этой компании.

Ключевые слова: Менар; прессиометр; самозабуривание; предварительное бурение; конструкция прессиометра.

1. Введение ►

Первоначальную концепцию устройства прессиометра в 1933 году предложил Кёглер (Kogler), который разработал прибор, состоявший из резинового баллона, пережатого с обоих концов, который опускался в предварительно пробуренную скважину. Его расширение оказывало давление на стенки скважины и позволяло определять характеристики напряженно-деформированного состояния грунта (это был прототип так называемых *радиальных, или баллонных, прессиометров, вводимых в предварительно пройденную скважину.* – *Ред.*)

Не зная о работе Кёглера, Менар в 1957 году (Menard, 1957) разработал значительно более совершенный прессиометр, который широко использовался в инженерной практике более

полувек (в публикациях на русском языке фамилию этого исследователя часто пишут как «Менард», но, поскольку она французского происхождения, то более правильным произношением и написанием будет «Менар». – *Ред.*)

Несмотря на простоту концепции устройства и работы такого прибора, имеется ряд проблем, связанных с его установкой в скважину. Ведь предварительная проходка скважины неизбежно вызывает нарушения грунта как из-за самого процесса бурения, так и из-за разгрузки со стороны ее ствола. При использовании прессиометра Менара в относительно жестких дисперсных и в слабых скальных грунтах эти проблемы легко преодолеваются, но в пластичных глинах и таких несвязных

грунтах, как песок, эти проблемы решить труднее. Однако, если принять, что при тщательной подготовке ствола скважины нарушения в грунте и снятие напряжения минимальны, измерения расширения полости и результаты их интерпретации могут быть включены в набор правил проектирования, полученных эмпирическим путем, но на основе теории, и использоваться непосредственно в соответствии с этими правилами. Получаемые результаты также можно использовать косвенно, оценивая параметры прочности и деформирования дисперсных и скальных грунтов, которые можно применять при традиционном геотехническом проектировании.

Признавая влияние предварительного бурения на полученные парамет-

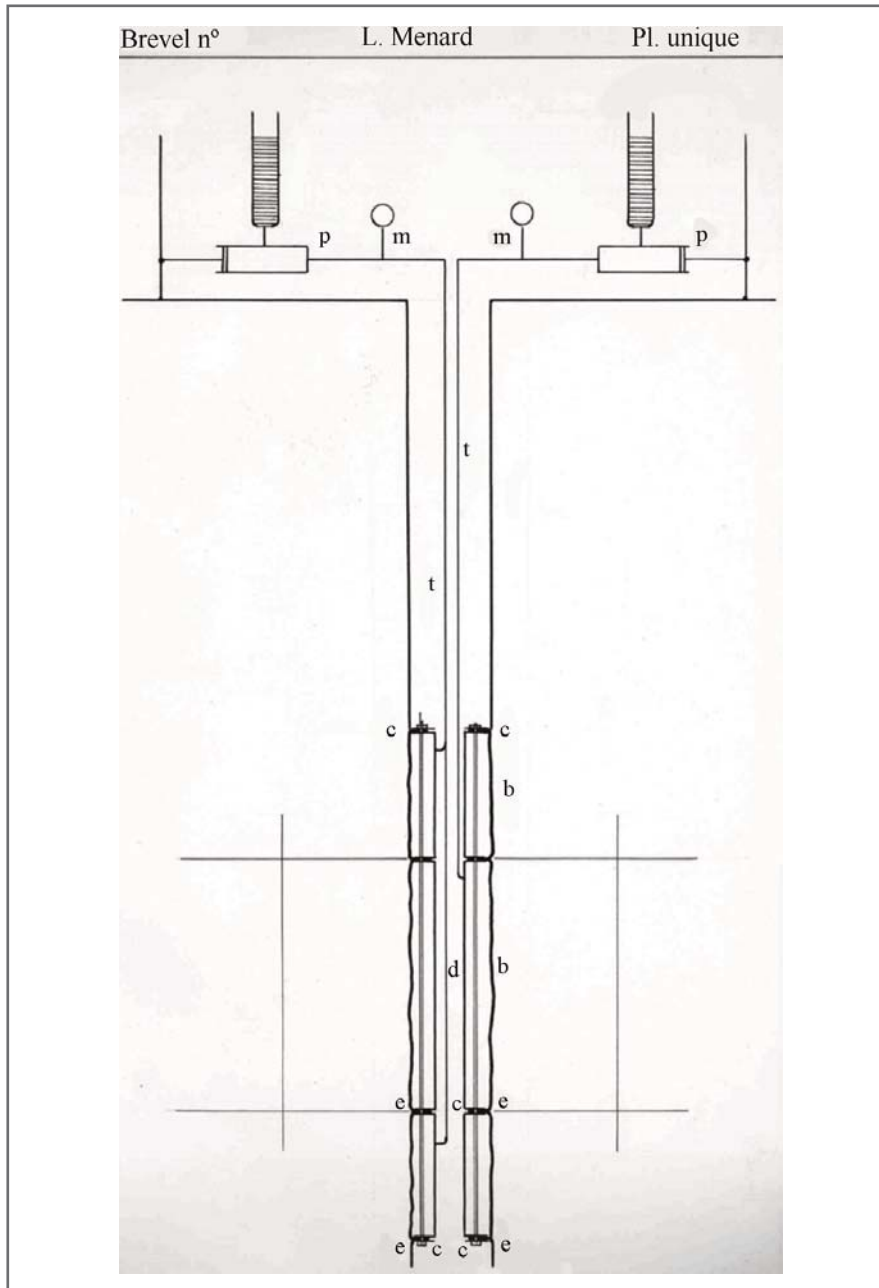


Рис. 1. Схема исходного прессиометра Менара (Gauthier et al., 1954)

ры и соответствующую необходимость использования эмпирических корреляций, французские и английские исследовательские группы (Baguelin et al., 1972; Wroth, Hughes, 1972) независимо друг от друга разработали *самозабуривающийся прессиометр*, который может быть введен в грунт с минимальными нарушениями последнего. Такой прибор по концепции работы аналогичен описанному выше, за исключением того, что он продвигается внутрь грунта посредством сбалансированного процесса вталкивания при работе режущего инструмента в нижней части с одновременной промывкой водой и удалением шлама на поверхность через кольцевое пространство внутри корпуса прессиометра. Результаты ис-

пытаний таким прибором использовались в первую очередь для получения прочностных и деформационных параметров грунта для анализа и/или проектирования с применением традиционных методов (например, метода конечных элементов).

В основном в целях повышения производительности изысканий, особенно на морском шельфе, были внедрены и другие типы прессиометров – вводимые в грунт с помощью вдавливания (*вдавливаемые прессиометры*). Они также всегда вызывают воспроизводимое количество нарушений, на которое не влияет работа того или иного оператора.

Независимо от типа используемого прессиометра или метода его помещения в грунт, как только им достигается

необходимая глубина, выполняется испытание следующим образом. Мембрана расширяется и давит на стенки скважины, при этом измеряются и регистрируются давление, смещение и в некоторых случаях поровое давление воды. Могут быть проведены испытания на расширение с контролем либо напряжения, либо деформации. Каждый тест обычно можно провести за 10–30 мин. в зависимости от типа грунта и процедуры испытания.

2. История вопроса ▶

Как уже отмечалось, прессиометр, помещаемый в предварительно пробуренную скважину, в том виде, в каком мы его знаем сегодня (Menard, 1957), был разработан Луи Менаром во время его учебы в Национальной школе мостов и дорог в Париже. В рамках своей дипломной работы Менар и двое его коллег (Gauthier et al., 1954) описали прессиометр, показанный на рисунке 1, а также его использование и теоретическое исследование, на основе которого должна интерпретироваться кривая, полученная при испытании. Хотя рукопись составляла всего 20 страниц, в ней в том числе были рассмотрены напряжения и смещения вокруг расширяющейся цилиндрической полости для случаев связных грунтов, водонасыщенных песков и глин, неводонасыщенных грунтов и неупругих грунтов с последующим приведением численных примеров для сухого и водонасыщенного грунта. Менар с соавторами пришли к выводу, что основные преимущества использования прессиометра – это возможность изучения зависимостей «давление – деформация» для грунтов и то, что такие исследования должны пролить свет на интерпретацию получаемых результатов. Отметим, что на том этапе они принимали, что в результате подготовки ствола скважины не происходит разрыхления (*remolding*) грунта. Затем 19 января 1955 года Менар подал в Париже заявку на патент. Схема прессиометра, аналогичная описанной в этой заявке, представлена на рисунке 1.

После учебы в Париже Луи Менар отправился в США, чтобы защитить магистерскую диссертацию под руководством доктора Ральфа Пека (Ralph Peck). Его диссертация под названием «Прибор для измерения прочности грунтов в условиях их естественного залегания» была закончена и защищена в 1957 году в Иллинойском университете. Менар осознавал, что с исполь-

зованием этого его изобретения – прессиометра – конкурируют другие полевые методы, такие как испытания крыльчаткой (для глин) и стандартные динамические испытания на пенетрацию (SPT – standard penetration testing) (для песков). Однако он все же рекомендовал применение своего инструмента, потому что «теоретическая интерпретация кривой “напряжение – деформация” сразу дает значения сцепления, угла внутреннего трения и модуля упругости». Из своей работы он сделал следующие выводы:

а) прессиометрия – очень точный метод для исследований подповерхностных условий;

б) несущая способность грунта увеличивается с увеличением его модуля упругости.

Часть диссертационной работы Менара включала испытания различных грунтов, таких как ледниковые морены, аллювиальные и уплотненные глины и песок. На рисунке 2 показаны результаты прессиометрических тестов, выполненных в глинах в городе Чикаго (США) на небольшой глубине в ходе исследования, предназначенного для оценки разрыхления (remolding) грунта из-за забивки двутавровых свай (с H-образным сечением) и из-за снятия нагрузки в результате выемки грунта под строительство котлована для возведения чикагского исторического небоскреба «Инленд Стил Билдинг» (Inland Steel Building). Испытание, обозначенное номером 42, проводилось на расстоянии 1 м от сваи, а испытание 44 выполнялось на той же глубине, но на расстоянии всего 0,3 м. Тесты показали снижение недренированной прочности примерно на 40% в результате забивки свай и снятия нагрузки из-за выемки грунта, в то время как модуль упругости изменился с 41 кг/см² (4 МПа) для ненарушенной глины до 6 кг/см² (0,6 МПа) для разрыхлившейся глины. Проведя испытания на двух других объектах, Менар смог продемонстрировать хорошее соответствие между его теоретическими выводами и экспериментальными данными.

Менар осознал некоторые ограничения своего первоначального теоретического подхода к интерпретации прессиометрических данных и начал разрабатывать эмпирические правила, регулирующие использование результатов таких испытаний для проектирования фундаментов (Ladanyi, 1995). Сначала была осуществлена валидация этого подхода путем сравнения его итогов с

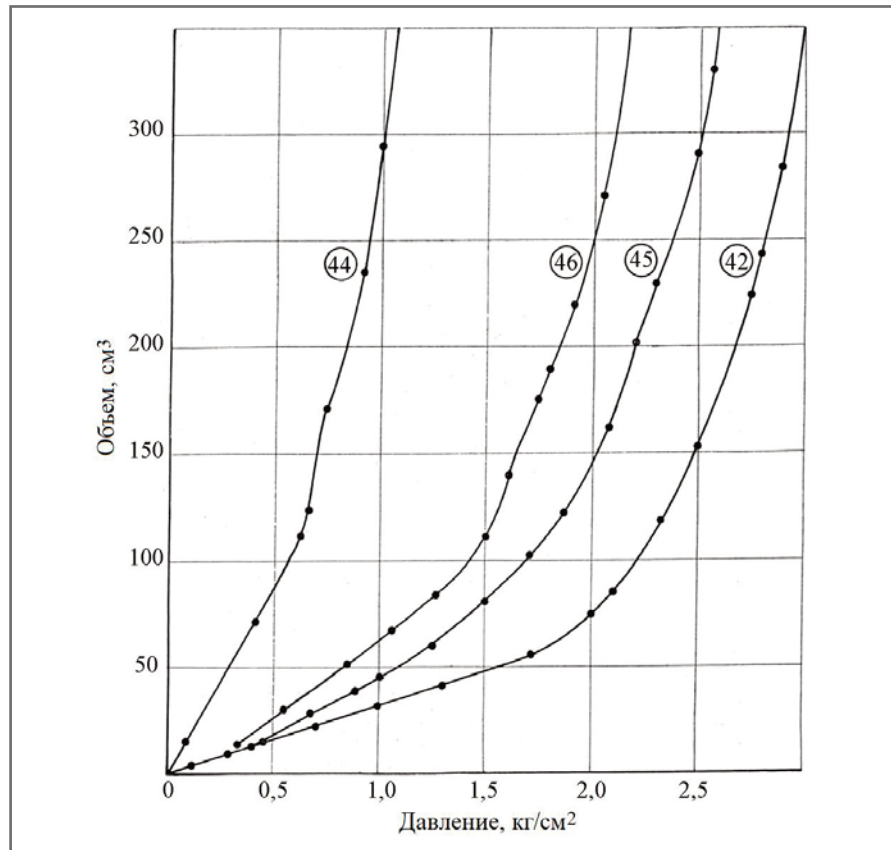


Рис. 2. Результаты прессиометрических испытаний, проведенных Менаром в глинах Чикаго для возведения известного исторического небоскреба «Инленд Стил Билдинг» (Inland Steel Building) (по Menard, 1957)

данными полномасштабных испытаний на нагрузку. С тех пор он был улучшен и расширен на основе исследований и практики, особенно во Франции, где он стал доминирующим инструментом при инженерных изысканиях для проектирования фундаментов.

Хотя исходный прессиометр Менара, показанный на рисунке 1, требовал диаметра скважины 140 мм, второй прототип был уменьшен до 50 мм (Caspan, 2005). В попытках сделать прессиометрию более надежным и точным методом испытаний во Франции постоянно внедрялись усовершенствования и модификации защитных камер, камеры давления, систем измерения объема и давления, защиты мембран, блока управления и регистрации. Эти изменения также позволили использовать прессиометры на более глубоких уровнях от поверхности и при более высоких давлениях. Размеры этих приборов также менялись для улучшения отношения их длины к диаметру. Некоторые группы исследователей за пределами Франции также модифицировали детали прессиометра и систему измерения расширения его мембраны, используя различные датчики для определения смещений вместо объема.

Прессиометр, помещаемый в предварительно пробуренную скважину, успешно использовался в твердых дисперсных грунтах и в слабых скальных породах, в которые другие инструменты не могут проникать или не имеют возможности измерять геотехнические параметры. Специальные прессиометрические зонды с прочными мембранами в тщательно подготовленных стволах скважин могут обеспечивать получение кривых «давление – расширение», интерпретируя которые можно оценивать характеристики жесткости грунтов и в некоторых случаях параметры их прочности.

Менар защищал свое изобретение от внешнего влияния в течение 10 лет благодаря патенту, но в 1969 году начал продавать лицензии на его использование другим лицам (Ladanyi, 1995). И это открыло концепцию прессиометра для большого количества исследований.

Так, группами ученых во Франции (Baguelin et al., 1972) и Англии (Wroth, Hughes, 1972) были разработаны самозабуривающиеся прессиометры. Между французской (PAFSOR) и британской (CamKoMeter) системами были некоторые различия, но цель была достигнута одна и та же –

устранение мешающих эффектов из-за нарушений естественного залегания грунта в процессе предварительного бурения скважины. Как уже упоминалось выше, ведение самозабуривающегося зонда в грунт происходит с помощью расположенной в его нижней части режущей системы. Когда прессиометр вдавливается в грунт, последний попадает в режущий башмак, разбуривается вращающимся резцом и вымывается на поверхность земли через кольцевое пространство внутри корпуса зонда. (Успешно использовались и другие инструменты для ввода прессиометрического зонда в грунт, например системы гидравлического или пневматического бурения (с помощью напорной водяной или воздушной струи соответственно) (Venoit et al., 1995), которые часто оказывались более эффективными по времени в дисперсных грунтах.)

По достижении требуемой для испытания глубины мембрана зонда расширяется и давит на стенки скважины. При этом непрерывно автоматически измеряются давление, смещения (или объем) и в некоторых случаях давление поровой воды. Испытание самозабуривающимся прессиометром может проводиться с контролируемым напряжением или деформацией. Поскольку такой зонд вводится в грунт с минимальными нарушениями, измерения расширения полости можно анализировать, используя базовую механику сплошных сред, и, следовательно, не полагаться на эмпирические корреляции для получения параметров грунта для проектирования фундаментов.

В попытках обойти требования к подготовке ствола скважины для испытаний или к использованию часто отнимающего много времени введения в грунт самозабуривающегося зонда были разработаны и другие типы прессиометров (главной движущей силой этих инноваций стала необходимость проведения прессиометрических испытаний на морском шельфе). В том числе был разработан вдавливаемый прессиометр (Reid et al., 1982), который имел расширяющуюся часть вокруг трубки, подобной трубке пробоотборника (грунтоносу). Однако чуть позже было показано (Bandis, Lacasse, 1986), что введение этого устройства в грунт вызывало значительные нарушения последнего. А то, что между испытаниями зонд приходилось извлекать из отверстия, не привело к значительному по-

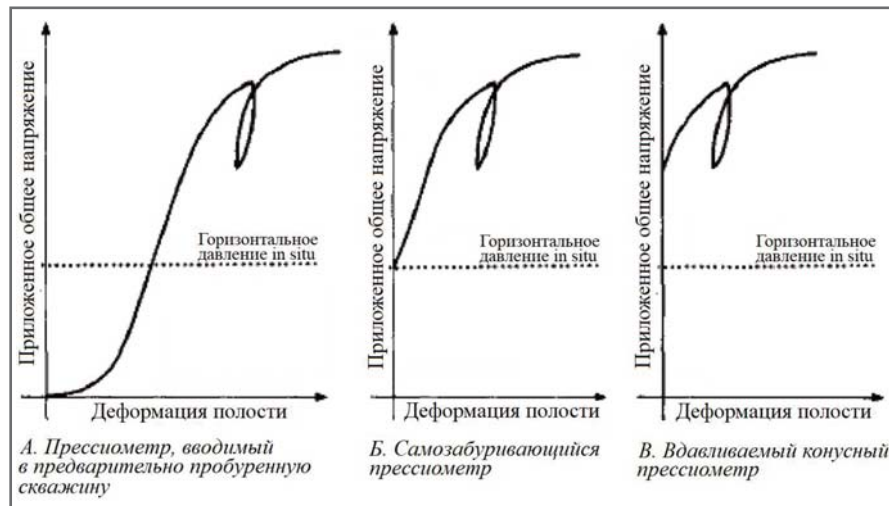


Рис. 3. Схематическая демонстрация различий между кривыми «напряжение – деформация», возникающих из-за различных способов введения прессиометра в грунт (по Clayton et al., 1995)

вышению производительности. Другой разработкой, нацеленной на рынок для испытаний на шельфе, был вдавливаемый конусный прессиометр (Hughes, Robertson, 1985; Withers et al., 1986). Для тестирования дорожного покрытия была разработана такая адаптация, как лопастной прессиометр (Pencil Pressuremeter) (Briaud, Shields, 1979). Эти инструменты были основаны на концепции, согласно которой было лучше создать неизменяемую (воспроизводимую) степень нарушения грунта, прилегающего к расширяющемуся элементу (дополнительным преимуществом чего является повышение производительности).

