

# Независимый электронный журнал ГеоИнфо

ИЮНЬ • 06–2022



# 100+

## TECHNO BUILD

IX Международный  
строительный форум  
и выставка

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

18-21 октября 2022  
Екатеринбург



стать экспонентом

**13 000**  
посетителей

**235**  
экспонентов

**500**  
спикеров

**120**  
секций

**25**  
стран

\*показатели 2021 года

**ГЛАВНАЯ ТЕМА**

- КОНСТАНТИН МОГИЛЬНЫЙ: Необходимо полностью менять подходы к выполнению изысканий** 6  
 КОНСТАНТИН МОГИЛЬНЫЙ  
*Генеральный директор ООО «Автодор-Инжиниринг»*

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ**

- Согласование полевых инженерно-геологических изысканий в городе. Проблемы и решения (Санкт-Петербург)** 10  
 ФИЛИППОВ КОНСТАНТИН ВАЛЕРЬЕВИЧ  
*Ведущий инженер ООО «Ленстройгеология»*

- Исследования озерных глин с использованием самозабуривающегося прессиометра на озере Тайху (Китай)** 14

ВАН БИНЬ (WANG BIN)  
*Главная государственная лаборатория геомеханики и инженерно-геотехнических работ Уханьского института механики горных пород и грунтов (г. Ухань) и Университет Китайской академии наук (г. Пекин), Китай*

ЛЮ КАН (LIU KANG)  
*Колледж гражданского строительства при Технологическом университете Хэфэй, г. Хэфэй, Китай*

ВАН ЮН (WANG YONG)  
*Главная государственная лаборатория геомеханики и инженерно-геотехнических работ Уханьского института механики горных пород и грунтов, г. Ухань, Китай*

и др.

**МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА**

- В программе Rocscience RS3 появилась возможность непосредственной работы в локальных системах координат** 30  
 АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

- Стратегии строительства тоннеля методом НАМТ в элювиальных грунтах в г. Сан-Паулу (Бразилия). Часть 2** 34

АНТонио БОБЕТ (ANTONIO BOBET)  
*Лильская высшая инженерная школа Университета Пердью (США)*

ТАРЦИСИО СЕЛЕСТИНО (TARCISIO B. CELESTINO)  
*Политехническая школа Сан-Карлос Университета Сан-Паулу*

ОСВАЛЬДО П.М. ВИТАЛИ (OSVALDO P.M. VITALI)  
*Лильская высшая инженерная школа Университета Пердью (США)*

и др.

- Об использовании метода пространственного усреднения для дискретизации случайных полей** 48

БОЛДЫРЕВ ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ  
*Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек»*

**ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

- ВМ в зарубежной геотехнической практике** 52

БОЛДЫРЕВ Г.Г.  
*Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек»*

ДИВЕЕВ А.А.  
*Аспирант кафедры геотехники и дорожного строительства Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (ПГУАС)*

- Цифровизация строительной отрасли в текущих условиях: курс на развитие** 66

СИЗОВА ГАЛИНА  
*Специалист по связям с общественностью ГК SMART ENGINEERS*

**ПРИЛОЖЕНИЕ «ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ИНТЕРВЬЮ»**

- Импортозамещение в сфере ПО. Что лучше: российское, китайское или прежнее серое** 70

ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО  
*Специальный корреспондент*

**ПРИЛОЖЕНИЕ «НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ»**

- Постановление №914: изменения в перечне обязательных документов** 74

МИРНЫЙ АНАТОЛИЙ ЮРЬЕВИЧ  
*Доцент Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н.*

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



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



Институт  
экологического  
проектирования  
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



Компания  
Mountain Risk Consultancy

## СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



MalinSoft



ООО «МИДАС» / MIDAS IT



Геотехническая лаборатория  
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов  
инженерно-геологических  
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGCEO»



ООО «ПРОГРЕССГЕО»



НПО «ТЕРРАЗОНД»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ



Программный комплекс RosScience

ADVANCED SURVEY  
TECHNOLOGIES

ООО «СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ» (ADVANCED SURVEY  
TECHNOLOGIES) - ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ROSSCIENCE 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



# КОНСТАНТИН МОГИЛЬНЫЙ: НЕОБХОДИМО ПОЛНОСТЬЮ МЕНЯТЬ ПОДХОДЫ К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗЫСКАНИЙ



КОНСТАНТИН  
МОГИЛЬНЫЙ

С низким качеством, а то и с откровенными фальсификациями инженерных изысканий сталкиваются все заказчики. И Государственная компания «АВТОДОР» не является исключением. На прошедшем в Сочи в конце мая Международном форуме дорожных инициатив «Инновационные технологии и интеллектуальные транспортные системы в дорожном строительстве» мы поговорили об этом с генеральным директором ООО «Автодор-Инжиниринг» Константином Могильным. Одна из функций организации, которую он возглавляет, – контроль качества инженерных изысканий при разработке проектной документации объектов госкомпании. «У многих подрядчиков есть целый ряд одинаковых проблем: начиная от низкой квалификации персонала, склонности к «рутинной фальсификации» и до дефицита лабораторий. Все это создает огромные риски для проектов», - считает он.

**Ред.:** С недавних пор Государственная компания «Автодор» осуществляет жесткий контроль за всеми выполняемыми для нужд госкомпании инженерными изысканиями. Эта функция возложена на ООО «Автодор-Инжиниринг». С Вашей точки зрения, супервайзинг действительно способствует повышению достоверности работы изыскателей?

**К.М.:** Да, я в этом абсолютно уверен. У многих подрядчиков есть целый ряд одинаковых проблем: начиная от низкой квалификации персонала, склонности к «рутинной фальсификации» и до дефицита лабораторий. Все это создает огромные риски для проектов.

У нас был один объект, на котором мы, в качестве эксперимента, на лето наняли людей, перед которыми была поставлена всего одна задача: снимать процесс бурения от установки буровой на точку и до завершения работы. Производительность труда сразу упала в 5 раз! При работающей камере с 9 утра до 16 часов буровики проходили не более 15 метров. А до этого было 75 метров.

Они выдержали неделю и разорвали договор, заявив, что работа им не интересна. Наняли следующих – они проработали месяц и также отказались от сотрудничества. В итоге заход в экспертизу был сорван на 6 месяцев, потому что не могли выполнить необходимый объем бурения.

Есть другой пример. Однажды нам потребовалось актуализировать результаты инженерно-геологических изысканий по одному из объектов. Специалисты взяли данные по ранее пробуренным скважинам, посмотрели их, сориентировались на местности и заявили – мы не можем в такую-то точку зайти – там болото и лес глухой, подъездов нет. Мы подняли архивы и выяснилось, что эта же компания, но с другим мастером, прекрасно «выполняла» работы на этой точке пять лет назад.

Такую же ситуацию мы наблюдаем и с экологическими исследованиями, и с инженерно-гидрометеорологическими изысканиями, и даже с геодезией. Иными словами, необходимо полностью менять существующие подходы к выполнению инженерных изысканий и к контролю за ними.

Тут, правда, возникает целый ряд вопросов – кого нанимать в супервайзеры? Тех, кто лучше исполнителя знает, как работать? Где взять этих людей, где взять деньги на оплату их труда? Деньги, предположим, можно найти. Но даже если нам дадут приказ нанять какую-то организацию для супервайзинга – кого



мы найдем? Какой организации, работающей на аутсорсинге, мы можем доверять? Какие требования нужны к фото-видеофиксации, с каких сторон нужно снимать, фиксировать ли все время бурения или только первый и последний подъем штанги? Вопросов много, на которые у меня пока нет ответа.

**Ред.:** Насколько широки в настоящий момент Ваши возможности в области супервайзинга?

**К.М.:** К сожалению, наших собственных сил для полноценного контроля за выполняемыми инженерными изысканиями недостаточно. Мы в настоящее время в начале пути.

Между тем, наверное, все в курсе, что в качестве одной из причин недостаточно эффективной реализации проектов Государственной компании «Автодор» и Счетная палата РФ, и СМИ неоднократно указывали низкое качество проектной документации.

Давайте посмотрим на ситуацию с точки зрения возможности заказчика влиять на этот процесс. В техническом отделе, который занимается проектированием, работает около двадцати человек. Между тем, только на трассе М-12 было необо-

димо проконтролировать почти 200 км бурения инженерно-геологических скважин. Иными словами, мы вынуждены практически полностью доверять людям, которые находятся в поле, ограничиваясь, в основном, фото- и видеофиксацией.

Более того, у нас нет стандартов, которые бы четко регламентировали процесс выполнения инженерно-геологических изысканий, приемку этих работ, необходимый объем супервайзинга и т.д. Например, в каких ситуациях допустимо шнековое бурение и допустимо ли вообще? Вроде бы, понятно, что для получения необходимых данных требуется колонковое бурение, но буровики часто нам заявляют, что ряд грунтов можно пройти только шнеком. Или только с промывкой, что сказывается на свойствах отбираемых образцов. И начинается дискуссия, которая, на мой взгляд, должна была вестись на втором курсе специализированного высшего учебного заведения. А таких вопросов – огромное множество. Поэтому мы сейчас ведем активный диалог с регуляторами о том, что необходимо пересмотреть действующие подходы к супервайзингу и вообще перевести его в сферу строительного контроля.



Фото с сайта Автодор-Инжиниринг



Фото с сайта Автодор-Инжиниринг

**Ред.:** *Есть ли какая-то альтернатива супервайзингу?*

**К.М.:** Думаю, альтернатива есть. Когда мы начали искать партнеров, которые бы выполняли для нас инженерные изыскания, обнаружили, что практически у всех государственных компаний в сфере ТЭК есть собственные проектно-изыскательские дочерние структуры. И это не какой-то отдел из нескольких десятков человек, а полноценные организации, закрывающие около 100% потребностей компаний в инженерных изысканиях. Там собраны ведущие специалисты отрасли, которые обеспечены всем самым передовым, высокотехнологичным оборудованием.

Очевидно, что создание таких «непрофильных» активов является вынужденной мерой для этих организаций, но цена ошибки в данном случае измеряется миллиардами рублей, существуют колоссальные риски для экологии. А фальсификаций от сторонних подрядных организаций было очень много.

Поэтому мы сегодня пытаемся выходить с предложением выполнять инженерные изыскания собственными силами. В настоящее время в нашем распо-

ряжении две собственные универсальные буровые установки для подразделения, которое занимается заверочным бурением. А в остальном нам пока остается только усиливать и развивать методы контроля за подрядчиками.

**Ред.:** *Можно ли вести какую-то работу по допуску к объектам ГК «Автодор» компаний, обладающих необходимыми квалификациями и опытом, чтобы снизить количество брака и фальсификаций?*

**К.М.:** Да, это отдельная болезненная тема. Где взять такое количество квалифицированных буровых бригад? Ведь в стране ведется множество строек, это не только автодороги и сопутствующая инфраструктура. А, к сожалению, на рынке имеется много «буровых компаний» специализирующихся на скважинах «на воду», а не на инженерно-геологических изысканиях. Редкие из них знают, что такое двойное колонковое бурение и т.д.

Поэтому, конечно, нужен отбор компаний, допускаемых к работам, нужна стандартизация исследований.

**Ред.:** *Вы рассказываете о большом объеме фальсификаций и брака, выявляемых супервайзерами. Не сказывается ли это на сроках работ, особенно с учетом желания государства ускорить строительство?*

**К.М.:** С точки зрения выполнения программ изысканий, например, по М-12, у нас нет проблем, мы укладываемся в требуемые сроки. И это даже при условии, что на начальном этапе около 80% первых результатов полевых испытаний мы отклонили как низкокачественные. В частности, отбраковали скважины, пробуренные шнеком или мотобуром. Такие результаты все равно никакой пользы для проекта не принесут. Позже все запланированные объемы работ были выполнены, многие с двойным переделом.

С этим, кстати, отдельная история. Одни подрядчики нам рассказывали, что мотобуром выполнялись работы в труднодоступных местах, а по факту оказалось, что им бурили фейковые скважины в поле на пашне. Нам как-то пришло видео, высланное одним из подрядчиков по ошибке, где они откровенно обсуждают фальсификацию скважины при помощи этого мотобура.

**Ред.:** *Последний вопрос. Вы уже сказали про отсутствие внятных регламентов к выполнению работ, их приемке и к супервайзингу. Скажите, пожалуйста, нормативная база в целом, а также внедрение так называемого параллельного проектирования способствуют качественному выполнению инженерных изысканий в необходимые сжатые сроки?*

**К.М.:** Если раньше соотношение работ для стадий П и РД было примерно 40/60, то теперь все 100% изысканий надо выполнить в самом начале. В результате на этапе рабочего проектирования при уточнении технических решений у заказчика отсутствует возможность проводить изыскания, что приводит к сложным дискуссиям с подрядчиком.

Почему такие изменения, которые имеют невероятно важный регулирующий эффект для отрасли, решаются таким образом, даже без апробирования? Я не сомневаюсь, что повод для таких изменений был. Но на практике возникают вышеуказанные проблемы. В результате строители, которые и так постоянно в зоне риска, вынуждены сами привлекать геологов и за свои средства выполнять уточняющие инженерные изыскания на нужных им точках. **И**





**TRUMER**  
Schutzbauten

[www.trumer.cc](http://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](mailto:info@trumer.ru)

## ЗАЩИТА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

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

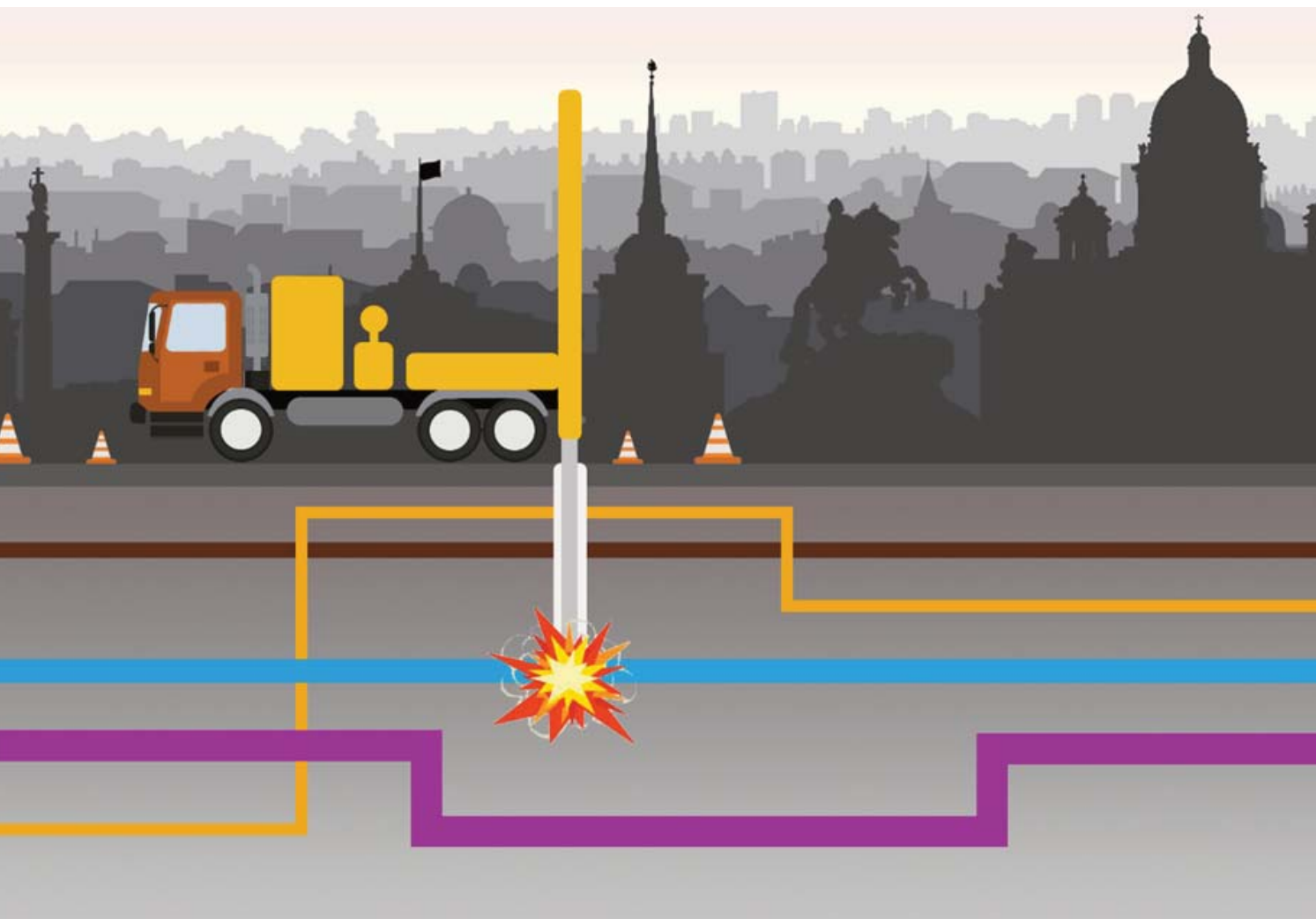
- ▶ камнепадов,
- ▶ оползней,
- ▶ селей,
- ▶ обвалов,
- ▶ лавин,
- ▶ береговой эрозии.



Следуя девизу

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

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



# СОГЛАСОВАНИЕ ПОЛЕВЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ГОРОДЕ. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

**ФИЛИППОВ  
КОНСТАНТИН ВАЛЕРЬЕВИЧ**  
Ведущий инженер  
ООО «Ленстройгеология»  
filippovk@gmail.com

С 2015 по 2021 год в Санкт-Петербурге был открыт лишь один ордер ГАТИ на инженерно-геологические изыскания. В тоже время, по данным Комитета по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга, в городе ежегодно регистрируется более 1000 объектов инженерно-геологических изысканий. И это неполные данные по городу. Говорит это о том, что изыскатели вынуждены игнорировать данную процедуру. По мнению автора, главная причина – неоправданно затянутые сроки. Между тем, в современных реалиях скорость строительства, а значит и скорость выполнения инженерно-геологических изысканий, играет крайне важную роль в экономике всей нашей страны.

Автор предлагает пути решения назревших проблем.

## Введение ►

Согласование земляных работ, в том числе буровых работ при инженерно-геологических изысканиях, – это отдельная сложная задача для исполнителя практически во всех мегаполисах мира. Российские города не являются исключением.

Такое согласование необходимо для организации временных схем движения пешеходов и транспорта, контроля восстановления благоустройства, сохранения от порчи памятников, и, самое главное, для предотвращения повреждений подземных коммуникаций, что может привести к аварийным ситуациям, значительным перерывам в энергоснабжении (подаче воды, электроэнергии и тепла) потребителей, а также травмам и гибели людей. В феврале 2021 г. именно при бурении был поврежден газопровод в поселке Петро-Славянка, погиб человек, а часть домов остались на долгое время без энергоносителя [1].

«Ростелеком» регулярно сообщает об авариях, происходящих вследствие выполнения земляных работ в разных городах России и заявляет о миллионных ущербах в связи с обрывами кабелей [2].

Рассмотрим проблему на примере Санкт-Петербурга. Здесь согласование происходит путем открытия ордера на земляные работы в государственной административно-технической инспекции (далее – ГАТИ). Для подачи заявления на открытие ордера необходимо согласование работ с городским Комитетом по благоустройству, Комитетом по охране памятников истории и культуры и другими Комитетами. Затем проводится согласование с владельцами всех инженерных сетей, расположенных в зоне производства работ.

Главные проблемы процедуры можно свести к (1) доступности информации, (2) срокам получения согласований и (3) восстановлению благоустройства.

Теперь обо всем по порядку.

## Информационная проблема ►

Как правило, порядок организации производства земляных работ, в том числе в Санкт-Петербурге – это многостраничный регламент, принятый на уровне Постановления Правительства города, который, однако, не дает полной ясности о процедуре.

Грамотная систематизация информации (переход от основных положений к подробностям), применение инфографики, поясняющие видеоролики могли бы повысить качество подготовки заявителем документации, уменьшить ко-

личество отказов по причине несоответствия документации регламенту, сократить человеко-часы, потраченные на открытие ордера как со стороны заявителя, так и со стороны чиновника.

## Проблема больших сроков получения согласований ►

Согласование производства земляных работ в среднем занимает 2-4 месяца. Комитеты согласовывают заявку до 30-ти дней, ГАТИ рассматривает заявку на ордер до 5-ти дней, а согласования с владельцами сетей вообще не регламентируются.

В настоящее время изыскатель должен самостоятельно направлять документы на согласование в городские Комитеты, попутно выясняя, в какие необходимо подавать заявление, а в какие – нет. Взаимодействие Комитетов по данному вопросу организовано на таком низком уровне, что не позволяет выполнить инженерные изыскания в сроки, установленные заказчиком. Посредничеством ГАТИ в согласовании с владельцами инженерных сетей сводится к предоставлению списка контактов.

Чтобы решить данную проблему, рассылку на согласование работ в Комитеты могла бы выполнять непосредственно ГАТИ в рамках электронного межведомственного взаимодействия с использованием подсистемы «Кабинет согласований», входящей в портал «Госуслуг» (Межведомственная автоматизированная информационная система предоставления в Санкт-Петербурге государственных и муниципальных услуг в электронном виде - МАИС ЭГУ). Судя по регламенту открытия ордера, сейчас указанная система используется лишь для проверки факта согласования работ с заявителем [3].

## Проблема согласований с владельцами инженерных сетей ►

Отсутствие государственных инструментов согласования с эксплуатирующими (ресурсоснабжающими) организациями приводит к тому, что владельцы сетей могут месяцами не рассматривать заявки, даже если их сетей на участке нет, тем самым способствуя срыву сроков проведения работ, что, естественно, приводит к финансовым потерям.

В пределах нашей страны есть отличное решение по согласованию инженерных сетей, в том числе и для производства земляных работ. Оно реализовано в Москве методом «единого окна согласований» на базе ГБУ

«Мосгоргеотрест». К похожей практике пришли в Великобритании, где информация обо всех сетях аккумулируется в единой базе данных, и доступ к которой заявитель получает посредством простого запроса [4]. Такая практика существует и в Австралии, где служба «DIAL BEFORE YOU DIG» помимо предоставления чертежей инженерных сетей обеспечивает координацию их владельцев с заявителем [5].

Необходимо понимать, что средний срок выполнения инженерно-геологических изысканий в Петербурге составляет 30-40 дней. Сроки выполнения работ являются одним из ключевых факторов при выборе победителя на торгах, а современные реалии требуют уменьшения сроков строительства, что и происходит во всех связанных со строительством сферах путем оптимизации рабочих процессов и применения современных технологий на каждом этапе строительного цикла.

Перечисленные проблемы вынуждают изыскателей игнорировать процедуру открытия ордера ГАТИ, о чем говорит и архив ордеров ГАТИ (с 2015 г. по настоящее время открыт лишь один ордер на инженерно-геологические изыскания [6]). В тоже время, по данным Комитета по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга (далее - КГА), в городе ежегодно регистрируется более 1000 объектов инженерно-геологических изысканий и это неполные данные по городу, так как **регистрация изысканий в КГА обязательна**.

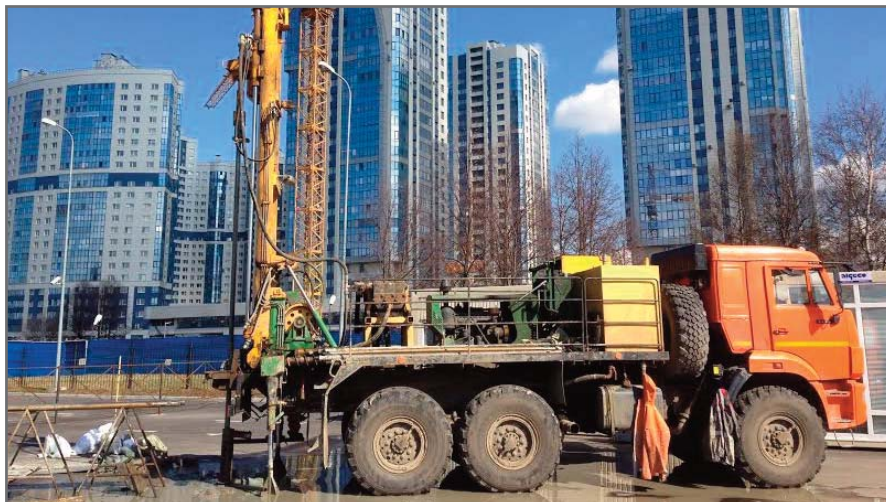
Следует отметить, что в соответствии с п. 3.2 постановления Правительства Санкт-Петербурга от 24 февраля 2004 г. №223 у ГАТИ есть все полномочия осуществлять полноценное взаимодействие между заявителем, Комитетами и владельцами сетей, а обеспечение реализации принципа одного окна на территории Санкт-Петербурга на основе комплексной автоматизации процедур предоставления государственных и муниципальных услуг, внедрения современных унифицированных информационно-коммуникационных технологий и их применения при предоставлении государственных и муниципальных услуг была обозначена в разделе 2. «Цели создания МАИС ЭГУ» постановления Правительства Санкт-Петербурга от 7 июня 2010 г. №736. То есть правовая база для реализации современного простого инструмента согласований существует уже более 10 лет. Не хватает только «административного пинка» для начала ра-

боты по принципам, заложенным в указанных документах.

### Проблема восстановления благоустройства ►

После выполнения земляных работ, исполнитель обязан восстановить благоустройство: газон, асфальт, плитка... Проблема заключается в том, что этот вид деятельности не характерен для изыскателей, которые, по сути своей, занимаются скорее научной деятельностью. Из-за того, что площадь нарушения благоустройства при геологических работах (бурении) крайне мала (диаметр скважины чаще всего не превышает 160 мм), изыскатели, вероятно, будут продолжать игнорировать открытие ордеров во избежание необходимых дополнительных затрат на восстановление благоустройства из-за сложившихся на рынке низких цен на изыскания и высокой конкуренции (стоимость изыскательских работ в России составляет порядка 0,5- % от стоимости проектных, при том, что по оценкам экспертов, должна составлять 5-10%, как в развитых странах.

Думается, что все обязанности по восстановлению благоустройства, в том числе при выполнении инженерно-геологических изысканий, необходимо переложить на застройщика. Это логично с той точки зрения, что указанные изыскания являются неотъемлемой частью строительного цикла и выполняются в пятне будущей застройки или в непосредственной близости к ней. Застройщик при выполнении строительных работ нарушает благоустройство в гораздо больших объемах, копая траншеи и котлованы. Скважины, диаметром 16 см, выполненные через 40 – 50 метров на площадных или через 200 – 300 м на линейных объектах не являются существенным нарушением поверхности, при том, что изыскатели и так закрывают отверстия от скважин ликвидационным тампонирующим. Кроме этого в Санкт-Петербурге существует понятие агротехнического периода (с 15 октября по 16 апреля), установленного постановлением Правительства Санкт-Петербурга №875 от 06.10.2016 г., когда запрещено восстанавливать благоустройство и становится невозможным открытие ордера на инженерно-геологические работы. Проектные, строительные и изыскательские работы тесно технологически взаимосвязаны, выполняются постоянно, круглогодично и не могут прерываться на полгода.



### Выводы ►

Однозначно можно утверждать, что процедура открытия ордера ГАТИ на инженерно-геологические изыскания сейчас не работает. Отсутствует инструмент согласования с владельцами сетей, а посредничество ГАТИ по межведомственному взаимодействию - минимально.

Необходимо, чтобы Правительство города обратило пристальное внимание на выполнение принятых им постановлений, регулирующих взаимодействие структур при выполнении земляных работ по принципу согласования через «Одно окно».

Для этого потребуется:

- создание реестра всех владельцев инженерных сетей в городе и отладка каналов взаимодействия с ними;
- разработка особого, упрощенного порядка открытия ордеров на инженерно-геологические изыскания, ввиду его специфики.
- принятие упрощенного уведомительного характера открытия ордера ГАТИ, при котором Заявитель опове-

щает все заинтересованные лица о месте и времени проведения буровых работ. В случае необходимости представители заинтересованного ведомства могут связаться с Изыскателем и решить возникшие вопросы. Такой подход позволит значительно снизить нагрузку на ГАТИ, Комитеты, сетевые компании и на Изыскателя. И он не будет игнорировать открытие ордеров, что напрямую снизит количество аварий и риски возникновения чрезвычайных ситуаций

Если принять во внимание существующую законодательную базу и внедрить в практику Санкт-Петербурга опыт других городов, регионов и стран, это позволит найти оптимальный подход к безопасному проведению инженерно-геологических изысканий на территории города. **И**

*Оригинал статьи опубликован в журнале «Изыскательский Вестник» №23 (1-2021), публикуется в «ГеоИнфо» по просьбе автора.*



Константин Филиппов



Институт  
экологического  
проектирования  
и изысканий

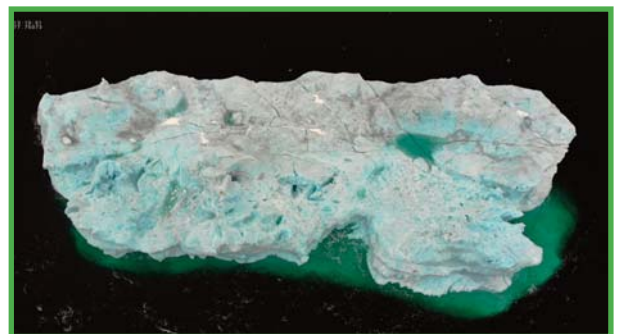
- Информационное сопровождение управления ледовой обстановкой (ИСУЛО)
- Оперативный спутниковый экологический мониторинг
- Производственный экологический мониторинг
- Программы сохранения биоразнообразия



119234, г. Москва,  
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г  
Телефон: +7 (495) 930-8751  
E-mail: info@iepi.ru

**WEB: WWW.IEPI.RU**

®  Институт экологического проектирования и изысканий ИЭПИ зарегистрированный товарный знак





Заглавное фото: pixabay.com/ru/photos/китай-тайху-хучжоу-озерная-вода-3753590/

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРНЫХ ГЛИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОЗАБУРИВАЮЩЕГОСЯ ПРЕССИОМЕТРА НА ОЗЕРЕ ТАЙХУ (КИТАЙ)

### ВАН БИНЬ (WANG BIN)

Главная государственная лаборатория геомеханики и инженерно-геотехнических работ Уханьского института механики горных пород и грунтов (г. Ухань) и Университет Китайской академии наук (г. Пекин), Китай  
bwang@whrsm.ac.cn

### ЛЮ КАН (LIU KANG)

Колледж гражданского строительства при Технологическом университете Хэфэй, г. Хэфэй, Китай  
k.liu@hfut.edu.cn

### ВАН ЮН (WANG YONG)

Главная государственная лаборатория геомеханики и инженерно-геотехнических работ Уханьского института механики горных пород и грунтов, г. Ухань, Китай  
yongwang93@163.com

### ЦЗЯН ЦЮАНЬ (JIANG QUAN)

Главная государственная лаборатория геомеханики и инженерно-геотехнических работ Уханьского института механики горных пород и грунтов (г. Ухань) и Университет Китайской академии наук (г. Пекин), Китай  
qjiang@whrsm.ac.cn (ответственный за переписку)

### БЕРШОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

Генеральный директор ГК «Петромоделинг»

По инициативе и при поддержке ООО «Петромоделинг» редакция журнала «ГеоИнфо» продолжает знакомить читателей с прессиометрическими испытаниями грунтов. Данная группа методов большинством изыскателей и проектировщиков воспринимается просто как «более дешевая и простая альтернатива штамповых испытаний». На деле же это уникальные методы испытаний грунтов в массивах. Они используются для определения как действующих горизонтальных напряжений и коэффициента горизонтального давления грунта в состоянии покоя  $K_0$  (без которого, как известно, невозможны оценка начального (природного) состояния геологической среды и дальнейшие расчетные обоснования конструкций), так и физико-механических откликов геологической среды на горизонтальные механические воздействия, например зависимостей между напряжениями и деформациями, а также прочности на сдвиг в недренированных условиях. Понимание методов оценки напряженно-деформированного состояния грунтового массива очень важно для эффективного перехода к трехмерному моделированию геологической среды и построению ее инженерных цифровых моделей – базовой части информационной цифровой модели объекта капитального строительства, без которой любые информационные проектные построения просто «повисают в воздухе».

Сегодня предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи «Исследования озерных глин с использованием самозабуривающегося прессиометра на озере Тайху (Китай)». Ее авторы – китайские исследователи Бинь Ван, Кан Лю, Юн Ван и Цюань Цзян. Она была опубликована в 2021 году

журналом *Sensors* («Измерительная аппаратура») – в его специальном выпуске по обнаружению нарушений и анализу данных для проектирования сооружений и инфраструктуры. Эта работа находится в открытом доступе на сайте издательства MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute – «Многопрофильный институт цифровых публикаций») и распространяется по лицензии Creative Commons Attribution (CC BY), которая разрешает ее неограниченное использование (даже в коммерческих целях), воспроизведение, распространение, перевод и адаптацию при условии указания ссылки на первоисточник. В нашем случае ссылка имеется в конце статьи.

Полевые исследования грунтов при инженерных изысканиях очень важны для оценки условий площадки, что необходимо для проектирования и возведения на ней будущего строительного объекта. Тоннель Тайху на сегодняшний день является самым длинным из построенных под озерами в Китае. Его общая длина под водой составляет более 10 км. Однако из-за большой нехватки полевых данных по озерным глинистым отложениям озера Тайху там была дополнительно проведена серия испытаний самозабуривающимся прессиометром. На основе

результатов этих испытаний были получены значения прочности на сдвиг в недренированных условиях. Они в основном оказались выше, чем полученные при лабораторных испытаниях. Это может быть связано с тем, что в процессе взятия образцов была нарушена их структура. Ухудшение секущего модуля сдвига грунта в основном исследовалось путем тщательного сравнения поведения различных слоев грунта. При этом модуль, как правило, переставал проявлять тенденцию к снижению и становился постоянным, когда деформация начинала превышать 1%. В то же время была обнаружена линейная зависимость между числом пластичности и модулем сдвига, а также между скоростью уменьшения модуля сдвига и числом пластичности. Дальнейший статистический анализ распределения недренированной сдвиговой прочности и модуля сдвига в исследованных грунтах показал, что прочность соответствует нормальному распределению, в то время как модуль – логнормальному. Что еще более важно, интервал пространственной корреляции для модуля сдвига оказался намного меньше, чем для недренированной прочности.