3. Подходы к анализу и интерпретации кривых, полученных при испытаниях ▶

В отчете технического комитета № 16 Международного общества по механике грунтов и геотехнике по прессиометрическим испытаниям на суше было отмечено, что возникло два подхода к интерпретации и использованию результатов тестирования (Clarke, Gambin, 1998). Один из них был основан на аналитических методах, используемых для определения основных свойств грунта (прочности, жесткости и т. д.) по кривым, полученным при испытаниях, а другой – на разработке набора эмпирических правил проектирования, опирающихся на результаты измерений, выполненных очень стандартным способом с использованием стандартных инструментов. В указанном отчете также было упомянуто о сильном (но вполне разумном) расхождении

во мнениях между сторонниками этих двух подходов.

На рисунке 3 (Clayton et al., 1995) схематично показаны кривые «напряжение – деформация», полученные по результатам прессиометрических испытаний при введении зонда в грунт тремя основными методами. Различия между ними сразу видны.

При помещении прессиометра в предварительно пробуренную скважину (см. рис. 3, А) уже при бурении была снята нагрузка от давления грунта внутри скважины. Повышение давления в зонде и смещение его мембраны, необходимые для обеспечения контакта между ним и стенкой скважины и затем для превышения горизонтального напряжения *in situ* для начала увеличения радиуса скважины, будут зависеть от типа и свойств грунта, соотношения диаметров скважины и прессиометра, качества бурения и квалификации полевой бригады при установке прибора. Это приводит к S-образной кривой расширения.

Для вдавливаемого конусного прессиометра (см. рис. 3, В) начальная деформация приводит к началу кривой расширения при более высоком напряжении.

При использовании самозабуривающегося прессиометра (см. рис. 3, Б) напряжения *in situ* теоретически не изменяются при введении зонда в грунт, поэтому начало кривой расширения должно отражать горизонтальное напряжение *in situ*.

В действительности ни один зонд не может быть введен в грунт без некоторого нарушения последнего. Например, расширение прессиометра диа-

метром 76 мм на 0,5 мм соответствует относительной деформации полости $\Delta r/r_0 = 1,3\%$ (где r_0 – начальный радиус полости, Δr – изменение ее радиуса). Поскольку при полномасштабном расширении в случае типичного испытания самозабуривающимся прессиометром деформация полости составляет всего 10%, небольшие смещения, произошедшие во время введения зонда, могут сильно повлиять на кривую расширения, построенную по результатам измерений. Для большинства грунтов такая деформация привела бы к образованию зоны, непосредственно прилегающей к прессиометру, в которой достигнут предел текучести. Для водонасыщенных мелкозернистых грунтов это будет зона с избыточным поровым давлением, а в свободно дренируемых грунтах (с естественным водоотводом) это будет зона изменения объема.

Рисунок 3, Б показывает наличие вероятности того, что нарушение естественного залегания грунта может вызвать большие отклонения реального напряжения от напряжения *in situ* даже при испытаниях самозабуривающимся прессиометром в относительно слабых грунтах. В жестких же грунтах возможные изменения напряжения вообще очень велики. Следовательно, «стартовое» давление является ненадежным показателем напряжения *in situ* даже при испытании, проводимом после введения зонда квалифицированными специалистами. На попытки прояснить влияние таких нарушений грунта на получаемые кривые было затрачено много исследовательских усилий, но фундаментальная проблема заключается в том, что по кривой, построенной по результатам измерений при прессиометрическом испытании, невозможно надежно оценить степень нарушений, вызванных введением зонда.

Все схематичные кривые испытаний, представленные на рисунке 3, включают петли циклов «разгрузка – повторное нагружение». Было показано (Palmer, 1972), что наклон начальной части идеальной кривой расширения в два раза больше модуля сдвига. Чтобы избежать воздействия нарушений грунта на начальную часть кривой расширения, можно интерпретировать петли циклов «разгрузка – повторное нагружение» для определения модуля упругости при сдвиге дисперсного или скального грунта. Считается, что на такие петли нарушения грунта влияют мало – это видно из рисунка 3,

где наклоны петель одинаковы во всех трех случаях.

3.1. Интерпретация результатов испытаний для получения показателей свойств грунта ►

Анализ результатов прессиометрических испытаний на основе теории требует следующих допущений:

- зонд может быть введен без нарушений той части грунта, которая будет деформироваться при испытании (или, в случае вдавливаемого конусного прессиометра, степень нарушения является неизменной и воспроизводимой);

- принятая модель грунта описывает зависимость «напряжение – деформация» для грунта, на который давит расширяющийся прессиометр;

- деформирование грунта происходит в условиях плоской деформации.

Анализ зависит от типа грунта и от того, проводится ли расширение полости в дренированных или в недренированных условиях. Если испытание выполняется в водонасыщенном мелкозернистом грунте и достаточно быстро, чтобы не успело произойти дренирование, то грунт будет деформироваться при постоянном объеме и у всех окружающих зонд элементов поведение «напряжение – деформация» будет одинаковым. Однако, если грунт представляет собой свободно дренируемый гранулированный материал, то кривая «напряжение – деформация» больше не будет уникальной для конкретного радиуса, а скорее будет функцией уровня напряжения. Другими словами, вблизи стенок полости напряжения будут высокими и, следовательно, будет высоким сопротивление сдвигу. И напряжения, и прочность будут уменьшаться с увеличением радиального расстояния. Кроме того, поскольку объем может изменяться во время испытания, по мере того как песок сдвигается, он будет расширяться или дилатировать в зависимости от начального уровня напряжений в нем и его начальной плотности. Если материалом является скальный грунт, то интерпретация становится еще более сложной из-за его прочности на растяжение, наличия разрывов сплошности, плоскостей ослабления и необходимости определения подходящего критерия разрушения (критерия прочности).

Как правило, с помощью прессиометрических испытаний можно определить горизонтальное напряжение в грунте, поведение «напряжение – деформация», прочность и (в некоторых

случаях) консолидационные характеристики – эмпирическим, теоретическим или аналитическим путем. Для оценки указанных параметров имеется несколько методик интерпретации прессиометрических данных.

В ранних подходах к интерпретации, основанных на теориях расширения полости, для получения показателей свойств грунта использовались графические манипуляции с полученными кривыми. В таблице 1 приведены примеры доступных методов интерпретации результатов испытаний *in situ* для оценки основных параметров грунта.

В первоначальных попытках интерпретации для определения каждого параметра выполнялась отдельно. Общее горизонтальное напряжение было принято как напряжение при первом перемещении мембраны (называемое давлением «отрыва», или «стартовым» давлением – “lift-off” pressure), модуль сдвига получали по петлям циклов «разгрузка – повторное нагружение» или по принятой при интерпретации кривой «напряжение – деформация», а прочность на сдвиг получали путем графического манипулирования с кривой испытаний.

С приходом эпохи персональных компьютеров появилась возможность анализа всей кривой прессиометрического испытания с помощью компьютерного моделирования (Ladanyi, 1995), или так называемого итерационного прямого моделирования (Iterative Forward Modeling – Shuttle, Jefferies, 1995). Возможность моделирования целых прессиометрических кривых как для нагружения, так и для разгрузки с использованием реалистичных моделей грунта привела к попыткам использовать сравнения между смоделированными и измеренными кривыми для оценивания геотехнических параметров. Можно моделировать как кривые расширения, так и кривые сжатия. Чтобы использовать этот подход, выбирается группа соответствующих параметров на основе принятой комплексной геомеханической (конститутивной) модели грунта, а затем эта группа используется для прогнозирования теоретического графика. Параметры корректируются до тех пор, пока не будет достигнуто хорошее соответствие между измеренными и рассчитанными кривыми.

На рисунке 4, а показан пример корректирования (подбора, аппроксимации – fitting) кривой для глинистого

Таблица 1. Примеры возможностей испытаний *in situ* для измерения показателей свойств грунта (Yu, 2004)

Испытание	Показатели свойств на основе измерений	Выборочные ссылки
На внедрение конуса (CPT, CPTu)	Профиль грунта; история нагружения (коэф. переуплотнения OCR); коэффициент консолидации; параметр состояния <i>in situ</i> для песка; недренированная прочность на сдвиг; гидростатическое поровое давление	Robertson, 1986; Wroth, 1984; Mayne, 1993; Baligh, Levadoux, 1986; Teh, 1987; Been et al., 1987; Yu, Mitchell, 1998; Lunne et al., 1997
Самозабуривающимся прессиометром	Горизонтальное напряжение <i>in situ</i> ; модуль сдвига; прочность на сдвиг; кривая «напряжение – деформация»; параметр состояния <i>in situ</i> для песка; коэффициент консолидации; жесткость при малой деформации	Jamiolkowski et al., 1985; Wroth, 1982; Gibson, Anderson, 1961; Hughes et al., 1977; Palmer, 1972; Manassero, 1989; Yu, 1994, 1996, 2000; Clarke et al., 1979; Byrne et al., 1990; Jardine, 1992; Fahey, Carter, 1995; Bolton, Whittle, 1999
Вдавливаемым конусным прессиометром	Горизонтальное напряжение <i>in situ</i> ; модуль сдвига; прочность на сдвиг; параметр состояния <i>in situ</i> для песка	Houlsby, Withers, 1988; Schnaid, 1990; Yu, 1990; Yu et al., 1996
Плоским дилатометром	Профиль грунта; горизонтальное напряжение <i>in situ</i> ; история нагружения (коэф. переуплотнения OCR); прочность на сдвиг; параметр состояния <i>in situ</i> для песка	Marchetti, 1980; Mayne, Martin, 1998; Finno, 1993; Huang, 1989; Yu, 2004

грунта, а на рисунке 4, б – соответствующий пример для песка. Эти примеры основаны на результатах испытаний самозабуривающимся прессиометром. Однако моделирование может применяться также и к данным испытаний прессиометром, помещаемым в предварительно пробуренную скважину, или вдавливаемым конусным прессиометром при условии, что коррекция кривой фокусируется на последней части кривой расширения или кривой разгрузки (например, Ferreira, Robertson, 1992). Для слабоструктурированного гранитного сапролита было предложено, чтобы метод корректирования (fitting) кривой испытаний самозабуривающимся прессиометром для участка нагружения давал показатели свойств, типичные для параметров максимальной прочности на сдвиг, а для участка разгрузки – более типичные для поведения в критическом состоянии (Schnaid et al, 2000).

Этот подход имеет то преимущество, что параметры связаны друг с другом и могут быть проверены на соответствие показателям, которые являются типичными для исследуемого грунта. Например, для линейно-упругого идеально-пластического грунта принятыми параметрами будут общее

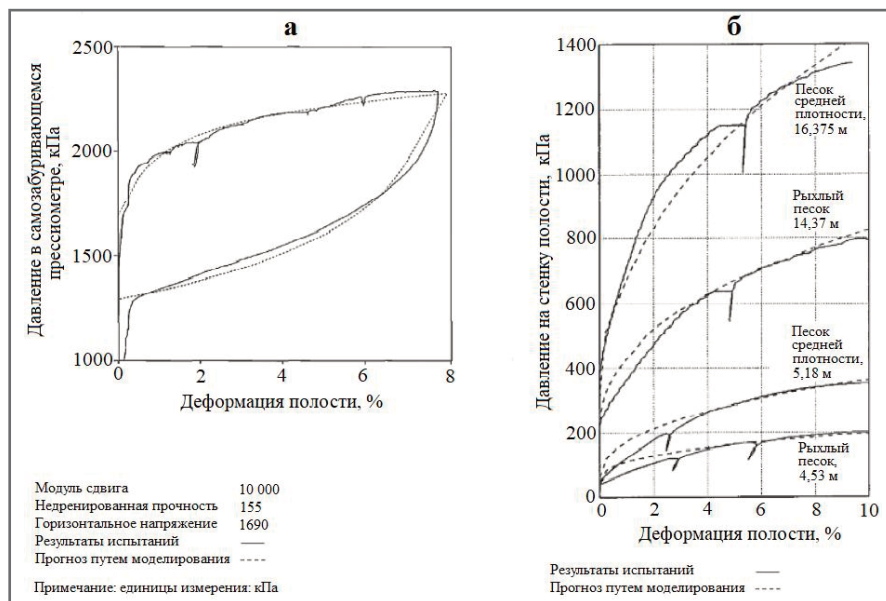


Рис. 4. Примеры коррекции прессиометрических кривых для глины (по Jefferies, 1988) (а); и для песка (по Roy et al., 2002) (б)

горизонтальное напряжение, модуль сдвига (G) и недренированная прочность при сдвиге (σ_u). Можно оценить, являются ли полученные показатели типичными для исследуемого грунта. Аналогичным образом, оцененное общее горизонтальное напряжение и равновесное поровое давление можно использовать для получения коэффи-

циента горизонтального давления грунта в состоянии покоя (K_0). Эту величину можно оценить по значениям, типичным для грунтов со сходной геологической историей. По мере того как модели грунта становятся более сложными, количество параметров грунта, которые необходимо корректировать, может стать большим.

Численный анализ также позволяет оценить влияние отклонений от идеального случая. Например, в литературе обсуждалось влияние конечной длины зонда на прочность при сдвиге и показатель жесткости, полученные с помощью подходов, основанных на принятии бесконечно длинной полости и линейно-упругого идеально-пластического поведения грунта (Yeung, Carter, 1990; Houlsby, Carter, 1993; Jefferies, Shuttle, 1995). Было показано, что при интерпретации прессиометрических кривых следует учитывать влияние конечной длины, поскольку это влияние может привести к ошибкам в интерпретации недrenированной прочности на сдвиг величиной до 40% (Yeung, Carter, 1990; Houlsby, Carter, 1993; Jefferies, Shuttle, 1995).

Понятно, что компьютерное моделирование предоставляет большие возможности для интерпретации кривых прессиометрических испытаний с целью определения характерного поведения испытываемого грунта. Однако эта интерпретация должна учитывать и другую доступную геотехническую и геологическую информацию об этом грунте и требует инженерной оценки, основанной на понимании факторов, влияющих на результаты.

3.2. Интерпретация результатов испытаний по правилам Менара

Альтернативой для интерпретации прессиометрической кривой в целях получения показателей фундаментальных свойств грунта и выявления сопутствующих проблем, возникающих из-за множества неопределенностей как в самой кривой, так и в ее интерпретации, являются правила, разработанные Менаром и усовершенствованные его сотрудниками и последователями. Для этого должна выполняться соответствующая стандартная процедура испытания стандартным прибором типа прессиометра Менара, помещаемым в предварительно пробуренную скважину (причем при бурении и формировании в скважине испытательного кармана необходимо соблюдать определенные требования). Полученные в результате кривые анализируются предписанным способом, и на их основе определяются конкретные параметры.

На основе результатов измерений при обычном расширении прессиометра получают три основных параметра: давление ползучести p_p , модуль Мена-

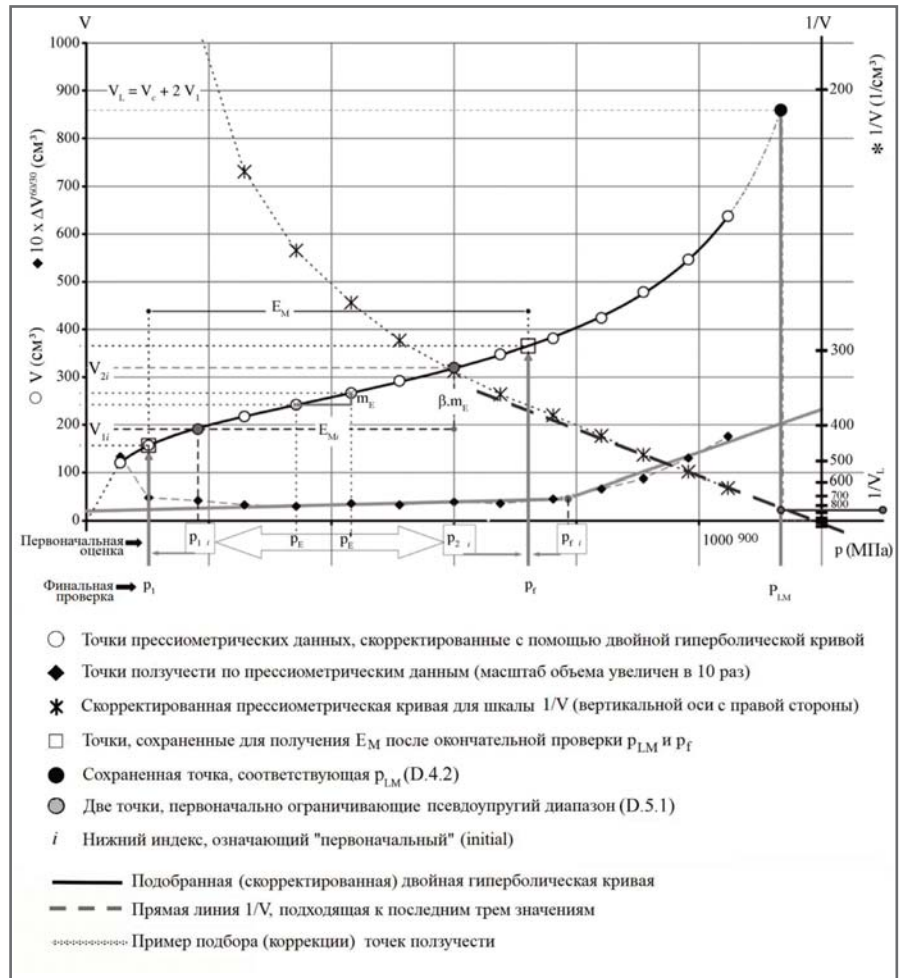


Рис. 5. Анализ кривой прессиометрического испытания (ISO/FDIS 22476-4:2009 (E))

ра E_M и предельное давление p_{LM} . На рисунке 5 показана процедура анализа в соответствии с международным стандартом ISO 22476 4 (на момент написания статьи находившегося на стадии проекта. – *Ред.*), которая используется для определения этих трех основных прессиометрических параметров. Качество испытания оценивается с использованием набора точек расширяющейся полости, а также с учетом разброса этих точек. Кривая на рисунке 5 соответствует идеальному испытанию. Первая ее часть представляет собой зону повторного сжатия. За ней следует квазилинейная зона, которая трансформируется в нелинейную третью часть, когда объем полости приближается к ее двойному исходному объему. Эта кривая испытания была скорректирована с учетом потерь давления и объема в соответствии со стандартными процедурами калибровки, описанными в вышеуказанном международном стандарте.

Если точки данных, полученных при испытании, находятся только в первых двух группах, это может ука-

зывать на то, что диаметр полости был слишком большим. Если же они находятся только в двух последних группах, то это, как правило, указывает на то, что диаметр полости был слишком маленьким, или на наличие набухшего грунта. Этот подход существует уже несколько десятилетий (Kastman, 1978). На рисунке 5 под прессиометрической кривой, полученной по данным испытания, находится скорректированная кривая ползучести, полученная по разностям в объемах между 30-секундными и 60-секундными показаниями для каждого приращения давления. Эта кривая ползучести используется для определения различных участков испытания. Например, давление ползучести находится между значениями p_{2i} и p_{fi} , которые оцениваются с помощью графической процедуры. Было показано, что качество испытания отражается на близости этих двух значений.

Предельное давление также получается с помощью испытания, но обычно с использованием экстраполяции. Предельное давление определяется как давление, необходимое для удвоения

начального радиуса скважины. На практике такое давление достигается редко из-за риска разрыва мембраны при более сильном расширении. Поэтому предельное давление и получают путем экстраполяции с использованием различных методов. Часто его значение получают визуально с помощью кривой испытания. Однако следует применять более воспроизводимые способы, такие как обратный метод (с использованием параметра, обратного объему ($1/V$), по ASTM и ISO 22476-4) или метод двойной гиперболической кривой. На рисунке 5 проиллюстрированы оба метода.

И наконец, прессиометрический модуль, часто называемый модулем Менара, обычно определяется как наклон линейного участка кривой расширения до давления ползучести. На рисунке 5 этот псевдоупругий диапазон определяется точками p_{1i} и p_{2i} . Модуль, полученный с помощью прессиометрического испытания, часто называют модулем упругости, равным модулю Юнга, поскольку он получается по следующей формуле, которая основана на теории линейной упругости (Gambin et al., 1996):

$$E_M = 2(1+\nu) \left[V_c + \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) \right] \frac{(p_2 - p_1)}{(V_2 - V_1)},$$

где ν – коэффициент Пуассона, $\nu = 0,33$; E_M – прессиометрический модуль; V_c – первоначальный объем полости.

Однако Менар отдавал себе отчет в том, что модуль упругости грунта зависит от траектории напряжений и уровня деформации (Gambin et al., 1996). Наклон кривой прессиометрического испытания, используемый для получения модуля E_M , зависит от различных параметров и условий, в том числе от коэффициента горизонтального давления грунта в состоянии покоя K_0 , угла внутреннего трения, жесткости грунта, отношения длины прессиометрического зонда к его диаметру, траектории напряжений, нарушенности стенок скважины и скорости деформации при расширении во время испытания (Gambin et al., 1996; Briaud, 1992). Прессиометрический модуль E_M более уместно называть модулем деформации. При анализе деформации на основе линейной упругости величину E_M , вероятно, следует умножать на коэффициент от 5 до 10, если он будет использоваться в качестве модуля Юнга (Gambin et al., 1996).

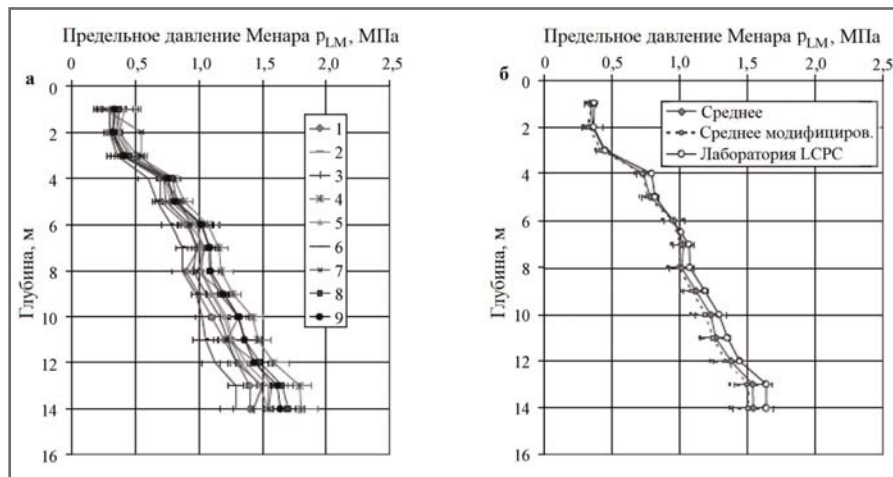


Рис. 6. Предельное давление, определенное путем интерпретации результатов 42 прессиометрических испытаний в трех скважинах специалистами 1–9 (LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – Центральная лаборатория мостов и дорог) (Reiffsteck, 2009)

Ход интерпретации результатов прессиометрического испытания очень подробно описан в вышеуказанном международном стандарте, но получаемые результаты у разных исполнителей могут варьировать. Например, 9 специалистов, интерпретировавшие одни и те же прессиометрические данные (в рамках упражнения по прогнозированию поведения сваи во время Международного симпозиума по прессиометрам ISP5), выдали разные значения прессиометрического модуля и предельного давления, но все же попавшие в приемлемые диапазоны (Reiffsteck, 2009). На рисунке 6 показаны результаты по предельному давлению для 42 испытаний прессиометром, помещавшимся в предварительно пробуренную скважину. Средняя ошибка в этом случае составила порядка 24% (Reiffsteck, 2009), что согласуется с ошибками при других тестах *in situ*, таких как статические испытания на внедрение конуса (CPT) (Long, 2008).

Поскольку эти параметры получают с помощью стандартной процедуры для всех материалов, их значения можно использовать аналогично стандартным показателям, определенным при статических испытаниях на внедрение пьезоконусного зонда (CPTu) с измерением давления под конусом, по боковой поверхности и порового, то есть путем сравнения с данными для других сходных материалов можно получить качественные оценки вероятных характеристик грунта. Эти параметры также можно использовать для проектирования фундаментов при соблюдении строгих правил.

Во Франции с самого начала были разработаны правила проектирования с использованием результатов прессиометрических испытаний непосредственно для оценки несущей способности фундаментов мелкого и глубокого заложения, включая горизонтальную нагрузку, оценки осадок фундаментов, а также множество методов и приложений для геотехнических сооружений. По прессиометрическому модулю деформации можно оценить осадку фундамента и смещение горизонтально нагруженных свай, в то время как с помощью предельного давления можно оценить несущую способность фундаментов мелкого и глубокого заложения. Эти правила основаны на теории, а также на наблюдениях и измерениях при многочисленных экспериментах, проведенных на хорошо изученных испытательных площадках с различными геологическими разрезами. В настоящей статье эти правила не описаны, но их можно найти во многих документах (Briaud, 1992). Однако многие из них – на французском языке. Но продолжается работа по включению этих правил проектирования в Еврокод, что сделает их значительно более доступными.

Основная часть проектных работ во Франции выполняется с использованием прессиометрических испытаний и устоявшихся в стране правил проектирования. С усовершенствованием методик испытаний, оборудования, дополнительных наблюдений и передового численного моделирования эти правила постоянно пересматриваются, чтобы они могли обеспечить более универсальные, точные и безопасные процедуры проектирования. Расшире-

Таблица 2. Сравнение результатов испытаний *in situ* и возможность отбора образцов керна на 204 участках (Bustamante et al., 2009)

Тип испытания (и измеряемые параметры)	Количество (и %) участков в зависимости от выполнимости испытаний ¹			
	Полностью выполненные испытания ²	Недостаточное количество испытаний ³	Испытания возможны, но в сокращенной форме	Неадекватные испытания ⁴
PMT (p_{LM})	155 (76%)	3 (1,5%)	46 (22,5%)	0 (0%)
CPT (q_c)	60 (29,4%)	79 (38,7%)	23 (11,3%)	42 (20,6%)
SPT (N)	26 (12,7%)	54 (26,5%)	72 (35,3%)	52 (25,5%)
Отбор образцов керна и их лабораторные испытания (c' , ϕ')	21 (10,3%)	67 (32,8%)	69 (33,8%)	47 (23,1%)

¹ Принимается, что журналы прессиометрических и стандартных динамических пенетрационных испытаний (PMT и SPT соответственно) включают испытания каждого метра.

² По крайней мере на всю глубину сваи.

³ Недостаточное количество прессиометрических испытаний (PMT), преждевременный отказ статических испытаний на внедрение конуса (CPT), чрезмерное количество ударов при стандартных динамических пенетрационных испытаниях (SPT) или плохо подготовленный образец для лабораторных испытаний.

⁴ Испытания, заранее признанные неадекватными либо из-за типа грунта, либо из-за его сопротивления.

ние использования этих правил с помощью Еврокода также приведет к их улучшениям.

Приведем некоторые примеры, иллюстрирующие усилия, предпринятые различными французскими исследовательскими группами для продвижения правил проектирования Менара. Например, в одной из статей, описывающих проектирование свай с использованием прессиометрических данных (Bustamante et al., 2009), было указано, что примененный метод был основан на 561 испытании на нагрузку более чем 400 свай, оснащенных датчиками для измерения трения по боковой поверхности и сопротивления под нижним концом. Эти сваи были установлены с использованием более чем 26 различных методов. Было также показано, что прессиометрические испытания часто более универсальны, чем другие тесты *in situ*, такие как CPT, SPT и отбор образцов керна для лабораторных испытаний (таблица 2). Эти тесты проводились в различных материалах, включая выветрелые или фрагментированные скальные породы, а также цементированные или очень мелкозернистые несвязные грунты. Полученные результаты привели к усовершенствованию расчетных таблиц и графиков для удельного трения по боковой поверхности q_s и к упрощению коэффициентов работы грунта под нижним концом k_p (tip bearing factors) для 26 типов свай.

Такая работа была затем дополнительно упрощена в рамках разработки

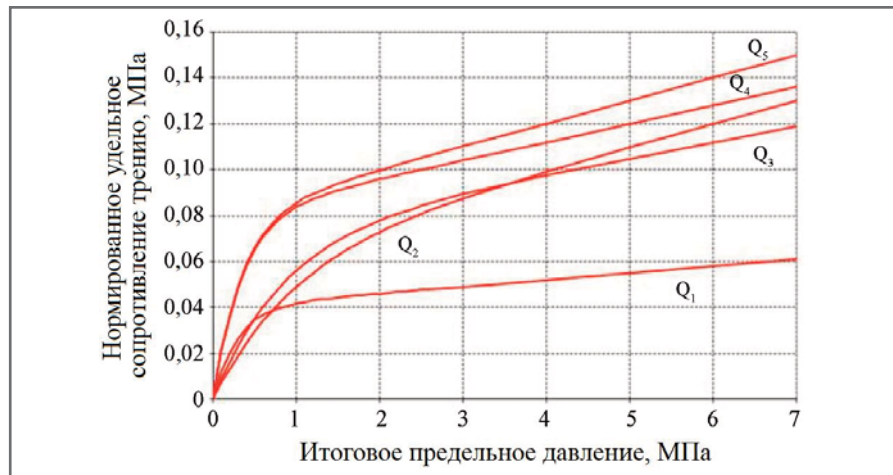


Рис. 7. Расчетные графики для оценки удельного трения по боковой поверхности q_s по предельному давлению, определенному с помощью прессиометрических испытаний (по Reiffsteck, Burlon, 2012; AFNOR, 2012 (NF P94-262))

французского стандарта для фундаментов глубокого заложения с целью его внедрения в Еврокод 7 (AFNOR, 2012; Reiffsteck, Burlon, 2012). На основе результатов 159 испытаний на нагрузку были получены графики (рис. 7) для определения удельного трения по боковой поверхности q_s (Bustamante et al., 2009). Для каждой кривой, соответствующей определенному типу сваи и определенному методу ее установки, была выполнена валидация с помощью в среднем 30 испытаний на нагрузку. Значения f_{sol} , эквивалентные нормированному сопротивлению трению f'_s , приведены в табличной форме в стандарте NF P94-262 в зависимости от типа грунта. Удельное трение по боковой поверхности q_s определяется с помо-

щью умножения f_{sol} на коэффициент «грунт – конструкция» (soil-structure coefficient), который зависит от типа сваи и метода ее установки, а также от типа грунта. Указанный стандарт также предоставляет предельные значения q_s для каждого случая. Эти методы просты, надежны (с учетом количества испытаний на нагрузку, использованных при их разработке) и особенно полезны для случаев со схожими геологическими условиями.

4. Прессиометрические испытания в северной америке ▶

Обзор соответствующей литературы говорит о том, что большинство прессиометрических испытаний в Се-

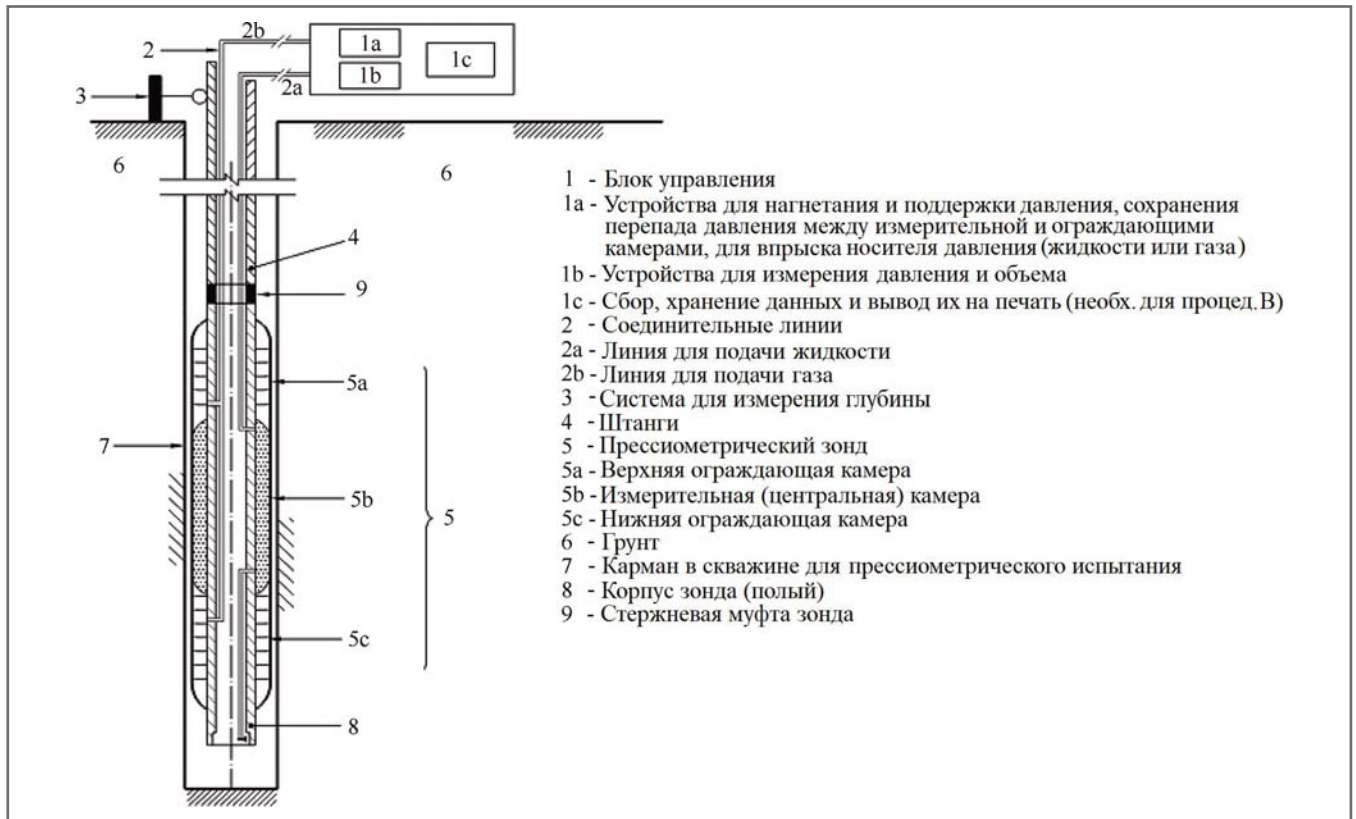


Рис. 8. Схема прессиометра Менара, помещаемого в предварительно пробуренную скважину (по ISO, 2009)

верной Америке выполнялось с предварительным бурением скважины. Раннее тестирование с помощью самозабуривающегося прессиометра проводилось там в грунтах, в которые его можно было ввести с минимальными нарушениями их природного состояния и которые также подходят для испытаний *in situ* такими методами, как SPT, CPTu, крыльчаткой и плоским дилатометром (DMT). В таких грунтах прессиометрия не дает существенных преимуществ для геотехнического описания площадки по сравнению с другими типами испытаний, поэтому в то время преобладало использование других инструментов. В исследовательской же сфере прессиометрические тесты вызывали и продолжают вызывать большой интерес. Прессиометры также нашли свое применение в «нестандартных» материалах, то есть в первую очередь в мерзлых грунтах, во льду, в слабых и твердых скальных породах (Ladanu, 1995), но было также проведено значительное количество испытаний и в других трудноизучаемых грунтах, таких как ледниковые морены, твердые глины, остаточные грунты и бытовые отходы.

4.1. Стандарты ASTM ►

Единственным стандартом ASTM, имеющим отношение к прессиометри-

ческим испытаниям в Северной Америке, является ASTM D4719. Его текущая на момент выхода данного обзора версия была опубликована в 2007 году. Она касается испытаний прессиометром, вводимым в предварительно пробуренную скважину. (ASTM – American Society for Testing and Materials, ASTM International – Американское общество по испытаниям и материалам, ставшее международной некоммерческой организацией, разрабатывающей и издающей добровольные стандарты для материалов, продуктов, систем и услуг. – *Ред.*)

Сфера применения вышеуказанного стандарта резюмируется в ASTM следующим образом:

*«Этот метод охватывает испытания грунтов с помощью прессиометра. Прессиометрическое испытание – это испытание *in situ*, определяющее зависимость «напряжение – деформация» и проводимое радиально расширяющимся цилиндрическим зондом, давящим на стенки скважины. Для получения надежных результатов испытаний необходимо минимизировать нарушения стенок скважины...»*

Этот метод испытаний включает в себя процедуры бурения скважины, установки зонда и проведения прессиометрических испытаний как в несвязных, так и в связных дисперсных грунтах, но не включает испытания скальных пород под высоким давлени-

ем. Знание типа грунта, в котором предстоит проводить каждое прессиометрическое испытание, необходимо: во-первых, для выбора метода бурения или размещения зонда (или для того и другого); во-вторых, для интерпретации данных испытаний; в-третьих, для обоснованности результатов тестирования».

Далее указывается, что этот метод не распространяется на использование самозабуривающегося прессиометра и ограничивается применением прессиометра, который вставляется в предварительно пробуренную скважину или, при определенных обстоятельствах, вводится в грунт забиванием (*by driving*).

В настоящее время нет стандарта ASTM для разновидностей испытаний, направленных на определение основных параметров грунта.

В других местах мира (точнее, в Западной Европе. – *Ред.*) методики прессиометрических испытаний и интерпретации их результатов определяются международным стандартом ISO 22476-4 (на момент публикации данной статьи – проектом, подготовленным техническим комитетом № 182 Международной организации по стандартизации ISO, точнее подкомитетом № 1 по геотехнике и техническим комитетом № 341 по геотехническим исследованиям и испытаниям Европейского комитета по стандартизации CEN). В указанном стандарте пред-

Таблица 3. Рекомендации по выбору методов и инструментов подготовки скважины (по ASTM D4719)

Грунт	Тип	Вращательное (роторное) бурение с прямой подачей бурового раствора в забой	Вдавливаемый тонкостенный трубчатый грунтосос	Бурение пилотной скважины с последующим вдавливанием грунтососа	Бурение пилотной скважины и одновременное шевингование	Непрерывно перемещающийся шнек	Сухое бурение ручным шнеком	Бурение ручным шнеком с прямой подачей бурового раствора в забой	Забивной или виброзабивной грунтосос	Колонковое бурение	Ударно-вращательное бурение	Вдавливаемая, забивная или виброзабивная разрезная труба
Глинистый	текучий или текучепластичный	2А	2А	2	2	НР	НР	1	НР	НР	НР	НР
	от мягкопластичного до полутвердого	1А	1	2	2	1А	1	1	НР	НР	НР	НР
	от полутвердого до твердого	1	2	1	1	1А	НП	НП	НП	1А	2А	НР
Пылеватый	выше УГВ	1А	2А	2	2А	1	1	2	2	НР	НР	НР
	ниже УГВ	1А	НР	НР	2А	НР	НР	1	НР	НР	НР	НР
Песчаный	рыхлый выше УГВ	1А	НР	НР	2	2	2	1	2	НП	НР	НР
	рыхлый ниже УГВ	1А	НР	НР	2	НР	НР	1	НР	НП	НР	НР
	от средней плотности до плотного	1А	НР	НР	2	1	1	1	2	НР	2А	НР
Гравелистый с песком или гравелистый песок ниже УГВ	рыхлый	2	НП	НП	НП	НП	НП	НП	НР	НП	2	2
	плотный	НР	НП	НП	НП	НР	НП	НП	НР	НП	2	1Б
Выветрелый скальный		1	НП	2А	НП	1	НП	НП	1	2	2	НР

Обозначения: УГВ – уровень грунтовых вод;

1 – выбор этого метода в первую очередь;

2 – выбор во вторую очередь;

НР – не рекомендуется;

НП – неприменим;

А – этот метод применим только при определенных условиях (подробности см. в тексте);

Б – требуется предварительное бурение пилотной скважины.