Техническая правка выполнена генеральным директором ГК «Петромоделлинг» Алексеем Бершовым.

## ВВЕДЕНИЕ ►

В настоящее время исследования свойств грунтов обычно проводят с помощью лабораторных и полевых испытаний, при этом результаты последних считаются более надежными [1–4], так как испытания *in situ* практически не нарушают структуру грунта.

Самозабуривающийся прессиометр (SBPM) был разработан Уортом (Worth) и Хьюзом (Hughes) в 1973 году [5]. С тех пор испытания с его помощью считаются одним из наиболее важных методов полевых исследований свойств грунтов. Во время каждого испытания могут быть зарегистрированы как давление при расширении рабочей камеры прессиометра (полости), так и радиальная деформация. Это позволяет получить полную кривую зависимости давления в камере от относительной деформации грунта (относительного изменения объема или радиуса камеры), включая этапы нагружения и разгрузки. Кроме того, минимальная точность измерения радиального смещения для SBPM может составлять всего 1 мкм [6, 7], что даже лучше, чем при многих лабораторных испытаниях. Следовательно, испытания SBPM могут дать механические параметры, более близкие к таковым для грунтов в условиях их естественного залегания.

Как показано в работах Пальмера, Ладаньи и Багелина с соавторами [8–10], на основе испытаний самозабуривающимся прессиометром могут быть определены такие параметры, как прочность на сдвиг в недренированных условиях, модуль сдвига и другие.

Хоулси и Уитерс [11] проанализировали свойства грунтов по прессиометрическим кривым на этапах разгрузки и нагружения и показали, что полученные значения недренированной сдвиговой прочности и модуля сдвига имеют хорошую точность по сравнению с результатами других типов испытаний.

Джеффрис [12] разработал подход к определению горизонтального геостатического напряжения глины шельфа моря Бофорта по данным испытаний SBPM.

Беллотти и др. [13] предложили способ коррекции жесткости, измеренной самозабуривающимся прессиометром в песке.

Феррейра и Робертсон [14, 15] разработали метод, включающий нелинейное поведение грунта при интерпретации результатов испытаний SBPM на стадиях как нагружения, так и разгрузки.

Шнайдер и др. [16] предложили метод коррекции (fitting) кривой, построенной по данным испытания самозабуривающимся прессиометром, для интерпретации показателей свойств гранитного сапролита. Полученные результаты были сопоставлены с итогами других видов тестов, в том числе полевых испытаний дилатометром и лабораторных трехосных испытаний.

Проанализировав результаты использования SBPM в чувствительной глине озера Шамплейн в канадской провинции Квебек, Сильвестри [17] выявил, что полученная недренированная сдвиговая прочность не была завышена, в отличие от результатов испытаний на сдвиг крыльчаткой.

Кайабаси [18] проанализировал предельное давление при прессиометрическом испытании и скорректированное количество ударов при испытаниях дилатометром, имеющим возможность самопогружения, и получил новую эмпирическую формулу, связывающую эти два параметра.

Используя степенную зависимость (power law) между жесткостью и деформацией, Уиттл и Лю [19] разработали единое уравнение для описания развития деформации и напряжения при изменении жесткости песка.

Ахмади и Кешмири [20] предложили новый подход к интерпретации горизонтального напряжения *in situ*, полученного по результатам испытаний самозабуривающимся прессиометром, с использованием конечноразностной модели. В качестве ключевого параметра для определения горизонтального напряжения *in situ* было выбрано давление в рабочей камере прессиометра при относительной деформации 10% ( $P_{10\%}$ ), и были установлены новые зависимости между  $P_{10\%}$  и другими параметрами грунта.

Следует также отметить, что природные дисперсные грунты считаются неоднородными. Кристиан и Бечер, Сантосо с соавторами и Ли с коллегами [21–23] продемонстрировали важность учета неоднородности грунта в отношении таких геотехнических особенностей, как фильтрация подземных вод, осадки и устойчивость склонов.

Фирузианбандпей и др. [24] исследовали как вертикальный, так и горизонтальный интервалы корреляции (соге-

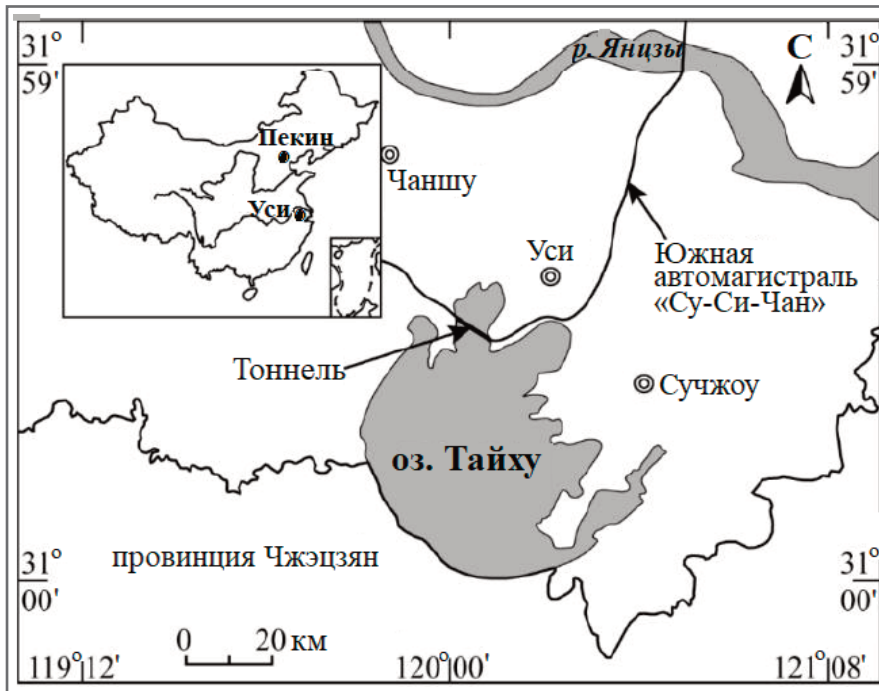


Рис. 1. Трасса тоннеля под северной частью озера Тайху (показанная жирной черной линией), где до строительства были проведены испытания самозабуривающимся прессиометром

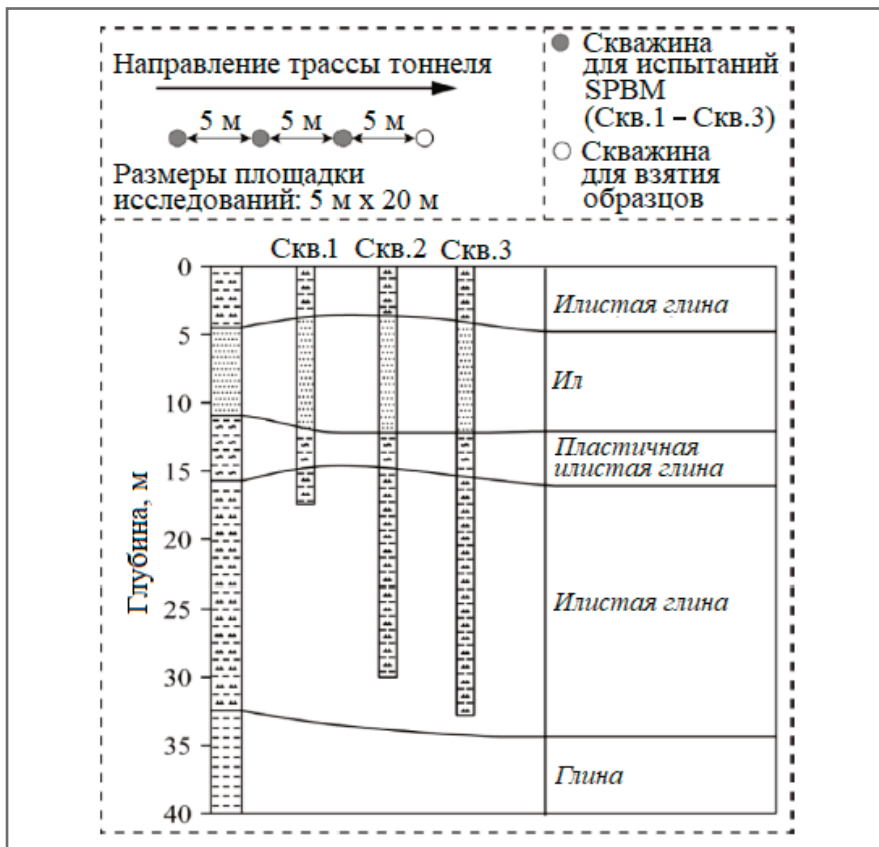


Рис. 2. Расположение скважин 1, 2 и 3 в плане (сверху), в разрезе (снизу) и стратиграфическая колонка (слева) для площадки изысканий

lution lengths) для песчаных отложений на основе данных статического зондирования конусным зондом с измерением порового давления (СРТу) на двух разных участках на севере Дании.

Де Гаст и др. [25] проанализировали результаты статического зондирования конусным зондом (СРТ) сельской земляной дамбы в Нидерландах и оценили вертикальный интервал корреляции

флуктуаций (vertical scale of fluctuation) для грунтов.

Поэтому в настоящей статье основное внимание уделялось двум аспектам. Во-первых, на озере Тайху в Китае было проведено большое количество испытаний самозабуривающимся прессиометром для того, чтобы получить четкое представление об изменениях показателей свойств грунтов, залегающих ниже уровня дна, в зависимости от глубины от этого уровня, а также от деформации под нагрузкой и т. д. Во-вторых, результаты испытаний были дополнительно интерпретированы с вероятностной точки зрения путем комбинированного статистического анализа, что могло предоставить проектировщикам необходимую информацию для оценки безопасности геологических условий.

### ПРИБОР ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ И МЕСТО ИХ ПРОВЕДЕНИЯ ▶

Место испытаний находилось в пределах мелководного озера Тайху недалеко от китайского города Уси (Сишань) (рис. 1), где проходит Южная автомагистраль «Су-Си-Чан». Пересекающий северную часть озера отрезок шоссе (показанный жирной черной линией на рисунке 1) построен в виде тоннеля с использованием открытого способа проходки. На сегодняшний день это самый протяженный тоннель в Китае, построенный под озером. Длина его подводной части составляет 10,67 км. Из-за изменчивости механических свойств озерных глинистых отложений владельцам проекта и проектировщикам были необходимы более подробные параметры для анализа безопасности строительства. Поэтому Уханьским институтом механики скальных и дисперсных грунтов Китайской академии наук вдоль трассы строительства этого тоннеля на дне озера Тайху были проведены испытания самозабуривающимся прессиометром.

Испытания проводились в скважинах с использованием самозабуривающегося прессиометра кембриджского типа, с помощью которого можно оценивать такие свойства грунта, как модуль сдвига, недренированная сдвиговая прочность, горизонтальное напряжение и др. Вдоль указанной части трассы тоннеля были проведены три серии испытаний SBPM при горизонтальном расстоянии между скважинами 5 м. Средняя глубина этих скважин составляла около 25 м, а высотные отметки их устьев были одинаковыми. Также была пробурена скважина, из которой отбирались образцы грунта для лаборатор-



Таблица 1. Основные физические свойства грунтов исследованной площадки по данным лабораторных испытаний

Образец	Глубина, м	Удельный вес	Влажность, %	Коэффициент пористости	Плотность, (г/см <sup>3</sup> )	Влажность на границе текучести, %	Влажность на границе пластичности, %	Число пластичности, %
ТН-SC1	3,0–3,5	2,72	27,3	0,835	1,92	35,1	20,6	14,5
ТН-S	8,0–8,5	2,70	31,1	0,774	1,96	33,2	22,7	6,9
ТН-SSC	13,0–13,5	2,74	36,4	1,099	1,91	38,4	19,0	15,4
ТН-SC2	18,0–18,5	2,74	23,2	0,677	2,00	35,0	19,6	15,3
ТН-SC2	21,0–21,5	2,72	22,0	0,746	2,02	32,9	16,5	16,4
ТН-SC2	30,0–30,5	2,72	29,5	0,996	1,88	31,2	15,6	15,6
ТН-С	41,0–41,5	2,74	26,6	0,709	1,94	36,9	21,4	15,5

Примечание. ТН относится к озеру Тайху, где были взяты образцы; SC – илестая глина; S – ил; SSC – пластичная илестая глина; С – глина.

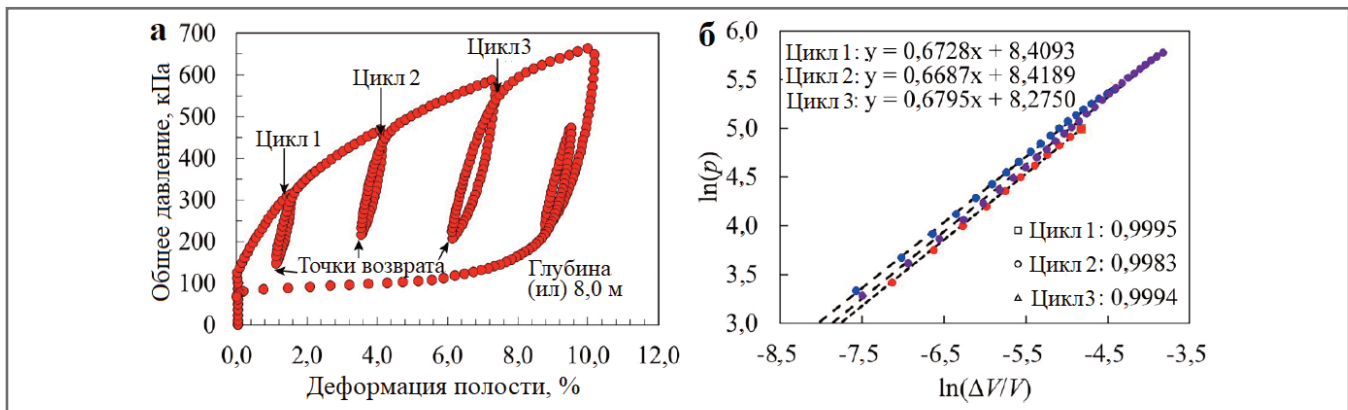


Рис. 3. Репрезентативные графики по результатам испытания самозабуривающимся прессиометром

ных испытаний в целях получения предварительной информации (рис. 2).

Результаты испытаний считывались по глубине через каждый метр. Разрез грунта на исследованном участке был построен на основе геологических карт данной местности. Он состоял из (сверху вниз):

- илестой глины (0–4,5 м);
- ила (4,5–12 м);
- пластичной илестой глины (12–17 м);
- илестой глины (17–34 м);
- глины (34–40 м).

В таблице 1 показаны некоторые основные физические свойства встреченных грунтов.

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ►

### Модуль сдвига

Что касается получения модуля сдвига, существует два разных метода: линейный анализ и нелинейный анализ. В первом случае модуль сдвига для цикла «разгрузка – повторное нагружение»  $G_{ur}$  является постоянной величиной, тогда как во втором случае секущий модуль сдвига  $G_s$  меняется в зависимости от сдвиговой деформации.

Если принять, что грунт в процессе разгрузки является идеально упругим, то градиент цикла «разгрузка – повтор-

ное нагружение» в два раза превысит линейный модуль сдвига  $G_{ur}$  [7, 16]. Болтон и Уиттл [26] показали, что зависимость напряжения сдвига (касательного напряжения  $\tau$ ) от относительной деформации  $\gamma$  (равной относительному изменению объема рабочей камеры прессиометра  $\Delta V/V$ ) может хорошо описываться степенной функцией:

$$\tau = \alpha \gamma^\beta, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент (константа), зависящий от жесткости;  $\beta$  – показатель степени, зависящий от упругости (величины  $\alpha$  и  $\beta$  могут быть получены для стадий повторного нагружения циклов «разгрузка – повторное нагружение»).

При каждом испытании SBPM на этапе расширения полости было выполнено по три цикла «разгрузка – повторное нагружение» (рис. 3, а). В логарифмических координатах для стадии повторного нагружения существует сильная линейная корреляция между общим давлением в камере и деформацией сдвига (рис. 3, б). Следовательно, секущий модуль сдвига для случая нелинейного анализа можно выразить следующим образом:

$$G_s = \frac{\tau}{\gamma} = \alpha \gamma^{\beta-1}. \quad (2)$$

### Недренированная прочность на сдвиг

Прочность на сдвиг в недренированных условиях  $c_u$  может быть получена с использованием метода, предложенного Гибсоном и Андерсоном [27], в котором устанавливается взаимосвязь между общим давлением, начальным горизонтальным напряжением и  $c_u$ :

$$p = p_0 + c_u [1 + \ln(G/c_u)] + c_u \ln(\Delta V/V), \quad (3)$$

где  $p$  – общее давление;  $p_0$  – начальное горизонтальное напряжение;  $G$  – модуль сдвига;  $\Delta V/V = \gamma$  – относительное изменение объема полости (относительная деформация по объему).

На основе этого уравнения график зависимости между общим давлением и недренированной прочностью на сдвиг может быть построен в полулогарифмической системе координат. Следует отметить, что хорошо известное решение Гибсона и Андерсона действительно относится к недренированному расширению цилиндрической полости в идеально-упруго-пластическом грунте. Однако для глины общепринятым является допущение, что все испытания самозабуривающимся прессиометром проводятся в недренированных условиях. При этом допущения о линейном и нелинейном упругом поведе-

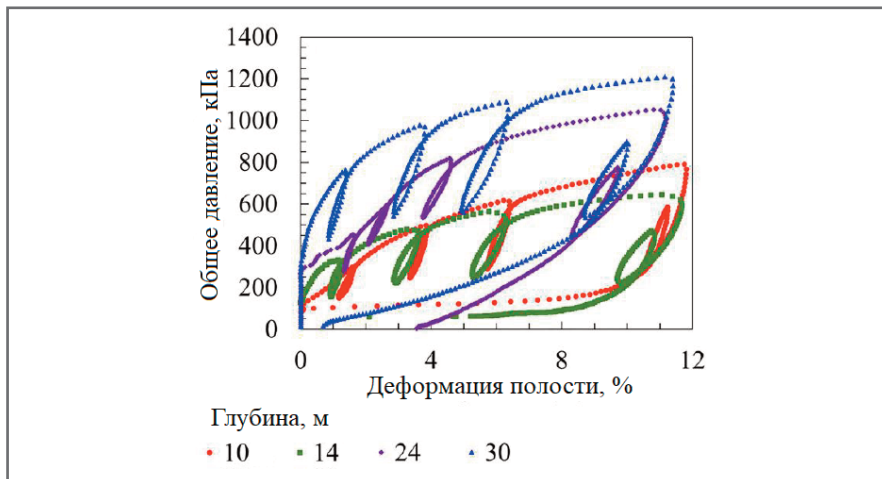


Рис. 4. Графики, иллюстрирующие зависимость «общее давление – деформация полости» при испытаниях самозабуривающимся прессиометром в скважине на разной глубине

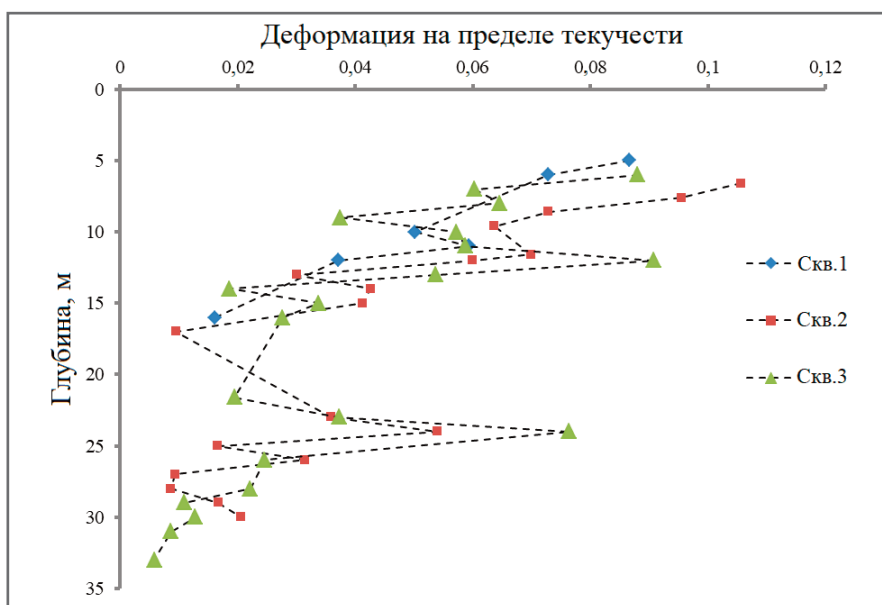


Рис. 5. Распределение по глубине деформаций на пределе текучести для разных грунтов

нии грунта могут привести к различным решениям для напряжений и деформаций, но это не повлияет на полученную в результате недrenированную прочность на сдвиг, равную отношению приращения общего давления к приращению логарифмической деформации сдвига грунта, так как более поздняя часть кривой соответствует пластической стадии, а наклон графика представляет собой недrenированную сдвиговую прочность.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ САМОЗАБУРИВАЮЩИМСЯ ПРЕССИОМЕТРОМ ►

В этом разделе интерпретируются результаты полевых испытаний самозабуривающимся прессиометром с анализом горизонтального напряжения *in situ*, недrenированной сдвиговой прочности и модуль сдвига грунтов по глубине.

В частности, особое внимание уделяется уменьшению модуля сдвига с ростом сдвиговой деформации. Кроме того, с помощью вероятностных теорий представляются статистические характеристики и масштаб изменчивости свойств грунтов по вертикали.

### Зависимость «напряжение – деформация» для грунтов

Для иллюстрации на рисунке 4 приведена зависимость между напряжением сдвига и сдвиговой деформацией, полученная при испытаниях самозабуривающимся прессиометром на разных глубинах. Следует отметить, что в самом начале кривая поднимается вдоль вертикальной оси. Причина этого заключается в том, что деформация не будет проявляться до тех пор, пока давление расширения  $p$  не достигнет величины гори-

зонтального напряжения  $\sigma_{h0}$ . Когда значение  $p$  увеличится до величины давления «отрыва»  $p_0$  (давления при первых признаках начала радиальной деформации стенок скважины), грунт может начать деформироваться, а давление расширения  $p$  будет расти с деформацией полости. На рисунке 4 хорошо видно, что напряжение сдвига продолжает увеличиваться с ростом сдвиговой деформации. По мере увеличения глубины кривые обычно поднимаются на графиках выше, отражая характер напряжения сдвига, положительно связанного с глубиной. Также стоит отметить, что кривая для исследованных грунтов на глубине 14 м по сравнению с остальными является наиболее полой, дающей наименьшее касательное напряжение. Это может свидетельствовать о наличии там пластичного слоя, что подтверждается стратиграфической колонкой, показанной на рисунке 2, из которой видно, что на глубинах примерно от 12 до 17 м залегает пластичная илестая глина.

На рисунке 5 показано распределение деформаций на пределе текучести для разных грунтов на разных глубинах. При этом:

$$\gamma_y = \exp \left[ \left( \frac{p_{\text{Limit}} - p_0}{c_u} \right) - \left( \frac{1}{\beta} \right) \right]^{-1}, \quad (4)$$

где  $\gamma_y$  – деформация на пределе текучести, определяющая границу упругого поведения грунта;  $p_0$  – эталонное давление в полости (соответствующее горизонтальному напряжению *in situ*);  $p_{\text{Limit}}$  – предельное давление.

Из этого рисунка видна общая тенденция к уменьшению деформации на пределе текучести с глубиной. Показано, что с увеличением глубины грунт в процессе нагружения быстрее вступает в пластическую стадию. Еще один вывод заключается в том, что пластичная илестая глина в целом имеет наименьшую деформацию на пределе текучести, а ил – наибольшую. Это может быть связано с более высокой структурной целостностью пластичной илестой глины. Также можно отметить, что деформация на пределе текучести при полевых испытаниях самозабуривающимся прессиометром получается намного больше, чем при лабораторных трехосных испытаниях, которые отражают напряженное состояние лишь одного локального участка в пространстве. Это может быть связано с тем, что текучесть по данным испытаний SBPM характеризует напряженное состояние зоны массива вокруг полости (камеры прессиометра) в зависимости от степени нарушения структурной целостности грунта.

## Прочность на сдвиг в недренированных условиях

Как было описано ранее, недренированная прочность на сдвиг  $c_u$  при испытании самозабуривающимся прессиометром может быть получена с помощью метода, предложенного Гибсоном и Андерсоном [27]. Изменения  $c_u$  с глубиной представлены на рисунке 6. Для сравнения приведены результаты серии лабораторных трехосных испытаний на сжатие в недренированных условиях. Обычно лабораторные данные бывают ниже по сравнению с полевыми. Это может быть связано с тем, что при взятии образцов нарушается структура грунта и снимается напряжение. Однако в целом соответствие между полевыми и лабораторными результатами может в некоторой степени доказать достоверность данных, полученных *in situ*.

Общепринято допущение, что все испытания SBPM в глине проводятся в недренированных условиях. Для этого есть две причины. Во-первых, глина обычно имеет очень низкую водопроницаемость. Во-вторых, скорость нагружения относительно высока, из-за чего грунт может не успеть рассеять поровое давление в процессе приложения нагрузки. В этом исследовании также измерялось поровое давление воды  $u$  на стенке рабочей камеры прессиометра. На рисунке 7 представлены изменения значений  $u$  по глубине в разных слоях грунта. Показан также согласующийся с этими результатами график для гидростатического давления на участке, где уровень грунтовых вод находится примерно на 1 м ниже поверхности грунта.

Таким образом, можно сделать вывод, что точность результатов испытаний самозабуривающимся прессиометром можно хорошо продемонстрировать путем сравнения с результатами лабораторных испытаний, а также аналитических решений для распределения гидростатического давления.

## Горизонтальное напряжение *in situ*

Одной из основных задач испытаний самозабуривающимся прессиометром является измерение горизонтального напряжения *in situ*. Если принять, что во время введения зонда SBPM не возникает нарушений окружающего грунта, то при достижении прессиометром определенной глубины давление, действующее на мембрану его рабочей камеры, равно горизонтальному давлению *in situ* ( $\sigma_{h0}$ ). На рисунке 8, а представлены полученные значения  $\sigma_{h0}$ .

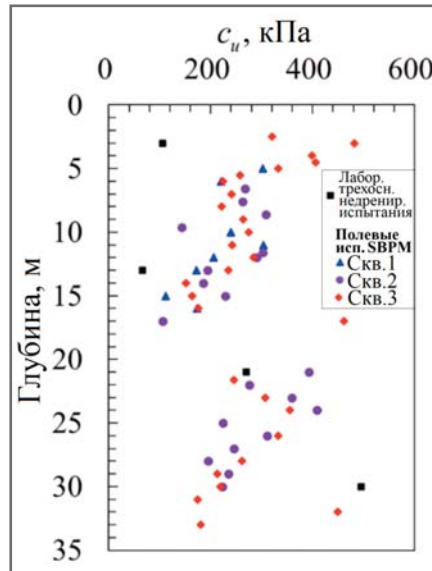


Рис. 6. Результаты определения недренированной прочности на сдвиг с помощью лабораторных трехосных испытаний и полевых испытаний самозабуривающимся прессиометром в скважинах 1, 2 и 3

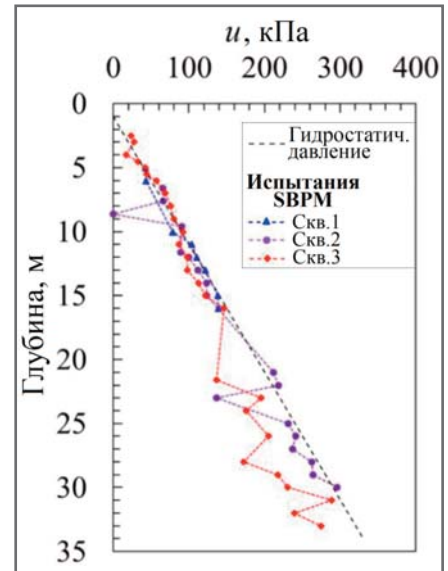


Рис. 7. Результаты определения порового давления воды с помощью испытаний самозабуривающимся прессиометром в скважинах 1, 2 и 3, сопоставленные с гидростатическим давлением

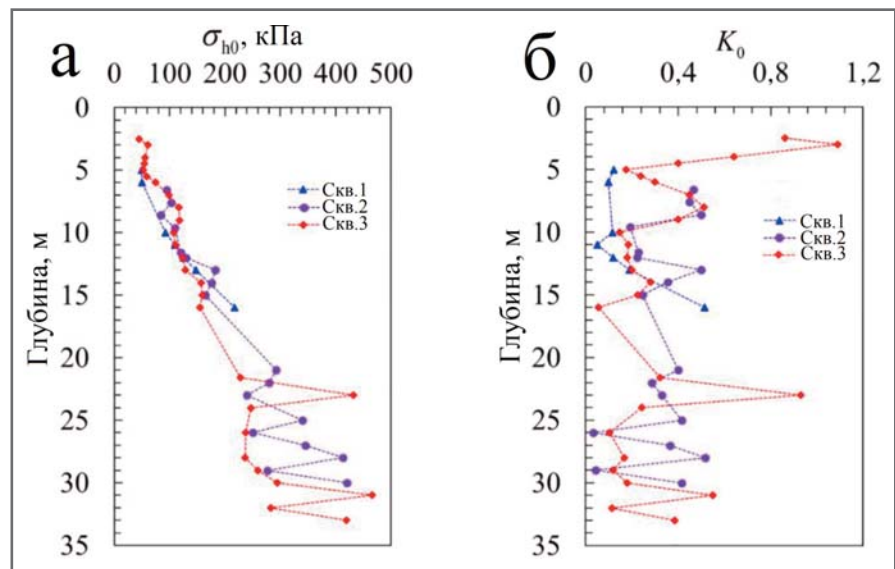


Рис. 8. Распределение по глубине исходного горизонтального напряжения  $\sigma_{h0}$  (а) и коэффициента бокового давления грунта в состоянии покоя  $K_0 = \sigma'_{h0} / \sigma'_{v0}$  (б)

Видна тенденция к их увеличению с глубиной. Стоит отметить, что нет существенной разницы между данными для трех скважин при глубине менее 17 м, но имеются явные различия между ними при глубине более 17 м.

Используя эффективное горизонтальное напряжение  $\sigma'_{h0}$ , которое можно рассчитать по значению  $\sigma_{h0}$  (см. рис. 8), и эффективное вертикальное напряжение  $\sigma'_{v0}$ , можно получить коэффициент бокового (горизонтального) давления грунта в состоянии покоя  $K_0 = \sigma'_{h0} / \sigma'_{v0}$  (рис. 8, б). На рисунке 8, б для точек измерения в скважине 3 у поверхности грунта показаны чрезвычай-

но большие значения, что может быть связано с транспортными нагрузками от работающей поблизости строительной техники. В целом, и здесь результаты прессиометрических испытаний в трех скважинах довольно близки друг к другу при глубине менее 17 м, в то время как разница в значениях  $K_0$  более заметна при глубине более 17 м.

## Модуль сдвига

### Уменьшение модуля сдвига

На рисунке 9 схематично представлены изменения модуля сдвига с деформацией. Он обычно считается постоянным, когда порядок сдвиговой де-

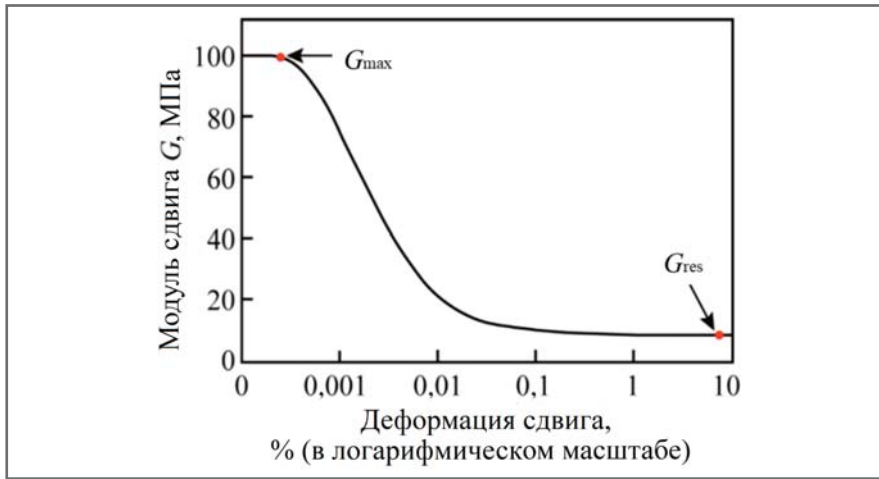


Рис. 9. Изменения модуля сдвига (жесткости) в зависимости от сдвиговой деформации (по [19])

формации очень мал, однако по мере дальнейшего увеличения деформации модуль быстро уменьшается и в конце концов опять становится постоянным. Поэтому для количественного анализа изменений модуля сдвига по глубине на разных стадиях были собраны и представлены в графическом виде максимальный ( $G_{\max}$ ) и остаточный ( $G_{\text{res}}$ ) модули сдвига, соответствующие наименьшей и наибольшей сдвиговым деформациям при испытаниях самозабуривающимся прессиометром для каждой точки зондирования (рис. 9, 10). Для сравнения на рисунке 10 также показаны величины модуля для цикла «разгрузка – повторное нагружение» ( $G_{\text{ur}}$ ).

На рисунке 10 видна общая тенденция к увеличению модуля сдвига с глубиной. Значения  $G_{\max}$  находятся в пределах 9,3–185,6 МПа,  $G_{\text{res}}$  – в диапазоне 2,8–12,0 МПа. А величины  $G_{\text{ur}}$  попада-

ют в пределы 6,0–46,9 МПа, что в целом находится между диапазонами  $G_{\max}$  и  $G_{\text{res}}$ . Также, видя тенденцию к увеличению с глубиной различий в откликах грунтов при испытаниях, можно сделать вывод, что гетерогенность озерных глинистых отложений озера Тайху с ростом глубины увеличивается.

Для детального изучения деградации характеристик каждого типа грунта были выбраны четыре типичных примера. На рисунке 11 в графическом виде показаны зависимости между нормализованным модулем сдвига  $G_s/G_{\max}$  и сдвиговой деформацией. Для сравнения также приведены значения нормализованного модуля сдвига для цикла «разгрузка – повторное нагружение» ( $G_{\text{ur}}/G_{\max}$ ). Видно, что, во-первых, модуль уменьшается с увеличением деформации и, как правило, стабильное состояние может быть достигнуто при деформации

сдвига  $\gamma > 1\%$ . Кроме того, величины  $G_{\text{ur}}/G_{\max}$  обычно соответствуют диапазону деформаций 1,0–3,2%. Показано, что в отличие от нелинейного модуля, соответствующего тем же деформациям, все линейные модули располагаются над кривыми, при этом различия между ними постепенно уменьшаются по мере увеличения деформации. Это может означать, что, когда деформация сдвига относительно невелика при прямом использовании  $G_{\text{ur}}$ , оценка безопасности структуры будет завышенной.

Кроме того, сравнивая рисунки 11, а–г, также можно обнаружить, что наиболее резкое снижение модуля сдвига наблюдается в пластичной илистой глине, где он быстро уменьшается в очень небольшом диапазоне увеличения деформации. Кроме того, в этом грунте остаточный модуль сдвига  $G_{\text{res}}$  является самым низким по сравнению с другими типами исследованных отложений. При суммировании значений  $G_{\text{res}}$  для разных типов грунтов было установлено, что они находятся в пределах от 0,01 до 0,24. Для ила (при сходимости решения) они попадают в диапазон 0,04–0,24, для пластичной илистой глины – в диапазон 0,01–0,08, для илистой глины – в пределы 0,08–0,23. Диапазон этого модуля для пластичной илистой глины явно ниже, чем для ила и илистой глины, что может указывать на относительно более высокую структурную целостность пластичной илистой глины. Что касается расхождений между кривыми, представленными на рисунке 11, а, то это может быть связано со скоплением в илистом слое довольно большого количества раковин двуствор-

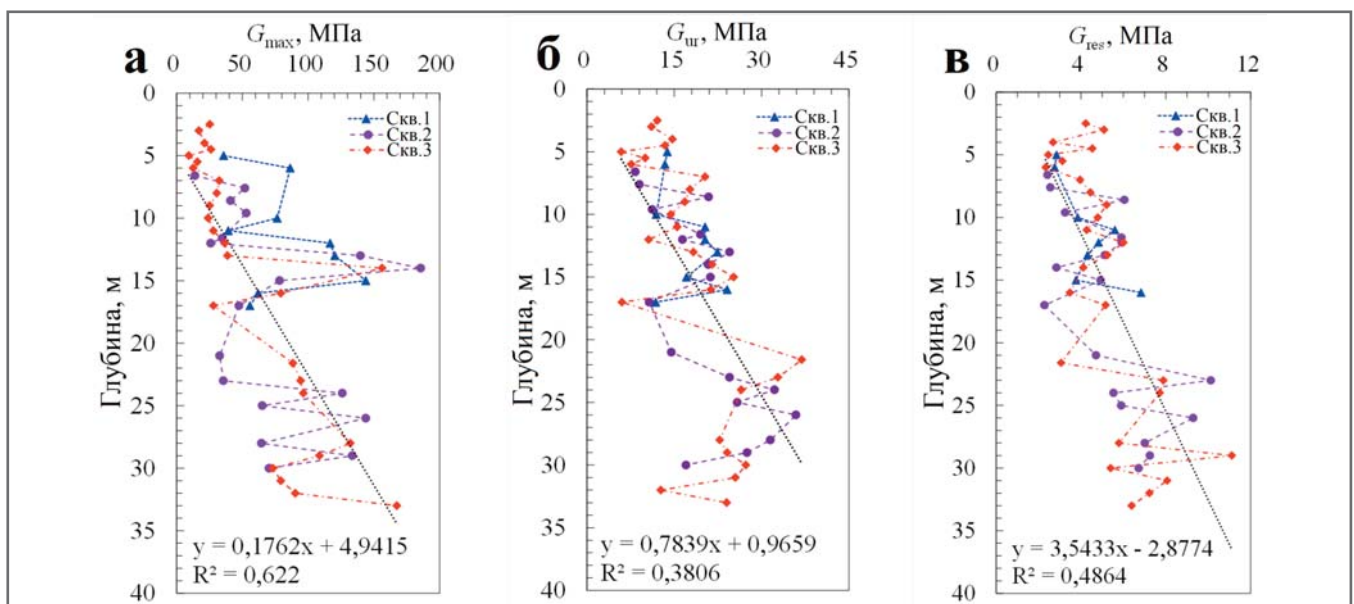


Рис. 10. Распределение по глубине максимального модуля сдвига  $G_{\max}$  (а), модуля для цикла «разгрузка – повторное нагружение»  $G_{\text{ur}}$  (б) и остаточного модуля сдвига  $G_{\text{res}}$  (в)

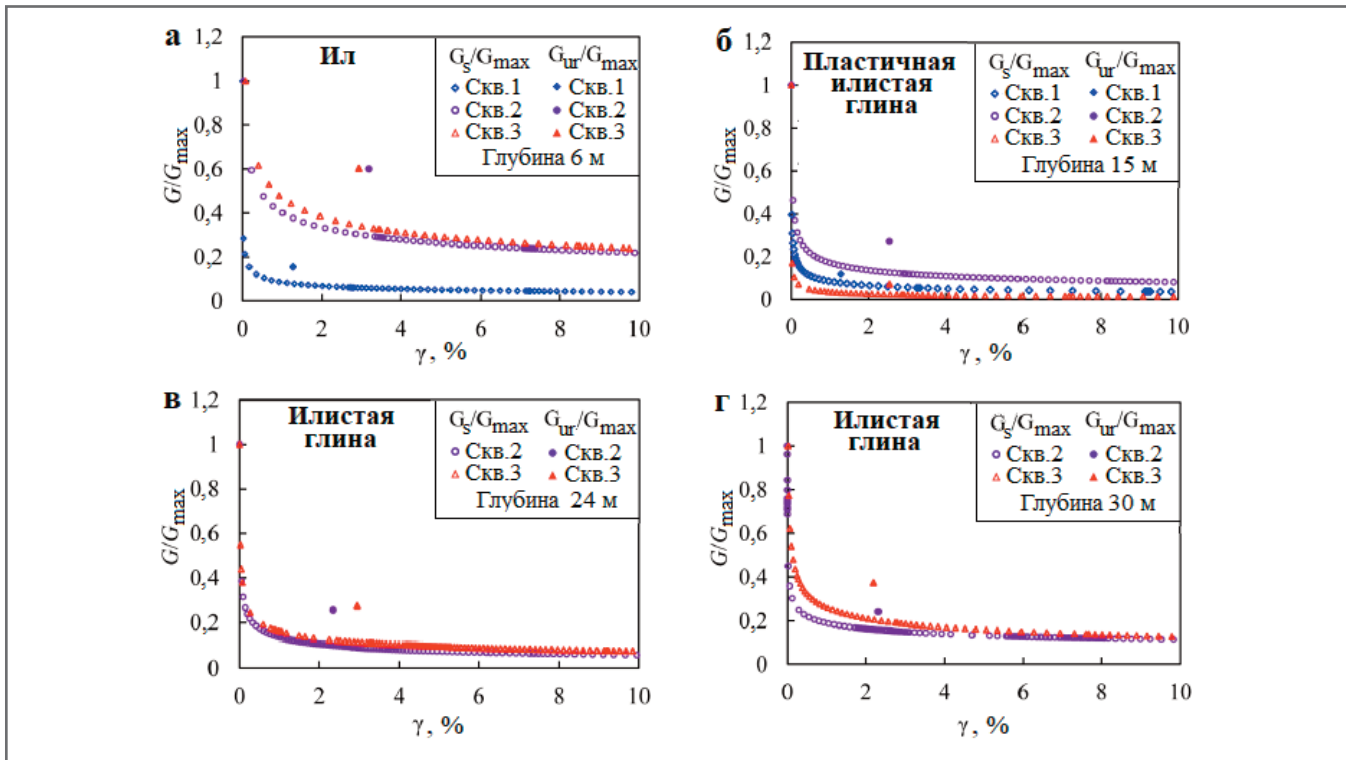


Рис. 11. Зависимости между нормализованным модулем сдвига и относительной деформацией  $\gamma$  (равной относительно изменению объема рабочей камеры самозабуривающегося прессиометра  $\Delta V/V$ ) для различных типов грунтов и разной глубины испытаний

чатых моллюсков (как это и было замечено при полевых исследованиях).

#### Влияние деформации на распределение значений секущего модуля сдвига

Как уже говорилось ранее, секущий модуль изменяется в зависимости от деформации сдвига. Поэтому для оценки влияния сдвиговой деформации на модуль сдвига берутся и представляются в графическом виде изменения с глубиной секущего модуля сдвига  $G_s$  при различных сдвиговых деформациях  $\gamma$ , равных 0,05; 0,1; 0,5; 1; 5% (на рисунке 12 для обозначения модуля сдвига используются соответствующие этим величинам нижние индексы). Для изучения тенденции к увеличению секущего модуля сдвига при сдвиговой деформации  $n$  получают его нормализованные значения по отношению к глубине:

$$\bar{G}_{s,n} = \frac{G_{s,n} - G_{res,n}}{G_{max,n} - G_{res,n}}, \quad (5)$$

где  $G_{s,n}$  – модуль сдвига, измеренный на определенной глубине при сдвиговой деформации  $n$ ;  $G_{max,n}$ ,  $G_{res,n}$  – соответственно максимальное и минимальное измеренные значения модуля сдвига для всех глубин при сдвиговой деформации  $n$ .

На рисунке 12 показаны изменения нормализованных секущих модулей сдвига с глубиной при различных сдви-

говых деформациях. Следует отметить, что из-за недостаточности данных, полученных при испытаниях в скважине 1, отдельно суммировались и представлялись в графическом виде только данные по скважинам 2 и 3. Хотя корреляции между модулями для разных глубин видны слабо, что в основном связано с несколькими отдельными точками с большими отклонениями, в целом при всех деформациях можно заметить тенденцию к увеличению модуля сдвига с глубиной. Это также можно отнести и к прерывистым данным, полученным при испытаниях самозабуривающимся прессиометром, так как испытания проводились через каждый метр, а это дает очень высокую плотность расположения точек испытаний. Чтобы улучшить оценки распределения значений модуля сдвига, можно включить также комбинации результатов использования и других методов полевых испытаний, например СРТУ.

На основе разрозненных данных был построен ряд линий трендов изменений секущего модуля сдвига, нормализованного по отношению к глубине с помощью формулы (5). Хотя есть небольшое расхождение между графиками для скважин 2 и 3, их объединяет то, что наклон линий трендов уменьшается с ростом сдвиговой деформации. При увеличении деформации от 0,05 до 5% наклон этих линий для скважин 2 и 3

уменьшается соответственно с 0,0282 до 0,0265 и с 0,0174 до 0,0154 (см. пунктирные линии и формулы под ними на рис. 12). Это свидетельствует о том, что при росте сдвиговой деформации тенденция к увеличению модуля сдвига с глубиной замедляется. Когда сдвиговая деформация мала, различия между модулями сдвига с увеличением глубины значительны. С ростом сдвиговой деформации эти различия постепенно уменьшаются. В результате наклон линии тренда изменений секущего модуля сдвига, нормализованного по отношению к глубине с помощью формулы (5), несколько уменьшается с деформацией.

#### Зависимость между секущими модулями сдвига и числом пластичности

Широко признано, что параметры прочности тесно связаны с физическими параметрами грунта [28, 29, 30, 31]. В настоящей работе была установлена зависимость между модулем сдвига и числом пластичности  $I_p$ . Для определения значений  $I_p$  были проведены лабораторные испытания различных типов грунтов (см. таблицу 1).

На рисунке 13 показаны корреляции отношения  $G_s/G_{max}$  с числом пластичности  $I_p$  при различных деформациях сдвига. Видны в целом отрицательные зависимости. По мере увеличения чис-

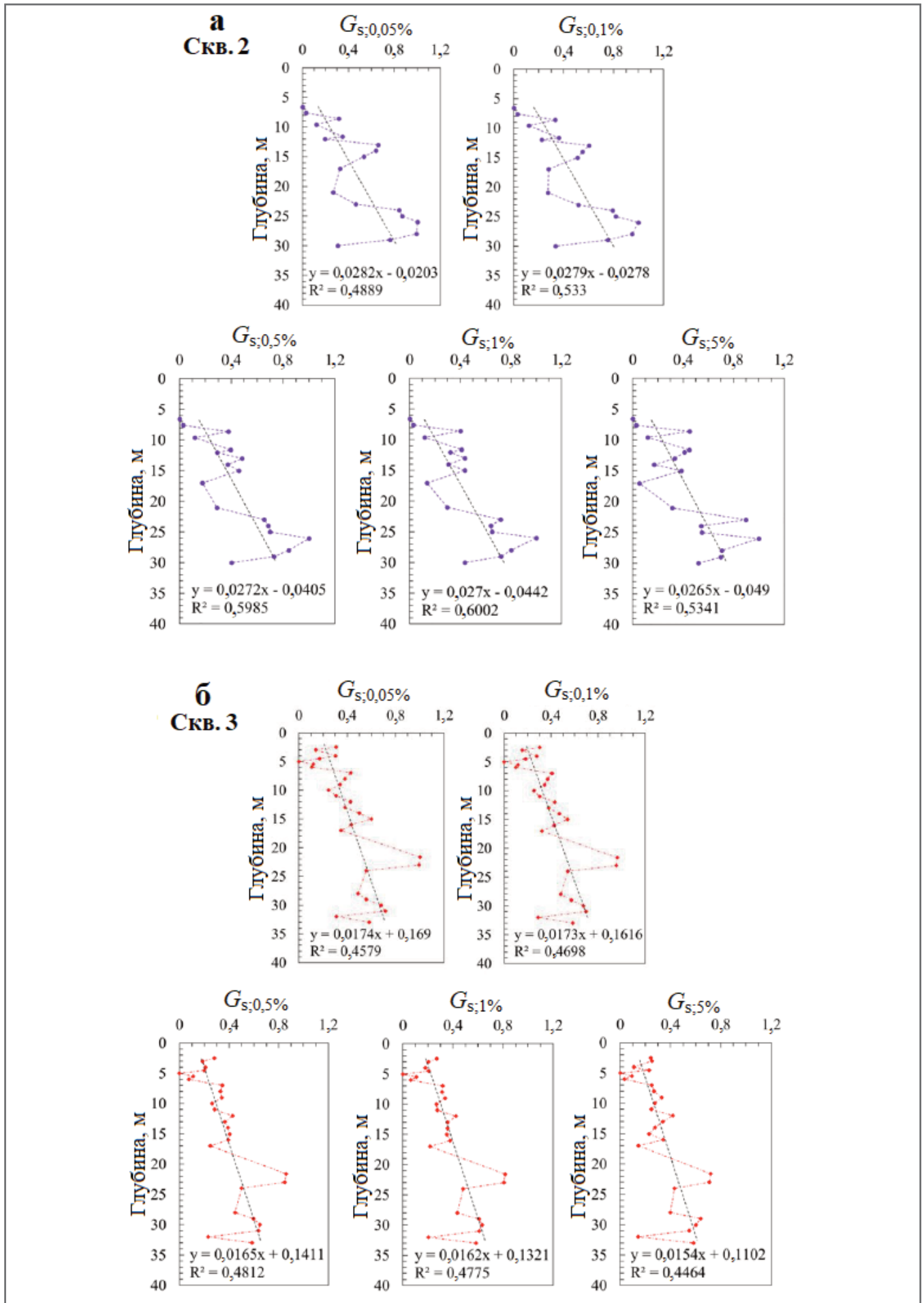


Рис. 12. Распределение по глубине нормализованного модуля сдвига (см. формулу (5)) при сдвиговых деформациях  $\gamma$ , равных 0,05; 0,1; 0,5; 1; 5%, по результатам испытаний самозабуривающимся прессиометром в скважинах 2 и 3

ла пластичности отношение  $G_s/G_{\max}$  уменьшается. Это означает, что при одних и тех же деформациях чем выше будет число пластичности, тем ниже получится модуль сдвига, то есть тем больше будет скорость его уменьшения. Отсюда можно сделать простой вывод, что чем больше число пластичности, тем выше скорость ухудшения прочностных свойств дисперсного грунта.

На рисунке 14 представлены зависимости между нормализованным по отношению к глубине модулем сдвига (см. формулу (5)) и числом пластичности при различных сдвиговых деформациях. В целом видно, что эти зависимости являются положительными линейными, при этом по мере увеличения сдвиговой деформации наклон сглаженных графиков уменьшается (составляя 0,472; 0,447; 0,380; 0,350 и 0,278 для относительных деформаций 0,05; 0,1; 0,5; 1 и 5% соответственно).

Из этих графиков можно сделать два вывода.

Во-первых, по мере увеличения числа пластичности нормализованный модуль сдвига (см. формулу (5)), который положительно связан с секущим модулем сдвига  $G_s$ , также увеличивается, что указывает на положительную связь между  $I_p$  и  $G_s$ . Другими словами, чем больше число пластичности  $I_p$ , тем выше секущий модуль сдвига  $G_s$ .

Во-вторых, с ростом сдвиговой деформации скорость увеличения модуля сдвига по отношению к числу пластичности постепенно уменьшается. Это означает, что влияние числа пластичности на увеличение модуля сдвига уменьшается по мере роста деформации. Следовательно, уменьшение модуля сдвига может быть рассчитано через комбинацию величин деформаций сдвига и изменений числа пластичности. При этом получение количественной оценки того, какой фактор является более важным, может быть исследовано в будущем.

### Статистический анализ значений секущего модуля сдвига и прочности на сдвиг в недренированных условиях

Из проанализированных выше результатов можно выполнить статистический анализ величин модуля сдвига и недренированной сдвиговой прочности. В таблице 2 приведены среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации COV (степень вариаций свойств грунта на площадке испытаний) для модуля сдвига при различных ве-

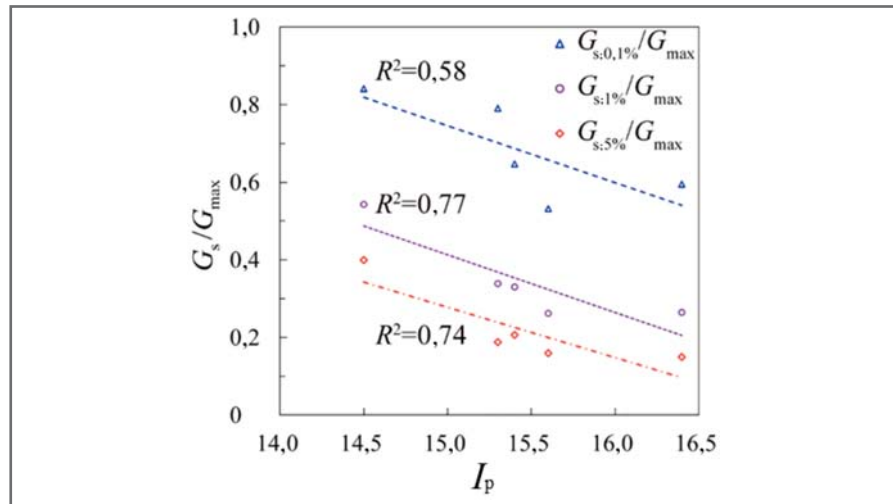


Рис. 13. Корреляции между отношением  $G_s/G_{\max}$  и числом пластичности  $I_p$  при различных сдвиговых деформациях

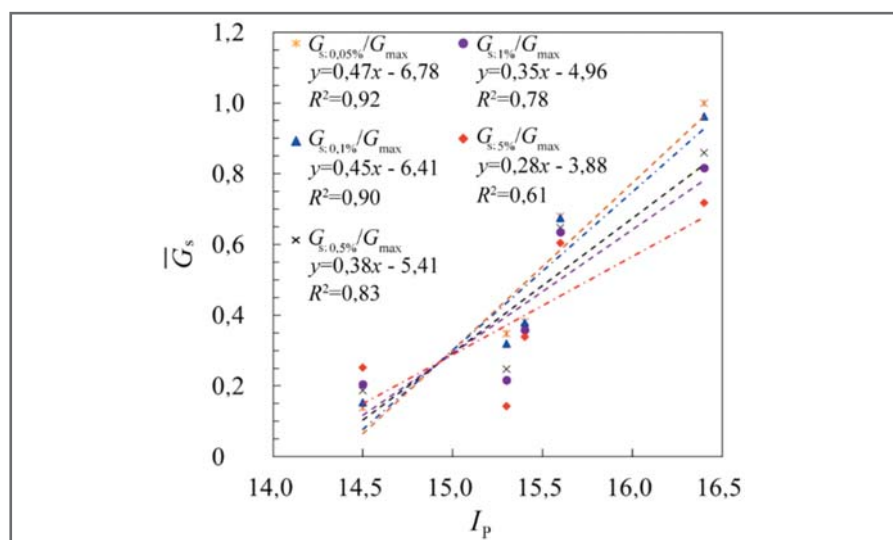


Рис. 14. Корреляции между нормализованным модулем сдвига и числом пластичности при различных сдвиговых деформациях  $\gamma$ , равных 0,05; 0,1; 0,5; 1 и 5%

личинах сдвиговых деформаций и для недренированной прочности на сдвиг. Коэффициент вариации COV отражает степень изменчивости свойств грунта на площадке испытаний. Чем выше COV, тем больше изменчивость грунта. Из таблицы 2 видно, что коэффициент вариации значений модуля сдвига составляет около 30% (обычно для диапазона деформаций 0,1–0,5%, как сообщается в литературе [32, 33]).

Было интересно обнаружить, что статистические параметры свойств грунтов сильно меняются с определенной глубины. Как видно из таблицы 2, изменения прессиометрических данных в трех скважинах имеют схожие характеристики. Однако, когда глубина превышает 17 м, коэффициент вариации модуля сдвига значительно увеличивается.

Статистический анализ в сочетании с результатами анализа уменьшения

модуля показал, что неоднородность грунта увеличивается сверху вниз, особенно при глубине более 17 м. Это может быть связано с историей накопления отложений в районе Тайху, так как в процессе седиментации озерной глины оседают многие биологические остатки и обломочные частицы, в результате чего в грунтах на разной глубине образуются разные прослои. Это может быть основной причиной высокой изменчивости прессиометрических характеристик в вертикальном направлении, что действительно отражает типичные свойства озерных глин, в которых с увеличением глубины чередуется больше подкатегорий каждого типа грунта.

В то же время из таблицы 2 также видно, что сдвиговая деформация весьма отчетливо влияет на распределение коэффициентов ковариации,

Таблица 2. Статистические параметры секущего модуля сдвига и недренированной сдвиговой прочности

Глубина, м	Статистич. параметры	$G_{s;0,05\%}$ , МПа	$G_{s;0,1\%}$ , МПа	$G_{s;0,5\%}$ , МПа	$G_{s;1\%}$ , МПа	$G_{s;5\%}$ , МПа	$C_u$ кПа
≤17	Среднее	26,17	21,03	12,77	10,33	6,36	264,91
	Стандартное отклонение	9,38	6,92	3,57	2,77	1,71	91,23
	COV, %	35,83	32,91	27,95	26,81	26,82	34,44
>17	Среднее	45,89	36,90	22,33	18,02	11,00	280,30
	Стандартное отклонение	17,80	13,62	7,39	5,72	3,28	79,94
	COV, %	38,79	36,92	33,09	31,76	29,83	28,52

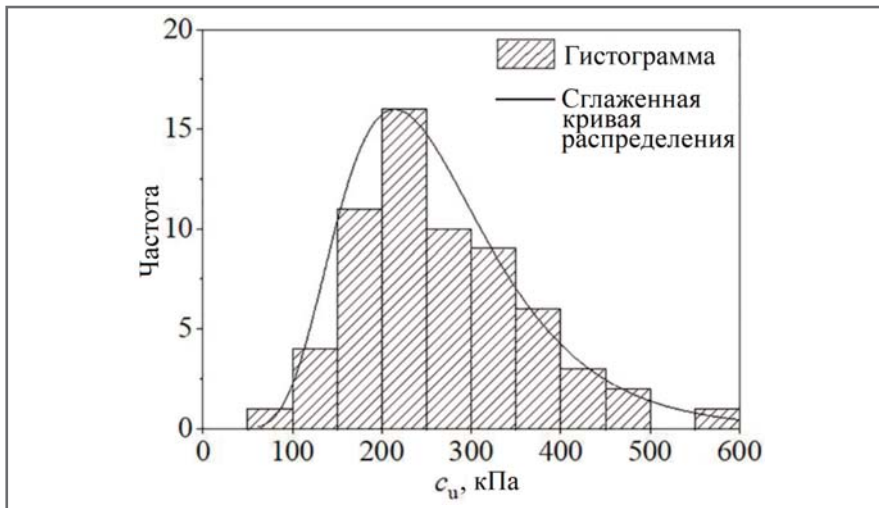


Рис 15. Распределение значений недренированной прочности на сдвиг

то есть с увеличением деформации COV уменьшается. Это также подтверждают стабильно получаемые результаты, о которых сообщалось ранее, когда модуль сдвига зависит от деформации, а по мере увеличения деформации из-за влияния таких факторов, как пластичность и др., несоответствия откликов разных типов грунтов на нагрузку уменьшаются. Таким образом, при выборе подходящего модуля сдвига при проектировании или численном анализе может оказаться целесообразным тщательное рассмотрение деформированного состояния грунта при приложении нагрузки.

Кроме того, по данным испытаний можно оценить распределение значений недренированной сдвиговой прочности и модуля сдвига. Рисунок 15 показывает, что прочность на сдвиг в недренированных условиях также соответствует логнормальному распределению. Оценка распределений согласуется с данными, приведенными в ранее опубликованных статьях [34, 35]. Например, Гриффитс и др. [34, 35] при анализе устойчивости склонов и откосов рассматривали недренированную сдвиговую прочность как распределен-

ную логнормально. Цзян и Хуан [36] разработали модель нестационарного случайного поля, а прочность глины на сдвиг в недренированных условиях также моделировали как распределенную логнормально.

При моделировании случайного поля пространственной изменчивости грунта часто разлагают изменения геотехнических свойств на функцию тренда (например, линейную функцию, как в данном исследовании) и остаток (отражающий так называемую собственную пространственную изменчивость). Затем для моделирования остатка применяются стационарные случайные поля. Другими словами, для обеспечения применимости стационарных случайных полей необходим процесс исключения (удаления) тренда. В связи с этим, поскольку существует тенденция к росту модуля сдвига с увеличением глубины, оценка типа распределения должна выполняться при устранении линейной тенденции. Удаление тренда выполняется с помощью пакета программ MATLAB.

На рисунке 16 справа представлены сопоставления между исходными и измененными исключением тренда секу-

щими модулями сдвига  $G_s$  по данным испытаний во всех трех скважинах, а слева показаны гистограммы и сглаженные кривые распределений для лишённых тренда модулей сдвига. По гистограммам можно оценить, что значения  $G_s$  после исключения тренда следуют нормальным распределениям. Когда сдвиговая деформация составляет 0,1%, доминирующий диапазон распределений измененных удалением тренда величин  $G_s$  находится между минус 10 и 10 МПа. А когда деформация сдвига увеличивается до 5%, лишённые тренда значения  $G_s$  в основном находятся в диапазоне от минус 2,5 до 2,5 МПа. Этот результат также согласуется с тем, о чем сообщалось ранее. То есть по мере увеличения сдвиговой деформации модуль сдвига уменьшается (от среднего значения 25 МПа при деформации 0,1% до примерно 8 МПа при деформации 5% для исходных данных). Сходным образом можно также оценить и распределение избавленных от тренда значений модуля сдвига для цикла «разгрузка – повторное нагружение» ( $G_{ur}$ ), как показано на рисунке 16, г. Величины  $G_{ur}$  также соответствуют нормальному распределению, а доминирующий диапазон их распределений находится между минус 10 и 10 МПа.

#### Интервалы корреляции флуктуаций для секущего модуля сдвига и недренированной сдвиговой прочности

В дополнение к средним значениям и стандартным отклонениям параметров грунта пространственная корреляция (в данной статье – интервал корреляции флуктуаций – scale of fluctuation, correlation length) была признана важным параметром, который может повлиять на статистические (вероятностные) результаты. Интервал корреляции флуктуаций можно оценить по резуль-



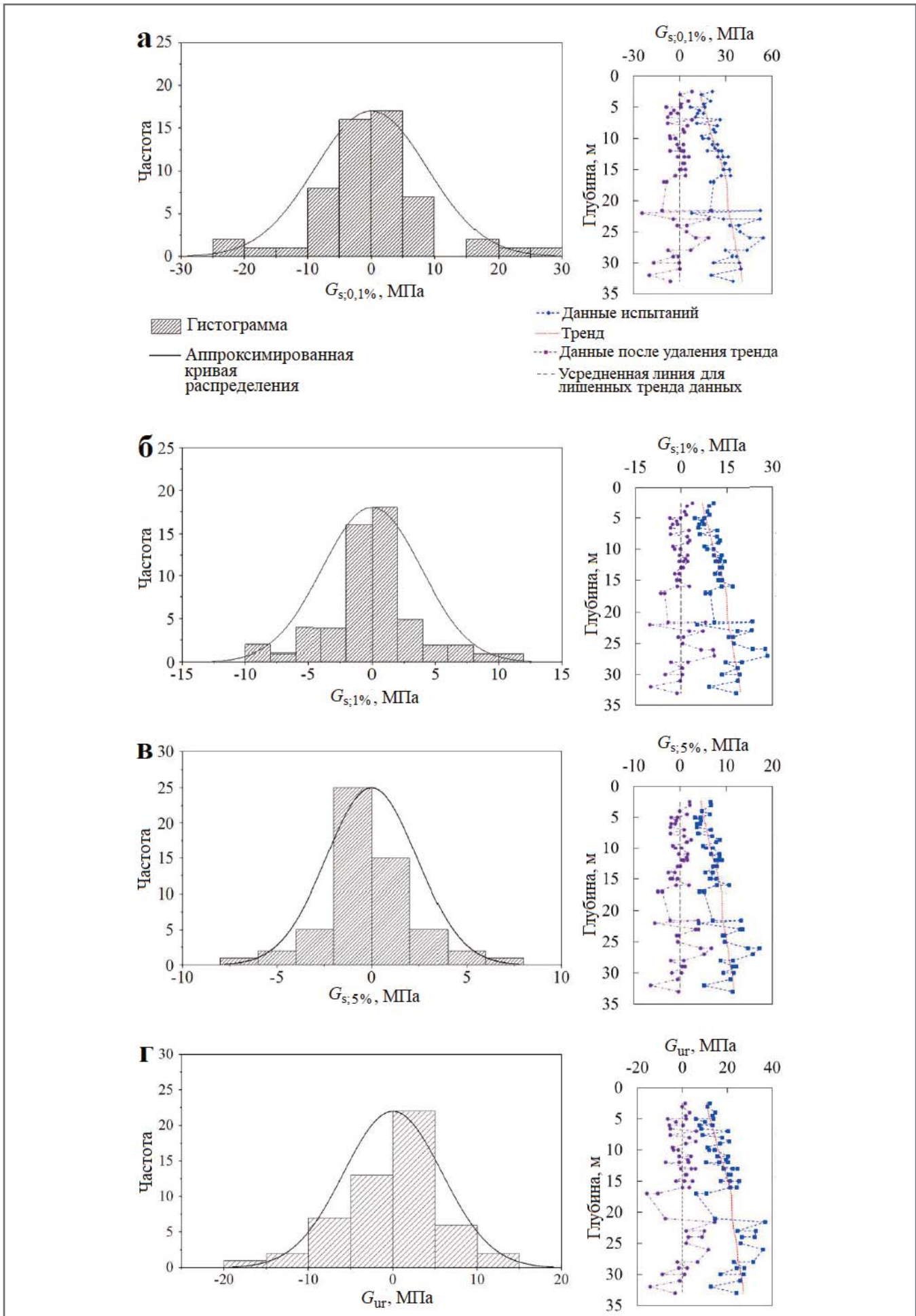


Рис. 16. Гистограммы и аппроксимации распределений величин модулей сдвига после удаления трендов

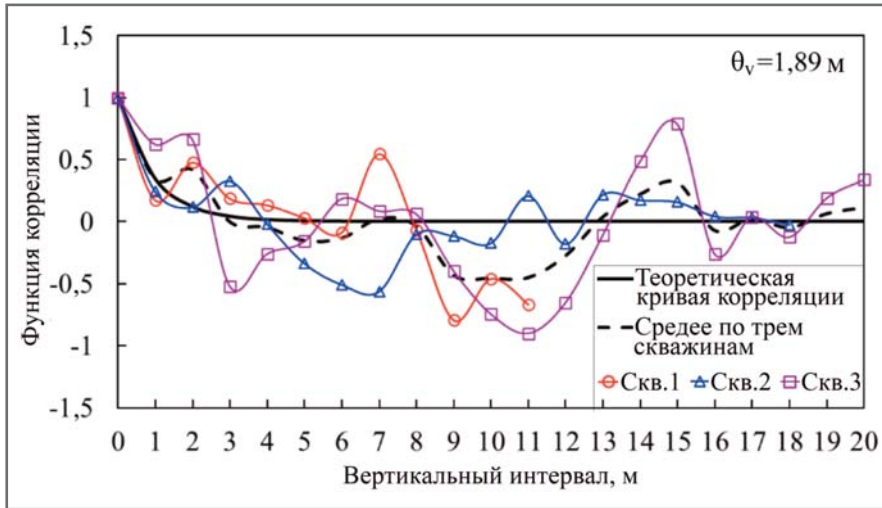


Рис. 17. Теоретическая и эмпирические корреляционные функции для недренированной прочности на сдвиг  $c_u$  на основе испытаний самозабуривающимся прессиометром в скважинах 1, 2 и 3. Оцененный вертикальный интервал корреляции  $\theta_v$  для  $c_u$  составил 1,89 м

татам испытаний *in situ* на основе следующего уравнения [37]:

$$\hat{\rho}(\tau) = \frac{\hat{\gamma}(\tau)}{\hat{\gamma}(0)}, \quad (6)$$

где  $\hat{\rho}(\tau)$  – функция корреляции;  $\hat{\gamma}(\tau)$  – функция ковариации, которую можно выразить следующим образом:

$$\hat{\gamma}(\tau) = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \hat{\mu})(x_{j+\tau} - \hat{\mu}), \quad (7)$$

где  $N$  – число пар данных, разделенных интервалами сбора данных  $\tau$ ;  $\hat{\mu}$  – оцененное среднее для данных;  $j = 0, 1, 2, \dots, N$ . Также следует отметить, что, когда  $\tau = 0$ ,  $\hat{\gamma}(0)$  то является стандартным отклонением данных.