усматривается более полный набор процедур. Он не ограничивается использованием прессиометра только в дисперсных грунтах, а включает и слабые скальные породы. Интересно отметить, что испытание прессиометром, помещаемым в предварительно пробуренную скважину, там называется «испытанием прессиометром Менара». На рисунке 8 показана схема соответствующего прибора.

В стандарте ASTM описываются методики тестов, а также даются рекомендации по наилучшим практическим способам подготовки ствола скважины к прессиометрическим испытаниям в зависимости от типа грунта (таблица 3). В таблице 4 приведены рекомендации из стандарта ISO. Этот международный стандарт также определяет максимально допустимое время между формированием испытательно-

го кармана и фактическим испытанием, а также максимально допустимую длину участка скважины, проходимого на этапе непрерывного бурения или забивки перед испытанием во избежание дальнейшего нарушения дисперсного или скального грунта (таблица 5).

Спецификации ASTM изначально были разработаны с использованием французских стандартов в качестве шаблонов. Новый международный стандарт (ISO) включает вклад нескольких стран и пользователей с различным опытом, что делает этот документ более удобным и последовательным. А стандарт ASTM часто отстает в тех случаях, когда требуются обновления (например, каждые 7 лет), и рассматривается меньшим кругом пользователей. Применение же международного стандарта (ISO) в качестве ра-

бочего документа для практики Северной Америки способствовало бы обмену информацией и результатами, которые могли бы быть использованы при разработке улучшенных методов помещения прессиометров в грунт, испытаний с их помощью и интерпретации получаемых данных.

Также следует указать на следующую разницу между стандартами ASTM D4719 и ISO 22476-4. В документе Международной организации по стандартизации (ISO) не упоминается об использовании петель циклов «разгрузка – повторное нагружение» как части прессиометрического испытания Менара, в то время как в стандарте ASTM указано, что такая петля приемлема и что результирующий модуль должен быть четко идентифицирован как модуль цикла «разгрузка – повтор-

Таблица 4. Рекомендации по методам введения в грунт прессиометрического зонда (по ISO, 2009)

Грунт		Размещение зонда без смещений грунта										Введение зонда в грунт прямой забивкой
		1 < ДБ/ДЗ ≤ 1,15										ДБ/ДЗ ≈ 0
		Вращательное (ротаторное) бурение				Ударно-вращательное бурение			Вдавливаемая, забивная или виброзабивная труба			Забивная разрезная труба
		ББО*	РШ/РШБР *	НПШ	КБ	УВ	УВБР	РТРИБР	ВТ	ЗТ	ВЗТ	ЗРТ
Ил и текучая глина		Г°	Р°	-	-\$		-	-\$	Р ТWT	-		П\$
Глинистый от текучепластичного до тугопластичного		Р°	Р°	Г\$	Г\$	-	П\$°	П°	П\$	П	-	
Глинистый полутвердый		Р°	Г\$°	Р	Р°	П\$	Г°	Г\$°	-	П\$	-	
Пылеватый	выше УГВ	Г°	Р°	Г	Г\$°	-	П°	Г°	П\$	П	П	-
	ниже УГВ	П\$°	Г\$°	-	П\$°	-	П°	Г\$°	-	-	-	А\$
Рыхлый песчаный	выше УГВ	Г°	Р\$°	Г	П	-	П°	П°	-\$	-	-	-
	ниже УГВ	П\$°	Г°	-	-\$	-	П°	П\$°	-\$	-	-	А\$+
Песчаный от средней плотности до плотного		Р°	Р°	Р	П°	П	Г°	Г\$°	-	П	П	Г\$+
Гравий, крупная галька; булыжник		Г°	-\$°	-\$	-\$	П	Р°	П\$°		П	П	Р\$+
Связный неоднородный дисперсный (например, валунная глина)		Г°	П°	П	Г\$°	П	Р°	П\$°		П	П	
Рыхлый неоднородный дисперсный и другие грунты, не указанные выше (например, ледниковые моренные, некоторые аллювиальные, с искусственно подобранным гранулометрическим составом, обработанные или необработанные насыпные)		Г°	П°	П	П°	П	Г°	Г\$°	-	П	П	Г\$+
Выветрелый скальный, слабый скальный		Р°	Г°	Г	Г\$°	П\$	Г°	Г\$°		П\$	П\$	

Примечания

Р – рекомендуется

Г – годится (подходит)

П – приемлемо

- – не годится (не подходит)

- – не подпадает под этот стандарт

ДБ – диаметр бурового инструмента

ДЗ – внешний диаметр зонда

\$ – в зависимости от фактических условий на площадке и оценки оператора

* – скорость вращения не должна превышать 60 об/мин, а диаметр бурового инструмента не должен быть более 1,15 внешнего диаметра зонда

° – циркуляция бурового раствора: давление не должно превышать 500 кПа, а расход (скорость потока) не должен превышать 15 л/мин. При необходимости подачу бурового раствора можно временно прервать.

+ – пилотная скважина с возможными методами предварительного бурения: забивной разрезной трубой (ЗРТ), ударно-вращательным способом (УВ) и ударно-вращательным способом с буровым раствором (УВБР)

ББО – бурение без обсадки

РШ – бурение без обсадки (ББО) ручным шнеком

РШБР – бурение без обсадки (ББО) ручным шнеком с буровым раствором

НПШ – непрерывно перемещающийся шнек

КБ – колонковое бурение

УВ – ударно-вращательное бурение

УВБР – ударно-вращательное бурение с буровым раствором

РТРИБР – разрезная труба с внутренним разрушающим инструментом и циркуляцией бурового раствора

ВТ – вдавливаемая труба

ТВТ – тонкостенная вдавливаемая труба

ЗТ – забивная труба

ВЗТ – виброзабивная труба

ЗРТ – забивная разрезная труба

Таблица 5. Максимально допустимая длина участка скважины, проходимого на этапе непрерывного бурения или забивки перед испытанием (по ISO, 2009)

Тип грунта	Максимальная длина участка скважины на стадии непрерывного бурения или забивки трубы перед испытанием, м		
	Адаптированное вращательное бурение**	Ударно-вращательное бурение**	Вдавливание, забивка или виброзабивка трубы***
Глинистый от текучего до текучепластичного; ил и глина от текучей до текучепластичной	1*	-	1*
Глинистый от мягкопластичного до тугопластичного	2	2	3
Глинистый от полутвердого до твердого	5	4	4
Пылеватый выше УГВ	4	3	3
Пылеватый ниже УГВ	2*	1*	-
Рыхлый песчаный выше УГВ	3	2	-
Рыхлый песчаный ниже УГВ	1*	1*	-
Песчаный средней плотности и плотный	5	5	4
Крупнозернистый несвязный: гравий, галька, булыжник	3	5	3
Крупнозернистый связный	4	5	3
Рыхлый неоднородный и другие грунты, не указанные выше (например, ледниковые моренные)	2	3	2
Выветрелый скальный, слабый скальный	4	5	3

* Или требуемый интервал между двумя последовательными испытаниями.
** См. допустимые методы в таблице 3 в настоящей статье и таблицу С.2 в ISO, 2009.
*** Неприменимо к методике РТРИБР (с использованием разрезной трубы с внутренним разрушающим инструментом и циркулирующей бурового раствора) (см. таблицу 4 в настоящей статье и таблицу С.2.6.3 в ISO, 2009).

ное нагружение». Однако в документе ASTM мало инструкций относительно того, как следует выполнять такие циклы и интерпретировать их результаты. Так, на одной из лекций по испытаниям Менара было заявлено о категорическом неодобрении использования «модуля повторного нагружения» для испытаний прессиометром, помещаемым в предварительно пробуренную скважину, потому что этот параметр «не является стандартным модулем» и «не является точно определенным» (Briaud, 2013).

Однако возможность оценивать модуль по результатам измерений зависимости «напряжение – деформация» во время расширения испытательной полости и циклов «разгрузка – повторное нагружение» является одним из наиболее значительных преимуществ прессиометрических испытаний в дисперсных и скальных грунтах *in situ*. Как показано в таблице 6, модули, полученные в результате испытаний прессиометрами, расценивают несколькими разными способами, что за-

Таблица 6. Варианты расценивания разными исследователями модулей, полученных по данным прессиометрических испытаний (по Clarke, 1995)

Обозначение	Название (определение)
G_i	Начальный секущий модуль сдвига
E_M	Модуль Менара
G_{ur}	Секущий модуль сдвига по циклу «разгрузка – повторное нагружение»
G_u	Секущий модуль сдвига по кривой разгрузки
G_r	Секущий модуль сдвига по кривой повторного нагружения
E_m	Секущий модуль упругости по кривой разгрузки
E_{m^o}	Секущий модуль упругости по кривой повторного нагружения
E_{m^o}	Максимальный модуль упругости по кривой разгрузки
E_{r^o}	Максимальный модуль упругости по кривой повторного нагружения
G_n	Секущий модуль сдвига, измеренный в диапазоне деформаций $n\%$
G_o	Максимальный модуль сдвига
G_s	Модуль эквивалентного элемента (эквивалентный модуль сдвига)
G_{uro}	Эквивалентный модуль сдвига при эффективном напряжении <i>in situ</i>

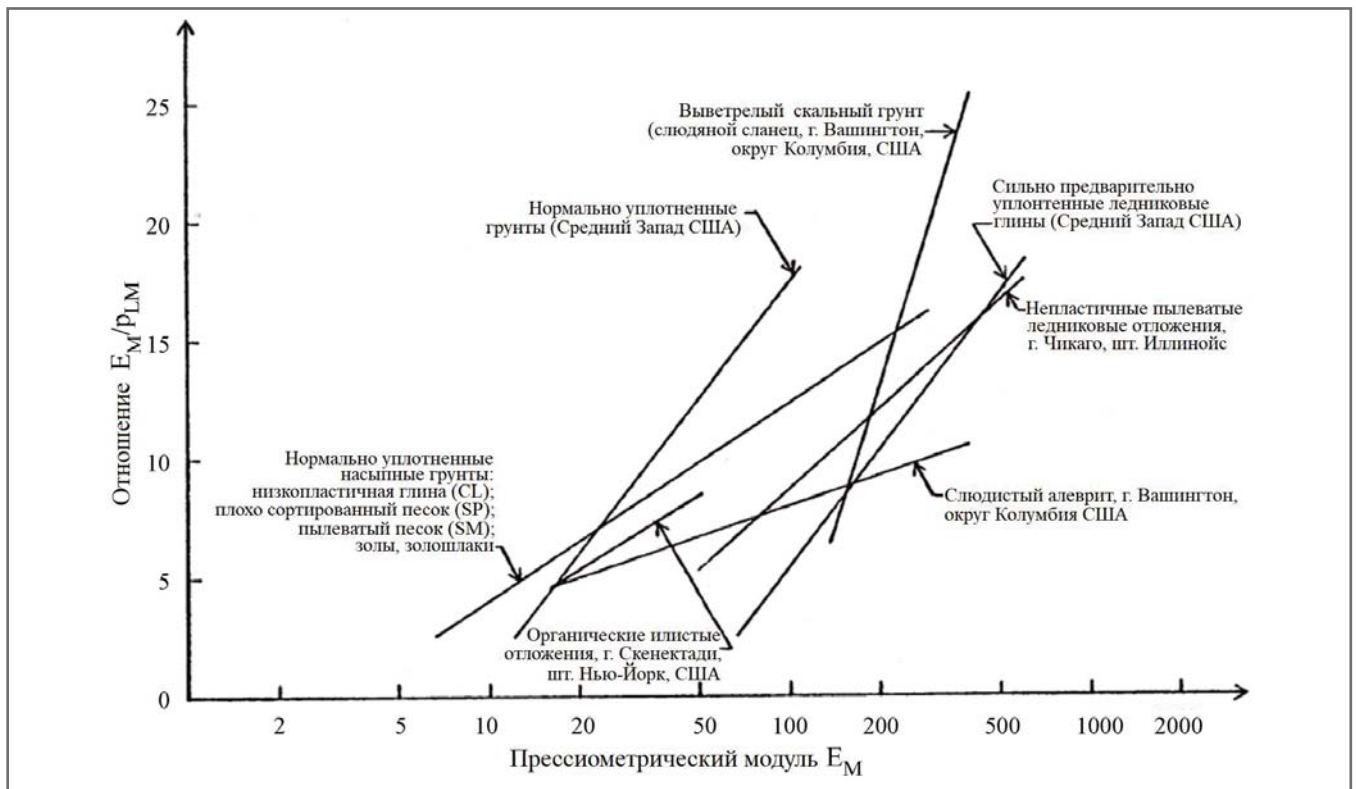


Рис. 9. Прессиометрическое отношение E_M/p_{LM} в зависимости от прессиометрического модуля E_M (по Kastman, 1978)

трудняет достижение последовательного и уместного использования прессиометрических модулей при анализе деформаций. Было показано, что модуль цикла «разгрузка – повторное нагружение», по-видимому, относительно независим от метода размещения в грунте прессиометрического зонда, поскольку эти разгрузка и повторное нагружение, по существу, являются упругими. Однако петли «разгрузка – повторное нагружение» необходимо получать очень тщательно, чтобы гарантировать их надежную интерпретацию. Например, в литературе (Wroth, 1984) есть аргументированное мнение о том, что уменьшение (декремент) напряжения в петле «разгрузка – повторное нагружение» при прессиометрических испытаниях в недренированных условиях должно быть ограничено удвоенной прочностью на сдвиг. Для песков уменьшение (декремент) напряжения должно быть ограничено примерно 40% от исходного эффективного напряжения в начале разгрузки (Fahey, 1991). Кроме того, необходимо указать уровень приращения деформации, связанный с прессиометрическим модулем, поскольку этот модуль уменьшается с увеличением уровня приращения деформации (Clarke, 1995). При расширении в дренированных условиях также необходимо учитывать влияние уровня напряжения

в начале разгрузки, поскольку с увеличением этого напряжения увеличивается жесткость.

4.2. Примеры прессиометрических испытаний

Хотя Менар проводил свои первые прессиометрические испытания в США, принятие и использование таких тестов в целом было относительно медленным по сравнению с другими методами, применяемыми *in situ*, такими как статические испытания на внедрение конуса (СРТ). Тем не менее несколько изыскательских или проектно-изыскательских фирм используют испытания прессиометрами на различных площадках. Применение таких типов тестов в США и Канаде, по-видимому, является локальным и сильно зависит от исторического использования и опыта.

Как было отмечено в оригинальной работе Менара, а затем и в других публикациях (Kastman, 1978; Baker, 2005; Lukas, 2010), одно из первых применений прессиометра, помещаемого в предварительно пробуренную скважину, было в районе Чикаго.

В одной из вышеуказанных статей (Kastman, 1978) соотношение между модулем Менара и результирующим (net) предельным давлением E_M/p_{LM} используется в качестве индикатора качества ис-

пытания (или нарушений) и для идентификации грунта. На рисунке 9 показаны результаты этой работы, полученные для различных грунтов с помощью испытаний прессиометром в США и с применением отношения E_M/p_{LM} как функции логарифма прессиометрического модуля. На этом рисунке ясно видна сильная линейная зависимость для каждого типа грунта. Было обнаружено, что отношение E_M/p_{LM} находится в диапазоне от 8 до 12 для нормально консолидированных грунтов и от 12 до 20 для переуплотненных (Kastman, 1978).

В одной из работ (Lukas, 2010) описан опыт прессиометрических тестов в сильно переуплотненных чикагских глинах, в которых невозможно проведение статических испытаний на внедрение конуса (СРТ) и из которых невозможен отбор проб с помощью тонкостенного трубчатого грунтоноса Шелби. Вплоть до 1970-х годов характеристики этих грунтов получали с помощью динамических стандартных пенетрационных испытаний (SPT), при которых число ударов N обычно превышало значения 50–100. Испытания с помощью прессиометра для таких грунтов были хорошо приняты, поскольку их легко использовать в полевых условиях и они гораздо дешевле, чем полномасштабные испытания на нагрузку. Прогнозы несущей способности и осадок за 35 лет опыта (Lukas,

2010) достаточно хорошо коррелировали с действительностью. Так, осадка 61-этажного здания, построенного на буровых сваях в этих переуплотненных грунтах, была оценена с использованием прессиометрических данных. Расчетные вертикальные смещения хорошо согласовывались с измеренными в полевых условиях, когда реактивный отпор грунта (bearing pressures) был ниже давления, вызывающего ползучесть (creep pressure), а при расчетах осадок использовался прессиометрический модуль. В другом случае расчетная несущая способность сплошного (плитного) фундамента высотного здания, построенного на переуплотненной глине, оцененная по результатам прессиометрических испытаний, хорошо согласовывалась с данными, полученными с помощью более традиционных подходов к проектированию с использованием значений недренированной прочности на сдвиг, полученных по данным прессиометрических тестов (Lukas, 2010).