Для моделирования корреляции параметров грунта в разных местах здесь используется обычно применяемая экспоненциальная функция корреляции [38]:

$$\rho(\tau) = \exp(-\frac{2}{\theta}|\tau|), \quad (8)$$

где  $\theta$  – оцениваемый интервал корреляции флуктуаций.

Интервал корреляции флуктуаций  $\theta$  рассчитывается на основе минимизации ошибки  $E$ :

$$E = \sum_{j=1}^N (\rho(\tau) - \hat{\rho}(\tau))^2. \quad (9)$$

Значение  $\theta$ , которое минимизирует ошибку  $E$ , можно вычислить, найдя корень следующего выражения:

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = - \sum_{j=1}^N \frac{2\tau}{\theta^2} (\hat{\rho}(\tau) - \rho(\tau)) \rho(\tau), \quad (10)$$

что может быть выражено так:

$$\sum_{j=1}^N \tau (\hat{\rho}(\tau) - \rho(\tau)) \rho(\tau) = 0. \quad (11)$$

В представленном в данной статье исследовании вертикальные интервалы корреляции флуктуаций ( $\theta_v$ ) модуля сдвига и недренированной сдвиговой прочности оценивались на основе результатов испытаний самозабуривающимся прессиометром. На рисунке 17 в графическом виде представлены теоретическая и эмпирические корреляционные функции для недренированной прочности на сдвиг  $c_u$ . Они являются функциями относительного расстояния между двумя разными глубинами, которое в корреляционной функции обычно определяется как вертикальный интервал сбора данных (vertical lag) [38]. Сплошная черная линия обозначает теоретическую корреляцию, оцененную с использованием уравнения (7), а пунктирная черная линия соответствует среднему по трем скважинам. Самый подходящий (best-fit) вертикальный интервал корреляции флуктуаций  $\theta_v$  определяется с помощью формулы (10). Средняя оценка  $\theta_v$  для недренированной прочности на сдвиг на основе данных, представленных на рисунке 17, составила 1,89 м.

На рисунке 18 показаны аналогичным образом полученные вертикальные интервалы корреляции флуктуаций  $\theta_v$  модулей сдвига  $G_s$  при различных сдвиговых деформациях в недренированных условиях. Видно, что средняя оценка  $\theta_v$  для  $G_{s,0.1\%}$  составила 0,74 м; для  $G_{s,1\%}$  и  $G_{s,5\%}$  они оказались равными 1,53 и 1,62 м соответственно. Это более четко говорит

о том, что при изменении деформации от малой (например, 0,1%) до большой (например, 1; 5%) поведение грунта сильно изменяется, при этом вертикальный интервал корреляции флуктуаций  $\theta_v$  увеличивается более чем в два раза. При этом, когда деформация растет от 1 до 5%, величина  $\theta_v$  практически не меняется. Это также может указывать на то, что, когда деформация увеличивается более чем на 1%, достигается стабильное состояние грунта (как уже отмечалось ранее), но при косвенном суммировании вертикальных корреляционных интервалов для модулей сдвига при различных сдвиговых деформациях. При этом следует отметить, что пространственная корреляция в вертикальном направлении для модуля сдвига при малых деформациях должна быть значительно меньше, чем для недренированной сдвиговой прочности, о чем говорит сравнение значений  $\theta_v$ .

## ВЫВОДЫ ►

В этой статье представлена всесторонняя интерпретация результатов испытаний самозабуривающимся прессиометром (SBPM) в озерных глинистых отложениях озера Тайху, (Китай). Анализировались такие параметры, как начальное (природное) горизонтальное напряжение грунта, прочность на сдвиг в недренированных условиях и модуль сдвига. Сравнение величин недренированной сдвиговой прочности, полученных с помощью прессиометрических испытаний, с полученными в лаборатории, а также рассмотрение аналитических решений по распределению начального давления поровой воды подтвердили достаточную точность результатов испытаний SBPM.

Что касается модуля сдвига, то в целом наблюдалась тенденция к его увеличению с глубиной, что в основном связано с давлением вышележащей толщи грунта. Однако было выявлено, что деформация оказывает большое влияние на значение модуля, что может замедлить скорость его увеличения (то есть по мере роста деформации тенденция к увеличению модуля постепенно уменьшается). Показано, что когда деформация под нагрузкой растет, модуль сдвига быстро снижается. Но когда деформация превысит 1%, модуль станет постоянным. Модули сдвига для циклов «разгрузка – повторное нагружение» в основном находятся в диапазоне деформаций 1–3,2% и поэтому могут считаться небезопасными, особенно при проектировании фундаментов, где изменения деформаций обычно очень малы.

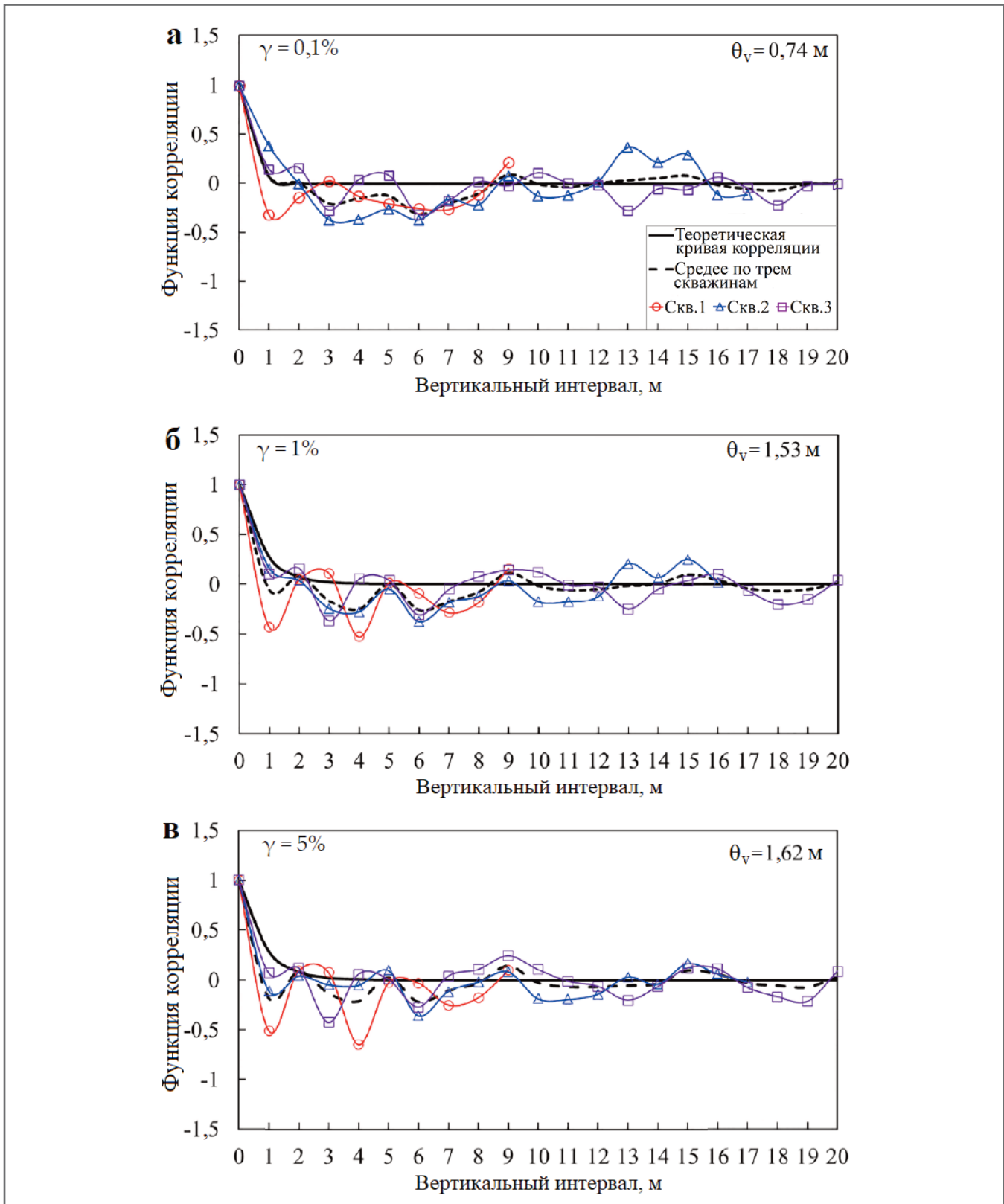


Рис. 18. Теоретические и эмпирические корреляционные функции для секущего модуля сдвига  $G_s$  при недренированных сдвиговых деформациях 0,1% (а); 1% (б) и 5% (в) на основе испытаний самозабуривающимся прессиометром в скважинах 1, 2 и 3. Оцененные вертикальные интервалы корреляции  $\theta_v$  для  $G_s$  составили соответственно 0,74 м (а); 1,53 м (б) и 1,62 м (в)

В статье приведены зависимости между секущим модулем сдвига и числом пластичности. Установлено, что чем больше число пластичности, тем выше модуль сдвига, а вместе с тем и скорость его уменьшения. Статистический анализ прессиометрических пара-

метров показал, что недренированная сдвиговая прочность подчиняется лог-нормальному распределению, а модуль сдвига – нормальному. Кроме того, суммируя интервалы корреляции флуктуаций для секущего модуля сдвига при различных сдвиговых деформа-

циях, также можно наблюдать отчетливое влияние деформации на изменения модуля, а пространственная корреляция по вертикали для модуля сдвига при малых деформациях должна быть намного меньше, чем для недренированной прочности на сдвиг. **И**

**Источник для адаптированного перевода ►**

Wang B., Liu K., Wang Y., Jiang Q. Site investigations of the lacustrine clay in Taihu Lake, China, using self-boring pressuremeter test // *Sensors* (Special Issue "Fault Detection and Data Analysis for Structure and Infrastructure Engineering"). 2021. Vol. 21 (6026). DOI: doi.org/10.3390/s21186026. URL: mdpi.com/1424-8220/21/18/6026.

**Список литературы, использованной авторами переведенной статьи ►**

1. Benoit J., Clough G.W. Self-boring pressuremeter tests in soft clay // *J. Geotech. Eng.* 1986. Vol. 112. P. 60–78.
2. Fahey M., Carter J.P. A finite element study of the pressuremeter test in sand using a nonlinear elastic plastic model // *Can. Geotech. J.* 1993. Vol. 30. P. 348–362.
3. Baquelin F., Jezequel J.F., Shields D.H. *The pressuremeter and foundation engineering.* Clausthal-Zellerfeld, Germany: Trans Tech Publications, 1978.
4. Lv J., Zhou T., Du Q., Wu H. Experimental investigation on properties of gypsum-quicklime-soil grout material in the reparation of earthen site cracks // *Constr. Build. Mater.* 2017. Vol. 15. P. 253–262.
5. Worth C.P., Hughes J.M.O. An instrument for the in-situ measurement of the properties of soft clays // *Proc. 8th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.* 1973. Vol. 12. P. 487–494.
6. Clarke B.G. *In situ testing of clay using Cambridge self-boring pressuremeter: Ph.D. thesis.* Cambridge, UK: Cambridge University, 1981.
7. Mair R.J., Wood D.M. *Pressuremeter testing: methods and interpretation.* London, UK; New York, NY, USA: Butterworths, Construction Industry Research and Information Association, 1987.
8. Palmer A.C. Undrained plane strain expansion of a cylindrical cavity in clay: a simple interpretation of the pressuremeter test // *Geotechnique.* 1972. Vol. 22. P. 451–457.
9. Ladanyi B. In-situ determination of undrained stress-strain behaviour of sensitive clays with the pressuremeter // *Can. Geotech. J.* 1972. Vol. 9. P. 313–319.
10. Baguelin F., Jezequel J.F., Lemee E., Le Mehaute A. Expansion of cylindrical probes in cohesive soils // *J. Soil Mech. Found. Div. ASCE*, 1972. Vol. 98. P. 1129–1142.
11. Houlsby G.T., Withers N.J. Analysis of the cone pressuremeter test in clay // *Geotechnique.* 1988. Vol. 38. P. 575–587.
12. Jefferies M.G. Determination of horizontal geostatic stress in clay with the self-bored pressuremeter // *Can. Geotech. J.* 1988. Vol. 25. P. 559–573.
13. Bellotti R., Ghionna V., Jamiolkowski M., Robertson P.K., Peterson R.W. Interpretation of moduli from self-boring pressuremeter tests in sand // *Geotechnique.* 1989. Vol. 39. P. 269–292.
14. Ferreira R.S., Robertson P.K. Interpretation of undrained self-boring test results incorporating unloading // *Can. Geotech. J.* 1992. Vol. 29. P. 918–928.
15. Ferreira R.S., Robertson P.K. Large-strain undrained pressuremeter interpretation based on loading and unloading data // *Can. Geotech. J.* 1994. Vol. 31. P. 71–78.
16. Schnaid F., Ortigao J.A., Mantaras F.M., Cunha R.P., Macgregor I. Analysis of self-boring pressuremeter (SBPM) and Marchetti dilatometer (DMT) tests in granite saprolites // *Can. Geotech. J.* 2000. Vol. 37. P. 796–810.
17. Silvestri V. Assessment of self-boring pressuremeter tests in sensitive clay // *Can. Geotech. J.* 2003. Vol. 40. P. 362–387.
18. Kayabasi A. Prediction of pressuremeter modulus and limit pressure of clayey soils by simple and non-linear multiple regression techniques: a case study from Mersin, Turkey // *Environ. Earth Sci.* 2012. Vol. 66. P. 2171–2183.
19. Whittle R.W., Liu L. A method for describing the stress and strain dependency of stiffness in sand // *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France, 2–6 September 2013.*
20. Mehdi A.M., Ehsan K. Interpretation of in situ horizontal stress from self-boring pressuremeter tests in sands via cavity pressure less than limit pressure: a numerical study // *Environ. Earth Sci.* 2017. Vol. 76. P. 333.
21. Christian J.T., Baecher G.B. Probabilistic foundation settlement on spatially random soil // *J. Geotech. Geoenviron.* 2003. Vol. 129. P. 866.
22. Santoso A.M., Phoon K.K., Quek S.T. Effects of soil spatial variability on rainfall-induced landslides // *Comput. Struct.* 2011. Vol. 89. P. 893–900.
23. Li Y., Hicks M.A., Nuttall J.D. Comparative analyses of slope reliability in 3D // *Eng. Geol.* 2015. Vol. 196. P. 12–23.
24. Firouzianbandpey S., Griffiths D.V., Ibsen L.B., Andersen L.V. Spatial correlation length of normalized cone data in sand: case study in the north of Denmark // *Can. Geotech. J.* 2014. Vol. 51. P. 844–857.
25. De Gast T., Vardon P.J., Hicks M.A. Estimating spatial correlations under man-made structures on soft soils // *Geo-Risk.* 2017. P. 382–389.
26. Bolton M.D., Whittle R.W. A non-linear elastic / perfectly plastic analysis for plane strain undrained expansion tests // *Geotechnique.* 1999. Vol. 49. P. 133–141.
27. Gibson R.E., Anderson W.F. In situ measurement of soil properties with the pressuremeter // *Civ. Eng. Public Work. Rev.* 1961. Vol. 56. P. 615–618.

28. Ching J., Phoon K.K. Multivariate distribution for undrained shear strengths under various test procedures // *Can. Geotech. J.* 2013. Vol. 50. P. 907–923.
29. Li L., Wang Y., Cao Z. Probabilistic slope stability analysis by risk aggregation // *Eng. Geol.* 2014. Vol. 176. P. 57–65.
30. Li D.Q., Zheng D., Cao Z.J., Tang X.S., Phoon K.-K. Response surface methods for slope reliability analysis: review and comparison // *Eng. Geol.* 2016. Vol. 203. P. 3–14.
31. Liu L.-L., Deng Z.-P., Zhang S.-H., Cheng Y.-M. Simplified framework for system reliability analysis of slopes in spatially variable soils // *Eng. Geol.* 2018. Vol. 239. P. 330–343.
32. Kulhawy F.H., Roth M.J.S., Grigoriu M.D. Some statistical evaluations of geotechnical properties // *Proceedings of the 6th International Conference on Applied Statistics Probability in Civil Engineering (ICASP6), Mexico City, Mexico, 17–21 June 1991.*
33. Griffiths D.V., Fenton G.A. Probabilistic slope stability analysis by finite elements // *J. Geotech. Geoenvironmental. Eng.* 2004. Vol. 130. P. 507–518.
34. Griffiths D.V., Huang J., Fenton G.A. Influence of spatial variability on slope reliability using 2-d random fields // *J. Geotech. Geoenviron.* 2009. Vol. 135. P. 1367–1378.
35. Griffiths D.V., Yu X. Another look at the stability of slopes with linearly increasing undrained strength // *Geotechnique.* 2015. Vol. 65. P. 824–830.
36. Shui-Hua J., Jinsong H. Modeling of non-stationary random field of undrained shear strength of soil for slope reliability analysis // *Soils Found.* 2018. Vol. 58. P. 185–198.
37. Jaksa M.B. The influence of spatial variability on the geotechnical design properties of a stiff over-consolidated clay: Ph.D. thesis. Adelaide, Australia: University of Adelaide, 1995.
38. Vanmarcke E.H. Probabilistic modeling of soil profiles // *ASCE J. Geotech. Eng.* 1977. Vol. 103. P. 1227–1246.

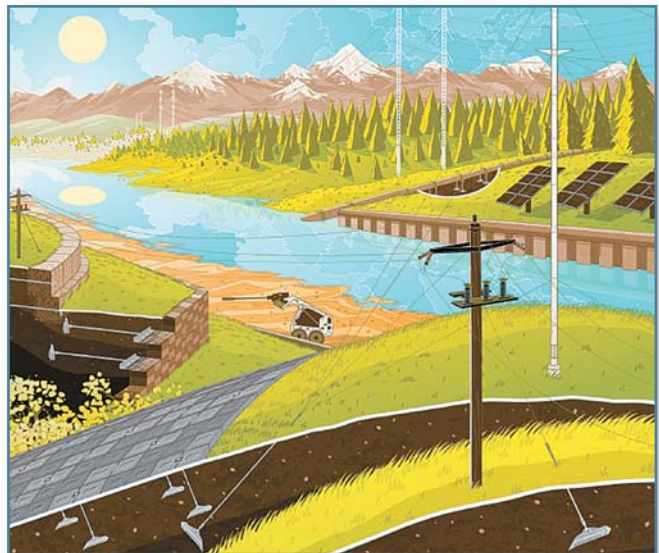


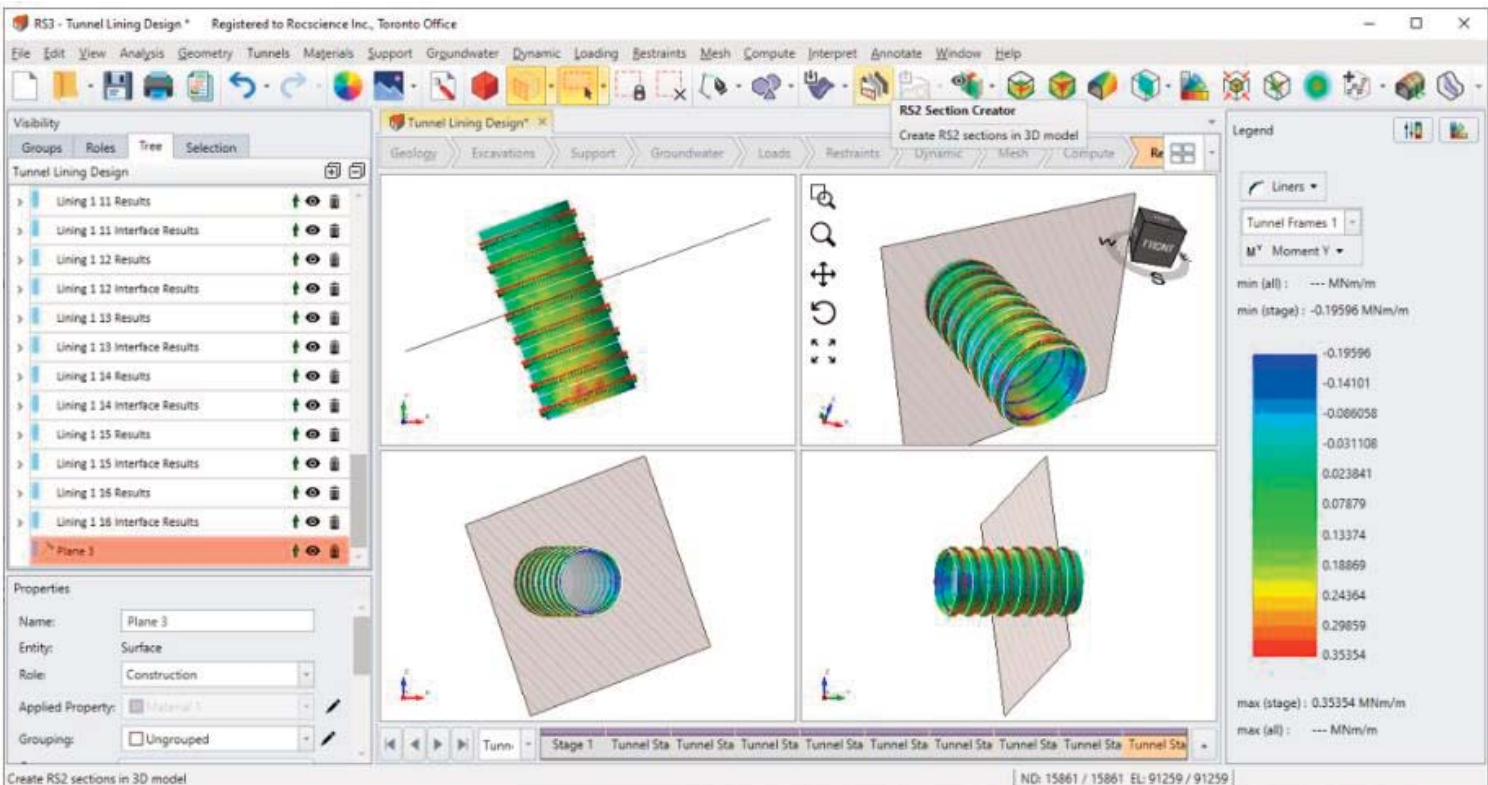
## КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ТЕРРИТОРИИ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ВСЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ

- Противооползневая, противоселевая и противолавинная защита транспорта и инфраструктуры
- Организация поверхностного стока
- Укрепление и озеленение откосов
- Создание систем инженерной защиты от эрозионных и оползневых процессов в условиях сложной геоморфологии
- Закрепление подпорных стен, откосов котлованов и траншей
- Поверхностная стабилизация склонов

119270, Москва,  
Лужнецкая набережная,  
10А, строение 2, офис 2  
info@petromodeling.com  
+7 (495) 212-12-16

[WWW.PETROMODELING.COM](http://WWW.PETROMODELING.COM)





Заглавное фото: [6]

# В ПРОГРАММЕ **ROCSCIENCE RS3** ПОЯВИЛАСЬ ВОЗМОЖНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ РАБОТЫ В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА  
«ГЕОИНФО»**  
info@geoinfo.ru

**ООО «СОВРЕМЕННЫЕ  
ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»  
(ADVANCED SURVEY  
TECHNOLOGIES) – ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ КОМПАНИИ  
ROCSCIENCE В РОССИИ**  
info@geoast.pro

Компания Rocscience, основанная в 1996 году на базе Университета Торонто в Канаде, является одним из мировых лидеров по разработке, усовершенствованию и распространению 2D и 3D программного обеспечения для инженеров-строителей, горных инженеров, инженеро-геологов и геотехников. На сайте данной компании некоторое время назад появилась заметка Даниэля Вая (Daniel Wai) «Локальные координаты фрагментов обделки (систем крепления) выработок в программе RS3» [9]. Предлагаем вниманию читателей ее адаптированный перевод с привлечением дополнительных материалов.

Консультационную помощь редакции оказали сотрудники ООО «Современные Изыскательские Технологии» – официального представителя компании Rocscience в России.

## ВВЕДЕНИЕ ►

RS3 – это универсальная программа для трехмерного анализа напряжений методом конечных элементов, которая подходит для скальных и дисперсных грунтов и может использоваться для проектирования котлованов, фундаментов, подземных горных выработок, карьеров, систем их крепления, для оценки устойчивости склонов и откосов, анализа величин фильтрации и степени консолидации грунтов и многого другого. Эта программа хорошо известна своими возможностями создания и анализа сложных 3D-моделей на основе мощного комплекса функций, используемых для надежного проектирования [1, 2, 8].

Команда компании Rocscience постоянно работает над тем, чтобы сделать работу в программе RS3 более динамичной и надежной. Добавление в нее последней по времени функции, о которой пойдет речь далее, было выполнено по просьбе некоторых пользователей.

## КООРДИНАТЫ ФРАГМЕНТОВ ОБДЕЛКИ (СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ) ВЫРАБОТОК ►

RS3 использует декартову систему координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Но, как правило, модели и результаты их анализа отображаются в глобальной системе координат. Поэтому раньше при анализе поведения фрагментов систем крепления насыпных сооружений, котлованов, подземных выработок (например, обделки тоннелей) и пр., которые не были выровнены в соответствии с глобальной системой координат, нужно было сначала экспортировать результаты из RS3, потом вручную конвертировать их в желаемую локальную систему координат, а затем использовать полученные значения для проектирования. Этот процесс был трудоемким и периодически допускал ошибки. Кроме того, было обнаружено, что экспортировать данные по обделке в критических местах сложно и часто требуется экспортировать их для большой области, по которой будет выполняться постобработка для анализа только ключевых фрагментов данных.

Но последняя версия RS3 уже позволяет непосредственно определять и просматривать результаты по фрагментам обделки в локальной системе координат и добавлять их в модель, не влияя на результаты расчетов. Этот дает возможность лучше анализировать перемещения, осевые силы, силы сдвига и изгибающие моменты.

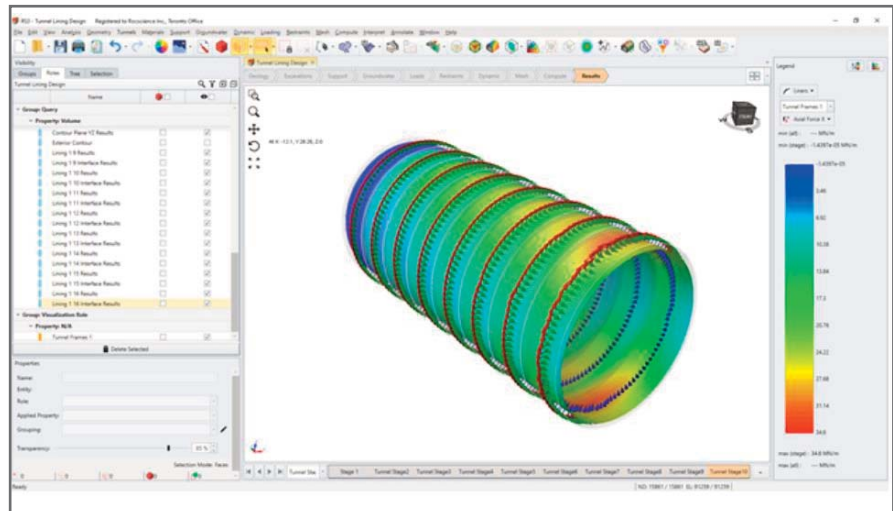


Рис. 1. Группа фрагментов обделки тоннеля в локальной системе координат с показанным распределением продольных (осевых) усилий в соответствии с цветовой шкалой [9]

## ВВЕДЕНИЕ ФУНКЦИИ LINER LOCAL COORDINATES («ЛОКАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ ФРАГМЕНТОВ ОБДЕЛКИ») ►

Наличие результатов компоновки фрагментов обделки в локальной системе координат позволяет лучше анализировать модели и проекты на их основе. А поскольку анализ для оптимизации проектов выполняется итеративно, возможность добавления локальных координат фрагментов обделки является жизненно важным инструментом, который поможет ускорить процесс проектирования.

## ПРЕИМУЩЕСТВА НОВОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ►

Для проектирования смещений фрагментов обделки выработок наиболее полезно анализировать действующие на них осевые силы, силы сдвига и изгибающие моменты в локальных системах координат. Например, когда речь идет о тоннеле, полезно преобразовать результаты по обделке в локальную систему координат, которую в последней версии RS3 можно легко определить. Инженеры также могут воспользоваться преимуществами новых опций запроса тех или иных линий фрагментов обделки, чтобы лучше анализировать данные для критических участков.

## КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ НОВОЙ ВОЗМОЖНОСТЬЮ? ►

### Определение локальных координат обделки

Надо выбрать в меню программы (Support Menu) пункт Liners («Фрагменты обделки»), а затем пункт Define Liner

Local Coordinates («Определить локальные координаты фрагмента обделки»). Есть два способа определить локальные координаты.

1. С помощью опции Define Liner Local Coordinates («Определить локальные координаты фрагментов обделки») для всех фрагментов обделки определяется одна локальная система координат, что полезно, например, для проектирования подпорных стенок, имеющих одну ориентацию для всей модели (более подробное пошаговое описание действий в этом случае можно посмотреть по ссылкам [3, 5]).

2. С помощью опции Define Liner Local Coordinates for Tunnels («Определить локальные координаты фрагментов обделки для тоннелей») определяется набор локальных систем координат для выбранных сечений на основе ориентации каждого из них, что полезно, например, для проектирования тоннелей (рис. 1) (более подробное пошаговое описание действий в этом случае можно посмотреть по ссылкам [4, 5]).

### Запрос данных об обделке

Также можно просмотреть результаты по обделке и запросить данные по ней в локальной системе координат, используя одну из следующих опций.

1. Add liner line query («Запрос на добавление линии обделки»), чтобы преобразовать запрос на любую линию в запрос на линию на обделке.

2. Add liner line query at intersection («Запрос на добавление линии сечения обделки»), чтобы получить линию на пересечении обделки какой-либо плоскостью (рис. 2).

3. Add liner line query to surface («Запрос на добавление линии обделки на поверхность»), чтобы получить линию, созданную путем проецирования полилинии (кусочно-линейной кривой) на поверхность.

Следует отметить, что компания Rocscience составила руководство по процессу определения локальных координат обделки для модели тоннеля, с которым можно ознакомиться по ссылке [6].

### Как можно получить доступ к локальным координатам обделки в RS3?

Итак, в последней версии программы RS3 теперь имеется возможность анализа и редактирования поведения обделок (систем крепления) выработок в локальных системах координат на основе соответствующей функции определения локальных координат (Liner Local Coordinates). К этой функции можно получить доступ, если у вас есть бессрочная лицензия на RS3 с активной подпиской на техническую поддержку и техническое обслуживание Maintenance+ или лицензия на аренду RS3. Но если вы хотите для начала только попытаться поработать в последней версии RS3 и проверить, подходит ли она вам, то запросите в компании Rocscience бесплатное пробное предложение на 15 дней (по ссылке [7]).

### Источники

1. [geoast.pro/rs3](http://geoast.pro/rs3).
2. [geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/integraciya-geotekhnicheskikh-programm-ot-kompanii-rocscience-obleghaet-proektno-izyskatelskie-raboty-46822.shtml](http://geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/integraciya-geotekhnicheskikh-programm-ot-kompanii-rocscience-obleghaet-proektno-izyskatelskie-raboty-46822.shtml).
3. [rocscience.com/help/rs3/documentation/support-2/assign-liners/liner-local-coordinates/define-liner-local-coordinates](http://rocscience.com/help/rs3/documentation/support-2/assign-liners/liner-local-coordinates/define-liner-local-coordinates).
4. [rocscience.com/help/rs3/documentation/support-2/assign-liners/liner-local-coordinates/define-liner-local-coordinates-for-tunnels](http://rocscience.com/help/rs3/documentation/support-2/assign-liners/liner-local-coordinates/define-liner-local-coordinates-for-tunnels).
5. [rocscience.com/help/rs3/documentation/support-2/assign-liners/liner-local-coordinates/liner-local-coordinates-overview](http://rocscience.com/help/rs3/documentation/support-2/assign-liners/liner-local-coordinates/liner-local-coordinates-overview).
6. [rocscience.com/help/rs3/tutorials/support/liner-local-coordinates](http://rocscience.com/help/rs3/tutorials/support/liner-local-coordinates).
7. [rocscience.com/software/free-trials](http://rocscience.com/software/free-trials).
8. [rocscience.com/software/rs3](http://rocscience.com/software/rs3).
9. Wai D. Liner local coordinates in RS3 // Rocscience. Feb. 17, 2022. URL: [rocscience.com/learning/liner-local-coordinates-in-rs3?utm\\_medium=email&utm\\_source=rocnews&utm\\_campaign=February2022](http://rocscience.com/learning/liner-local-coordinates-in-rs3?utm_medium=email&utm_source=rocnews&utm_campaign=February2022).

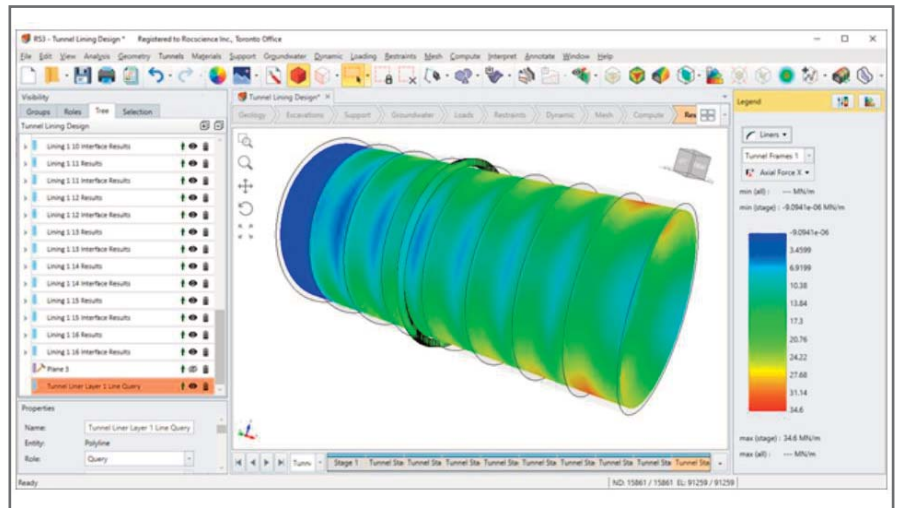


Рис. 2. Линии на группе фрагментов обделки тоннеля, проведенные вокруг критического участка с использованием опции Add liner line query at intersection («Запрос на добавление линии сечения обделки») [9]

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компания Rocscience постоянно работает над усовершенствованием разрабатываемого в ней программного обеспечения, регулярно вводя в него новые функции для решения самых сложных геотехнических задач. Это дает возможность пользователям всегда быть в авангарде работы в области геотехники, в том числе при использовании программы RS3 для трехмерного конечноэлементного моделирования и анализа напряжений в массивах скальных и дисперсных грунтов при проектировании подземных сооружений открытого и закрытого типа, для оценки

устойчивости склонов и откосов, для анализа степени консолидации отложений, фильтрационных процессов в грунтовых массивах и насыпных сооружениях и пр.

Команда Rocscience надеется, что последняя версия RS3 с добавленной в нее функцией Liner Local Coordinates («Локальные координаты фрагментов обделки») позволит геотехникам и проектировщикам работать более динамично и безошибочно благодаря гораздо более простой возможности анализировать поведение участков обделки (систем крепления) выработок, склонов и насыпных сооружений в локальных системах координат.

Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал

# ГеоИнфо

• Новости • Статьи • Обсуждения •





# АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»

## ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

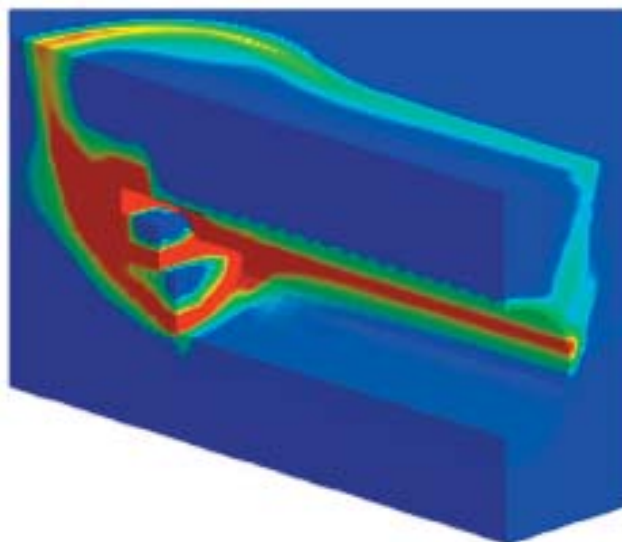
Лаборатория оснащена отечественным и зарубежным оборудованием последнего поколения по всем направлениям деятельности лаборатории: испытания дисперсных, скальных, мерзлых грунтов и геокомпозитов.

На постоянной основе работают курсы повышения квалификации для экспертов в области геотехники.

Организован постоянный доступ супервайзеров и общедоступная онлайн трансляция работы лаборатории на портале Геоинфо и сайте лаборатории.



**MDGT.RU**



Источник изображения: [1]  
(The image source: [1])

## СТРАТЕГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЯ МЕТОДОМ НАМТ В ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТАХ В г. САН-ПАУЛУ (БРАЗИЛИЯ). Часть 2

Переводная статья

### ВИТАЛИ О.П.М.

Университет Сан-Паулу (USP), г. Сан-Паулу,  
Бразилия, ортvitali@gmail.com  
Адрес: Бразилия, 05508-220, шт. Сан-Паулу,  
г. Сан-Паулу, район Бутанта, ул. Реитория,  
д. 374, Университетский городок  
Университет Пердью, г. Уэст-Лафайетт, США,  
ортvitali@gmail.com  
Адрес: США, 47907, штат Индиана,  
г. Уэст-Лафайетт, Университет Пердью

### СЕЛЕСТИНО Т.Б.

Инженерный институт Сан-Карлоса  
Университета Сан-Паулу (EESC/USP),  
г. Сан-Карлос, Бразилия  
Адрес: Бразилия, 13566-590, шт. Сан-Паулу;  
г. Сан-Карлос; ул. Траладор-сан-карленси,  
д. 400

### БОБЕТ А.

Университет Пердью, г. Уэст-Лафайетт, США  
Адрес: США, 47907, штат Индиана,  
г. Уэст-Лафайетт, Университет Пердью

### АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей вторую часть немного сокращенного адаптированного перевода статьи «Стратегии строительства тоннеля методом НАМТ в коре выветривания в г. Сан-Паулу (Бразилия)» [1], опубликованной на английском языке в журнале *Underground Space* в 2022 году. Ее авторами являются специалисты из Бразилии и США Освальдо Витали, Тарсизио Селестино и Антонио Бобет. Перевод выполнен Константином Скоробогатько – руководителем технического отдела ООО «МИДАС» (российского представительства южнокорейской компании MIDAS IT) и публикуется в журнале «Геоинфо» с разрешения авторов оригинальной статьи, ссылка на которую приведена в конце.

Тоннели в городских условиях часто приходится прокладывать в слабых грунтах на небольшой глубине под наземными или заглубленными зданиями и сооружениями. При этом выемка бывает ограничена минимально допустимыми деформациями грунта. Все это усложняет проектирование и строительство. В подобных ситуациях широко и успешно применяется новый австрийский метод тоннелестроения (НАМТ).

В переведенной статье проанализированы данные по строительству тоннеля «Параисо» системы метро бразильского города Сан-Паулу. Численное моделирование для этого тоннеля выполнялось в 3D постановке с использованием такой комплексной геомеханической (конститутивной) модели, как модель упрочняющегося грунта (Hardening Soil Model), в конечноэлементном программном комплексе midas GTS NX от компании MIDAS IT.

Полученные результаты предоставили качественную и количественную информацию о деформировании грунта, вызванном проходкой тоннеля методом НАМТ в пористых грунтах коры выветривания, и могут помочь проектировщикам и подрядчикам в выборе оптимальных методов создания подобных сооружений в похожих условиях для минимизации деформаций грунта.

В первой части перевода, опубликованной в предыдущем номере, были рассмотрены ключевые характеристики нового австрийского метода тоннелестроения (НАМТ), особенности его применения в тропических регионах, общая информация о проекте строительства

тоннеля «Параисо» в г. Сан-Паулу, данные о калибровке модели окружающего его грунта и численное моделирование строительства тоннеля и поведения вмещающего его грунтового массива.

Сегодня публикуем вторую часть перевода, в которой на примере тоннеля «Параисо» будет рассмотрена оценка воздействия различных стратегий строительства тоннелей новым австрийским методом на деформации грунта и устойчивость забоя, а в конце будут сделаны общие выводы.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

тоннель; новый австрийский метод тоннелестроения (НАМТ); грунты коры выветривания; элювиальные грунты; метод конечных элементов (МКЭ); трехмерные воздействия забоя; деформации грунта; устойчивость забоя

#### ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Витали О.П.М., Селестино Т.Б., Бобет А. Стратегии строительства тоннеля методом НАМТ в элювиальных грунтах в г. Сан-Паулу (Бразилия). Часть 2 (пер. с англ.) // ГеоИнфо. 2022. № №6 С. 34–45

# CONSTRUCTION STRATEGIES FOR A NATM TUNNEL IN SAO PAULO, BRAZIL, IN RESIDUAL SOIL. Part 2

*Translated paper*

#### OSVALDO P. M. VITALI

University of Sao Paulo (USP), Sao Paulo, Brazil, opmvitali@gmail.com  
Address: 374 R. da Reitoria, Cidade Universitaria, Butanta, Sao Paulo, SP, 05508-220, Brazil

#### TARCISIO B. CELESTINO

Sao Carlos Engineering School, University of Sao Paulo (EESC/USP), Sao Carlos, Brazil, diretoria@eesc.usp.br  
Address: 400 Avenida Trabalhador sao-carlense, Sao Carlos, SP, EdifTcio E-1, 13566-590, Brazil

#### ANTONIO BOBET

Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA  
Address: Purdue University, West Lafayette, IN, 47907, USA

#### ABSTRACT

We bring to the attention of our readers a slightly abridged and adapted translation of the article "Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil" [1], published in English in the *Underground Space* journal in 2022. The authors of it are specialists from Brazil and from the USA. They are Osvaldo Vitali, Tarcisio Celestino, and Antonio Bobet. The abridged and adapted translation was made by Konstantin Skorobogat'ko who is the head of the Technical Department of MIDAS LLC (the Russian agency of MIDAS IT, which is a South Korean company). It is published in the *Geoinfo* journal with the permission of the authors of the original paper, the reference to which is given at the end.

Tunnels in urban areas often have to be constructed in soft soils at shallow depths under above-ground buildings and structures or buried ones. At that, the excavation is limited by the minimum permissible soil deformations. All those conditions complicate the design and construction in urban territories. In such situations, the New Austrian Tunneling Method (NAMT) is widely and successfully used.

The translated article analyzes the data on the construction of the Paraiso tunnel of the subway system of the Brazilian city of Sao Paulo. Numerical modeling for this tunnel was performed in 3D using such a complex geomechanical (constitutive) model as the Hardening Soil Model in the midas GTS NX finite element program from MIDAS IT company.

The obtained results have provided qualitative and quantitative information about the soil deformations caused by tunneling in porous residual soils with the use of the NAMT method. And they can help designers and contractors choose the best methods for creating similar structures in similar conditions to minimize soil deformations.

The first part of the translation, which was published in the previous issue, considered the key characteristics of the New Austrian Tunneling Method (NAMT), the features of its application in tropical regions, general information about the construction project of the Paraiso tunnel in Sao Paulo, data on the calibration of the model of the surrounding soil, and numerical modeling of the tunnel and enclosing soil mass.

Today, we are publishing the second part of the translation, which will consider the assessment of the impact of various tunneling strategies using the NATM on the surrounding soil deformations and face stability (by the example of the Paraiso tunnel). And general conclusions will be given at the end.



**KEYWORDS:**

tunnel; New Austrian Tunneling Method (NATM); residual soil; finite element method (FEM); 3D face effects; soil deformation; face stability

**FOR CITATION:**

Vitali O.P.M., Celestino T.B., Bobet A. Strategii stroitel'stva tonnelya metodom NAMT v eluvial'nyh gruntah v g. San-Paulu (Braziliya). Part 2 (per. s angl.) [Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil. Part 2 (translated from English)]. Geoinfo. 2022. №: 34–45

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ** ▶

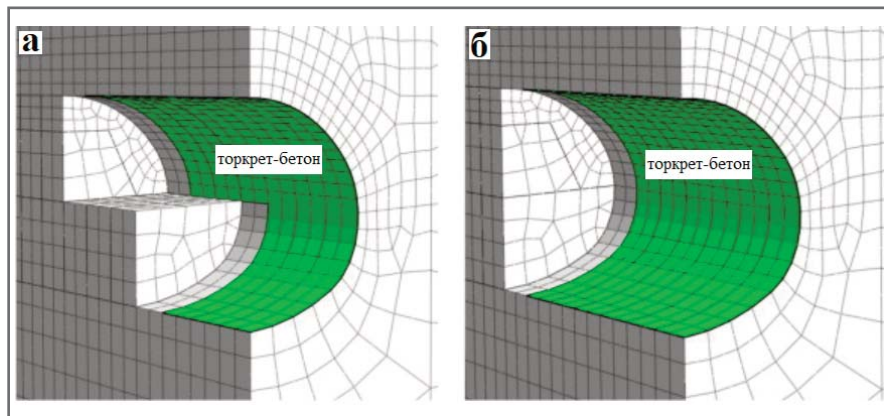
Была проведена оценка воздействия разных схем строительства тоннеля «Параисо» на деформации грунта и на устойчивость забоя. Были получены численные модели разных вариантов строительства, которые были сопоставлены с результатами реальных измерений при строительстве тоннеля.

Устойчивость забоя оценивалась при помощи анализа методом понижения прочности (Strength Reduction Analysis (MIDAS, 2019)). Он сходен с анализом предельного равновесия и предусматривает постепенное снижение параметров прочности грунта вплоть до разрушения. Он был выполнен численным методом после окончания последней фазы трехмерного конечноэлементного анализа с учетом того, что поведение элювиальной красной пористой глины можно представить идеально-упругопластической моделью с критерием прочности Кулона (моделью Мора – Кулона) с уже упоминавшимися ранее параметрами прочности ( $\varphi = 30^\circ$  град.,  $c = 30$  кПа). Следует отметить, что модель Мора – Кулона использовалась только для оценки устойчивости забоя, потому что анализ методом понижения прочности не может быть выполнен с использованием модели упрочняющегося грунта. Все численные расчеты для оценки напряжений в грунте и осадок дневной поверхности, представленные в данной статье, были проведены с учетом модели упрочняющегося грунта с откалиброванными параметрами для элювиальной красной пористой глины.

Тоннели, созданные новым австрийским методом, обычно постоянно имеют уступы на забое, что снижает деформации грунта и повышает устойчивость забоя. На забое тоннеля «Параисо» было два уступа (см. рис. 1, б).

Еще одним общепринятым решением по уменьшению деформаций грунта является уменьшение длины незакрепленного участка и увеличение жесткости обделки. Эти меры широко применяются на практике.

Кроме того, для снижения деформаций, вызванных строительством тоннеля,



**Рис. 13.** Трехмерные конечноэлементные модели для изучения влияния уступной выемки грунта: а – забой только с нижним уступом (по сравнению с основным вариантом, см. рис. б); б – сплошной забой (раскрытие забоя на полное сечение за один прием)

можно использовать методы усиления вмещающих эти тоннели грунтов, например метод ADECO-RS (Analysis of Controlled Deformation in Rocks and Soils – «Анализ управляемых деформаций в скальных и дисперсных грунтах»), который основывается на обширном усилении грунта и раскрытии сплошного забоя на полное сечение за один прием (Volkman, Schubert, 2007).

Далее будут рассмотрены эти упомянутые выше стратегии:

1) выемка грунта и устройство обделки по частям с созданием и сохранением уступов на забое в процессе проходки тоннеля;

2) уменьшение длины незакрепленного участка тоннеля и увеличение жесткости обделки;

3) усиление вмещающего грунта методом создания так называемой зонтичной крепи вокруг свода (зонтичную крепь, иногда опережающую выемку, часто используют при строительстве тоннелей мелкого заложения в полускальных, дисперсных и слабоустойчивых грунтах в виде окружающих свод «экранов» из труб, бетона, стабилизированного грунта или др. – *Ред.*).

**Выемка грунта на забое** ▶

Как уже отмечалось, при проходке тоннеля «Параисо» на забое присутствовали два уступа (см. рис. 1, б).

Нижний уступ служил поддержкой для верхнего.

Чтобы изучить эффективность уступной выемки грунта (ее влияние на устойчивость забоя и на предельные смещения грунта), в дополнение к основному варианту с двумя уступами на забое, примененному при проходке тоннеля «Параисо» (см. рис. б), было проанализировано еще три разных сценария, таких как:

1) выемка без верхнего уступа,  
2) выемка вообще без уступов (с раскрытием сплошного забоя на полное сечение за один прием);

3) выемка на забое по частям или за один прием с предотвращением осевых смещений грунта в зоне забоя тоннеля.

Рисунок 13 иллюстрирует использованные трехмерные конечноэлементные модели. На рисунке 13, а показан тоннель без верхнего уступа на забое, а на рисунке 13, б – вообще без уступов. Следует обратить внимание на то, что выемка с раскрытием сплошного забоя на полное сечение за один прием позволяет создать первичную обделку раньше.

На рисунке 14 представлены осадки дневной поверхности в зависимости от продольного расстояния от забоя (см. рис. 14, а) и от поперечного горизонтального расстоянием от вертикальной оси тоннеля (см. рис. 14, б) для разных

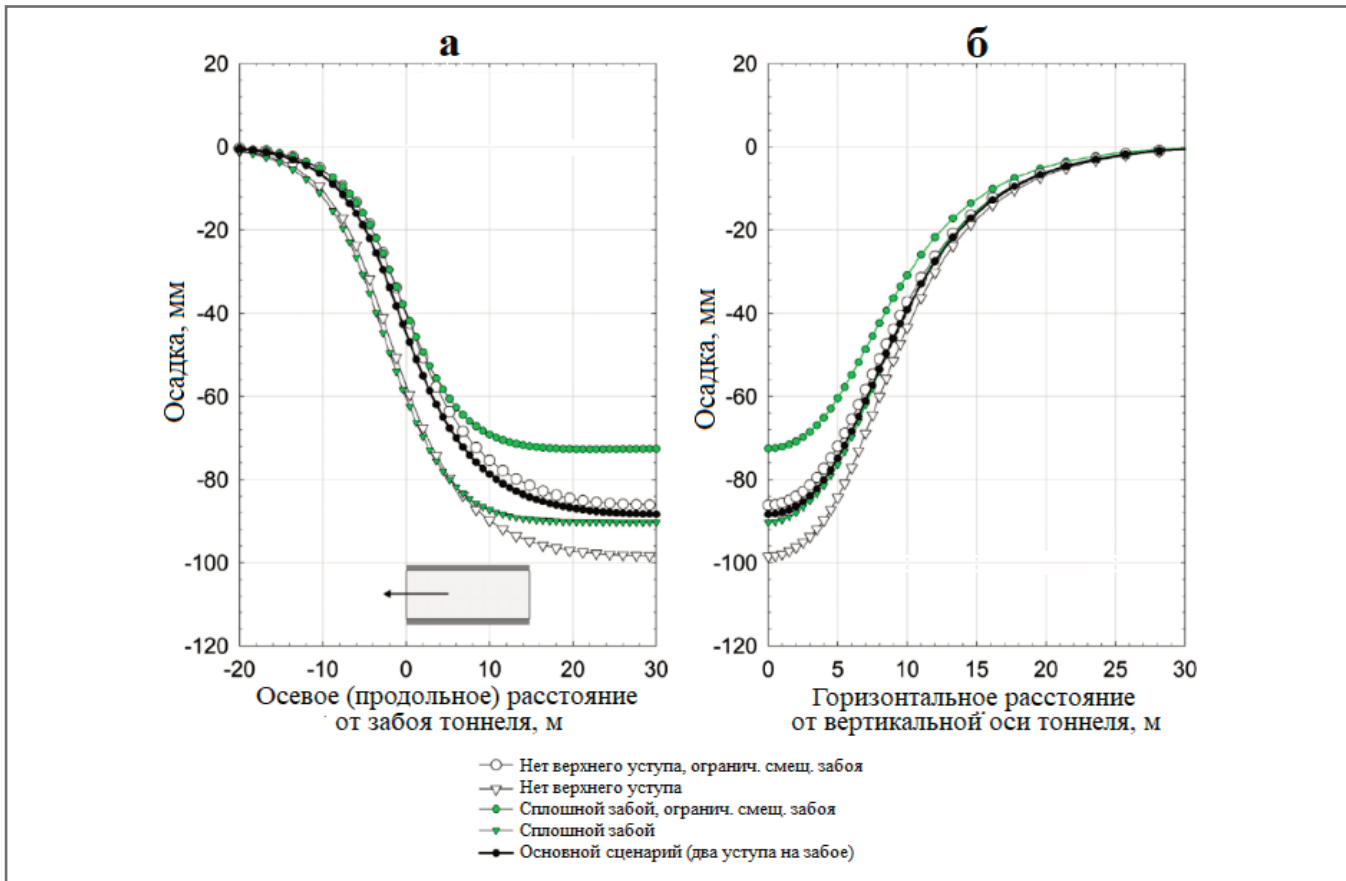


Рис. 14. Осадки дневной поверхности для разных сценариев в зависимости от: а – осевого (продольного) расстояния от забоя тоннеля; б – горизонтального (поперечного) расстояния от вертикальной оси тоннеля далеко позади забоя тоннеля [1]

сценариев строительства тоннеля. Для всех сценариев значительные деформации не возникали вдали от тоннеля, а увеличение деформаций происходило с уменьшением расстояния до тоннеля. Интересно влияние крепи в зоне забоя для всех сценариев.

Основной вариант с наличием двух уступов (см. рис. б) и вариант с наличием только нижнего уступа при ограничении смещений забоя (см. рис. 13, а) дали сходные продольные и поперечные деформации. Раскрытие сплошного забоя на полное сечение за один прием привело к большим продольным осадкам перед тоннелем, аналогичным тем, которые были получены при проходке тоннеля без верхнего уступа на забое. Наименьшие деформации были получены при сплошном забое с ограничением осевых смещений.

Эти наблюдения подчеркнули важность ограничения деформаций в зоне забоя тоннеля, в частности деформаций элювиального пористого грунта, вмещающего верхнюю половину тоннеля, а не деформаций элювиальной пестроцветной глины, которая является гораздо более твердым грунтом.

Интересно отметить, что перед забоем осадки при сплошном забое были

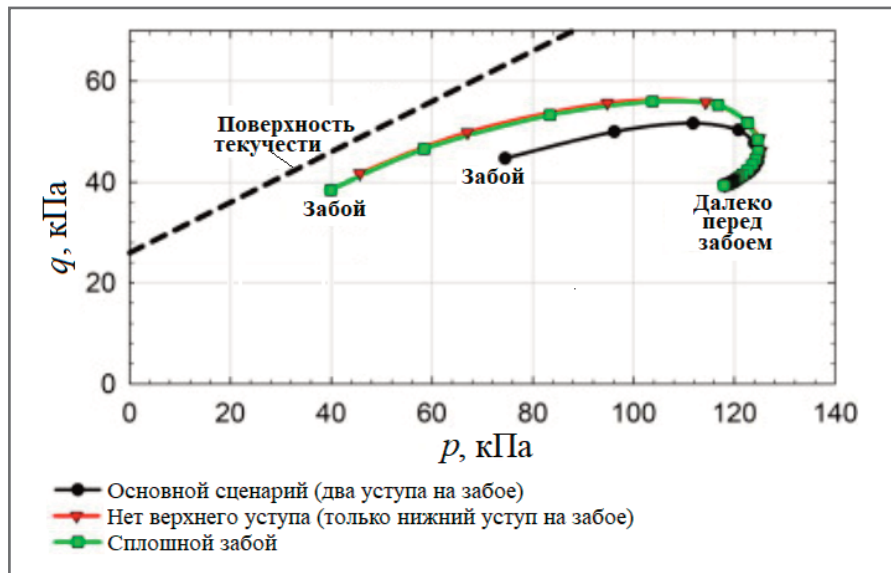


Рис. 15. Траектории напряжений перед забоем для трех сценариев строительства тоннеля [1]. Буквенные обозначения:  $q$  – максимальное напряжение сдвига,  $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ ;  $p$  – среднее напряжение,  $p = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$  (Lambe and Whitman, 1969)

схожи с таковыми при отсутствии верхнего уступа на забое, но позади забоя первые были меньше вторых. Это было нелогичным, поскольку поддержка, обеспечиваемая нижним уступом, должна была бы привести к меньшим осадкам. Действительно, это так, но преимущества этой поддержки в сценарии с ниж-

ним уступом уравновесились преимуществами более раннего замыкания кольца обделки тоннеля в сценарии со сплошным забоем. Но, надо отметить, что это соотношение может зависеть от инженерно-геологических условий.

На рисунке 15 показаны траектории напряжений для точек в грунте перед за-

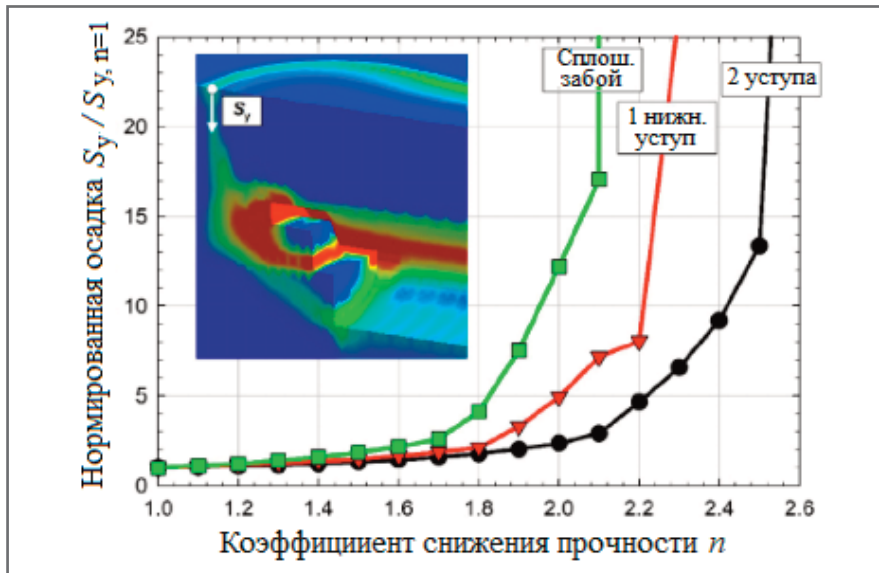


Рис. 16. Зависимость нормированной осадки ( $S_y/S_{y,n=1}$ ) от коэффициента снижения прочности ( $n$ ) для разных сценариев проходки тоннеля [1]

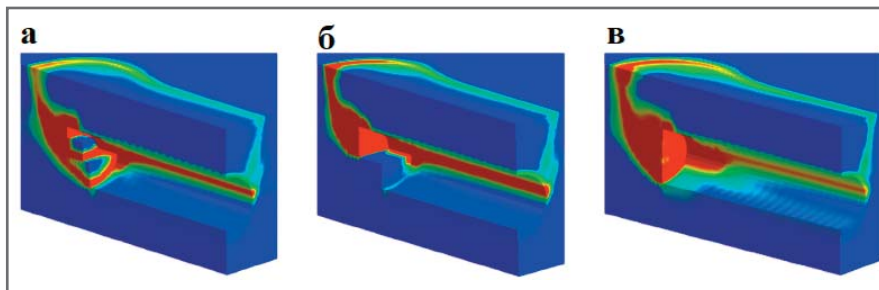


Рис. 17. Эквивалентные пластические деформации вокруг тоннеля при разрушении для разных сценариев проходки тоннеля а – с двумя уступами на забое; б – без верхнего уступа (только с одним нижним уступом) на забое; в – со сплошным забоем. Красным цветом показаны эквивалентные пластические деформации, равные или превышающие 2%. Синий цвет означает отсутствие пластических деформаций. Цвета спектра между красным и синим показывают эквивалентные пластические деформации от нуля до 2% [1]

боем для трех сценариев проходки тоннеля. Напряжения были взяты для середины высоты будущей выемки под свод. Траектории напряжений далеко перед забоем оказались траекториями геостатических напряжений. Ближе к забою увеличилось и среднее, и максимальное напряжение сдвига. Вблизи забоя среднее напряжение снизилось значительно, а максимальное сдвиговое напряжение снизилось лишь немного. Траектории для вариантов без верхнего уступа или вообще без уступов оказались схожими. Для основного варианта с двумя уступами напряженное состояние у забоя было дальше от поверхности текучести, чем для вариантов без верхнего уступа или вообще без уступов. Интересно также отметить, что среднее напряжение у забоя для основного варианта с двумя уступами оказалось значительно большим, чем для остальных двух вариантов, в то время как максимальные напряжения сдвига для всех сценариев бы-

ли ближе друг к другу. Таким образом, одно из преимуществ наличия уступов на забое заключается в том, что они увеличивают удерживающее давление на забой тоннеля, тем самым увеличивая его устойчивость.

На рисунке 16 показана зависимость осадки, нормированной по отношению к осадке при отсутствии снижения прочностных свойств ( $n = 1$ ) от коэффициента снижения прочности ( $n$ ) для трех сценариев строительства тоннеля. Осадки были приняты для точки, где поверхность скольжения достигла поверхности грунта. Из рисунка 16 видно, что осадки слегка увеличивались с ростом коэффициента  $n$ , то есть по мере снижения прочности грунта. Это небольшое увеличение было результатом ограниченной текучести грунта. Численное моделирование показало, что когда поверхность скольжения достигает поверхности грунта, то осадки увеличиваются, то есть становятся более

чувствительными к снижению прочности.

Для каждого сценария осадки резко (на порядки) увеличивались при определенном коэффициенте снижения прочности  $n$ , что указывало на разрушение. Таким образом, коэффициент  $n$  может быть связан с коэффициентом запаса устойчивости к разрушению. Наибольший коэффициент запаса устойчивости был обнаружен для основного варианта с двумя уступами, а наименьший – для сценария со сплошным забоем. Результаты, приведенные на рисунке 16, свидетельствуют о том, что наличие уступов эффективно повышает устойчивость забоя.

На рисунке 17 показаны пластические деформации вокруг тоннеля при разрушении для разных сценариев. Интересно отметить, что поверхность скольжения при основном варианте с двумя уступами распространилась до обратного свода, для сценария с отсутствием верхнего уступа разрушение было сосредоточено на своде тоннеля, а для варианта сплошного забоя поверхность скольжения охватила весь забой. Влияние уступов заключалось в перемещении критической поверхности разрушения глубже – внутрь слоя более твердого грунта и, соответственно, в повышении устойчивости забоя.

### Незакрепленные участки и жесткость обделки ▶

Влияние длины незакрепленных участков и жесткости первичной обделки на деформации грунта было исследовано при помощи трехмерных конечно-элементных моделей тоннеля «Парайсо». Были рассмотрены следующие параметры:

1) длина незакрепленного участка  $L$ , равная 0,8 и 1,6 м (такие параметры приняты для тоннелей диаметром 10 м, проложенных в слабом грунте новым австрийским методом; для основного варианта с двумя уступами на забое длина незакрепленного участка составляла 1,6 м);

2) толщина первичной обделки ( $t$ ), составляющая от 0,2 до 0,6 м.

Отметим, что для сравнения рассматривались дополнительные сценарии с недеформируемой обделкой при  $L = 0,8$  м и  $L = 1,6$  м.

Модельные осадки дневной поверхности для указанных вариантов представлены на рисунке 18. Как видно из этого рисунка, осадка поверхности уменьшалась по мере увеличения жесткости обделки и уменьшения длины

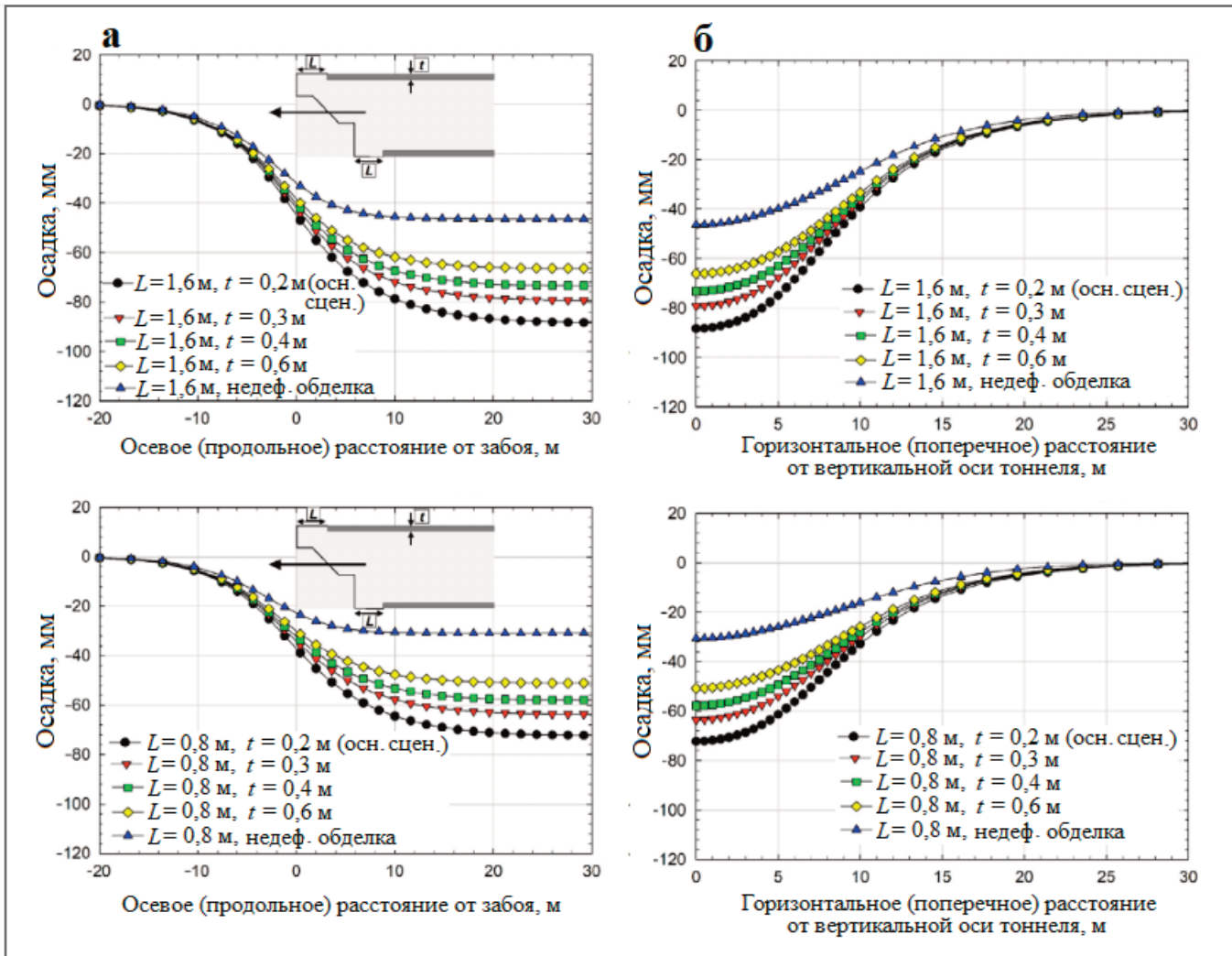


Рис. 18. Осадки дневной поверхности для разных вариантов в зависимости от: а – продольного расстояния от забоя тоннеля; б – горизонтального поперечного расстояния от вертикальной оси тоннеля. Буквенные обозначения:  $L$  – длина незакрепленного участка позади забоя;  $t$  – толщина обделки [1]

незакрепленного участка тоннеля. При основном варианте ( $L = 1,6$  м и  $t = 0,2$  м) осадка поверхности над сводом далеко позади забоя составила 89 мм. При увеличении толщины обделки до 0,4 м осадка над сводом далеко позади забоя составила 73 мм, что было на 18% меньше, чем для основного варианта. При толщине обделки 0,4 м и длине незакрепленного участка всего 0,8 м осадка дневной поверхности над сводом далеко позади забоя дополнительно уменьшилась – до 58 мм (стала на 35% меньше, чем для основного варианта). Таким образом, численные результаты показали, что деформации грунта, как и ожидалось, могут быть значительно снижены путем создания более толстой обделки ближе к забою практически сразу после выемки грунта.