Подобным же образом в другой работе (Baker, 2005) описывается опыт испытаний с помощью прессиометра в районе города Чикаго (США), а также в других частях мира. Прессиометрические испытания проводятся в Чикаго с 1969 года и позволяют менее консервативно проектировать буровые сваи и кессоны, чем при использовании параметров, полученных в результате динамических стандартных пенетрационных тестов (SPT) и лабораторных испытаний на одноосное сжатие, увеличивая допустимые давления более чем на 50%. Опыт (Baker, 2005) показывает, что в случаях сильно уплотненных ледниковых морен и отложений от средней плотности до плотных использование прессиометрической теории и адекватных результатов прессиометрических испытаний позволяет надежно прогнозировать осадки фундаментов глубокого заложения при рабочих нагрузках. Уверенность в надежном прогнозировании осадок позволила разрабатывать более инновационные проекты. Высказывалось мнение (Baker, 2005), что для надежных прогнозов осадок нагрузка от собственного веса конструкций плюс давление вышележащего грунта не должны превышать среднего давления ползучести (однако бывают случаи, когда такой подход неприменим, например для слабосцементированного песчаника). Расчетные оценки в рассматриваемой работе (Baker,

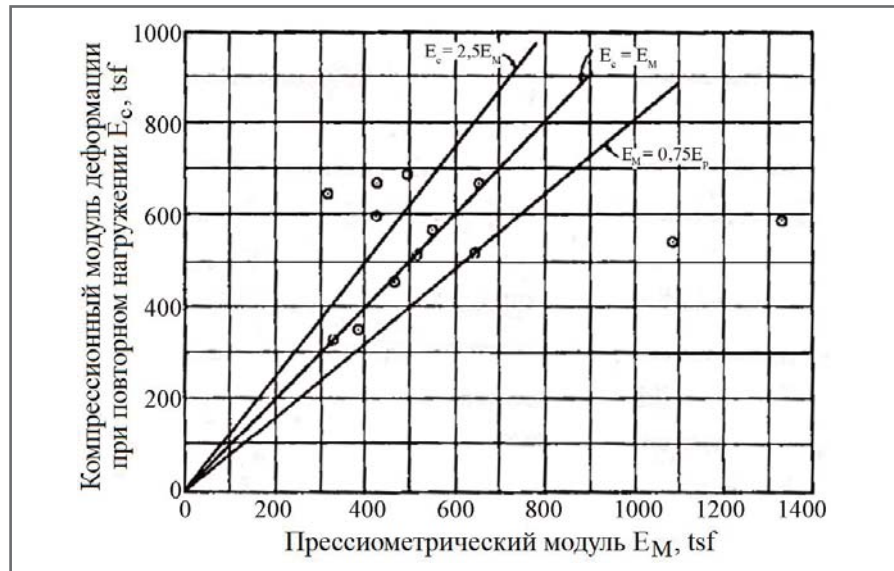


Рис. 10. Взаимосвязь между компрессионным модулем деформации, определенным при повторном нагружении во время компрессионных испытаний (E_c), и прессиометрическим модулем (E_M). *Примечание:* tsf – тонн на квадратный фут (ton per square foot); 1 tsf = 95,76 кПа

2005) выполнялись с помощью либо правил Менара, либо теории упругости с эквивалентным модулем Юнга, полученным на основе данных прессиометрических испытаний. Использованный подход был основан на местном опыте и мониторинге эффективности других похожих фундаментов в похожих грунтах. Такой подход часто приводит к эмпирическим формулам, характерным для работы конкретных компаний.

Прессиометрические испытания также широко проводились в районе города Ричмонд в штате Вирджиния США (Martin, Drahos, 1986) в миоценовых глинах, сильно предварительно уплотненных и твердых по консистенции. Этот материал также чувствителен к воздействиям и может вести себя очень пластично. На основе этих работ была выведена взаимосвязь между компрессионным модулем деформации (constrained modulus), определенным при повторном нагружении во время компрессионных испытаний (consolidation tests), и прессиометрическим модулем E_M . Было обнаружено, что полученные результаты (Martin, Drahos, 1986), показанные на рисунке 10, сильно отличаются от данных для чикагских глин из более ранней публикации (Lukas, DeBussy, 1976). Также была выведена корреляция между давлением ползучести по результатам прессиометрических испытаний (p_p) и давлением предварительного уплотнения (p_c). Было указано, что консервативная оценка p_c может

быть получена по формуле $p_c = 0,6p_f$ (Martin, Drahos, 1986).

Как показано в таблице 7, составленной авторами настоящего обзора на основе технической литературы и геотехнических отчетов, используется ряд различных версий прессиометров. Безусловно, наиболее распространенным был гидравлический прессиометр марки Texam производства канадской компании Rocstest. Это однокамерный прессиометр, помещаемый в предварительно пробуренную скважину, разработанный Брио и его сотрудниками (Briaud, 1992). Он был предназначен, чтобы «упростить и сделать более безопасными (благодаря отсутствию баллона с газом под давлением) эксплуатацию и ремонт прессиометра Менара, обеспечив при этом большее количество типов возможных прессиометрических испытаний (в том числе, например, при циклическом нагружении)» (Briaud, 1992). Существует также высокопроизводительный вариант производства той же компании – прессиометр Probex, предназначенный для испытаний в скальных грунтах.

Сравнение результатов испытаний однокамерным зондом Texam и трехкамерным прессиометром Менара (Briaud, 1992) показало, что они сопоставимы при условии, что отношение длины однокамерного прессиометра к его диаметру (L/D) было больше 6. С тех пор Texam, по идее, должен был бы стать наиболее распространенным вариантом прессиометра в публикациях по практическим случаям прес-

Таблица 7. Наиболее распространенные прессиометры, упоминаемые в североамериканских публикациях и документах

Прессиометр (тип или марка)	Конструкция	Метод помещения в грунт	Метод подачи давления	Что измеряется для оценки деформации
Menard (Менара)	трехкамерный	в предварительно пробуренную скважину	гидравлический	объем жидкости, необходимой для повышения давления
Texam	однокамерный	в предварительно пробуренную скважину	гидравлический	объем жидкости, необходимой для повышения давления
Probex*	однокамерный	в предварительно пробуренную скважину	гидравлический	объем жидкости, необходимой для повышения давления
Cambridge type (кембриджского типа)	однокамерный	в предварительно пробуренную скважину (иногда самозабуриванием)	пневматический	деформация (с помощью 3 или 6 тензодатчиков – strain arms)
Pencil (конусный)	однокамерный	забивкой или вдавливанием	гидравлический	объем жидкости, необходимой для повышения давления
OYO elastometer 100	однокамерный	в предварительно пробуренную скважину	пневматический	радиус (с помощью 2 измерительных щупов, или датчиков смещений – feeler arms)

* Высокоэффективный вариант прессиометра TEXAM.

сиометрических испытаний с предварительным бурением скважины. Однако в Европе предпочитают модели серии GAM, соответствующие европейским стандартам. Зонд Pencil также был предметом значительных исследований, особенно во Флориде (Cosentino et al., 2006; Messaoud, Nouaouria, 2010; Messaoud et al., 2011). При диаметре 35 мм он намного меньше, чем большинство других прессиометрических зондов. Основное внимание в этих исследованиях было уделено построению кривых « $p - u$ » для расчетов и проектирования свай при горизонтальных нагрузках.

Некоторые испытания также проводились с использованием однокамерного прессиометра кембриджского типа, помещаемого в предварительно пробуренную скважину, надуваемого газом и имеющего тензодатчики, размещенные с интервалами 120 град. в середине высоты зонда. Кривые испытаний, полученные с помощью этого прессиометра, показывают расширение только на 10–15% и не могут быть продолжены до достаточной деформации полости для достижения удвоения ее объема. Следовательно, предельные давления Менара в случае использования этого инструмента должны быть получены экстраполяцией. Однако большинство случаев, связанных с этим подходом к прессиометрическим испытаниям, основывалось на процедурах тестов, которые не соответ-

ствовали стандарту ASTM D4719, и их результаты анализировались и интерпретировались с использованием компьютерного моделирования на основе простых комплексных геомеханических (конститутивных) моделей поведения грунта. Результаты тестов интерпретировались для получения основных свойств испытанных материалов, которые затем учитывались в сочетании с другой геотехнической и геологической информацией, собранной при описании площадки изысканий.

В одной из работ (Jefferies et al., 1987) использовалось компьютерное моделирование и испытания самозабуривающимся прессиометром для определения профиля эффективного напряжения в глинах моря Бофорта. Полученный профиль горизонтального напряжения не согласовывался с оценками, основанными на коэффициентах переуплотнения, полученных в результате компрессионных испытаний (consolidation tests). Таким образом, была показана важность полевых тестов. Аналогичный пример такого подхода был представлен и в другом исследовании (Hoopes, Hughes, 2014), в котором результаты прессиометрических испытаний использовались для оценки профиля горизонтального напряжения *in situ* в ледниково-озерной глине, покрытой ледником, путем поиска давления во время разгрузки, при котором не происходило расширение или сжатие.

В одной из статей об использовании испытаний *in situ* для проектирования буровых свай в крупнозернистых отложениях (Rabab'ah et al., 2012) было описано гениальное решение, разработанное ранее (Durkee et al., 2007), по подготовке испытательного кармана в таких сложных грунтовых условиях. Была пройдена скважина увеличенного диаметра (127 мм) с помощью ударно-вращательного бурения с обсадкой. Затем скважина была залита цементным раствором методом вертикального перемещения трубы с одновременным извлечением обсадной колонны. После двухнедельного периода затвердевания в цементе было пробурено отверстие диаметром 76 мм, при этом у стенки кармана было оставлено цементное кольцо («труба») толщиной 20 мм, в котором был установлен прессиометр. Состав цемента был рассчитан таким образом, чтобы он был хрупким и трескался на ранних этапах расширения прессиометра. Эта последовательность подготовки кармана для испытания проиллюстрирована на рисунке 11. Качество 45 прессиометрических испытаний, проведенных в таких карманах с использованием однокамерного зонда кембриджского типа, было от хорошего до отличного. Для определения геотехнических свойств грунта была выполнена интерпретация результатов указанных тестов с учетом наличия цемента на стенках скважины. Несмотря на вероятность некоторого нарушения ис-

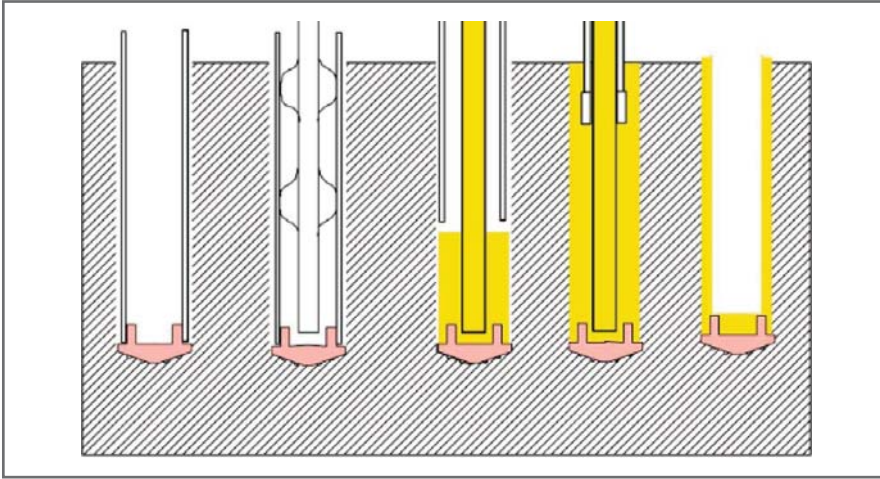


Рис. 11. Стадии подготовки скважины (испытательного кармана) для pressiметрического испытания в гравелистом грунте (по Durkee et al., 2007)

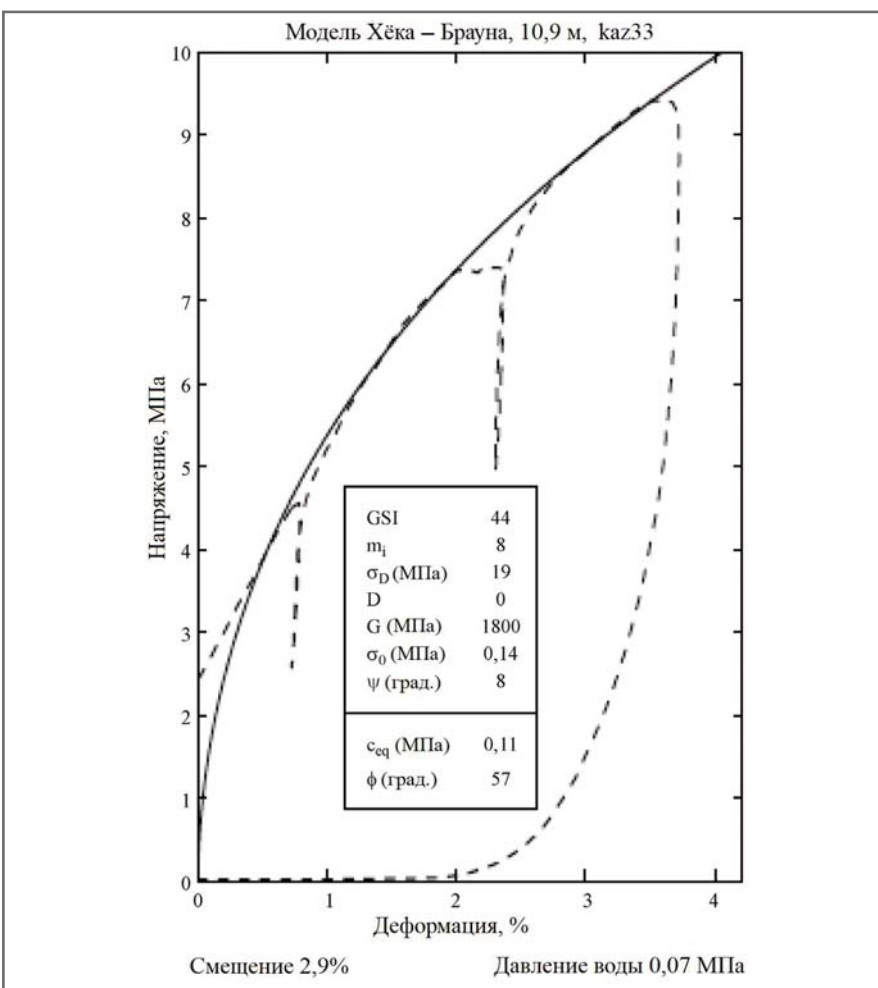


Рис. 12. Кривые pressiметрических испытаний в слабом скальном грунте на основе реальных измерений и на основе модели Хэка – Брауна (по Dafni, 2013; Yang, Zou, 2011) (GSI – Geological Strength Index – геологический индекс прочности Хэка – Брауна)

пытанного грунта, эта процедура все же позволила получить некую оценку его свойств, что в противном случае было бы невозможно из-за сложности бурения в таких отложениях и отбора из них проб.

Прессиометры продолжают представлять интерес для исследователей.

Так, было представлено исследование pressiметрических испытаний в слабых скальных породах с помощью однокамерного pressiметра кембриджского типа и с использованием компьютерного моделирования на основе репрезентативных комплексных геомеханических (конститутивных) моделей

скальных грунтов (Dafni, 2013). На рисунке 12 сопоставлены результаты измерений и кривая, полученная ранее (Yang, Zou, 2011) с использованием модели Хэка – Брауна (Hoek-Brown).

На рисунке 13 показан пример результатов испытаний зондом типа pressiметра Менара в целях изучения его возможностей для оценки прочности на горизонтальный сдвиг (side shear capacity) стенок скважин, пробуренных в известняке Флориды (Jacobs, 2003). Задачей было определение того, дадут ли эти испытания данные, более репрезентативные для массива скальных грунтов, чем результаты используемого в то время подхода, основанного на лабораторных испытаниях ненарушенных образцов керна скальной породы. Эмпирический метод расчета прочности на горизонтальный сдвиг, разработанный в Центральной лаборатории мостов и дорог (LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), оказался достаточно эффективным, поэтому было рекомендовано его дальнейшее изучение и отмечено, что требуется его дополнительная калибровка путем сравнения с результатами испытаний на нагрузку, прежде чем начать его применять для проектирования в штате Флорида США (Jacobs, 2003).

5. Обсуждение ►

Прессиметрические испытания пока (по крайней мере на момент написания настоящей статьи в 2014 году. – *Ред.*) не получили широкого распространения в геотехнической практике Северной Америки. Обычно их считают слишком дорогими для повседневной практики. Например, Министерство транспорта штата Невада США выразило общее мнение о них следующим образом:

«Прессиометр – это точный инструмент, и испытания с его помощью очень чувствительны к нарушениям ствола скважины. Для некоторых грунтов интерпретация полученных pressiметрических данных может быть трудной, но преимуществом является то, что из-за большого размера измерительной камеры маловероятно, что на нее негативно повлияет присутствие в дисперсном грунте гравия. Такие испытания требуют высокого уровня технических знаний и опыта, а также отнимают много времени».

Ситуация осложняется тем, что используется целый ряд инструментов и процедур испытаний. Форма pressiметрической кривой на основе испы-

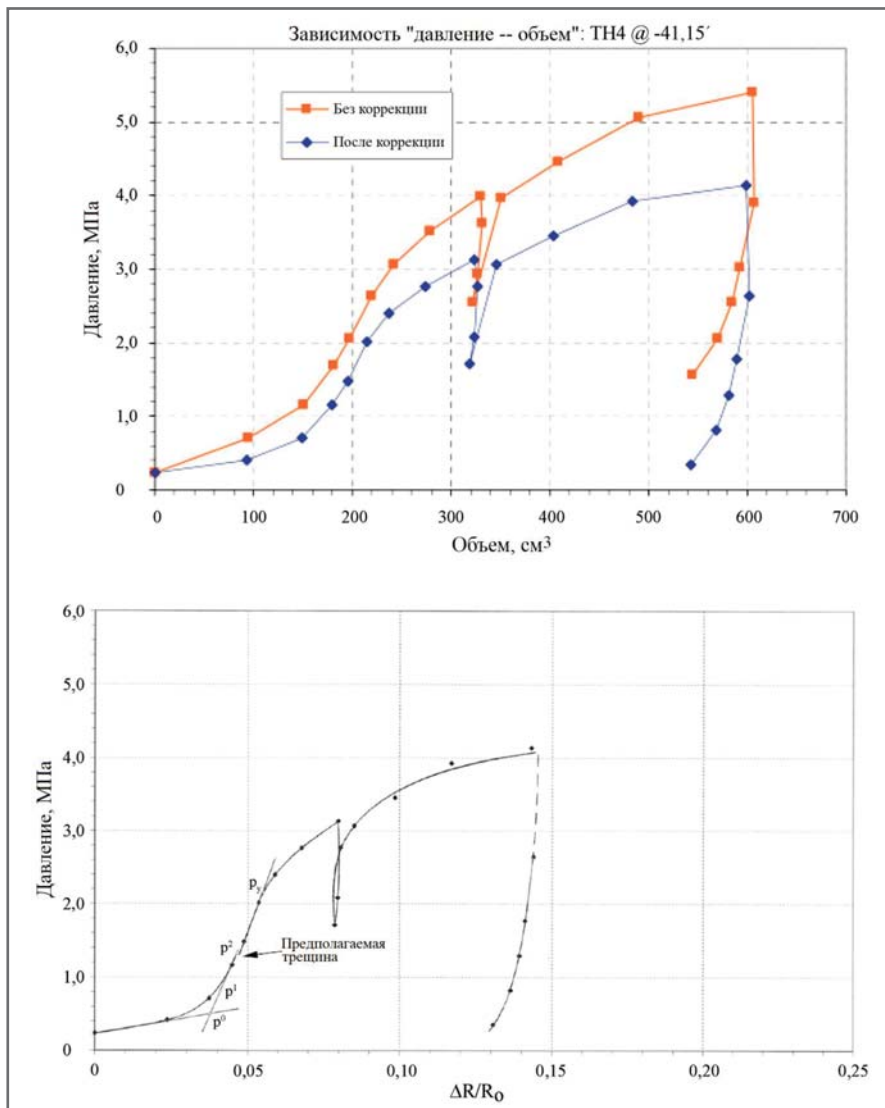


Рис. 13. Пример результатов испытаний зондом типа прессиометра Менара во флоридском известняке (Jacobs, 2003)

таний в любом дисперсном или скальном грунте зависит от метода помещения прессиометра в испытываемый материал, геометрии этого прибора и деталей хода выполнения тестов. Следовательно, испытания, проводимые с помощью разных приборов и разных методик, будут давать разные кривые для одного и того же грунта, причем величины расхождений будут зависеть от тестируемого материала. При этом есть свидетельства того, что некоторые инженеры продолжают интерпретировать результаты испытаний, используя правила Менара, несмотря на то что их данные не были получены с помощью приборов и процедур, соответствующих этим правилам.