Следует также обратить внимание на то, что осадки заметно уменьшились при создании недеформируемой обделки, что подчеркивает важность учета ее жесткости. Так, при  $L = 0,8$  м и исполь-

зовании недеформируемой обделки осадка поверхности над сводом далеко позади забоя снизилась до 30 мм (стала на 67% меньше, чем для основного варианта).

Полученные результаты оказались противоположными полученным Азеведо и др. (Azevedo et al., 2002), которые обнаружили незначительное влияние жесткости обделки тоннеля на деформации грунта. Но они использовали для расчетов метод конечных элементов в 2D-постановке. Поэтому указанное различие в результатах иллюстрирует важность учета изгиба обделки и траекторий напряжений в грунте в продольном направлении, чего не удастся учесть при двумерных расчетах.

На рисунке 19 показаны зависимости напряжений в грунте у свода тоннеля от продольного расстояния от забоя, отражающие влияние жесткости обделки на напряжения во вмещающем тоннель грунтовом массиве. Представлены два случая: основной вариант с незакреп-

ленным участком  $L = 1,6$  м и толщиной обделки  $t = 0,2$  м и вариант с  $L = 0,8$  м и недеформируемой обделкой (соответственно с максимальными и минимальными деформациями грунта; а остальные варианты, не представленные на рисунке, оказывались между ними). В грунте далеко перед забоем напряжения соответствовали условиям естественного залегания. Вблизи от забоя радиальные напряжения  $\sigma_r$  уменьшились, а осевые напряжения сдвига  $\tau_{rz}$  увеличились. Вдоль незакрепленного участка тоннеля перед забоем и те, и другие были нулевыми. В случае с недеформируемой обделкой радиальные напряжения  $\sigma_r$  увеличились и стали значительно больше, чем для основного варианта. Это было ожидаемо, поскольку более жесткая и более близкая к забою обделка принимает большую нагрузку от грунта в результате трехмерных воздействий забоя (продольного изгиба свода), что снижает напряжения в грунте и уменьшает его деформа-

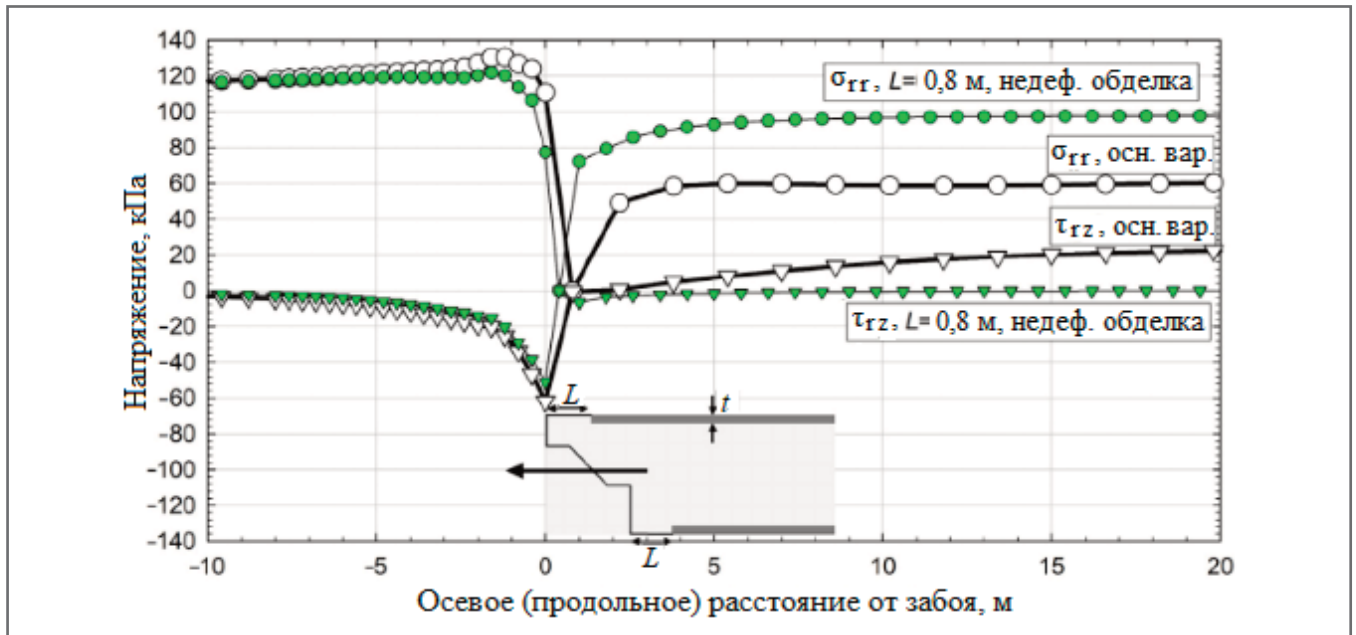


Рис. 19. Зависимости напряжений в грунте у свода тоннеля от продольного расстояния от забоя для основного варианта ( $L = 1,6$  м,  $t = 0,2$  м) и для случая недеформируемой обделки при  $L = 0,8$  м. Буквенные обозначения:  $L$  – длина незакрепленного участка позади забоя;  $t$  – толщина обделки [1]

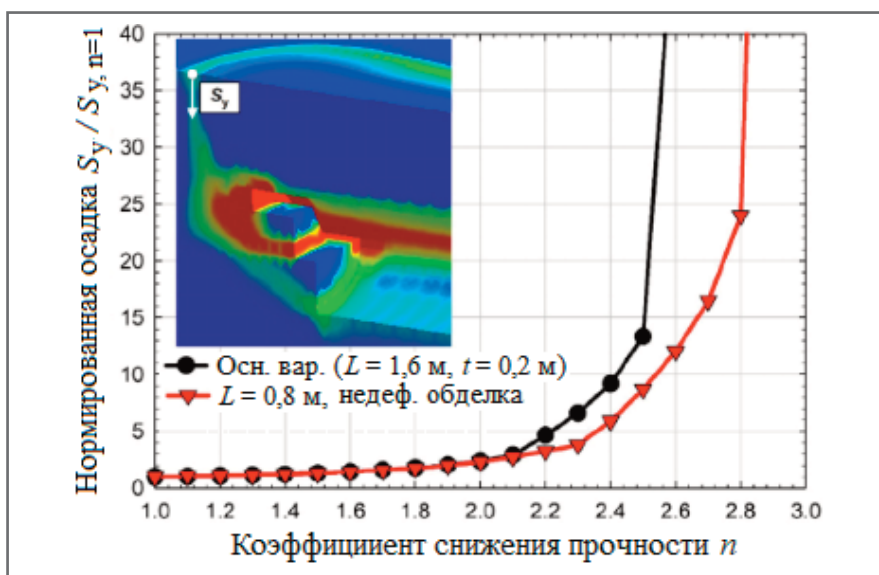


Рис. 20. Зависимость нормированной осадки ( $S_y/S_{y,n=1}$ ) от коэффициента снижения прочности ( $n$ ) для двух разных вариантов проходки тоннеля [1]

ции. Интересно, что в случае недеформируемой обделки не возникало осевых напряжений сдвига позади забоя тоннеля. Поскольку облицовка была недеформируемой, у периметра тоннеля не было осевых деформаций.

На рисунке 20 представлена зависимость нормированной осадки ( $S_y/S_{y,n=1}$ ) от коэффициента снижения прочности ( $n$ ) для двух разных вариантов проходки тоннеля (основного варианта при  $L = 1,6$  м,  $t = 0,2$  м и случая с  $L = 0,8$  м и недеформируемой обделкой), чтобы показать воздействие незакрепленного участка и жесткости обделки на устойчивость забоя. Как видим, разрушение

забоя тоннеля потребовало большего снижения прочности грунта, если обделка размещалась ближе к забою (следует обратить внимание на то, что разрушением обделки пренебрегли во всех вариантах). Результаты показали, что уменьшение длины незакрепленного участка и увеличение жесткости обделки повысили коэффициент запаса устойчивости забоя к разрушению. Причина этого заключалась в том, что жесткая обделка, расположенная ближе к забою, смогла принять большую нагрузку, поэтому произошел перенос нагрузки с грунта на обделку. Отчасти этого удалось добиться за счет продоль-

ных изгибов (трехмерных воздействий забоя) что уменьшило напряжения в грунте перед забоем.

### Армирование при помощи зонтичной крепи ▶

Так называемая зонтичная крепь является распространенным методом снижения деформаций грунта, возникающих при проходке тоннеля. Она может состоять из горизонтально уложенных колонн, выполненных методом горизонтально направленного бурения и струйной цементации грунта и армированных стальными трубами (эти «колоны» расположены вплотную друг к другу по периметру тоннеля или его свода). Идея состоит в том, чтобы создать зонтичный свод для выемки грунта, благодаря чему не закрепленный обделкой участок длиной  $L$  получается защищенным.

Эффективность этого метода снижения деформаций грунта оценивалась при помощи трехмерных конечноэлементных моделей тоннеля «Параисо» и вмещающего его массива грунта.

На рисунке 21 показана проходка тоннеля с применением зонтичной крепи, которая имела толщину 0,5 м, продолжалась перед забоем на 8 м и размещалась вокруг свода, где происходила большая часть деформаций грунта. Чтобы представить зонтичную крепь, была выбрана идеально-упругопластическая модель с критерием разрушения Треска (Tresca).

Зонтичная крепь моделировалась при помощи гексаэдрических конечных



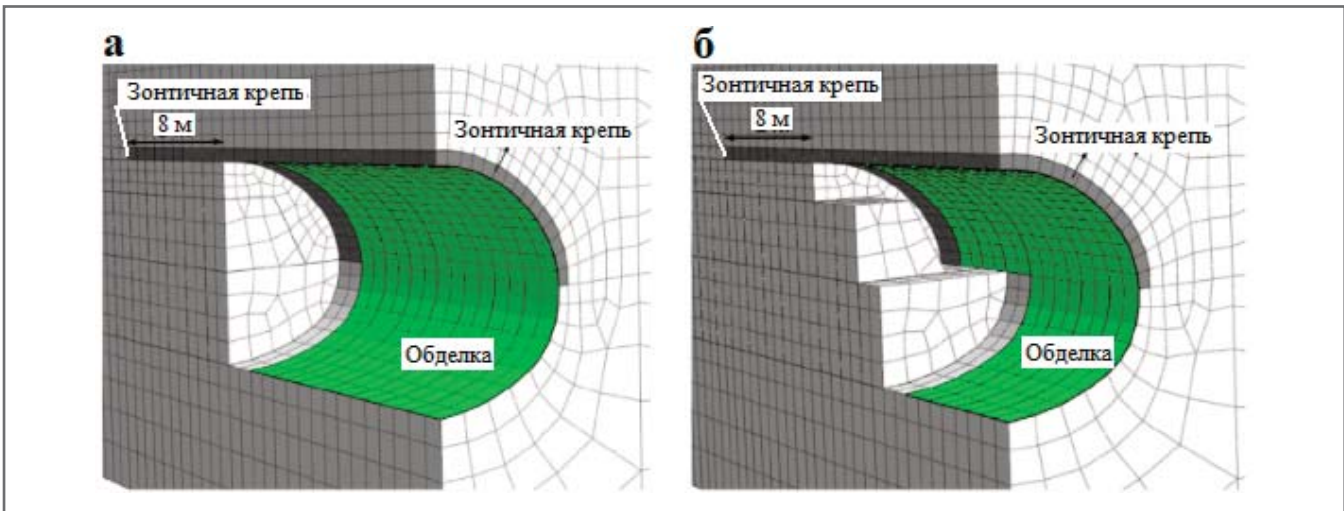


Рис. 21. Проходка тоннеля с зонтичной крепью для сценариев: а – раскрытия сплошного забоя на полное сечение за один прием; б – поэтапной выемки грунта при наличии двух уступов на забое [1]

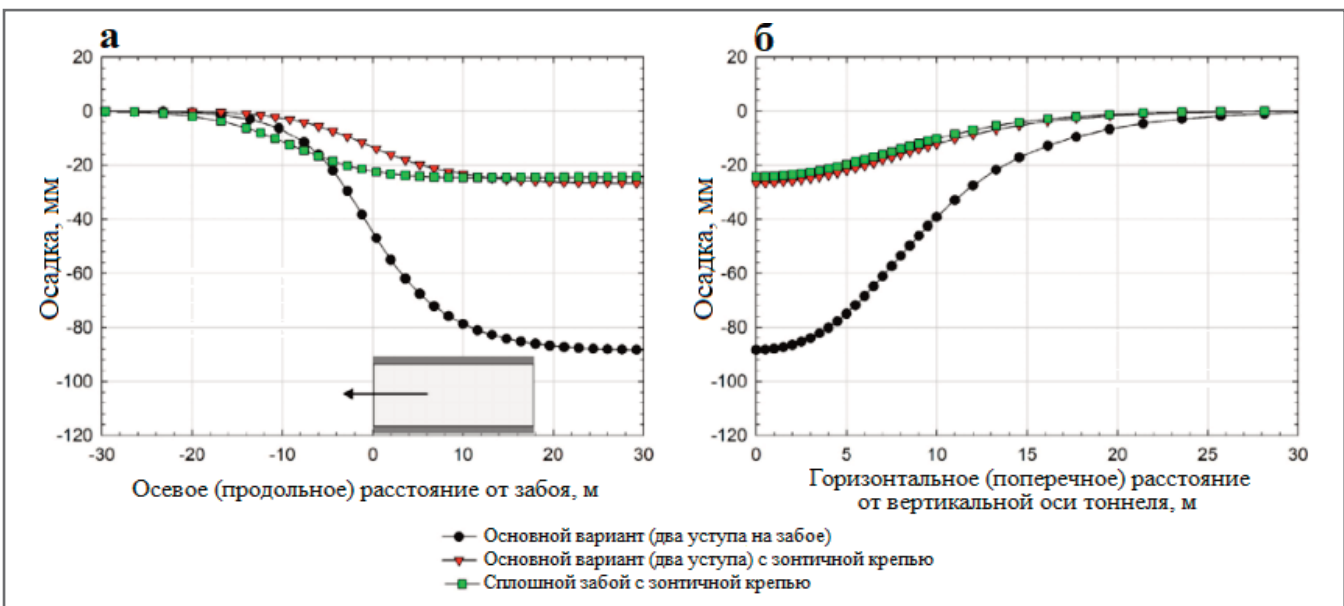


Рис. 22. Осадки дневной поверхности для разных вариантов проходки тоннеля в зависимости от: а – осевого (продольного) расстояния от забоя тоннеля; б – горизонтального (поперечного) расстояния от вертикальной оси тоннеля [1]

элементов со свойствами, эквивалентными свойствам горизонтально уложенных колонн, выполненных методом струйной цементации и армированных стальными трубами (модуль Юнга  $E = 1$  ГПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ ; удельное сцепление  $c = 700$  кПа). Эти параметры оценивались на основе непрерывного армирования по периметру тоннеля при помощи стальных труб с наружным диаметром 113 мм и толщиной стенок 6,3 мм, которые были зацементированы. Для проведения конечноэлементного анализа были использованы: вариант раскрытия сплошного забоя на полное сечение за один прием при наличии зонтичной крепи (см. рис. 21, а); основной вариант поэтапной выемки грунта при двух уступах на забое также с наличием зон-

тичной крепи (см. рис. 21, б). Стоит обратить внимание, что одновременное использование зонтичной крепи и уступной выемки грунта может быть нереалистичным в плане строительной технологичности, но этот случай все равно был включен в исследование для сравнения с основным вариантом без зонтичной крепи.

На рисунке 22 приведены осадки дневной поверхности для разных вариантов проходки тоннеля в зависимости от продольного расстояния от забоя (рис. 23, а) и от поперечного горизонтального расстояния от вертикальной оси тоннеля (рис. 23, б) для: основного сценария с двумя уступами на забое; основного сценария с двумя уступами на забое при наличии зонтичной крепи; варианта раскрытия сплошного забоя

на полное сечение за один прием при наличии зонтичной крепи. Как видим, осадка поверхности была существенно уменьшена при включении зонтичной крепи (максимальная осадка дневной поверхности составила около 29% от рассчитанной для основного сценария).

Осадки на продольном профиле (см. рис. 22, а) начали увеличиваться на расстоянии перед забоем около 20 м (что составило два диаметра тоннеля). Следует обратить внимание на то, что оседание дневной поверхности для случая сплошного забоя при наличии зонтичной крепи, начавшееся раньше, чем для двух других вариантов, было в целом больше, чем для основного варианта с зонтичной крепью, но все же прекратило увеличиваться далеко позади забоя, где осадки уже были аналогичны тако-

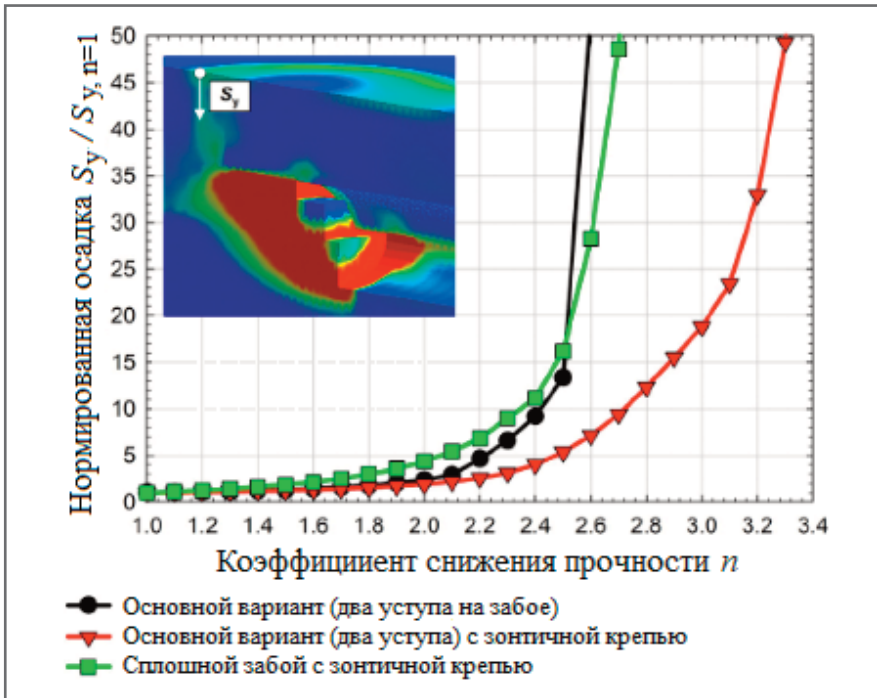


Рис. 23. Зависимости нормированной осадки ( $S_y/S_{y,n=1}$ ) от коэффициента снижения прочности ( $n$ ) для трех разных вариантов проходки тоннеля [1]

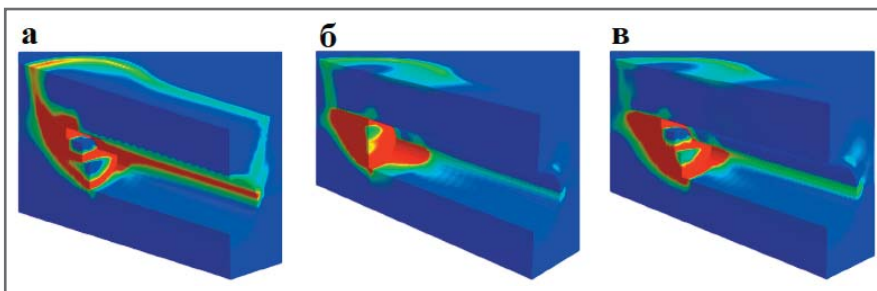


Рис. 24. Пластические деформации вокруг тоннеля при разрушении для: а – основного сценария проходки тоннеля с двумя уступами на забое ( $n = 2,5$ ); б – варианта сплошного забоя при наличии зонтичной крепи ( $n = 2,5$ ); в – основного варианта с двумя уступами на забое при наличии зонтичной крепи ( $n = 3,2$ ). Красным цветом показаны эквивалентные пластические деформации, равные или превышающие 2%. Синим цветом отображено отсутствие пластических деформаций. Цвета спектра между красным и синим обозначают эквивалентные пластические деформации между нулем и 2% [1]

вым для основного варианта с зонтичной крепью. Это казалось неожиданным, так как основной вариант имел поддержку забоя за счет уступов, чего не было при варианте сплошного забоя. Как уже упоминалось ранее, причиной такого поведения было то, что замыкающие кольца обделки тоннеля при варианте сплошного забоя происходило раньше, чем при основном сценарии с двумя уступами.

Мульды осадок на поперечном сечении далеко позади забоя (см. рис. 22, б) при основном варианте с зонтичной крепью и при варианте сплошного забоя с зонтичной крепью были почти одинаковыми.

На рисунке 23 показаны зависимости нормированной осадки ( $S_y/S_{y,n=1}$ ) от коэффициента снижения прочно-

сти ( $n$ ) для тех же трех вариантов: основного сценария с двумя уступами на забое; основного сценария с двумя уступами на забое при наличии зонтичной крепи; варианта сплошного забоя при наличии зонтичной крепи. Оседание рассматривалось в том месте, где поверхность скольжения достигала дневной поверхности. При включении в основной вариант зонтичной крепи для разрушения потребовалось большее снижение параметров прочности ( $n \approx 2,5$  при разрушении для основного сценария;  $n \approx 3,2$  при разрушении для основного варианта с зонтичной крепью). В случае сплошного забоя при наличии зонтичной крепи разрушение произошло при  $n = 2,5$ , что оказалось больше, чем коэффициент снижения прочности при разрушении для вариан-

та сплошного забоя без зонтичной крепи ( $n = 2,1$ , см. рис. 16).

Для основного сценария на рисунке 23 представлены два хорошо идентифицируемых режима:

- 1) при  $n = 2,1$ , когда плоскость скольжения достигла поверхности грунта;
- 2) при  $n = 2,5$ , когда произошло обрушение тоннеля.

Эти точки не получается четко идентифицировать при других вариантах. Это наводит на мысль о том, что зонтичная крепь обеспечила механизм пластического (а не хрупкого) разрушения.

На рисунке 24 представлены пластические деформации вокруг тоннеля, возникающие при разрушении, для трех сценариев. Интересно отметить, что разрушение и, следовательно, большие пластические деформации в основном происходили в грунте перед забоем тоннеля.

Численное моделирование показало, что использование зонтичной крепи очень эффективно для снижения деформаций грунта и повышения коэффициента запаса устойчивости к разрушению. При моделировании принимались нулевые деформации из-за бурения и цементации, что могло бы быть достигнуто при использовании зонтичной крепи.

Однако во время устройства зонтичной крепи для некоторых тоннелей сообщалось о больших осадках. Так, Фаррелл и др. (Farrell et al., 2014) сообщили о больших осадках, вызванных созданием зонтичной крепи вблизи чувствительных к оседанию зданий. Они показали, что осадка величиной примерно 25 мм произошла из-за струйной цементации при устройстве горизонтально уложенных колонн зонтичной крепи, а дополнительные 10 мм осадки – из-за выемки грунта во время проходки тоннеля. Другими словами, 70% осадки дневной поверхности произошли во время струйной цементации при устройстве зонтичной крепи.

Очевидно, что слабая конструкция может оказать большое негативное воздействие на устойчивость тоннеля и вызвать чрезвычайно большие потери грунта. При проектировании может оказаться невозможным проведение приблизительного численного анализа бурения и цементации грунта, так как они в значительной степени зависят от используемых методов и качества их выполнения. Эти факторы заранее могут быть не известны, и их можно оценить только во время строительства.

**ВЫВОДЫ** ►

В статье было рассмотрено воздействие различных стратегий строительства тоннелей новым австрийским методом на деформации грунта и устойчивость забоя. Для анализа был выбран тоннель «Параисо» системы метро города Сан-Паулу (Бразилия). Проходка этого тоннеля выполнялась в пористом грунте коры выветривания и вызывала значительные осадки дневной поверхности. Чтобы смоделировать строительство тоннеля и спрогнозировать деформации вмещающего его грунтового массива, использовалось трехмерное конечное элементное моделирование на основе модели упрочняющегося грунта, откалиброванной по параметрам грунта, характерным для участка строительства.

Полученные результаты численного моделирования в значительной степени совпали с данными измерений при полевых исследованиях.

Устойчивость забоя тоннеля оценивалась при помощи метода снижения прочности.

Тоннель «Параисо» был построен путем поэтапной выемки грунта с двумя уступами на забое, чтобы повысить устойчивость последнего. Было изучено влияние этих уступов, а также влияние изменений схемы устройства обделки тоннеля либо путем уменьшения длины незакрепленного участка после забоя, либо путем увеличения жесткости обделки. Кроме того, был проведен анализ преимуществ устройства зонтичной крепи в зоне забоя тоннеля.

По результатам моделирования, уступы на забое снижали деформации грунта перед забоем. При отсутствии уступов, то есть при раскрытии сплошного забоя на полное сечение за один прием, осадка перед забоем увеличилась на 36%, а коэффициент запаса устойчивости забоя снизился примерно на 20%.

Интересно, что мулды осадок для поперечного сечения далеко позади забоя в случае фактического варианта строительства тоннеля с двумя уступами на забое (основного при анализе) и в случае сплошного забоя были очень похожими, хотя осадки поверхности вдоль продольной оси тоннеля различались для этих двух сценариев в значительной степени. Для случая сплошного забоя осадки перед ним были сильнее, чем для основного варианта. Но позади забоя осадки первого были меньше, чем для второго. Это было связано с тем, что в случае сплошного забоя обделка вблизи него замыкала контур тоннеля

раньше, чем при наличии уступов в основном варианте. Обрушение для случая сплошного забоя произошло при коэффициенте снижения прочности  $n = 2,1$ , а для варианта с двумя уступами – при  $n = 2,5$ .

Результаты численного моделирования также показали, что более жесткая обделка ближе к забою, как и ожидалось, снизила деформации грунта, вызванные проходкой тоннеля. При строительстве тоннеля «Параисо» толщина обделки из торкрет-бетона составляла 0,2 м, а длина незакрепленного участка позади забоя была 1,6 м (этот вариант в статье назывался основным). За счет уменьшения длины незакрепленного участка до 0,8 м осадка поверхности над сводом далеко позади забоя снизилась на 19%. При толщине обделки 0,4 м и длине незакрепленного участка 0,8 м осадка поверхности над сводом далеко позади забоя оказалась на 35% меньше, чем при основном варианте. В случае недеформируемой обделки при длине незакрепленного участка позади забоя 0,8 м осадка поверхности оказалась на 67% меньше, чем для основного варианта. Кроме того, создание более жесткой обделки ближе к забою тоннеля улучшило устойчивость забоя. Коэффициент снижения прочности, требуемый для разрушения тоннеля с длиной незакрепленного участка 0,8 м, составил 2,8, а в случае длины незакрепленного участка 1,6 м (основного варианта) он составил 2,5.

Стоит обратить внимание на то, что использование более толстой первичной обделки из торкрет-бетона существенно увеличило бы стоимость проекта, а уменьшение длины незакрепленного участка позади забоя было бы менее затратным. Но недостатком сокращения длины незакрепленного участка является замедление процесса проходки тоннеля.

При численном моделировании была рассмотрена система зонтичной крепи в зоне забоя, которая состояла из колонн, вытянутых вдоль тоннеля и расположенных вплотную друг к другу по периметру его свода, которые выполнялись с помощью горизонтально направленного бурения и струйной цементации грунтов и были армированы стальными трубами. Зонтичная крепь оказалась очень эффективным решением для снижения деформаций грунта и повышения устойчивости забоя. При ее наличии осадки дневной поверхности над сводом далеко позади забоя оказались на 71% меньше, чем в основном вари-


анте без такой крепи. Также было замечено, что плоскость разрушения распространялась перед зонтичной крепью, в чем участвовала большая масса грунта, что привело к коэффициенту запаса устойчивости, превышающему таковой для основного варианта без зонтичной крепи.

Стоит обратить внимание, что при численном моделировании принималось отсутствие деформаций грунта из-за устройства зонтичной крепи (хотя есть сообщения о случаях больших осадок при устройстве зонтичной крепи, то есть она может оказаться не самым удачным выбором, если не обеспечить самое высокое качество ее выполнения).

Деформации грунта, вызванные проходкой тоннеля «Параисо», были большими и потенциально могли повредить существующие здания и сооружения, расположенные вблизи зоны строительства. Проведенный численный анализ показал, что осадки можно было бы сократить, если бы был принят более короткий шаг выемки и выполнена более жесткая обделка.

Таким образом, для будущих тоннелей, прокладываемых новым австрийским методом в пористых грунтах вблизи чувствительных зданий сооружений, следует рассматривать небольшой шаг выемки и толстую первичную обделку. Помимо этого было бы полезно использовать быстротвердеющий торкрет-бетон, который может достигать большой жесткости вскоре после нанесения (с учетом того, что повышение жесткости обделки тоннеля, по результатам численного моделирования, эффективно снижало деформации грунта).

Численные результаты показали, что более раннее замыкания кольца обделки тоннеля позади забоя оказалось очень эффективным для снижения деформаций грунта. Моделирование также показало, что нижний уступ оказывал пренебрежимо малое воздействие на деформации грунта, так как он был расположен в достаточно твердом грунтовым слое. Таким образом, процесс строительства тоннеля в аналогичных инженерно-геологических условиях может быть оптимизирован путем уменьшения длины нижнего уступа или даже его устранения, в результате чего кольцо обделки можно замкнуть раньше. По итогам численного анализа, верхний уступ был очень эффективен для снижения деформаций грунта перед забоем и повышения устойчивости забоя. Желательно оптимизировать длину верхнего уступа, чтобы кольцо первичной обделки было замкнуто как можно раньше.

Хотя моделирование показало, что зонтичная крепь очень эффективна для ограничения деформаций грунта, в реальности бурение и цементация могут вызвать большие деформации грунтов, особенно нестабильных (например, элювиальных пористых глин). Таким образом, систему зонтичной крепи следует использовать только в том случае, когда деформации грунта вследствие ее устройства пренебрежимо малы. 

#### ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

1. Vitali O.P.M., Celestino T.B., Bobet A. Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil // *Underground Space*. 2022. Vol. 7. № 1. P. 1–18. doi:10.1016/j.undsp.2021.04.002. URL: doi.org/10.1016/j.undsp.2021.04.002; researchgate.net/publication/351236639\_Construction\_strategies\_for\_a\_NATM\_tunnel\_in\_Sao\_Paulo\_Brazil\_in\_residual\_soil.

#### REFERENCE FOR THE TRANSLATION ►

1. Vitali O.P.M., Celestino T.B., Bobet A. Construction strategies for a NATM tunnel in Sao Paulo, Brazil, in residual soil. *Underground Space*. 2022. 7 (1): 1–18. doi:10.1016/j.undsp.2021.04.002. URL: doi.org/10.1016/j.undsp.2021.04.002; researchgate.net/publication/351236639\_Construction\_strategies\_for\_a\_NATM\_tunnel\_in\_Sao\_Paulo\_Brazil\_in\_residual\_soil.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ

#### [REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER] ►

1. Almeida e Sousa, J., Negro, A., Matos Fernandes, M., & Cardoso, A. S. (2011). Three-Dimensional Nonlinear Analysis of a Metro Tunnel in Sao Paulo Porous Clay, Brazil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(4), 376–384.
2. Azevedo, R. F., Parreira, A., & Zornberg, J. G. (2002). Numerical analysis of a tunnel in residual soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(3), 227–236.
3. Broere, W. (2016). Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, 245–248.
4. Cantieni, L., & Anagnostou, G. (2009). The effect of the stress path on squeezing behavior in tunneling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 42(2), 289–318.
5. Celestino, T. B., & Ruiz, A. P. T. (1998). Shape of settlement troughs due to tunneling through different types of soft ground. *Felsbau*, 16, 118–121.
6. Celestino, T. B., Gomes, R. A. M., & Bortuluci, A. A. (2000). Errors in ground distortions due to settlement through adjustment. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(1), 97–100.
7. Deane, A. P., & Bassett, R.H. (1995). The Heathrow Express trial tunnel. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering*, 113(3), 144–156.
8. Eberhardt, E. (2001). Numerical modelling of three-dimension stress rotation ahead of an advancing tunnel face. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38(4), 499–518.
9. Farrell, R., Mair, R., Sciottic, A., & Pigorinic, A. (2014). Building response to tunneling. *Soils and Foundation*, 54(3), 269–279.
10. Farias, M. M., Moraes Junior, A. H., & Assis, A. P. (2004). Displacement control in tunnels excavated by the NATM: 3-D numerical simulations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 19, 283–293.
11. Golser, J. (2001). Behavior of early-age shotcrete. *Proceedings of Shotcrete for Underground Support VIII*, 83–93.
12. HSE (Health and Safety Executive) (1996). Safety of New Austrian Tunneling Method (NATM) Tunnels – A review of sprayed concrete lined tunnels with particular reference to London clay. <https://www.hse.gov.uk/pubns/natm.pdf>
13. Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. New York, N. Y.: John Wiley and Sons.
14. Leroueil, S., & Vaughan, P. R. (1990). The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. *Geotechnique*, 40(3), 467–488.
15. Lunardi, P. (2008). *Design and Construction of Tunnels – Analysis of Controlled Deformation in Rocks and Soils(ADECO-RS)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
16. Mair, R. J., Taylor, R. N., & Bracegirdle, A. (1993). Subsurface settlement profiles above tunnels in clays. *Geotechnique*, 43(2), 315–320.
17. Massad, F., Pinto, C. de S., & Nader, J. J. (1992). Strength and Deformability. *Brazilian Society of Soil Mechanics Conference on Soils of São Paulo city*, 141–179 (in Portuguese).
18. MIDAS Information Technology Co. (2019). *Midas GTS NX manual*.
19. Marques, F. E. R. (2006). Behavior of Shallow Tunnels in Porous Soils – the Brazilia Metro Case [Doctoral dissertation]. University of Coimbra (in Portuguese).
20. Moller, S. (2006). Tunnel Induced Settlements and Structural Forces in Linings [Doctoral dissertation]. Institute of Geotechnical Engineering, University of Stuttgart.
21. Nakai, T., Xu, L. M., & Yamazaki, H. (1997). 3D and 2D model tests and numerical analyses of settlements and earth pressures due to tunnel excavation. *Soils and Foundations*, 37(3), 31–42.