Для традиционного строительства фундаментов в песках и более мелкозернистых грунтах, которые обычно умеренно переуплотнены, прессиометр не дает никаких преимуществ перед такими более быстрыми и более

надежными тестами *in situ*, как испытания плоским дилатометром (DMT) и статические испытания на внедрение конусного зонда, оборудованного датчиками порового давления и сейсмическими датчиками (сейсмические испытания СРТu), за исключением необычных случаев, когда прессиометр может дать дополнительную информацию. Однако для характеристики механического поведения твердых или очень плотных, крупнозернистых, остаточных, сапролитовых или латеритных дисперсных грунтов, слабых и трещиноватых скальных пород, мерзлых грунтов и льда лучше подходят испытания прессиометром, помещаемым в предварительно пробуренную скважину, а не обычные пенетрационные испытания или бурение и отбор образцов. Тогда задача состоит в том, чтобы для успешного проведения прессиометрических тестов подготовить подходящий испытательный карман.

И это «самый важный и самый сложный этап качественного прессиометрического испытания» (Briaud, 2013).

Методики испытаний прессиометром, помещаемым в предварительно пробуренную скважину, прописанные в текущей (на 2014 год – *Red.*) версии стандарта ASTM не соответствуют методикам европейского стандарта (ISO). Основное отличие касается возможности включения цикла «разгрузка – повторное нагружение» на некоем этапе расширения. Соответствующие рекомендации ISO основаны на многолетнем опыте успешного использования во Франции параметров, полученных с помощью прессиометрических испытаний, непосредственно для проектирования фундаментов. Эта разница ставит под угрозу возможность извлечения выгоды из этого опыта инженерами Северной Америки.

Одна из причин медленного внедрения прессиометрических испытаний в Северной Америке – недостаточные (или даже отсутствующие) знания об их инструментах, методиках, а также интерпретации и использовании их результатов. Отчасти это можно отнести к системе образования. Так, среди членов Совета университетов США по геотехническому образованию и исследованиям была распространена специальная анкета для оценки уровня и типа деятельности в области исследований и преподавания в отношении прессиометрических испытаний в Соединенных Штатах Америки (Benoit, 2013). Один из вопросов касался количества лекционного времени в основном учебном курсе, посвященного каждому типу испытаний *in situ*. Результаты обработки ответов на этот вопрос показаны на рисунке 14. На испытания SPT и СРТ в 25% программ тратилось менее 30 минут (на каждое), еще в 25% – 1–2 часа, и только около 13% программ охватывали эти материалы более подробно, посвящая им более 3 часов. Что касается дилатометрических (DMT), прессиометрических (PMT) испытаний и геофизических методов, то примерно 40% программ тратили на них всего по 10–30 минут, а около 15% использовали по 1 часу или больше. Было несколько удивительно, что до 20% программ тратили на DMT, PMT, FVT (испытания крыльчаткой) и геофизические методы менее 10 минут.

При подготовке этого обзора у авторов сложилось мнение, что некоторые типы испытаний, например прессиометрические, отнимают много вре-

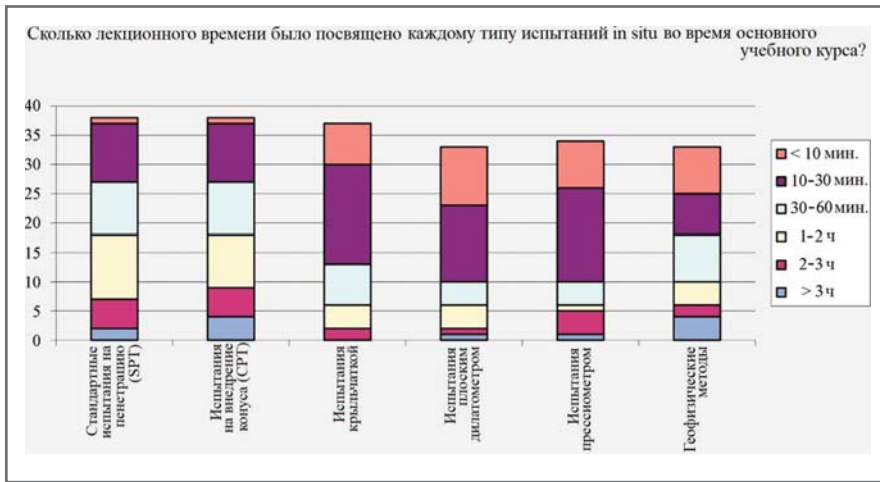


Рис. 14. Количество лекционного времени, потраченного на разные типы геотехнических испытаний in situ во время основных учебных курсов в вузах США, имеющих отношение к геотехнике, на основе 40 анкет (Benoit, 2013)

мени и слишком сложны. Однако, если будущих и нынешних геотехников не научат основам использования и интерпретации разных методов испытаний, то возможности для повышения эффективности и безопасности наших проектов, вероятно, продолжают медленно развиваться, но, конечно, более продвинутое и сложное испытание будут маловероятны. Правильное же обучение и понимание более сложных методов тестирования грунтов in situ приведет к более широкому использованию полевых методов, в том числе прессиометрических.

6. Заключение

Хотя прессиометрические испытания доступны в Северной Америке с конца 1950-х годов, они не получили широкого распространения в геотехнической практике. В песчаных и более мелкозернистых грунтах, которые не подвергались сильному переуплотнению или другим уплотняющим процессам, такие тесты медленнее и дороже для повседневного использования и не могут конкурировать с более традиционными видами испытаний – на внедрение конуса с измерением порового давления (CPTu), плоским дилатометром (DMT) или на стандартную пенетрацию (SPT). Но прессиометрические испытания находят применение в таких грунтовых условиях, для которых более тщательные расчеты и анализ для проектирования являются вполне оправданными из-за возможных последствий некачественных геотехнических характеристик. Примерами такого использования могут быть получение кривых « $p-u$ » для проектирования свай с горизонтальной нагруз-

кой и определение жесткости для детальной оценки неравномерных осадок. Если основные свойства грунта оценить с помощью испытаний прессиометром кембриджского типа, то можно получить входные параметры для детального численного анализа.

Прессиометрические испытания широко применялись и применяются в районах США и Канады, в которых встречаются твердые или очень плотные дисперсные грунты, такие как ледниковые морены и сильно переуплотненные глины, плотные/твердые остаточные грунты и очень крупнозернистые отложения. Еще такие тесты использовались и используются в слабых и трещиноватых скальных породах, в мерзлых грунтах и во льду, а также в качестве инструмента для контроля качества усиления грунта. Обычно прессиометрические испытания оказывались действительно полезными там, где традиционные подходы к описанию площадок давали неопределенные или нечувствительные результаты (например, какая разница в параметрах грунта, полученных в диапазоне числа ударов при SPT, равном 6 на 0,3 м и 12 на 0,3 м?). Поскольку методы интерпретации прессиометрических данных имеют теоретическую основу, есть возможность получить значимые параметры прочности и деформации для всех материалов, для которых можно получить кривую расширения. Также можно соотнести измеренные параметры с обширным опытом, полученным при использовании прессиометрических тестов для проектирования фундаментов в Европе и других странах.

Чтобы испытания с помощью прессиометров получили более широкое

признание в инженерной практике Северной Америки, необходимо принять следующие меры.

- Должно быть улучшено преподавание теории и принципов прессиометрических испытаний в вузах, по крайней мере в магистратуре и аспирантуре. Это повысит вероятность того, что этот тип испытаний будет использоваться надлежащим образом и даст положительный опыт.

- Оборудование и методики прессиометрических испытаний должны быть более строго стандартизированы, чтобы они давали данные, соответствующие используемым методам расчетов и проектирования. Если должны применяться правила Менара, то и испытания следует проводить в соответствии с этими же правилами, то есть без циклов «разгрузка – повторное нагружение». Если должен использоваться подход кембриджского типа, то процедуры испытаний по ASTM D4719 неприменимы и следует использовать альтернативные приборы и методики.

- Следует признать, что прессиометрические испытания наиболее применимы в сложных грунтовых условиях, если в них можно подготовить подходящий испытательный карман.

- Для верификации применимости методов проектирования на основе прессиометрических тестов и их продвижения требуются более полномасштабные испытания на нагрузку и мониторинг фундаментов североамериканских строительных объектов.

Например, имея дело с проектами и грунтовыми основаниями в городе Ричмонд в штате Вирджиния США, необходимо было приложить усилия для «систематического сбора и оценки информации по подповерхностным условиям, а также по проектированию, строительству и поведению зданий в Ричмонде. Это в конечном итоге привело бы к набору относительно простых и надежных правил проектирования фундаментов зданий в этом городе» (Casagrande, 1966). Правила Менара, по существу, были разработаны и улучшены в соответствии с этими принципами. Прессиометр – это инструмент, который до сих пор (по крайней мере до 2014 года. – *Ред.*) недостаточно использовался в Северной Америке, а иногда и ненадлежащим образом. Важно внедрить и расширить его применение, в особенности потому, что численные инструменты требуют для анализа более сложных современных параметров. **и**

Список литературы ►

- AFNOR (2012). Justification des ouvrages géotechniques. Normes d'application nationale de l'Eurocode 7. Fondations profondes. Norme NF P94-262.
- ASTM D4719 (2007). Standard test methods for prebored pressuremeter testing in soils // Annual Book of ASTM Standards, 2007. Section 4. V. 04.08.
- Baguelin F., Jezequel J.-F., Le Mee H., Le Meehaute A. (1972). Expansions of cylindrical probes in soft soils // Journal of Soil Mechanics and Foundation Design, ASCE. 1972. V. 98:SM11. P. 1129–1142.
- Bandis C., Lacasse S. (1986). Interpretation of self-boring and push-in pressuremeter tests in Holmen sand: NGI Report № 40019-21. Oslo, 1986.
- Baker C.N. (2005). The use of the Menard pressuremeter in innovative foundation design from Chicago to Kuala Lumpur // Proceedings of the International Symposium 50 Years of Pressuremeters (ed.: Gambin, Magnan, Mestat). Presses de l'ENPC/LCPC, 22–24 August, 2005, Paris, France. V. 2. P. 63–95.
- Benoit J. (2013). Current status of pressuremeter testing education in the USA // Parallel International Symposium on Pressuremeters, 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France, 2013.
- Benoit J., Atwood M.J., Findlay R.C., Hilliard B.D. (1995). Evaluation of jetting insertion for the self-boring pressuremeter // Canadian Geotechnical Journal. 1995. V. 32. P. 22–39.
- Briaud J.-L. (2013) The pressuremeter test. Expanding its use: Menard lecture // Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France, 2013. P. 107–126.
- Briaud J.-L. (2005). The pre-boring pressuremeter: some contributions // Proceedings of the International Symposium 50 Years of Pressuremeters (ed.: Gambin, Magnan, Mestat). Presses de l'ENPC/LCPC, 22–24 August, 2005, Paris, France. V. 2. P. 103–124.
- Briaud J.-L. (1992). The pressuremeter. Rotterdam: A.A. Balkema, 1992. 322 p.
- Briaud J.-L., Shields D.H. (1979). A special pressuremeter and pressuremeter test for pavement evaluation and design // Geotechnical Testing Journal. 1979. V. 2:3. P. 143–151.
- Bustamante M., Gambin M., Gianceselli L. (2009). Pile design at failure using the Menard Pressuremeter: an up-date. French contributions to International Foundation Congress & Equipment Expo'09. Contemporary topics in in situ testing, analysis, and reliability of foundations // ASCE Geotechnical Special Publication № 186, Orlando, Florida, 2009. P. 127–134.
- Casagrande L. (1966). Subsoils and foundation design in Richmond, VA // Journal of the Soil Mechanics and Foundation Design. 1966. SM5, September. P. 109–126.
- Cassan M. (2005). Historique des pressiomètres // Proceedings of the International Symposium 50 Years of Pressuremeters (ed.: Gambin, Magnan, Mestat). Presses de l'ENPC/LCPC, 22–24 August, 2005, Paris, France. V. 2. P. 125–200.
- Clarke B.G. (1995). Pressuremeters in geotechnical design. Blackie Academic & Professional, city, 1995. 364 p.
- Clarke B., Gambin M.P. (1998). Pressuremeter testing in onshore ground investigations: a report by the ISSMGE Committee 16 // International Conference on Site Characterization, Atlanta, 1998.
- Clayton C.R.I.; Matthews M.C., Simons N.E. (1995). Site investigation. Blackwell: Blackwell Science, 1995. 584 p.
- Cosentino P., Kalajian E., Stansifer R., Anderson J.B., Kattamuri K., Sundaram S., Messaoud F., Misilo T., Cottingham M. (2006). Standardizing the pressuremeter test for determining p-y curves for laterally loaded piles: FDOT Research Report, Contract BD 658. 2006.
- Dafni J. (2013). The analysis of weak rock using the pressuremeter: M. Sc. thesis. Seattle: University of Washington, Department of Civil Engineering, 2013.
- Drahos E.G. (2014). Personal communication.
- Durkee D., Ackerman F., Smith D., Rucker M. (2007) Borehole preparation technique for pressuremeter testing in sand gravel and cobbles: geotechnical special publication № 162 // Geo-Denver 2007, February 18–21, 2007, Denver, Colorado.
- Fahey M. (1991). Measuring shear modulus in sand with the self-boring pressuremeter. deformation of soils and displacements of structures // Proc. X Eur. emif. SMFE, Florence, Italy, 1991. Rotterdam: Balkema, 1991. V. 1. P. 73–76.
- Ferreira R.S., Robertson P.K. (1992). Interpretation of undrained self-boring pressuremeter test results incorporating unloading // Canadian Geotechnical Journal. 1992. V. 29:6. P. 918–928.
- Gambin M., Flavigny E., Boulon M. (1996). Le module pressiométrique: historique et modélisation // XI Colloque Franco-Polonais en Mécanique des Sols et des Roches Appliquée, Gdansk, Poland, 1996.
- Gauthier A., Gonin H., Ménard L. (1954). Travail de fin d'étude. Paris, France: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1954.
- Hoopes O., Hughes J. (2014). In situ lateral stress measurement in glaciolacustrine seattle clay using the pressuremeter // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2014. 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001077, 04013054.
- Houlsby G.T., Carter J.P. (1993). The effects of pressuremeter geometry on the results of tests in clay // Geotechnique. 1993. V. 43. P. 567–576.
- Houlsby G.T., Withers N.J. (1988). Analysis of cone pressuremeter test in clay // Geotechnique. 1988. V. 38:4. P. 575–587.
- Hughes J.M.O., Robertson P.K. (1985). Full-displacement pressuremeter testing in sand // Canadian Geotechnical Journal. 1985. V. 22. P. 298–307.
- ISO/FDIS 22476-4:2009(E) – ISO/TC 182/SC 1 (2009). Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 4. Menard pressuremeter test.

- Jacobs S.A. (2003). In situ measurement of Florida limestone modulus and strength properties: M. Eng. thesis. University of Florida, 2003.
- Jefferies M.G. (1988). Determination of horizontal geostatic stress in clay with self-bored pressuremeter // Canadian Geotechnical Journal. 1988. V. 25. P. 559–573.
- Jefferies M.G., Shuttle D.A. (1995). Disturbance does not prevent obtaining reliable parameters from sbp tests, the pressuremeter and its new avenues // Proceedings of the Fourth International Symposium on Pressuremeters (ISP4) (ed.: G. Ballivy). Sherbrooke, Quebec, Canada, May 17–19, 1995. A.A. Balkema, 1995. P. 177–183.
- Jefferies M.G., Crooks J.H.A., Becker D.E., Hill P.R. (1987). Independence of geostatic stress from overconsolidation in some beaufort sea clays // Canadian Geotechnical Journal. 1987. V. 24:3. P. 342–356.
- Kastman K. (1978). In-situ testing with the Menard pressuremeter // Proceedings of a Symposium on Site Exploration in Soft Ground using In Situ Techniques. Final Report. Alexandria, Virginia, 1978. P. 206–223.
- Ladanyi B. (1995). A brief history of pressuremeter // Proceedings of the 4th International Symposium on the Pressuremeter and its New Avenues, Sherbrooke, Quebec, Canada, 1995 (ed.: G. Ballivy). A.A. Balkema, 1995. P. 5–23.
- Long M. (2008). Design parameters from in situ tests in soft ground. Recent developments // Proceedings of the Third International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization ISC-3, Taipei, Taiwan, 2008. P. 89–116.
- Lukas R.G. (2010). Pressuremeter publication № 198 // Geo-Florida. 2010. P. 392–400.
- Lukas R.G., De Bussy B.L. (1976). Pressuremeter and testing for foundation design. Art of foundation engineering practice: ASCE geotechnical special laboratory test correlations for clays // ASCE Journal of Geotechnical Engineering. 1976. V. 102:9. P. 945–962.
- Martin R.E., Drahos E.G. (1986). Pressuremeter correlations for preconsolidated clays // Proceedings of In Situ '86. Blacksburg, Virginia: ASCE, 1986. June. P. 206–220.
- Menard L. (1957). An apparatus for measuring the strength of soils in place: thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering. University of Illinois, 1957. 50 p.
- Messaoud M.S.M.F., Cosentino P.J. (2011). PENCEL pressuremeter test evaluation for developing p-y curves for driven piles // ACEE International Journal on Transportation and Urban Development. 2011. V. 1:2. P. 14–18.
- Messaoud F., Nouaouria M.S. (2010). The use of PENCEL pressuremeter test for underground structures // International Journal of Civil Engineering. 2010. V. 8:1. P. 33–43.
- Palmer A.C. (1972). Undrained plane-strain expansion of a cylindrical cavity in clay: a simple interpretation of the pressuremeter test // Geotechnique. 1972. September. V. 22:3. P. 451–457.
- Rabab'ah S.R., Niedzielski J.C., Durkee D.B. (2012). Use of in-situ tests for design of drilled shafts in coarse granular deposits // GeoCongress. 2012. P. 265–274.
- Reid W.M., St. John H.D., Fyffe S., Rigden W.J. (1982). The push-in pressuremeter // Proceedings of the Symposium on the Pressuremeter and its Marine Applications, Paris, France, 1982.
- Reiffsteck P. (2009). ISP5 pile prediction revisited. French contributions to International Foundation Congress & Equipment Expo'09. Contemporary topics in in situ testing, analysis, and reliability of foundations: ASCE geotechnical special publication № 186. Orlando, Florida, 2009. P. 50–57.
- Reiffsteck P., Burlon S. (2012). Traitement des incertitudes dans le calcul geotechnique avec la nouvelle norme fondations profondes NF P 94 262. Tunisia, 2012.
- Roy D., Campanella R., Byrne P., Hughes J. (2002). Undrained anisotropic monotonic behavior of sand from in situ tests // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2002. V. 128:1. P. 85–91.
- Schnaid F., Ortigao J.A.R., Mantaras F.M., Cunha R.P., MacGregor I. (2000). Analysis of self-boring pressuremeter (SBPM) and Marchetti dilatometer (DMT) tests in granite saprolites // Canadian Geotechnical Journal. 2000. V. 37:4. P. 796–810.
- Shuttle D.A., Jefferies M.G. (1995). A practical geometry correction for pressuremeter tests in clay // Geotechnique. 1995. V. 45:3. P. 549–553.
- Withers N.J., Schaap K.H.J., Dalton J.C.P. (1986). The development of a full displacement pressuremeter // Proceeding of the Symposium on Pressuremeter and its Marine Applications, ASTM STP 950. 1986. P. 38–56.
- Wroth C.P. (1984). The interpretation of in-situ soil tests: 24th Rankine Lecture // Geotechnique. 1984. V. 34:4. P. 449–489.
- Wroth C.P., Hughes J.M.O. (1972). An instrument for the in situ measurement of the properties of soft clays: report of the Department of Engineering. University of Cambridge, 1972. CUED/C. Soils TR 13.
- Yang X.-L., Zou J.-F. (2011). Cavity expansion analysis with non-linear failure criterion // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Geotechnical Engineering. 2011. V. 164. P. 41–49.
- Yeung S.K., Carter J.P. (1990). Interpretation of the pressuremeter test in clay allowing for membrane end effects and material non-homogeneity // Pressuremeters. London: Thomas Telford Limited, 1990. P. 199–208.
- Yu H.S. (2004). James K. In situ soil testing – from mechanics to interpretation: Mitchell lecture // Proceedings ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization. Rotterdam: Millpress, 2004

Источник для перевода ►

1. Benoit J., Howie J.A. A View of Pressuremeter Testing in North America // Soils and Rocks (International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering). San Paulo, 2014. Vol. 37. № 3. P. 211–231. URL: soilsandrocks.com.br/soils-androcks/SR37-3_211-231.pdf.



О НОВОМ ПОДХОДЕ К БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЮ С ДОКАЗАННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

КУКЛО ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ
Директор по маркетингу
«Маккаферри СНГ»

MACCAFERRI
info@ru.maccaferri.com

На рынке появился инновационный продукт для берегоукрепления – Матрац Рено Плюс®, являющийся усовершенствованной версией матраца «Рено®». Это еще более экологичное и экономически выгодное решение для укрепления берегов рек и защиты от эрозии. Указанную новую модель разработала итальянская транснациональная компания Maccaferri («Маккаферри»). С 1994 года эта компания имеет подразделение в России, представительства в странах СНГ, а также собственный завод в Московской области.

Здесь мы кратко расскажем об устройстве, сборке, отличительных особенностях и преимуществах Матраца Рено Плюс® для укрепления берегов рек по сравнению с традиционными матрацами и каменной наброской.

Введение ▶

В 1980-х годах компания Маккаферри начала выпускать разработанные ею Матрацы Рено®, которые стали эффективной альтернативой каменной наброске и завоевали существенную долю рынка в сфере защитных конструкций для берегоукрепления. Но добыча достаточно крупного камня не только для каменной наброски, но и для Матрацев Рено® является сложной задачей. К тому же цена на этот материал растет с каждым годом. Поэтому к настоящему времени назрела необходимость усовершенствования указанного изобретения. И тогда Центром Инноваций компании Маккаферри (Mascacferri Innovation Center) в сотрудничестве с Государственным университетом Колорадо (США) была разработана и протестирована усовершенствованная версия – долговечный и надежный Матрац Рено Плюс® с экономически эффективной технологией сборки и укладки. Этот продукт получил международный сертификат, подтверждающий его высокое качество.

Отличительные особенности Матраца Рено Плюс® ▶

Сетка Матраца Рено Плюс® изготавливается из проволоки двойного кручения диаметром 2,2 мм, покрытой инновационным защитным покрытием ПолиМак® с повышенной устойчивостью к механическим повреждениям и химической деградации (об этом покрытии журнал «ГеоИнфо» писал ранее.

Размеры ячеек сетки новой модели меньше по сравнению с предыдущей версией и составляют 6 см x 8 см.

Необходимую жесткость матрацу обеспечивает применение диагональных стяжек X-Tie, которые легко и быстро устанавливаются по одной штуке на каждый квадратный метр конструкции — «трехлапая» конструкция X-Tie не деформируется и устойчива к нагрузкам. Кроме того, жесткость и равномерность заполнения сетки камнем увеличивают двойные диафрагмы заводской сборки (дополнительные ребра жесткости), устойчивые к деформациям и защищающие каменный материал от ненужных смещений (рис. 1).

Перечисленные особенности направлены на увеличение жесткости с одновременным обеспечением необходимой гибкости, на удобство монтажа, на возможность использования более мелкого камня в качестве заполнителя при его стабильном размещении в сетчатых коробах и на повышение скорости укладки матрацев.

Процесс сборки Матраца Рено Плюс® ▶

Основные материалы и инструменты, необходимые для сборки Матраца Рено Плюс®, показаны на рисунке 2. Из заводской упаковки извлекают модуль матраца и раскладывают на земле, убедившись, что все его панели находятся в правильном положении для формирования конструкции (рис. 3, а). Далее диафрагмы и торцевые панели устанавливают в вертикальное положение.

Панели скрепляют с помощью скоб C-Ring и пневматического скобообжимного пистолета (рис. 3, б). Расстояние между скобами не должно превышать 200 мм (по ГОСТ-58146-3).

Устанавливают диагональные стяжки, входящие в заводской комплект (минимум по одной на 1 кв. м матраца) (рис. 3, в).

Затем каждый отсек заполняют камнем, закрывают матрац крышкой и соединяют ее с боковыми панелями с помощью скоб C-Ring, а также с диагональными стяжками с использованием двух скоб C-Ring на каждую стяжку (рис. 3, г).

Сравнение эффективности технологий берегоукрепления ▶

Как уже указывалось выше, силами Центра Инноваций Маккаферри и Государственного университета Колорадо были выполнены тщательные испытания эффективности сборки и работы Матрацев Рено Плюс® в сравнении с другими техническими решениями.

В том числе было решено экспериментальным путем установить, сколько времени нужно на сборку одного стандартного матраца и Матраца Рено Плюс® четырьмя квалифицированными рабочими. На сборку секции традиционного матраца ушло 44 минуты, а для «Рено Плюс®» при тех же условиях – 35 минут, то есть на 20% меньше. Таким образом, при больших объемах работ по укладке матрацев новой модели будет экономиться один день в неделю для четырех работников.

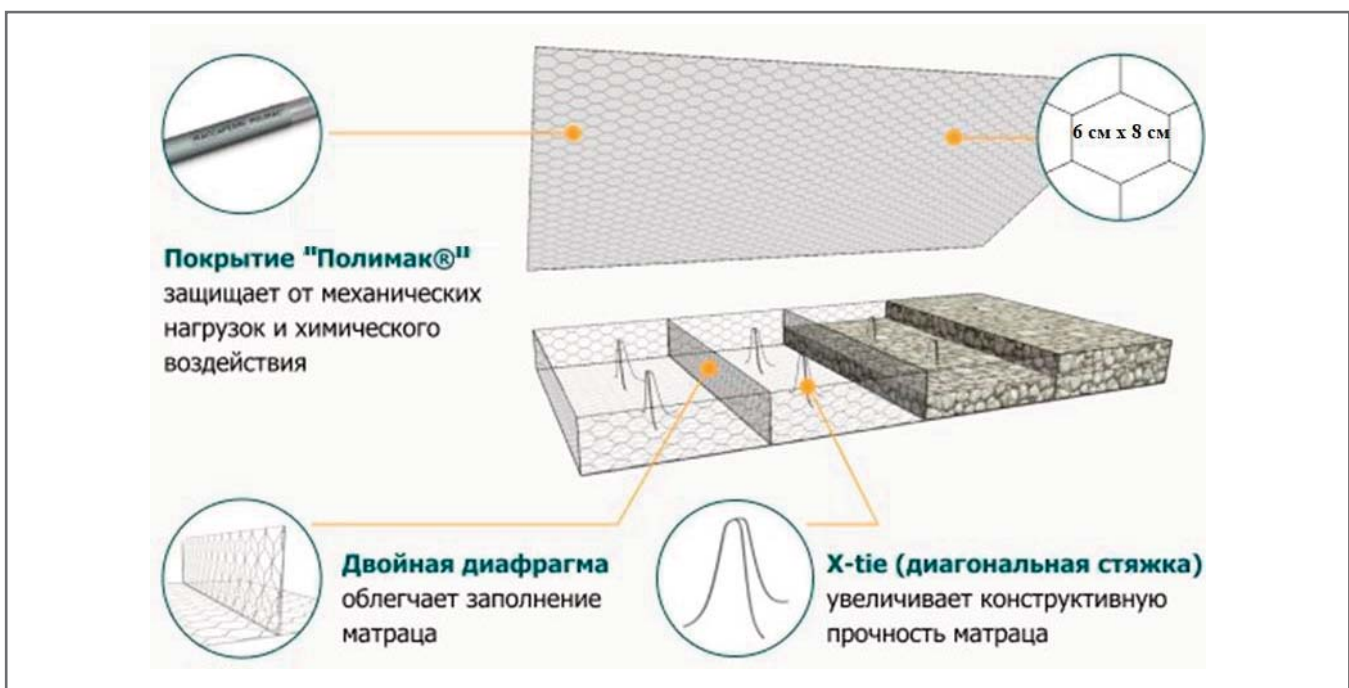


Рис. 1. Устройство Матраца Рено Плюс®



Рис. 2. Что требуется для сборки коробов Матрацев Рено Плюс®

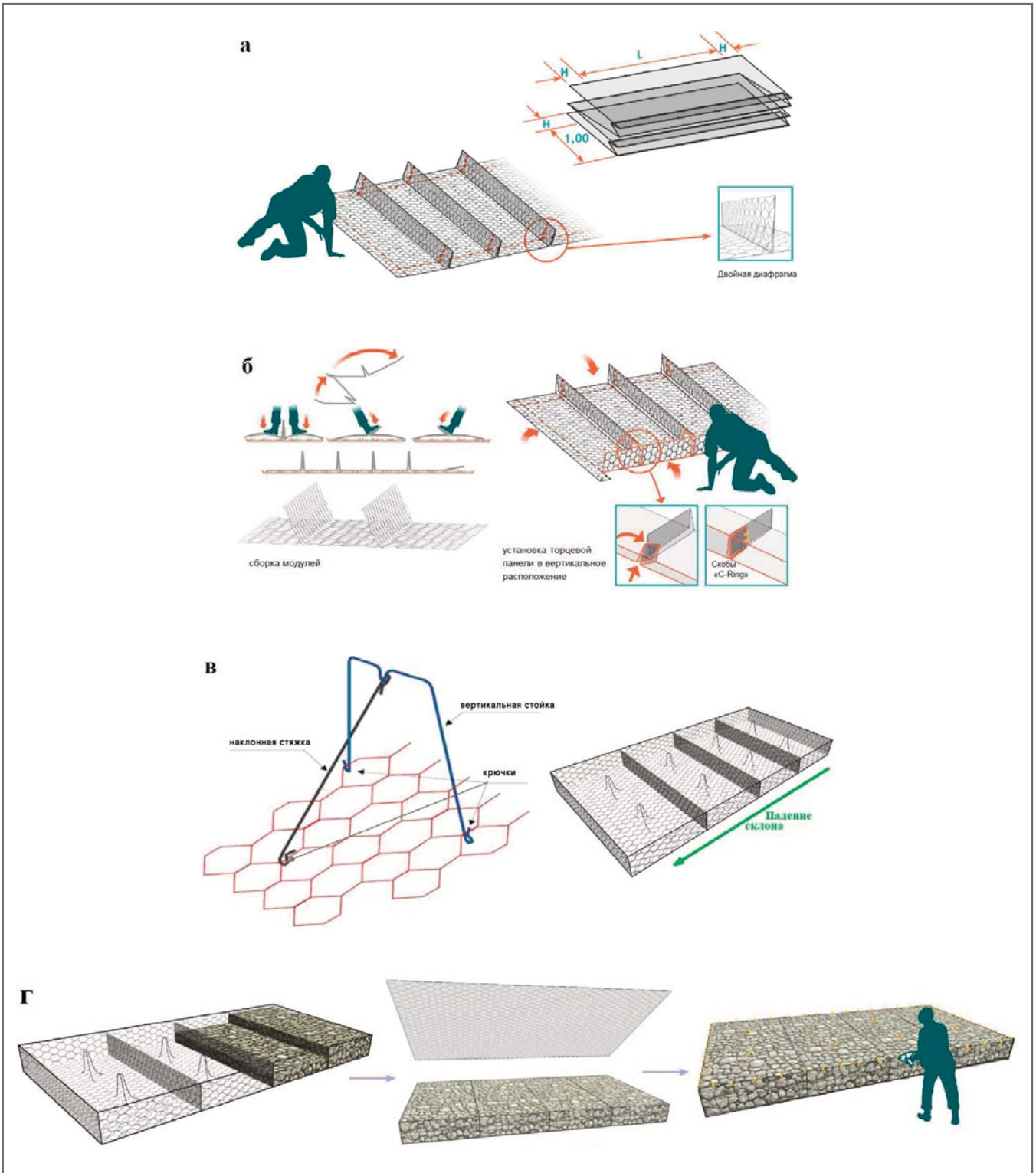


Рис. 3. Последовательность сборки Матрацев Рено Плюс®

Таблица 1. Сопоставление технологий укрепления берегов по эффективности

Что сравнивается	Каменная наброска	Стандартный матрац	Матрац Рено Плюс®
Диафрагма	-	одинарная деформируемая	двойная недеформируемая
Сборка	-	требуется ручная сборка	заводская сборка
Фиксация элементов	-	большой расход колец для фиксации незакрепленных диафрагм на основании	легко устанавливаемые диагональные стяжки (1 шт. на 1 кв. м)
Стяжка	-	отдельно поставляемая вязальная проволока	устойчивая недеформируемая стяжка X-tie с простой установкой
Закрытие крышкой	-	трудоемкая процедура закрытия	быстрое и простое закрытие
Скорость монтажа	-	на 20% больше по сравнению с «Рено Плюс®»	на 20% меньше по сравнению со стандартным матрацем (4 рабочих экономят 1 полный день в неделю)
Количество камня в качестве заполнителя	слой крупного камня толщиной 70–80 см	на 30% меньше по сравнению с каменной наброской	на 70% меньше по сравнению с каменной наброской; на 30% меньше по сравнению со стандартным матрацем

Таблица 2. Сопоставление технологий монтажа, отражающее преимущества матрацев «Рено Плюс®» по сравнению со стандартными матрацами

Стандартный матрац	Матрац Рено Плюс®
<p>1. Диафрагма является одинарной и требует ручной сборки. Чтобы зафиксировать основание незакрепленной диафрагмы, необходимо использовать крепежные кольца. Для качественного закрепления основания требуется много таких зажимов. Кроме того, эта процедура может повреждать защитное покрытие, что со временем приведет к снижению срока службы конструкции. Кроме того, одинарная диафрагма склонна к деформациям под давлением веса камня на склонах. Это часто приводит к тому, что камень высыпается и рабочим приходится вручную его собирать и возвращать на место.</p>	<p>1. Двойная недеформируемая диафрагма – заводской сборки. Она создает дополнительное ребро жесткости. Поскольку на месте монтажа не нужно тратить время на ее установку, это дает хорошее преимущество по скорости и эффективности монтажа.</p>
<p>2. Для стяжки элементов на каждом квадратном метре требуется два резьбовых соединения. Их крепление даже для опытных монтажников – трудоемкий процесс.</p>	<p>2. Предусмотренные диагональные стяжки легко устанавливаются по одной штуке на 1 кв. м. Они устойчивы к нагрузкам, не деформируются под давлением и увеличивают жесткость готовой конструкции за счет создания дополнительного диагонального ребра жесткости. Их используют как закладные. Конструктивно они удобны и просты в монтаже.</p>
<p>3. Для скрепления нижней части и крышки используются проволочные стяжки (из отдельно поставляемой вязальной проволоки). Это довольно неудобно и снижает скорость монтажа. Закрытие крышки матраца – процедура трудоемкая и хлопотная, на которую уходит около 30% времени. На этом этапе нередко случаются прорывы и высыпание заполнителя матраца.</p>	<p>3. Закрытие крышки – быстрое и простое. Наличие диагональных стяжек позволяет засыпать камень и сразу притягивать крышку.</p>

Это стало возможным за счет того, что при сборке и укладке «Рено Плюс®» выпадают две трудоемких операции: нет необходимости привязыв-

вать диафрагму и стягивать конструкцию для обеспечения жесткости – ведь в новой модели это заложено в заводскую конструкцию.

Сопоставление эффективности технологий укрепления берегов с помощью каменной наброски стандартных матрацев и Матрацев Рено Плюс® представлено в

таблицах 1 и 2, основанных на результатах серии испытаний. Отдельно следует отметить экологичность решения. Суммарное количество углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу автотранспортом, техникой при организации берегоукрепительных работ с помощью «Рено Плюс[®]», меньше на 70% по сравнению с каменной наброской и на 28% по сравнению с традиционными матрацами. А повышенные прочность и износостойкость инновационных матрацев обеспечат их более надежную и долгую эксплуатацию.

Заключение ▶

В качестве заключения вкратце перечислим основные преимущества Матрацев Рено Плюс[®] для заказчиков и подрядных организаций по сравнению с традиционными матрацами для берегоукрепления.

1. Укладка «Рено Плюс[®]» на две стадии меньше по сравнению с традиционными матрацами, за счет чего значительно экономится время. В итоге заказчики еженедельно экономят на оплате четырех рабочих за день.

2. Толщина «Рено Плюс[®]» на 28% меньше по сравнению с традиционными моделями. Поэтому новая версия требует меньшего количества камня в качестве заполнителя. К тому же можно использовать более мелкий камень (который легче добывается и дешевле) и не бояться его смещений и пересыпаний по площади матрацев на склонах. В результате расходы на этот вид работ меньше примерно на 70% по сравнению с каменной наброской и на 50% по сравнению со стандартными матрацами, причем без потери эффективности и надежности.

3. Для точного расчета количества камня для заполнения Матрацев Рено Плюс[®] уже разработана и доступна специальная программа MacRa.

4. Конечная стоимость монтажа и укладки Матрацев Рено Плюс[®] меньше по сравнению со стандартными моделями на 30–40%.

6. Суммарное количество выбрасываемого в атмосферу углекислого газа при берегоукреплении с помощью «Рено Плюс[®]» меньше на 70% по сравнению с каменной наброской и на 28% по сравнению с традиционными матрацами.

5. Повышенные прочность и износостойкость Матрацев Рено Плюс[®] по сравнению с предыдущими решениями обеспечат их более долгую эксплуатацию при сохранении высокой надежности. **и**

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



ГАБИОНЫ С УСИЛЕННОЙ ГРАНЬЮ

с помощью **Полимак[®]**

MACSAFERRI



МИХАИЛ КИРШИН: СРЕДИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НАШИХ БУРИЛЬНЫХ И ОБСАДНЫХ ТРУБ МНОГО ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ КОМПАНИЙ

Выполнение инженерно-геологических изысканий, в первую очередь, бурение скважин, является одним из наиболее сложных и трудоемких видов исследований. Большое значение для эффективного выполнения этих работ имеет качественный буровой инструмент, в том числе, буровые обсадные и колонковые трубы.

Компания «СпецТруб» недавно вышла со своей уникальной запатентованной продукцией на рынок инженерно-геологических изысканий России. Опыт работы с изыскательскими компаниями и своей оценкой этого рынка с редакцией поделился генеральный директор завода Михаил Киршин.