22. New, B. M., & Bowers, K. H. (1994). Ground movement model validation at the Heathrow Express trial tunnel. *Tunneling*, 94, 301–329.
23. Ng, C. W., & Lee, G. T. (2005). Three-dimensional ground settlements and stress-transfer mechanisms due to open-face tunnelling. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(4), 1015–1029.
24. Ortigao, J. A. R., & Macedo, P. (1993). Large settlements due to tunneling in porous clay. In *Proceedings of International Conference on Underground Transportation Infrastructure, AFTES*, 119, Sept-Oct 93 (pp. 245–250).
25. Ortigao, J. A. R., Cunha, R. P., & Alves, L. S. (1995). In-situ tests in Brasilia porous clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 33, 189–198.
26. Ortigao, J. A. R., Kochen, R., Farias, M. M., & Assis, A. P. (1996). Tunnelling in Bras ília porous clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 33 (4), 565–573.
27. Parreira, A. B. (1991). Analysis of shallow tunnels in soil. The NATM Para íso Tunnel at Paulista Avenue in São Paulo City [Doctoral dissertation]. Catholic University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil (in Portuguese).
28. Panet, M., & Guenot, A. (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel. In *Tunnelling 82, Proceedings of the 3rd International Symposium*, Brighton (pp. 197–204).
29. Peck, R. B. (1969). Deep excavation and tunnelling in soft ground. In *Proceedings of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico City, State of the Art Volume (pp. 225–290).
30. Rabcewicz, L. V. (1964). The new Austrian Tunnelling Method. *Water Power*, Part 1: November 1964, 571–515.
31. Rabcewicz, L. V. (1965). The new Austrian Tunnelling Method. *Water Power*, Part 2: January 1965, 19–24.
32. Schanz, T., Vermeer, P. A., & Bonnier, P. G. (1999). The hardening soil model: Formulation and verification. In Ronald B. J. Brinkgreve (Eds.), *Beyond 2000 in Computational Geotechnics* (pp.281–296). Routledge.
33. Schmidt, B. (1969). Settlements and Ground Movements Associated with Tunneling in Soil [Doctoral dissertation]. University of Illinois.
34. Vaughan, P. R., & Kwan, C. W. (1984). Weathering, structure and in situ stress in residual soils. *Geotechnique*, 34(1), 43–59.
35. Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., & Bobet, A. (2019). Buoyancy effect on shallow tunnels. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 114(2), 1–6.
36. Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., & Bobet, A. (2018). 3D finite element modelling optimization for deep tunnels with material nonlinearity. *Underground Space*, 3(2), 125–139.
37. Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., & Bobet, A. (2021). New modeling approach for tunnels under complex ground and loading conditions. *Soils and Rocks*, 44(1) e2021052120.
38. Volkmann, G. M., & Schubert, W. (2007). Geotechnical Model for Pipe Roof Supports in Tunneling. In *Proceedings of the 33rd ITA-AITES World Tunneling Congress* (pp. 755–760).

### Информация об авторах

#### ВИТАЛИ ОСВАЛЬДО П. М.

Доктор наук, старший научный сотрудник  
Университета Сан-Паулу, специалист по геомеханике в  
компании Braskem S.A., г. Сан-Паулу, Бразилия

#### СЕЛЕСТИНО ТАРСИЗИО Б.

Профессор (механика грунтов и подземное  
строительство) кафедры геотехники Инженерного  
института Сан-Карлоса Университета Сан-Паулу,  
г. Сан-Карлос, штат Сан-Паулу, Бразилия

#### БОБЕТ АНТОНИО

Профессор (гражданское строительство) факультета  
гражданского строительства Университета Пердью,  
г. Уэст-Лафейетт, штат Индиана, США

### Information about the authors

#### OSVALDO P.M. VITALI

PhD, post doctoral associate, University of Sao Paulo  
(USP); geomechanics specialist, Braskem S.A., Sao Paulo,  
Brazil

#### TARCISIO B. CELESTINO

Professor of Rock Mechanics and Underground Works,  
Department of Geotechnical Engineering, Sao Carlos  
Engineering School, University of Sao Paulo (EESC/USP),  
Sao Carlos, SP, Brazil

#### ANTONIO BOBET

Professor of Civil Engineering, Civil Engineering  
Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana,  
USA

Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал  
**Геоинфо**

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



## Авторам электронного журнала «ГеоИнфо»

Журнал «ГеоИнфо» – это независимое электронное издание. Мы готовы предоставлять площадку для выступления любому автору, если материал кажется нам интересным и важным для профессионального сообщества.

Мы не рецензируем каждую статью, что позволяет нам размещать самые разные точки зрения, даже если они не вполне соответствуют общепринятым концепциям и теориям. Вместе с тем, мы оставляем за собой право привлекать при подготовке статей к публикации независимых экспертов. Их мнение может быть опубликовано вместе со статьей по усмотрению главного редактора.

Каждый желающий в комментариях к статье может поддержать автора или высказать аргументы в пользу противоположной точки зрения. Для этого необходимо зарегистрироваться.

### **Требования к оформлению:**

Каждая статья, присланная для публикации в журнале «ГеоИнфо», должна сопровождаться аннотацией, заглавной горизонтальной картинкой высокого качества (не менее 300 dpi), портретной фотографией и краткой биографией автора с контактными данными.

Стиль изложения – литературный.

Автор по своему желанию может дополнить статью ее английской версией или переводом ревью для англоязычной версии сайта.

Темы для статей – широкий круг проблем, актуальных в повседневной жизни руководителей изыскательских компаний и инженеров. Наша основная специализация – опыт практиков для практиков.

Высылайте Ваши статьи на электронную почту [info@geoinfo.ru](mailto:info@geoinfo.ru).

Мы будем рады сотрудничеству!



Mountain  
Risk  
Consultancy

## ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ

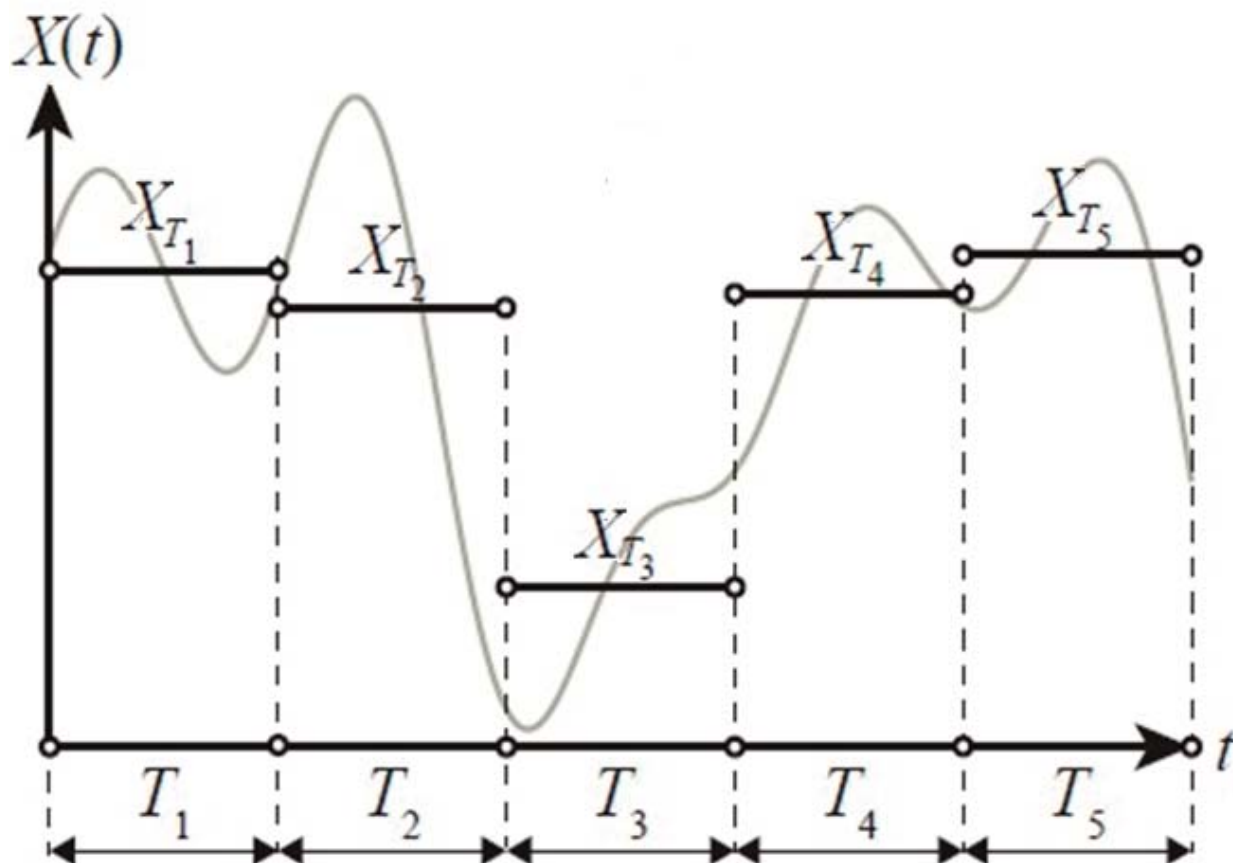


- РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ
- КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ
- ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
- РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И МОНИТОРИНГ



Skype: Mountain Risk Consultancy  
E-Mail: [office@mountain-risk.ru](mailto:office@mountain-risk.ru)  
<https://www.mountain-risk.ru>





## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННОГО УСРЕДНЕНИЯ ДЛЯ ДИСКРЕТИЗАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ

**БОЛДЫРЕВ  
ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ**  
Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек», г. Пенза, Россия  
g-boldyrev@geotek.ru

**ООО НПП «ГЕОТЕК» |  
ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ  
ИСПЫТАНИЙ ДИСПЕРСНЫХ И  
СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**  
Генеральный спонсор «ГеоИнфо»  
info@npp-geotek.ru

При вероятностных оценках входные данные со значительной пространственной изменчивостью следует моделировать с помощью случайных полей, которые могут быть неоднородными. С использованием метода пространственного усреднения неоднородное случайное поле подвергается дискретизации, то есть сводится к набору случайных величин, представляющих собой локальные средние значения для элементарных областей этого поля. Указанный метод можно использовать в процессе геотехнического анализа для аппроксимации пространственно изменяющихся свойств грунта. Это особенно полезно для структурного анализа при совместном использовании модели случайного поля и метода конечных элементов. Но количество элементов, применяемых для усреднения (дискретизации), может быть и более ограниченным в зависимости от требуемой точности аппроксимации поля и допустимой погрешности расчетов.

Представляем вниманию читателей обзор зарубежных публикаций на эту тему.



## Введение ►

С помощью метода пространственного усреднения (spatial averaging, SA) можно представить случайное поле (random field, RF) через набор случайных величин, представляющих собой локальные средние значения этого поля. Первоначально этот метод был предложен Ванмарке и Григориу (Vanmarcke, Grigoriu, 1983), затем он был подробно описан в монографии Ванмарке (Vanmarcke, 2010).

Метод пространственного усреднения применяется к однородным случайным полям в различных приложениях и обычно используется в контексте геотехнического анализа для аппроксимации пространственно изменяющихся свойств грунта (Rackwitz, 2000; Fenton, Griffiths, 2003, 2005; Ching, 2016; Tabarrok et al., 2021). Преимущество здесь заключается в том, что поведение оснований сооружений может определяться средними, а не локальными свойствами грунта. Поэтому случайные поля зачастую можно достаточно хорошо аппроксимировать небольшим набором случайных величин или даже одной случайной величиной, отражающей усредненное поведение случайного поля в пространственной области (например, для плоскости разрушения).

Метод пространственного усреднения может быть применен и к неоднородным случайным полям, например в контексте анализа надежности (Geyer et al., 2019; Papaioannou et al., 2019).

Неоднородные случайные поля возникают, например, когда функции пространственного момента (среднее значение и дисперсия) следуют некоему тренду или когда однородное случайное поле обновляется включением данных измерений с помощью байесовского анализа (Geyer et al., 2022).

Сочетая моделирование случайного поля и байесовский анализ для учета имеющихся данных, можно определить точную вероятностную модель свойств материала для анализа надежности конструкции. Однако для этого надо выполнить все необходимые стадии расчетов с использованием полной модели случайного поля, которая является дорогостоящей с точки зрения вычислений и которую нелегко совместить с большинством коммерческих программ, работающих на основе метода конечных элементов (Geyer et al., 2019). Сложность этой модели может быть уменьшена за счет использования дискретизации, то есть представления случайного поля через конечное количество случайных величин. Существует множество групп методов дискре-

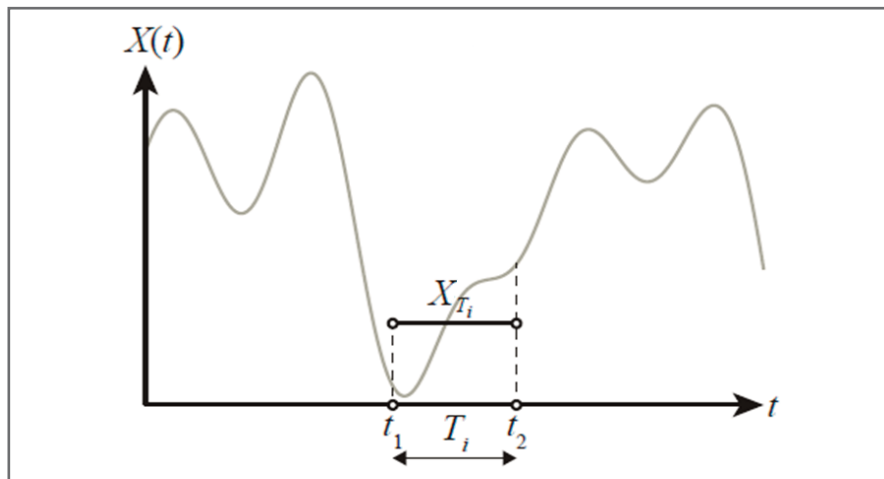


Рис. 1. Аппроксимация случайного поля  $X(t)$  через локальное пространственное усреднение в интервале  $[t_1, t_2]$

тизации (точечной дискретизации, усредненной дискретизации, расширения рядов) (Sudret, Der Kiureghian, 2000).

Далее будет рассмотрен метод пространственного усреднения (Vanmarcke, 2010) для дискретизации случайных полей, полученных при измерениях с пространственной переменной, с применением нового подхода, предложенного и описанного в последние годы Гейером с соавторами (Geyer et al., 2019, 2020, 2022). Сначала для обновления модели случайного поля использовались прямые измерения интересующего параметра. Затем выполнялось сведение неоднородного случайного поля к набору случайных величин с помощью пространственного усреднения. Данный подход учитывает пространственную корреляцию расположения точек измерений в байесовском анализе, а дискретизация неоднородного случайного поля позволяет напрямую применять коммерческое конечноеэлементное программное обеспечение в процессе анализа надежности.

## Метод пространственного усреднения для дискретизации случайных полей ►

Для точного представления случайного поля в любой точке обычно требуется «бесконечное» число случайных величин. А с помощью методов дискретизации случайное поле аппроксимируется в виде конечного количества случайных величин. Для этого был предложен метод Ванмарке (Vanmarcke, 2010), который легко использовать на практике. В этом методе случайное поле представляется как набор локальных интегралов, которые соответствуют средним значениям случайного поля для небольших участков области  $\mathbf{W}$ . Для наглядности рассмотрим одномер-

ный случай (хотя эта концепция применима и к многомерным вариантам).

Пространственное среднее значение  $X_{T_i}$  случайного поля  $X(t)$  в интервале  $[t_1, t_2]$  определяется следующим образом (Vanmarcke, 2010):

$$X_{T_i} = \frac{1}{T_i} \int_{t_1}^{t_2} X(t) dt, \quad (1)$$

где  $T_i$  — длина области интегрирования, то есть  $T_i = t_2 - t_1$ .

На рисунке 1 в графическом виде представлено однородное гауссово случайное поле и среднее пространственное значение  $X_{T_i}$  в интервале  $[t_1, t_2]$  длиной  $T_i$ , определяемой уравнением (1). Можно показать, что случайное поле  $X(t)$  аппроксимируется постоянным значением в интервале  $[t_1, t_2]$ .

Соответственно, может быть определено общее среднее локальных пространственных средних значений:

$$\mu_{X_{T_i}} = \frac{1}{T_i} \int_{t_1}^{t_2} \mu_X(t) dt. \quad (2)$$

Если величина  $\mu_X(t)$  постоянна в пространстве (например, в однородном случайном поле), то это интегрирование не влияет на среднее значение. Отметим, что:

$$\mu_{X_{T_i}} = \mu_X \quad \forall t_1, t_2 \in \Omega. \quad (3)$$

Напротив, процесс усреднения всегда влияет на дисперсию случайного поля. Для однородного случайного поля ее можно вычислить путем умножения дисперсии случайного поля на коэффициент уменьшения, найденный путем интегрирования по функции автокорреля-

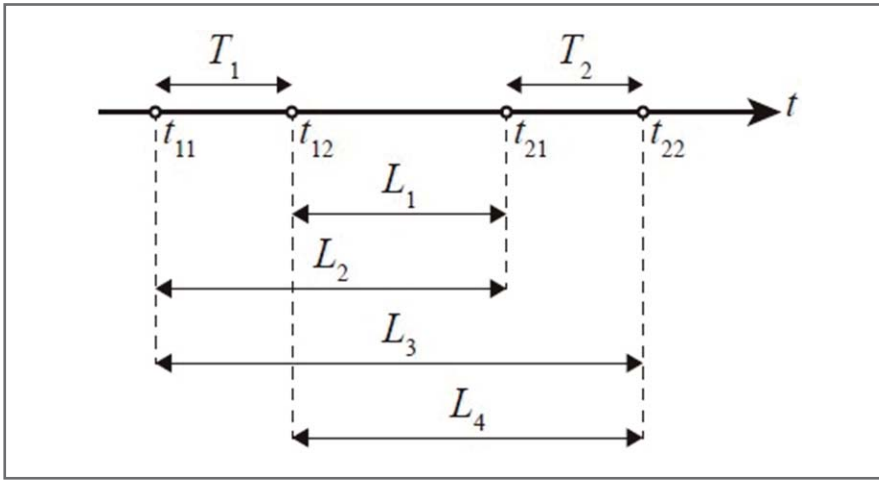


Рис. 2. Интервалы для вычисления ковариации локальных интервалов усреднения  $T_1$  и  $T_2$

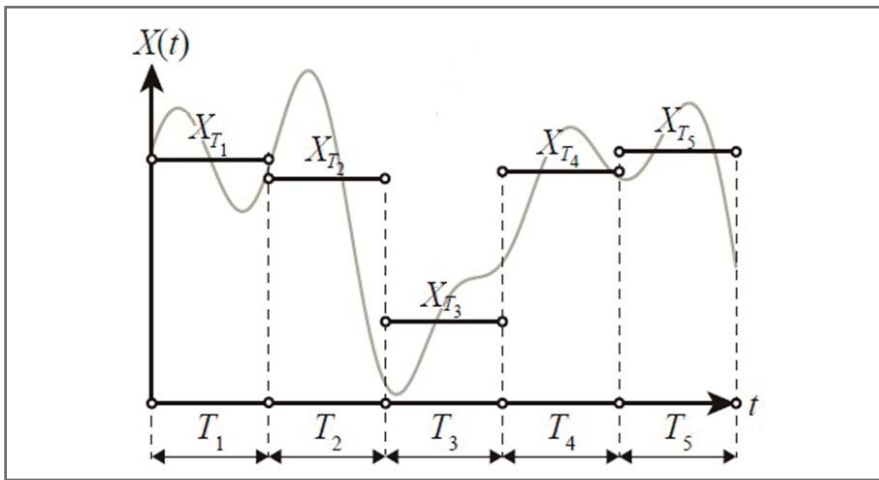


Рис. 3. Аппроксимация случайного поля  $X(t)$  с помощью метода пространственного усреднения с пятью элементами ( $n_{SA} = 5$ )

ции, которая является функцией только пространственного расстояния (Vanmarcke, 2010). Эту функцию часто называют функцией уменьшения дисперсии.

Однако в неоднородном случае корреляция двух точек может зависеть не только от их пространственного расстояния и дисперсии случайного поля (которая не является постоянной в пространстве). Следовательно, дисперсия усредняющего интеграла должна быть вычислена с помощью следующего двойного интеграла по функции автоковариации:

$$\text{Var}[X_T] = \frac{1}{T^2} \int_{t_1}^{t_2} \int_{t_1}^{t_2} \text{Cov}[X(a), X(b)] da db \quad (4)$$

Чтобы представить случайное поле с использованием элементов локального пространственного усреднения, необходимо правильно учитывать ковариацию и, следовательно, корреляцию этих локальных средних значений.

Рассмотрим два интервала длиной  $T_1$  и  $T_2$ , для которых необходимо рассчи-

тать ковариацию, как показано на рисунке 2. Ковариация двух пространственных средних  $\text{Cov}[X_{T_2}, X_{T_1}]$  может быть рассчитана на основе локальных усредненных отклонений следующим образом (Vanmarcke, 2010):

$$\text{Cov}[X_{T_2}, X_{T_1}] = \frac{1}{2T_1 T_2} (\Delta(L_1) - \Delta(L_2) + \Delta(L_3) - \Delta(L_4)) \quad (5)$$

где  $\Delta(L_i) = L_i^2 \cdot \text{Var}[X_{L_i}]$ ,  $i = 1, \dots, 4$ , (6)

где  $L_1, L_2, L_3, L_4$  – расстояния между конечными точками интервалов  $T_1$  и  $T_2$  на рисунке 2.

Локальные усредненные отклонения уравнения (6) вычисляются с помощью уравнения (4). Следует отметить, что формула (5) также справедлива для перекрывающихся, содержащих друг друга или совпадающих интервалов  $T_1$  и  $T_2$ .

На основе уравнений (3–6) могут быть вычислены все необходимые параметры локальных усредненных случайных вели-

чин, используемых для представления гауссова случайного поля. Аппроксимация случайного поля, представленного на рисунке 1, с помощью метода пространственного усреднения с пятью элементами проиллюстрирована на рисунке 3. Случайное поле аппроксимируется набором из пяти случайных величин, которые следуют многомерному распределению Гаусса со средним вектором и ковариационной матрицей, рассчитанной в соответствии с уравнениями (3–6).

Число элементов, используемых для усреднения, определяет точность аппроксимации. Для количественной оценки ошибки аппроксимации, то есть разницы между истинным случайным полем и аппроксимированным, могут использоваться различные меры погрешности, например дисперсия ошибки, смещение, среднеквадратичная ошибка (Sudret, Der Kiureghian, 2000; Betz et al., 2014 и др.). Поскольку эти величины обычно определяются по точкам, глобальные меры погрешности могут быть вычислены путем интегрирования (Sudret, Der Kiureghian, 2000). Требуемое количество элементов для метода пространственного усреднения можно определить, установив целевую глобальную ошибку дискретизации.

### Заключение ►

Пространственная изменчивость свойств грунтов является одним из источников неопределенностей в результатах инженерных изысканий. Она может быть смоделирована с помощью теории случайных полей, в соответствии с которой тот или иной параметр грунта в любой области инженерно-геологического элемента является случайной переменной, характеризующейся вероятностной функцией распределения. Анализ неоднородного случайного поля интересующего показателя можно упростить, подвергнув это поле дискретизации и применив метод пространственного усреднения для отдельных его областей, то есть сведя представление поля к набору случайных величин, являющихся локальными средними значениями для этих областей (в идеале используя самые элементарные области, хотя их количество зависит от требуемой точности аппроксимации).

Указанный метод полезно использовать в процессе геотехнического анализа для аппроксимации пространственно изменяющихся свойств грунта, особенно для структурного анализа при совместном использовании модели случайного поля и метода конечных элементов. **и**

**Список литературы** ▶

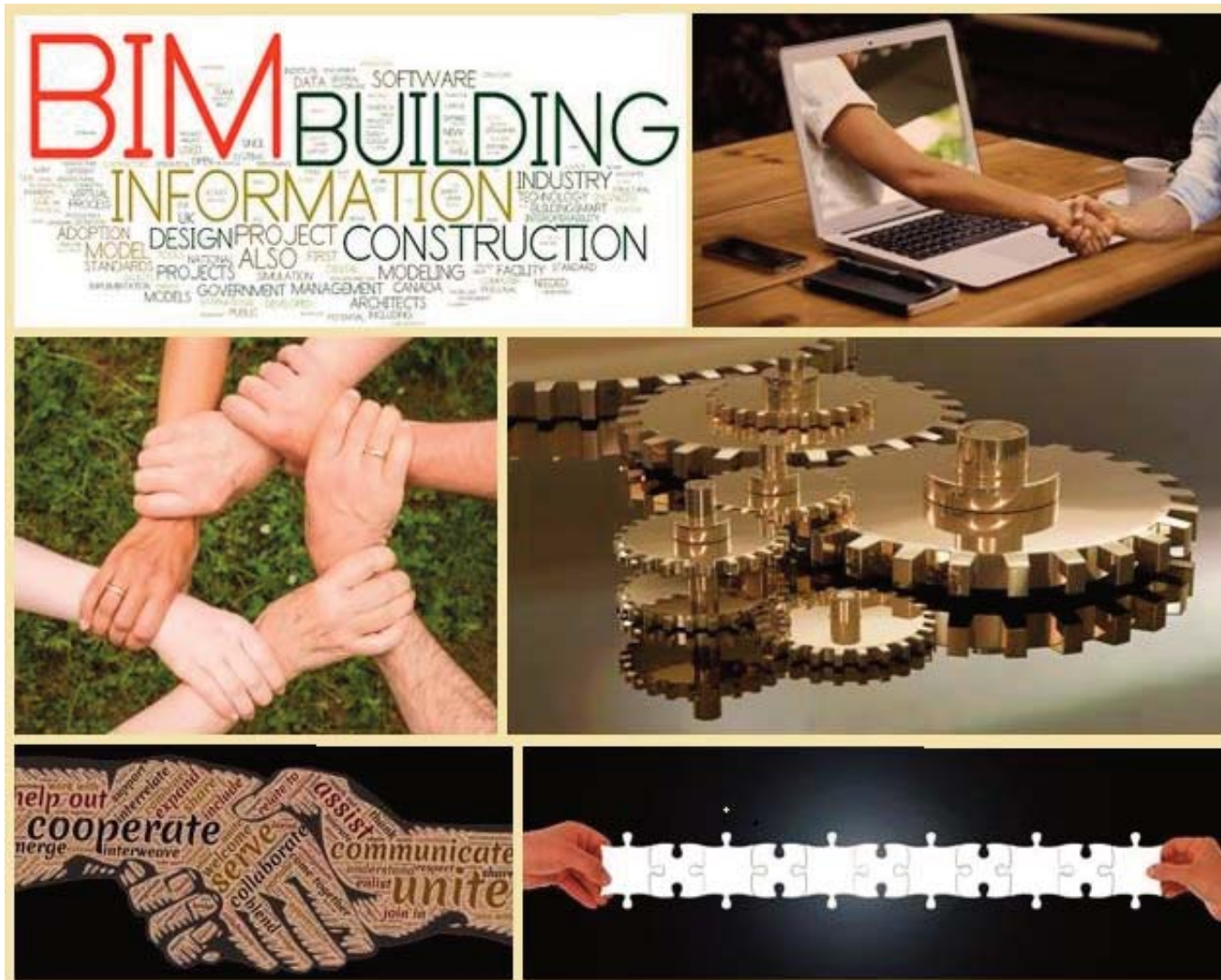
1. Betz W., Papaioannou I., Straub D., 2014. Numerical methods for the discretization of random fields by means of the karhunen-loève expansion // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2014. Vol. 271. P. 109–129.
2. Ching J., Tong X.-W., Hu Y.-G., 2016. Effective Young's modulus for a spatially variable soil mass subjected to a simple stress state // *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. 2016. Vol. 10. № 1. P. 11–26.
3. Fenton G.A., Griffiths D.V., 2003. Bearing-capacity prediction of spatially random  $c$ - $\varphi$  soils // *Canadian Geotechnical Journal*. 2003. Vol. 40. № 1. P. 54–65.
4. Fenton G.A., Griffiths D.V., 2005. Three-dimensional probabilistic foundation settlement // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2005. Vol. 131. № 2. P. 232–239.
5. Geyer S., Papaioannou D., Straub I., Kunz, C., 2019. Bayesian reliability assessment with spatially variable measurements: the spatial averaging approach // J. Song (ed.). *Proceedings of the 13th International Conference on Application of Statistics and Probability in Civil Engineering*. Seoul: Seoul National University open repository, 2019. P. 1–8.
6. Papaioannou I., Geyer S., Straub D., 2019. Bayesian updating of foundation reliability with spatially variable measurements: a spatial averaging approach // J. Ching, D.Q. Li, J. Zhang (eds.). *Proceedings of the 7th International Symposium on Geotechnical Safety and Risk*. Research publishing, 2019. P. 619–624.
7. Rackwitz R., 2000. Reviewing probabilistic soils modelling // *Computers and Geotechnics*. 2000. Vol. 26. № 3. P. 199–223.
8. Sudret B., Der Kiureghian A., 2000. Stochastic finite element methods and reliability: a state-of-the art report // *Structural Engineering, Mechanics and Materials*. Berkeley, USA: University of California, Department of civil and environmental engineering, November 2000. Report № UCB/SEMM-2000/08. 190 p. URL: [bruno.sudret.free.fr/docs/2000%20-%20State-of-the-art%20Stochastic%20Finite%20Elements%20and%20Reliability.pdf](http://bruno.sudret.free.fr/docs/2000%20-%20State-of-the-art%20Stochastic%20Finite%20Elements%20and%20Reliability.pdf).
9. Tabarrok M., Ching J., Phoon K.-K., Chen Y.-Z., 2021. Mobilisation-based characteristic value of shear strength for ultimate limit states // *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. 2021. Vol. 0. P. 1–22.
10. Vanmarcke E., Grigoriu V., 1983. Stochastic finite element analysis of simple beams // *Journal of Engineering Mechanics*. 1983. Vol. 109. № 5, P. 1203–1214.
11. Vanmarcke T., 2010. *Random fields: analysis and synthesis, revised and expanded*. New Edition. World Scientific, 2010. 364 p.

# Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

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



# WWW.GEOINFO.RU



Заглавный рисунок – по pixabay.com

# ВІМ В ЗАРУБЕЖНОЙ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

## **БОЛДЫРЕВ Г.Г.**

Директор по научной работе  
и инновациям ООО НПП «Геотек»,  
г. Пенза, Россия  
g-boldyrev@geotek.ru

## **ДИВЕЕВ А.А.**

Аспирант кафедры геотехники и дорожного  
строительства Пензенского государственного  
университета архитектуры и строительства (ПГУАС),  
г. Пенза, Россия

**ООО НПП «ГЕОТЕК» | ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРИБОРОВ И  
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДИСПЕРСНЫХ И  
СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Генеральный спонсор «ГеоИнфо»  
info@npp-geotek.ru

В последние годы значительно выросло использование информационного моделирования объектов строительства (ВІМ). К сожалению, в настоящее время большинство строительных проектов, которые могут внедрять процессы ВІМ, часто игнорируют геотехнические данные и не включают их в ВІМ-модель здания или сооружения. Но это может привести к дорогостоящим ошибкам, поскольку неопределенность грунтовых условий, определяемая в том числе малым объемом исследований и неоднородностью грунтов, является одним из самых больших источников рисков в строительных проектах. В связи с этим представляем вниманию читателей обзор зарубежных публикаций о применении принципов ВІМ к геотехнике (с важным дополнением по российской разработке), выполненный директором по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек» Г.Г. Болдыревым и аспирантом Пензенского государственного университета архитектуры и строительства А.А. Дивеевым.

**Введение**

Использование информационного моделирования объектов строительства (BIM – Building Information Modeling) в последние годы в целом значительно выросло. Однако геологию и геотехнику до сих пор не включают в BIM. И это существенное упущение, поскольку основная цель BIM заключается в снижении затрат за счет минимизации рисков на всех стадиях развития проекта. Неопределенность грунтовых условий, определяемая в том числе малым объемом исследований и неоднородностью грунтов, является одной из самых больших областей риска в любом строительном проекте. Принципы BIM могут быть применены к геотехнике, чтобы уменьшить эту неопределенность, лучше исследовав площадку строительства и в конечном итоге минимизировав риски и затраты (Morin, 2018).

Информационное моделирование объектов строительства в геотехнике можно рассматривать как дальнейшее развитие классических систем автоматизированного проектирования (САПР, CAD) и геоинформационных систем (ГИС, GIS) путем включения в BIM нескольких дополнительных элементов и рассмотрения проекта начиная с самых ранних стадий его развития (предварительного планирования, инженерных изысканий), затем на протяжении проектирования и строительства и даже на этапах эксплуатации построенного объекта и его сноса после окончания срока службы (Konietzky, 2020).

Несмотря на актуальность рассматриваемого вопроса, можно найти не так уж и много публикаций, в которых бы подробно рассматривались геотехнические аспекты BIM. К ним можно отнести, например, следующие работы: Tawelin, Mickovski, 2016; Morin et al., 2014; Obergriesser, Borrmann, 2012; Moller, Mahutka, 2018; Morin, 2018; Berdigylyjov, Popa, 2019; DAUB, 2019; Napa et al., 2019; Konietzky, 2020; Vanicek et al., 2021; Khan et al., 2021.

Немецкий комитет по подземному строительству и Немецкий комитет по строительству тоннелей (DAUB, 2019) опубликовали рекомендации по использованию BIM для создания подземных сооружений. Например, на рисунке 1 показано, как объединяют несколько BIM-подмоделей (по геотехнике, по наземной инфраструктуре, по тоннелю и т. д.) для создания сложной численной модели, необходимой для прогнозирования осадок грунта при строительстве тоннеля.