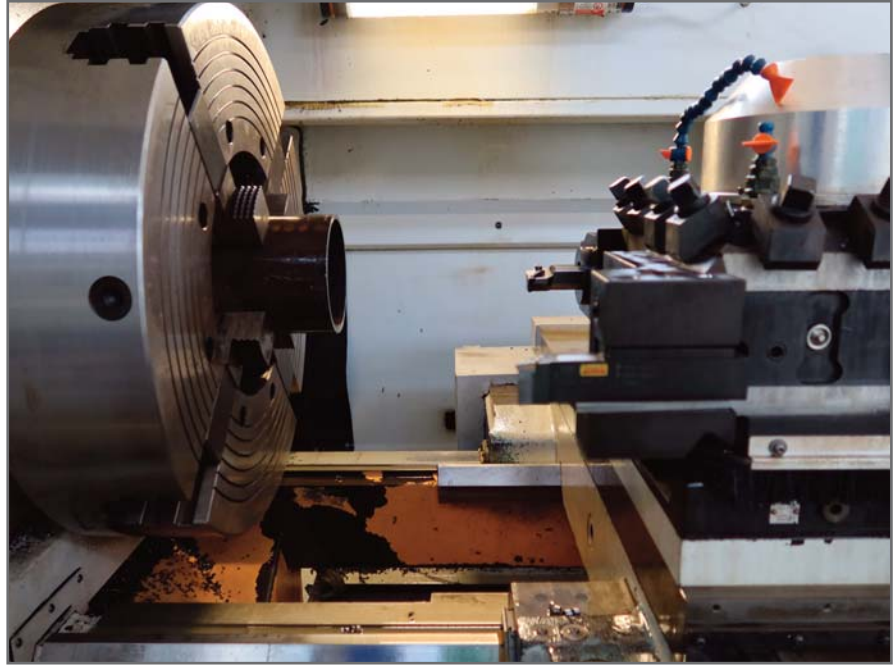
Ред.: *Расскажите, пожалуйста, о заводе «СпецТруб», о своей концепции развития бизнеса по производству труб для бурения в России. Почему, например, завод производит только трубы, но не делает буровые коронки?*

М.К.: Мы производим продукцию для геолого-разведывательного бурения, инженерных изысканий, бурения на воду и под другие задачи данного направления. На сегодняшний день мы освоили практически весь необходимый набор инструментов для выполнения буровых работ. Что касается буровых коронок, это то ведь лишь часть продукции, применяемая в данном виде работ. Их изготовление требует определенных компетенций и возможностей производителя. Организовывая свое производство, мы исходили из имеющегося у нас опыта работы на рынке трубной продукции, рассматривая данный сегмент, как новое направление развития компании. Мы не хотим ограничиваться производством только бурильных труб, но сегодня делаем то, что у нас получается, в чем можем быть уверены. Возможно, в будущем наша компания представит на рынок и буровые коронки.

Ред.: *ООО «СпецТруб» является эксклюзивным представителем в России бренда SUNDRIЛ, производящего буровой инструмент для геологоразведки. Возможно ли его применение в инженерно-геологических изысканиях? Если да, то какова конкуренция, в том числе ценовая?*

М.К.: В России геологоразведка на твердые полезные ископаемые занимает весомую долю в буровых работах и в данном сегменте мы действительно являемся эксклюзивным представителем в РФ индийского производителя с большой историей, выпускающего продукцию под брендом SUNDRIЛ. Это высококачественный буровой инструмент для комплексов со съёмным керноприёмником «ССК» (Wire-Line). Данная продукция в широком ассортименте представлена на нашем складе в г. Подольск.

Такой вид буровых работ рассчитан в большей степени на поиск и разведку твердых полезных ископаемых. Это очень сложный вид бурения. Мы сталкивались с компаниями, осуществляющими инженерные изыскания оборудованием и инструментом со съёмным керноприёмником, но эти работы для компании являются не главными, они их делают в связи с отсутствием профильных организаций и им приходится



производить изыскания на имеющемся оборудовании. Если же вопрос подразумевает целесообразность перехода компанией, осуществляющей бурение инженерно-геологических скважин, со стандартных методов на ССК, то это конечно не целесообразно в силу высокой стоимости оборудования, инструмента и самих работ.

Ред.: *Почему вы решили выходить с предложением на организации, выполняющие бурение инженерно-геологических скважин? Какие перспективы вы связываете с этим рынком?*

М.К.: Данный проект был запланирован для производства, в котором непосредственной заготовкой-сырьём является привычный нам продукт – сталь-

ная труба. Это было фундаментом. В процессе работы мы начали выходить на основных потребителей бурильных и обсадных труб нашего производства, которыми в свою очередь были и компании, выполняющие инженерно-геологические изыскания. На данный момент главной целью компании является обеспечение наших заказчиков самой качественной продукцией на рынке. Мы дорожим нашими партнерами и стараемся быть для них максимально комфортными.

В перспективе мы хотим увеличить объем потребителей своей продукции путем расширения линейки выпускаемой продукции, внедрением различных инноваций, улучшающих качество бурового инструмента.



Ред.: *Высока ли конкуренция производителей трубы на рынке услуг по бурению геологоразведочных и инженерно-геологических скважин? За счет чего можно привлечь новых клиентов, если цены у всех примерно одинаковые? Есть ли недобросовестные (попате) конкуренты, занимающиеся подделками и демпингом?*

М.К.: На рынке услуг бурения геологоразведочных и инженерно-геологических скважин работают довольно много производителей бурильных труб. Есть как крупные, так и небольшие компании.

Мы считаем, что нашим главным преимуществом является высокое качество производимой продукции. Наличие современного парка станков и высокая квалификация сотрудников позволяют выполнять даже самые

сложные заказы. Наша компания всегда подходит к каждому заказчику индивидуально и старается выполнить все пожелания.

ООО «Спецтруб» уважает своих конкурентов и предоставляет потребителям право выбирать, основываясь не только на цене.

Так же мы предлагаем нашу запатентованную резьбу ST1, которая соответствует ценовой категории ленточной резьбе по ГОСТ, но имеет значительные преимущества, подтвержденные практикой ведущих изыскательских компаний, которые протестировали наш продукт и планируют с ним работать в дальнейшем.

Данный рынок очень узкий, если на нем появляется недобросовестный игрок, о нем быстро становится известно

и последствия у таких «компаний» предсказуемо будут не в их пользу. К сожалению, нам известны и такие истории, когда компании заявляют заведомо невыполнимые условия, чтобы забрать заказ, и в конечном итоге не исполняют своих обязательств перед заказчиком, попадая в черный список поставщиков.

Ред.: *Расскажите, пожалуйста, о ваших подходах к обеспечению качества производства.*

М.К.: Как уже говорилось ранее, качество продукта для нас является основным критерием. Мы уделяем огромное внимание всем этапам производства, начиная с приемки трубной заготовки, заканчивая упаковкой готовой продукции. На приемке заготовки трубы подвергаются входному контролю по проверке документов, затем самой трубы (геометрия, размер, диаметр, толщина стенки). Далее в процессе производства все элементы проверяются калибрами и в завершение процесса специалист ОТК производит контрольные замеры. Все инструменты, участвующие в контрольных измерениях, аттестованы и имеют сертификаты о поверке. Однако главным показателем качества для нас является отсутствие нареканий от наших заказчиков.

Ред.: *Последний вопрос касается новой резьбы St-1, предлагаемой заводом. Насколько это оказалось востребовано и какие дает преимущества? Больше компаний предпочитает усиленную резьбу с дополнительным натягом или наоборот?*

М.К.: Наша запатентованная резьба ST-1 подтвердила наши ожидания в плане заинтересованности потребителями. Проведя ряд полевых испытаний, мы удостоверились в ее преимуществах и в настоящее время можем с уверенностью предлагать ее своим партнерам. Главным ее преимуществом является надежность, сокращение времени на сборку и разборку колонны, существенное облегчение работы буровой бригады, ремонтпригодность. Мы можем сделать резьбу ST-1 с натягом или без него, все зависит от пожеланий заказчика. Каждая буровая бригада привыкла работать по своим критериям и методам бурения. Кто-то работает с ниппелями, кому-то натяг не нужен. Мы стараемся на этапе формирования заявки с заказчиком определить все необходимые критерии, чтобы конечный продукт максимально соответствовал его запросам. **И**



КАКАЯ НУЖНА КОМАНДА, БЕЗ КОТОРОЙ БИЗНЕСУ НЕ ВЫЖИТЬ И НЕ ЖИТЬ

ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО
Специальный корреспондент

Каждая компания пытается сейчас не поддаваться масштабному внешнему хаосу. Количество работы у многих сократилось, и потому приходится расширять географию, перестраивать бизнес-процессы.

Для сохранения позиций нужны люди, с которыми можно смело двигаться по штормовым волнам. А где их взять? Как сформировать команду, готовую к любым «погодным» переменам?

Редакция проекта «ГеоИнфо PRO» собрала ответы экспертов, готовых поделиться опытом и советами.

Команда и группа людей – в чем разница? ▶

Чтобы выжить в хаосе, нужна концентрация не на хаосе, а на эффективной команде, считает бизнес-тренер, консультант по клиентоориентированному сервису и продажам Людмила Алексеева (Ростов-на-Дону).

Команда, в повседневном понимании, – это люди, которые рядом с тобой работают. Но с точки зрения специалистов по управлению человеческими ресурсами, не каждый коллектив – команда. Несколько специалистов могут быть всего-навсего рабочей группой.

Как отличить группу людей от команды? По словам Алексеевой, команда – тоже группа людей, но в ней собрались единомышленники. Они решают общую задачу, обладают взаимодополняющими навыками и качествами, вместе формируют цели и стратегию своей работы и согласны нести ответственность.

Ответственность тут у каждого и она взаимная. Именно это отличает

команду от обычного рабочего коллектива. Любой участник вправе выражать свое мнение на всех этапах рабочего процесса, требовать, чтобы его выслушали и отнеслись к его идеям серьезно.

Следующая особенность команды – наличие сложной или уникальной задачи, ради которой объединяются силы. «Не тесные отношения между сотрудниками, а именно сложность и слаженность превращают группу людей в команду», – подчеркнула Алексеева.

Формирование команды возможно только в организациях с сильной мотивацией успеха. К этому даже не обязательно готовиться, иногда команда возникает стихийно, люди сплачиваются ради общего дела.

Согласились поработать без премии ▶

Редакция попросила экспертов привести примеры, когда слаженные действия сотрудников помогли решить проблему или привели к победе.

«В моей практике немало случаев, когда работа сплоченного и мотивированного коллектива спасала предприятие от убытков или даже разорения», – сообщил бизнес-психолог направления «Мотивационная психология групп (трудовых коллективов)», кандидат психологических наук Михаил Чумаков (Ростов-на-Дону).

В одну компанию, которая занимается производством, инженерно-строительными и монтажными работами, подрядчик поставил некачественные материалы. Заказ был серьезный, бюджетный, сроки горели, но с полученной от поставщика плохой продукцией невозможно было выполнить обязательства.

Фирма подала заявление в суд. Дело было заведомо выигранным, однако компенсацию от виновной стороны все равно пришлось бы долго ждать, и она бы не успела покрыть издержки.

Коллектив сам предложил руководству поработать сверхурочно и без премий несколько месяцев, чтобы фирма





смогла на сэкономленные средства приобрести необходимые материалы и закончить проект.

Контракт завершили в срок. «Как признавались мне сами работники, только благодаря работе с бизнес-психологом за год до этого случая, они смогли понять, что предприятие – их общее дело, и, помогая руководству, они спасают себя», – завершил свой рассказ Чумаков.

Его рекомендация – спланировать людей в команду каждый день, а не только ради большой цели.

Справились со сложной задачей на расстоянии ▶

Независимый эксперт Алиса Зубарева (Москва) вспомнила историю со сложным клиентом.

Сдавали технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям. Заказчик захотел, чтобы представители исполнителей приехали к ним в офис, а это другой город, и вносили исправления в отчет на ходу. То есть чтобы выглядело так: специалист дает замечание и тут же исполнители исправляют.

«К сожалению, не во всех программах можно эффективно работать с ноутбука, невозможно все необходимые данные взять с собой в командировку, и в первые минуты мы даже не знали, как справиться и не потерять заказчика», – рассказала Алиса.

И все же нашли выход. «Выполнить задачу всего за два дня помогла именно командная работа. Замечания после обсуждения с заказчиком в доходчивой форме передавались в камеральную группу исполнителя с уточнениями, в какие именно части отчета нужно внести исправления. В камеральной группе вносились изменения и направлялись представителю, а тот уже представлял

изменения заказчику, защищал их. А после сдачи отчета мы поняли, что способны понимать друг друга с полуслова», – закончила рассказ Алиса.

Ее рекомендация – выстраивая хорошие межличностные отношения в команде, не забывайте о финансовом поощрении сотрудников за достижения.

Помогать клиентам, а не только выполнять заказы ▶

Сложные и объемные работы невозможно выполнить в одиночку, тут требуется много людей, и они сами могут объединиться в команду, даже не задумываясь, предположила руководитель отдела продаж ООО «Инженерная геодезия» Ярослава Никитченко (Москва).

«Наша сфера деятельности изначально требует командной работы, – поделилась размышлениями собеседница, – только так мы сможем помогать заказчикам, проводить его комфортно по всем этапам работ. Все специалисты всегда на связи, даже в выходной день, что помогает оперативно решить все вопросы, поступающие от клиентов. А вопросы бывают как на старте проекта, так и во время выполнения геологических или геодезических изысканий на объекте. После завершения работ клиенты тоже что-то спрашивают».

Рекомендация Ярославы Никитченко – настраивать сотрудников команды не только на сверхзадачу и работу, материальные показатели, но и найти нематериальную составляющую.

Например, можно не просто выполнять заказ, а помогать другим людям, клиентам, решать их проблемы, делать их жизнь более комфортной, смотреть на клиентов как на людей и видеть рядом с собой не только коллегу, а человека. Тогда члены команды будут де-

лать друг для друга и для заказчика гораздо больше, чем в рамках обычных служебных обязанностей. Такой подход сулит большое нематериальное удовлетворение от сделанного, а он дороже любой суммы денег.

Какие нужны люди для эффективной команды ▶

Бизнес-тренер Людмила Алексева считает, что для рывка компании в любой сложной ситуации нужна команда единомышленников с выраженной ориентацией на успех.

По ее словам, есть люди, у кого преобладает боязнь неудач, мотивация избегания. Они концентрируются на возможных сложностях, у них повышенная тревожность из-за постоянных сомнений и неуверенности в своих силах, что их хватит решить проблему или достичь успеха.

Хотя такая стратегия стимулирует работать больше, этим людям часто не хватает настойчивости, а непредвиденные сложности рушат все их старания.

У людей с мотивацией достижения цели другой сценарий. Они рассматривают задачи как стимул к достижению, реагируют на препятствия с оптимизмом и энергией. Они считают, что успех во многом зависит от них самих, в них живет ощущение контроля над собственной жизнью.

Существуют специальные опросники, позволяющие понять, на что человек больше сориентирован, на достижение целей или избегание неудач. Если предприниматель формирует команду с нуля, ему может быть рекомендована такая технология подбора кандидатов на проект.

А как разобраться, нынешний коллектив – рабочая группа или команда? У вас команда – если имеется общая цель, решения принимаются коллегиально, есть взаимопомощь и перераспределение задач в период пиковых нагрузок.

Создание команды несет определенные риски, в том числе разрушения того, что есть сейчас. Возможно, для предпринимателя вполне достаточно и хорошо работающей традиционной рабочей группы, и это тоже способ успешности в условиях масштабного внешнего хаоса. **И**

Статья подготовлена для редакционного проекта «ГеоИнфо PRO», который мы планируем запустить в ближайшее время. Статьи раздела будут доступны по подписке.

АНАНКО Виктор Николаевич
Главный редактор журнала «GeoInfo»

БЕРШОВ Алексей Викторович
Генеральный директор
ГК «Петромоделинг», ассистент кафедры
Инженерной и экологической геологии
Геологического факультета МГУ имени
М.В. Ломоносова

Сфера научных интересов:
3D-инженерно-геологическое
моделирование, оценка и описание
природного напряженно-деформированного
состояния инженерно-геологических
массивов на основе полевых (штамповые и
прессиометрические испытания, измерение
порового давления) и лабораторных
(К0-консолидация, оценка переуплотнения)
методов, оценка опасных геологических
и инженерно-геологических процессов и
проектирование инженерной защиты на
базе трехмерного моделирования и оценок
НДС, оценка инженерно-геологических
рисков и их учет в освоении территорий.

ГИЗЗАТУЛЛИН Рушан Рафаэлевич
Инженер-геотехник
ООО «НИП-Информатика»
Сфера научных интересов:
PLAXIS, возможности программы,
оптимизация работы, исправление ошибок

ЖИДКОВ Роман Юрьевич
Начальник группы разработки
программного обеспечения по геологии
ГБУ «Мосгоргеотрест», к.г.-м.н.
Сфера научных интересов:
геологическое 3D-моделирование,
геоинформационные системы, интеграция
с BIM, автоматизация процессов в
инженерно-геологических изысканиях,
региональная инженерная геология
Московского региона

ИСАЕВ Владислав Сергеевич
Старший научный сотрудник кафедры
геокриологии геологического факультета
МГУ, к.г.-м.н.

Сфера научных интересов:
опасные инженерно-геологические процессы
в береговой зоне арктических морей;
вопросы геокриологического картирования;
разработка и внедрение новейших систем
геокриологического мониторинга и
стабилизации грунтов оснований.

МАШТАКОВ Александр Сергеевич
Главный специалист ООО Арктический
научный центр (Роснефть), руководитель
Волгоградского отделения Общественной
организации Российское геологическое
общество, эксперт Российского газового
общества, к.г.-м.н.

Сфера научных интересов: инженерная
геология (изыскания, управление
изысканиями, объем работ по изысканиям),
геотехника (расчеты по нормативам и в
программных комплексах Plaxis и др.),
стандартизация в области геотехники и
изысканий

МИРНЫЙ Анатолий Юрьевич
Старший научный сотрудник
Геологического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова, руководитель проекта
«Независимая геотехника», к.т.н.

Сфера научных интересов: специалист
в области механических испытаний грунтов,
много лет исследующий модели,
используемые в численном моделировании.

ПИОРО Екатерина Владимировна
Генеральный директор
ООО «Петромоделинг Лаб», к.г.-м.н.
Сфера научных интересов: лабораторные
методы исследования дисперсных, скальных
и мерзлых грунтов

СУДАКОВА Мария Сергеевна
Старший преподаватель кафедры
сейсмометрии и геоакустики геологического
факультета МГУ имени М. В. Ломоносова,
Научный сотрудник института Криосферы
Земли ТюмНЦ СО РАН, к.ф.-м.н.

Сфера научных интересов: многоволновая
сейсморазведка, георадиолокация,
петрофизические свойства,
геокриологический мониторинг, применение
геофизических методов в инженерных
изысканиях

СЛОБОДЯН Владимир Юрьевич
Генеральный директор
АО «Институт экологического
проектирования и изысканий» (АО «ИЭПИ»)
Сфера научных интересов: геоэкология,
проблемы рационального
природопользования и охраны окружающей
среды, экогеохимия, вопросы
гидрометеорологии и глобальных
климатических изменений

ФЕДОРЕНКО Евгений Владимирович
Научный консультант
ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.
Сфера научных интересов: транспортная
геотехника, численное моделирование в
PLAXIS, расчеты устойчивости, сооружения
на слабых основаниях, геосинтетические
материалы.