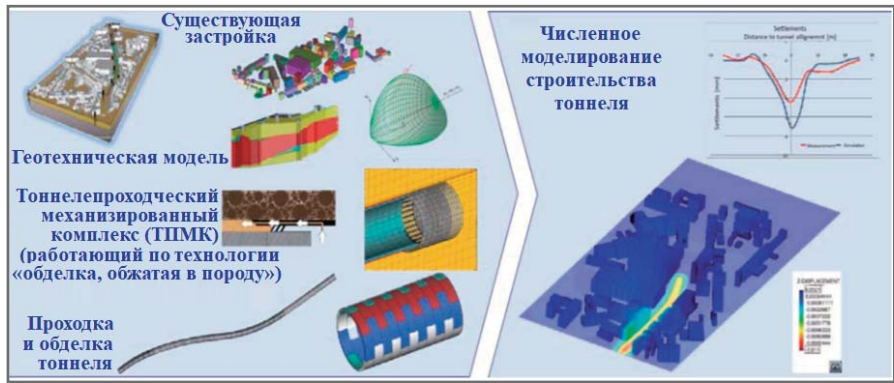


Рис. 1. BIM-подмодели, используемые для численного прогнозирования осадок грунта при строительстве тоннеля (по DAUB, 2019)

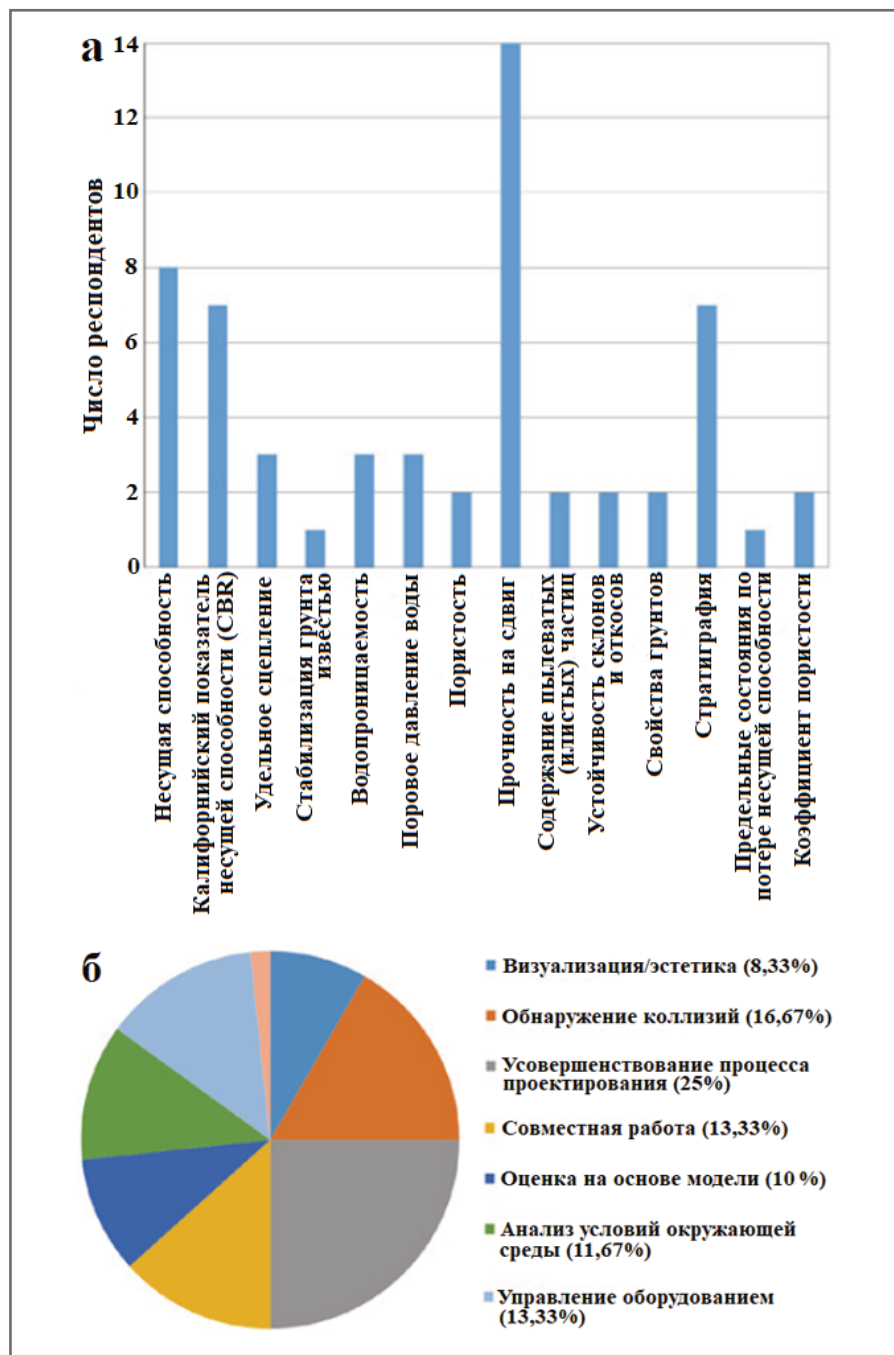


Рис. 2. Результаты опроса представителей шотландских геотехнических компаний, выполненного в 2016 году: а – геотехнические данные, которые надо включать в BIM; б – предполагаемые ключевые преимущества BIM с интегрированными геотехническими данными (по Tawelian, Mickovski, 2016)

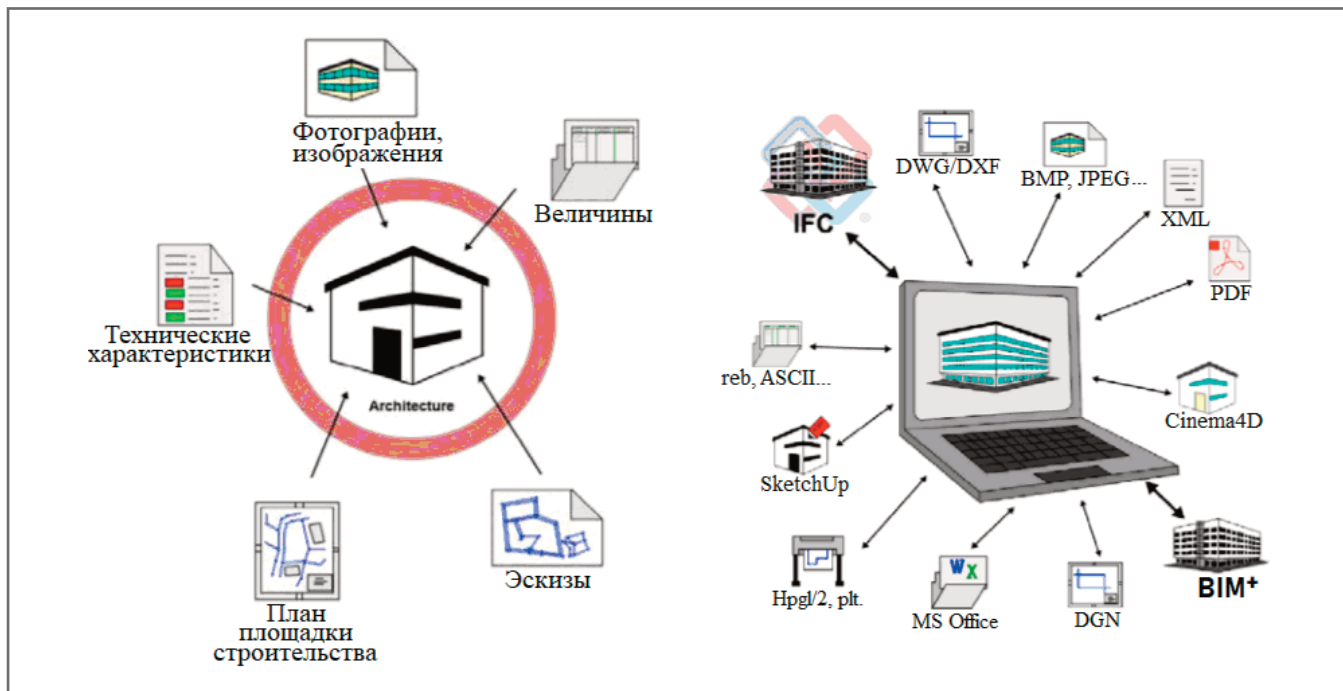


Рис. 3. Примерная иллюстрация входных данных, связанных со строительным объектом (слева), на основе различных форматов (справа) (по Allplan, 2016)

### Геотехника и BIM ▶

В статье Тавеляна и Мицковски (Tawelian, Mickovski, 2016) приведены результаты опроса представителей шотландских геотехнических компаний, выполненного в 2016 году по поводу необходимости использования информационного моделирования строительных объектов и в отношении геотехники. Все принявшие участие в анкетировании полностью согласились с тем, что в BIM должны быть включены геотехнические данные и что это будет выгодно строительной отрасли Великобритании. Более 80% респондентов заявили, что они используют BIM – в основном коммерчески доступные пакеты в сочетании с САПР и проприетарным (несвободным) программным обеспечением для проектирования. (Для сравнения: в 2013 году в Великобритании было только 54% пользователей BIM.)

Тремя основными категориями данных, включение которых в BIM-процесс респонденты сочли необходимым (рис. 2), являются параметры прочности грунта (например, угол внутреннего трения, удельное сцепление), характеристики несущей способности грунта (например, предельное сопротивление, CBR) и стратиграфия. Интересно, что ни один из участников опроса прямо не упомянул о подземных коммуникациях или существующих подземных сооружениях, хотя они часто составляют значительную часть условий, препятствующих реализации проектов. Кроме того, интересно

отметить, что свойства грунтов могут быть локально неоднородными и требуют значительных исследований и интерпретации результатов. Тем не менее эти линии рассуждений уже присущи новому поколению инженеров-строителей и инженеров BIM, которым потребуются соответствующие входные данные для ввода в BIM-модели (PAS 1192-2, 2013).

### Проблема формата геоданных ▶

При проектировании приоритетным является использование различных компьютерных программ, информация из которых должна быть передана любому программному обеспечению для BIM в различных форматах (ASCII, GSZ, DXF, PDF, DOC).

Программное обеспечение для BIM использует формат IFC (Industry Foundation Classes), который был разработан для обмена данными BIM с различными программными приложениями международной некоммерческой организацией buildingSMART International (ее целью является улучшение обмена информацией между программными приложениями, используемыми в строительной отрасли) (Wu et al., 2021). Формат IFC был зарегистрирован в соответствии с ISO-16739. С 2014 года использовался IFC-4, с 2020 года применяется IFC-5.

Формат IFC основан на стандарте STEP для обмена данными модели продукта (STandard for Exchange of Product

model data), который является частью стандарта ISO-10303, разработанного международной организацией по стандартизации ISO. Формат STEP-файлов является открытым, и их данные могут быть распознаны разными программами. Совокупность стандартов STEP позволяет физически и функционально описывать и обновлять любую информацию по компонентам строительного объекта (рис. 3), его геометрическим характеристикам, свойствам, отношению к другим объектам, жизненному циклу и т. д. Помимо этого очень популярен и часто используется для BIM-проектов формат XML (Extensible Markup Language). В целом программное обеспечение для BIM должно быть в состоянии обрабатывать совершенно разные форматы данных (файлов) (см. рис. 3).

На рисунке 4 отражено развитие формата IFC. Как показано на рисунке 5, возможности формата IFC были расширены, чтобы охватить все гражданское строительство, в том числе автомобильные и железные дороги, мосты, морские инженерные объекты, тоннели и другие подземные сооружения. Однако до сих пор нет развития данного формата применительно к задачам инженерно-геологических изысканий и геотехнического проектирования.

### Централизованная геотехническая база данных ▶

Данные, полученные с помощью приборов в лаборатории или путем непо-

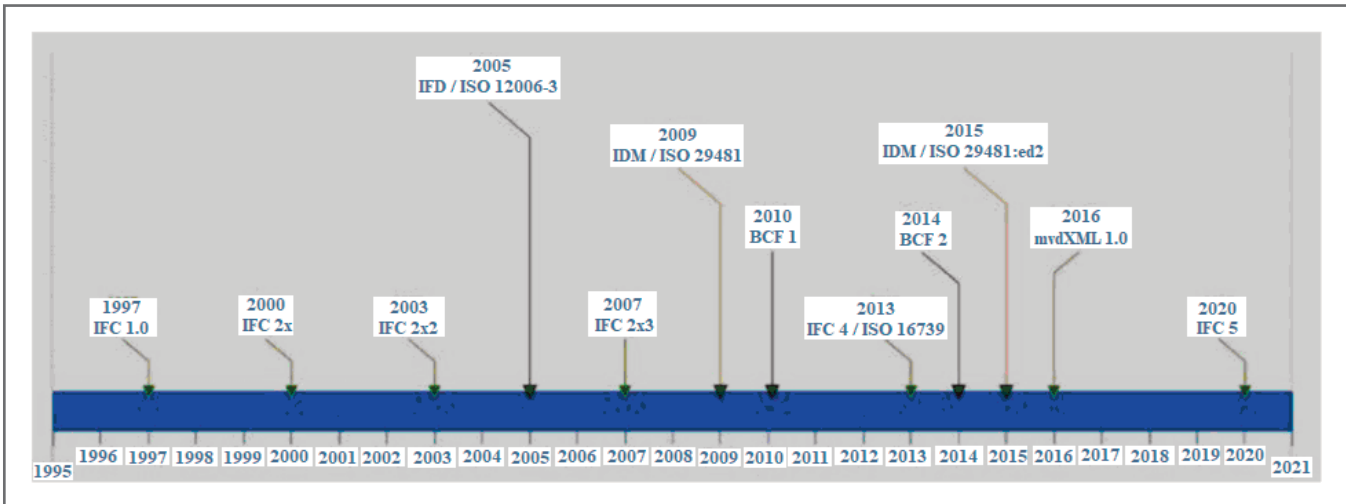


Рис. 4. Схема развития формата IFC (с сайта организации buildingSMART International)

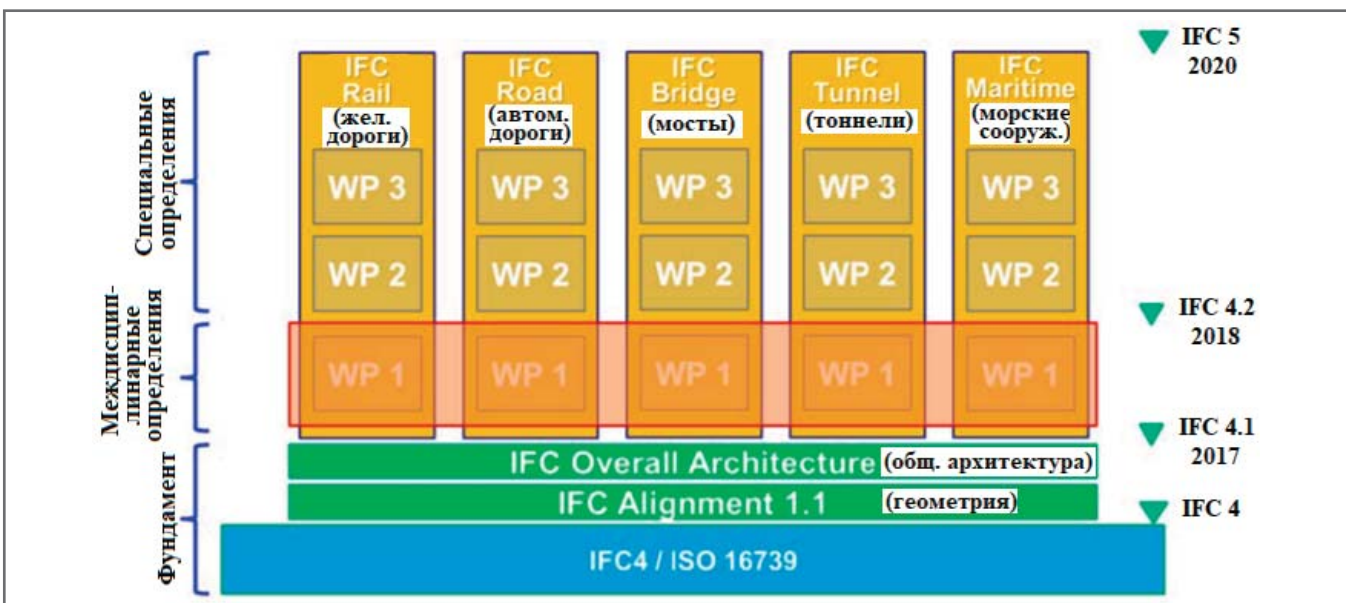


Рис. 5. Расширение возможностей формата IFC с целью включения различных геотехнических сооружений (по DAUB, 2019)

средственных полевых наблюдений и измерений, являются фактическими. Поскольку работа и взаимодействие сотрудников в среде BIM потребуют доступа к этим исходным данным, они должны сохраняться без обработки как основа достоверности (Obergruesser, Borrmann, 2012). Когда мы начнем их просматривать, анализировать и использовать (например, для определения того, к каким геологическим слоям относятся грунты, встреченные в каждой скважине), начнется их интерпретация. Эти интерпретированные базовые данные затем расширяются еще больше, когда геолог определяет, как слои могут соединяться друг с другом, для получения двумерного разреза, трехмерной модели или для составления отчета об исследовании, куда войдут уже результирующие данные.

Необходимым условием для извлечения, интерпретации и использования

исходных данных является использование метаданных о базовой информации. Поскольку результирующие данные будут передаваться другим группам участников проекта, занимающимся проектированием, строительством, эксплуатацией и управлением, метаданные необходимы для предотвращения неправильного использования результирующих данных. Поэтому метаданным следует уделять больше внимания. Иными словами, в системе архива геотехнических данных для их описания должен использоваться набор параметров. Для картографических данных это могут быть масштаб, источник, время и т. д., для данных по скважине – идентификатор, название проекта, глубина, дата исследования и пр.

Эти четыре базы образуют централизованную геотехническую базу данных (рис. 6).

Процесс создания централизованной геотехнической базы данных показан на рисунке 7. Ее источниками являются фактические данные инженерно-геологических и геотехнических исследований. Процесс переноса информации из бумажного материала в базу данных происходит вручную. Исходные цифровые и отсканированные бумажные материалы составляют фактическую базу данных. Их форматы могут быть различными. До дальнейшего поступления информации в базу базовых данных и позже в базу результирующих данных должны быть выполнены преобразование информации из одного формата в другой, изменение проекций, стандартизация и пр. Для обеспечения точности интерпретируемых результатов следует использовать стандартизированные шаблоны и проверку данных.

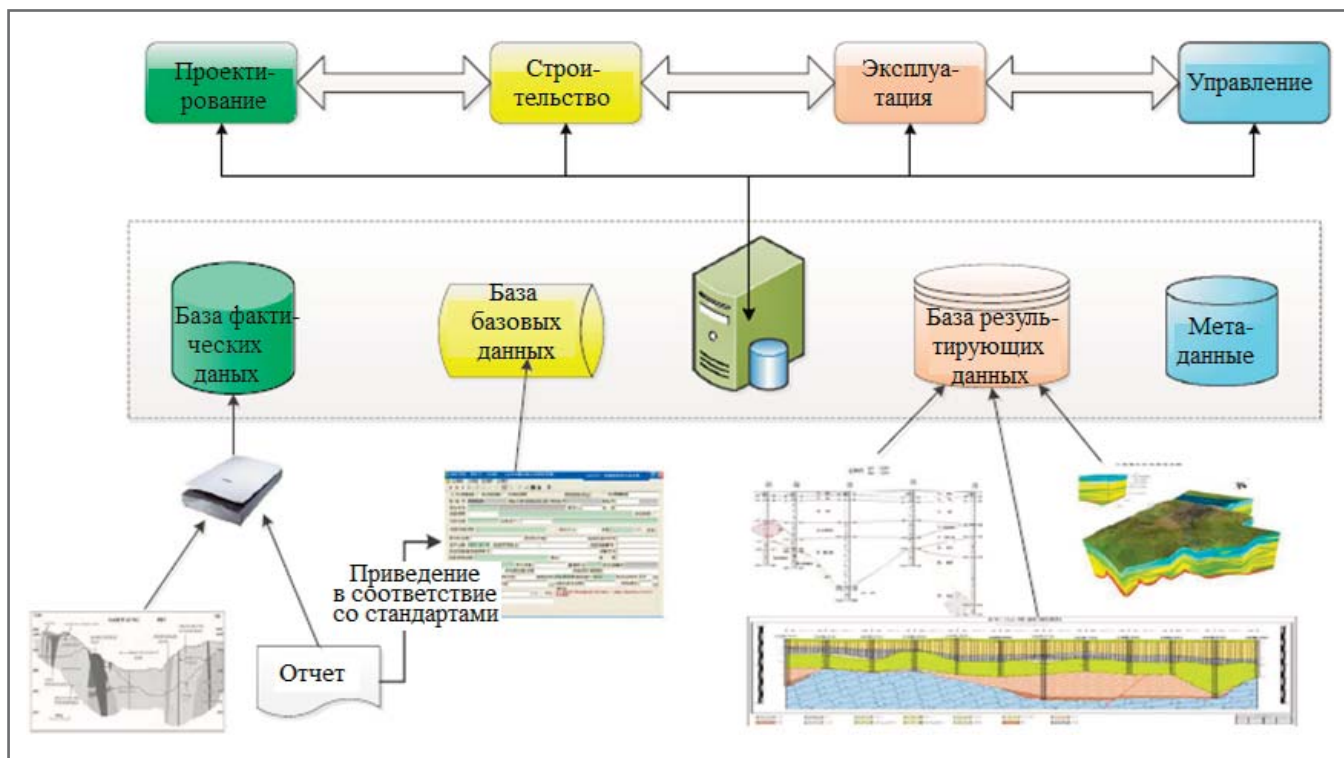


Рис. 6. Архитектура централизованной геотехнической базы данных (по Zhang et al., 2017)

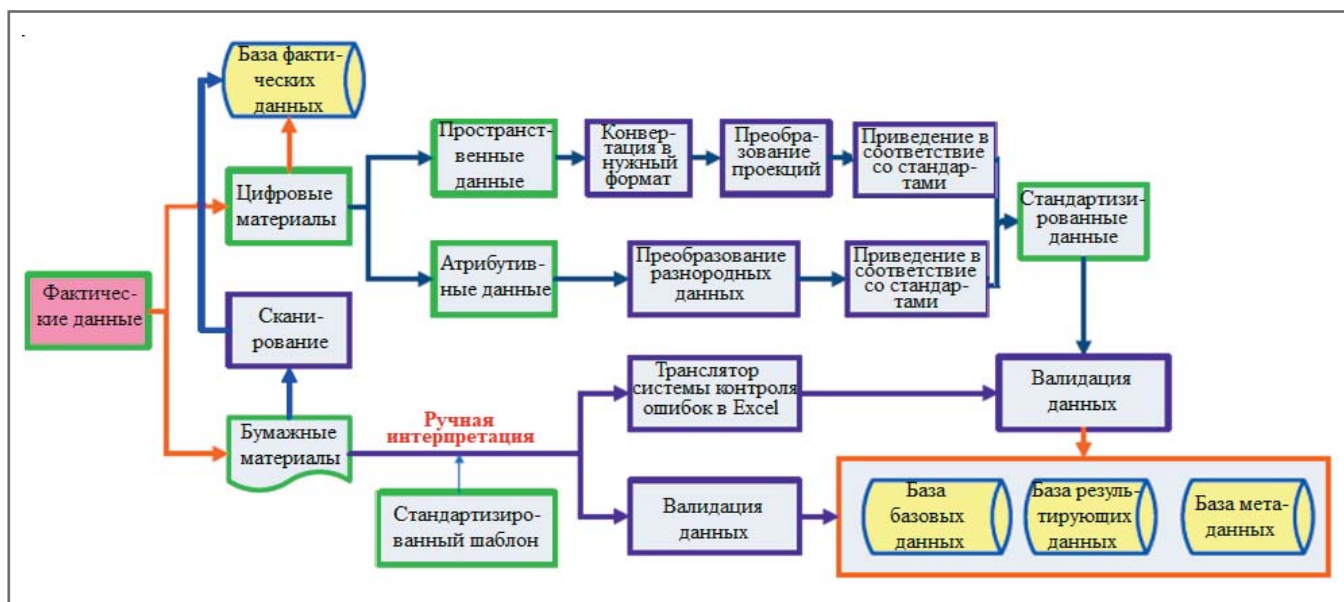


Рис. 7. Процесс создания централизованной геотехнической базы данных (по Zhang et al., 2017)

Основой и средством, позволяющими реализовать преимущества BIM, являются цифровые данные. При этом необходимо использовать общие согласованные форматы для представления информации. Для гармонизации процессов BIM на международном уровне существует стандарт EN ISO 16739 «Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства», опубликованный в 2013 году и пересмотренный в 2018 году. Это открытый международный стандарт для обмена и совместного использования BIM-данных

разными участниками того или иного строительного проекта, использующих различные программные приложения, а также для управления этими данными. В Великобритании и некоторых других странах для геотехнических данных используются стандарты, предложенные Ассоциацией специалистов по геотехнике и геоэкологии (AGS). А в Соединенных Штатах все больше предпочитают формат обмена данными по геотехнике и геоэкологии DIGGS, поддерживаемый Американским обществом инженеров-строителей (ASCE) и Феде-

ральным управлением автомобильных дорог США (FHWA). Оба эти формата позволяют передавать геотехнические и геоэкологические цифровые данные внутри организаций и между ними. При этом требуется их импорт из файла обмена информацией в выбранную систему управления геотехническими данными (в разных системах используются файлы разных форматов, например AGS, DXF, AVI, PDF, ASCII, DOC, XLS). К сожалению, в России до сих пор нет отечественных возможностей для этого. А стоимость годовой лицен-



зии на использование формата AGS довольно велика.

Формат AGS может быть принят в нашей стране в качестве стандартного с введением дополнительных изменений для учета особенностей геологических данных для России или несовместимых с ним геотехнических данных, накопленных ранее, которые необходимо будет предварительно обработать. Аналогичным образом, файлы в формате AGS должны быть адаптированы для включения данных о подземных сооружениях и подземных коммуникациях, чтобы получить преимущества процесса BIM (Morin et al., 2014). Однако вышесказанное будет зависеть от качества исследований грунтовых условий, управления строительством и мониторинга. И задача будет заключаться в том, чтобы включить интерпретированные данные в файлы подходящих форматов, возможно используя в качестве основы национальные геологические/геотехнические базы данных.

Первостепенное значение для включения геотехнических данных в общий процесс BIM, позволяющий взаимодействовать разным участникам проекта, будет иметь разработка подходящего стандартизированного формата этих данных. Любая новая разработка, в которой будет геотехническая информация, должна будет включать варианты оцифровки исторических данных из традиционных печатных копий с минимальной ручной обработкой или без нее (Morin et al., 2014), чтобы избежать лишних затрат времени и денег. При этом будут оставаться риски неучтенных характеристик или локальных изменений свойств грунтов, которые следует сводить к минимуму с каждым новым исследованием на конкретном участке. Точно так же результаты наземных исследований и их интерпретации должны быть задокументированы в соответствующем формате и предоставлены разработчикам наземной части BIM, дающей подробное представление о подземных условиях. Формат AGS (AGS, 2011) предназначен только для передачи геотехнических данных и не охватывает общую информацию о месте изысканий и конструкции объекта строительства или его фундамента, однако эта информация может быть отражена путем введения новых классов IFC.

Коммерчески доступное программное обеспечение может позволить импортировать информацию о подземных коммуникациях, при ознакомлении с которой можно было бы просматривать

и качественные метаданные, если таковые имеются (как предложено в британском стандарте PAS 128 2014 года). Такое программное обеспечение может помочь в управлении всеми геотехническими данными на протяжении всех этапов развития проекта, а также обеспечить возможность доступа к исторической и текущей информации, имеющей отношение к проекту (Tawelian, Mickovski, 2016).

### Интегрирование технологий GIS и BIM ►

Геоинформационная система (ГИС, GIS) предоставляет значительную информацию о рассматриваемой территории, в то время как информационное моделирование объектов строительства (BIM) может дать информацию для проектирования и строительства на конкретной площадке в мельчайших деталях. Тем не менее интеграция BIM и GIS для моделирования геотехнических свойств грунтов пока, насколько известно авторам обзора, не используется (Ammar, Dadi, 2021).

В статье Хана и др. (Khan et al., 2021) рассмотрена интеграция BIM и GIS для моделирования геотехнических свойств и безопасных зон строительства в зависимости от типа грунта (рис. 8). К набору данных полевых и лабораторных испытаний в пакистанском городе Пешавар было применено использование открытых стандартных классов IFC, таких как IfcBorehole, IfcGeoslice и IfcGeomodel, что улучшило интеграцию двух систем и позволило обмениваться геотехнической информацией между различными заинтересованными сторонами. То есть полученные результаты продемонстрировали, что предложенный метод успешно интегрирует BIM и GIS, давая на выходе трехмерную цифровую геотехническую модель. Эта модель обладает отличным потенциалом для предоставления информации о типах грунтов, свойствах, глубине и объеме каждого их слоя и может быть использована проектировщиками и менеджерами для определения наиболее эффективных и безопасных методов строительства.

Обзор Аммара и Дади (Ammar, Dadi, 2021) показал, что в общей сложности только в 15 публикациях из 100 обсуждалось применение интегрированной системы BIM-GIS, причем в основном для моделирования и проектирования элементов транспортной инфраструктуры, их строительства, мониторинга и проверки соответствия требованиям

стандартов, а также для управления этими объектами и соответствующими активами. Таким образом, в отношении внедрения интегрированных приложений BIM-GIS существует заметный разрыв между секторами транспортного строительства и возведения зданий и нетранспортных сооружений, который предстоит преодолеть. Кроме того, для эффективного внедрения BIM-GIS требуется интеграция и с другими технологиями (в том числе сенсорные и интернет-технологии).

Подробная информация о строительном объекте и окружающих его условиях необходима на протяжении всех стадий развития проекта и является важнейшим активом для более эффективного распределения ресурсов и принятия решений. А подробные модели с исчерпывающей информацией из BIM, интегрированной с расширенными возможностями GIS, улучшают совместимость данных, облегчают их анализ и обеспечивают надежность результатов. Следовательно, по мнению Аммара и Дади (Ammar, Dadi, 2021), необходимы будущие исследования для изучения потенциала этой интеграции.

### BIM и неопределенность свойств грунтов ►

В Федеральном управлении автомобильных дорог Соединенных Штатов (FHWA) принципы BIM недавно были применены к геотехническому проектированию. Основная цель заключалась в снижении неопределенности результатов инженерных изысканий и улучшении их практики, что в конечном итоге поможет снизить риски и затраты (Wang et al., 2020). По сути, концепция BIM, когда она распространяется на геотехнику, требует разработки новых алгоритмов для моделирования грунтовых оснований с переходом от традиционной парадигмы, основанной на опыте, к более продвинутой, основанной на данных (рис. 9). Более того, вместо детерминированной интерпретации результатов исследований, основанной на субъективных суждениях геологов и геотехников, исходные данные могут быть обработаны, проанализированы и смоделированы с использованием вероятностных моделей и байесовских статистических методов, логики и сетей, так что возможные пространственные закономерности могут быть извлечены автоматически с использованием методов искусственного интеллекта с возможностью количественной оценки неопределенности. Парадигма, основанная на



Рис. 8. Схема интеграции GIS и BIM (по Khan et al., 2021)

данных, более объективна, а уровень достоверности полученных результатов может быть вычислен с использованием байесовских принципов машинного обучения. Возможность количественной оценки неопределенности является ключевой особенностью, которая отличает BIM для геотехники от аналога для наземных сооружений. Кроме того, даже по мере все большего накопления и хранения данных исследований в стандартизированных форматах с помощью BIM можно автоматически импортировать, экспортировать, обрабатывать и передавать геотехнические данные через Интернет, что открывает путь к разработке веб-приложений для масштабируемой платформы BIM на основе искусственного интеллекта.

#### Логическая схема байесовского подхода и марковские случайные поля

Чтобы справиться с неопределенностями, связанными с определением стратиграфического строения грунтовых массивов, используют вероятностные подходы, включая байесовский метод (Wang et al., 2013), метод кластеризации (Liao, Maune, 2007), метод максимумов модуля вейвлет-преобразования (Ching et al., 2015) и методы, основан-

ные на машинном обучении (Wang et al., 2018). На основе стратиграфических колонок, полученных для мест расположения скважин, на основе пространственной интерполяции границ между соседними слоями может быть интерпретирован стратиграфический разрез исследуемой площадки (Chen et al., 2018; Li et al., 2015; Patel, McMechan, 2003). Неопределенность в стратиграфической конфигурации может быть охарактеризована с помощью вероятностных подходов, на основе цепей Маркова (Elfeki, Deking, 2001; Hu, Huang, 2007; Qi et al., 2016) или на основе случайных полей Маркова (Li et al., 2016; Norberg et al., 2002; Wang et al., 2016).

Таким образом, можно сказать, что неопределенность интерпретируемой геологической модели может быть хорошо охарактеризована с помощью вероятностных подходов, которые состоят из двух основных компонентов: байесовского машинного обучения и стохастической модели.

1. *Байесовское машинное обучение основано на механизме стохастического распознавания образов.* По сути, построение геологической модели, независимо от того, выполняется ли оно геологами или с помощью алгоритмов искусственного интеллекта, представляет собой процесс

разработки модели на основе результатов исследований, выполненных локально или в редко расположенных точках. Неполнота таких данных означает, что выводы должны делаться исходя из предварительных знаний о пространственной корреляции, геологическом строении и инженерно-геологической истории площадки, а неопределенности, связанные с этими выводами, должны быть четко определены количественно.

Байесовское машинное обучение (BML) – это междисциплинарная область, объединяющая машинное обучение и метод байесовского статистического вывода. Первое способно распознавать абстрактные шаблоны и моделировать системы с высокой сложностью. Второй позволяет проводить принципиальные оценки неопределенности и обеспечивает формальную основу для кодирования предварительных знаний человека для построения надлежащей вероятностной модели, выбор которой будет иметь большое значение для производительности и возможностей разработанной системы интерпретации и моделирования.

Как правило, подповерхностное пространство может быть абстрагировано в виде двухуровневой иерархической модели (рис. 10). Первый показанный на

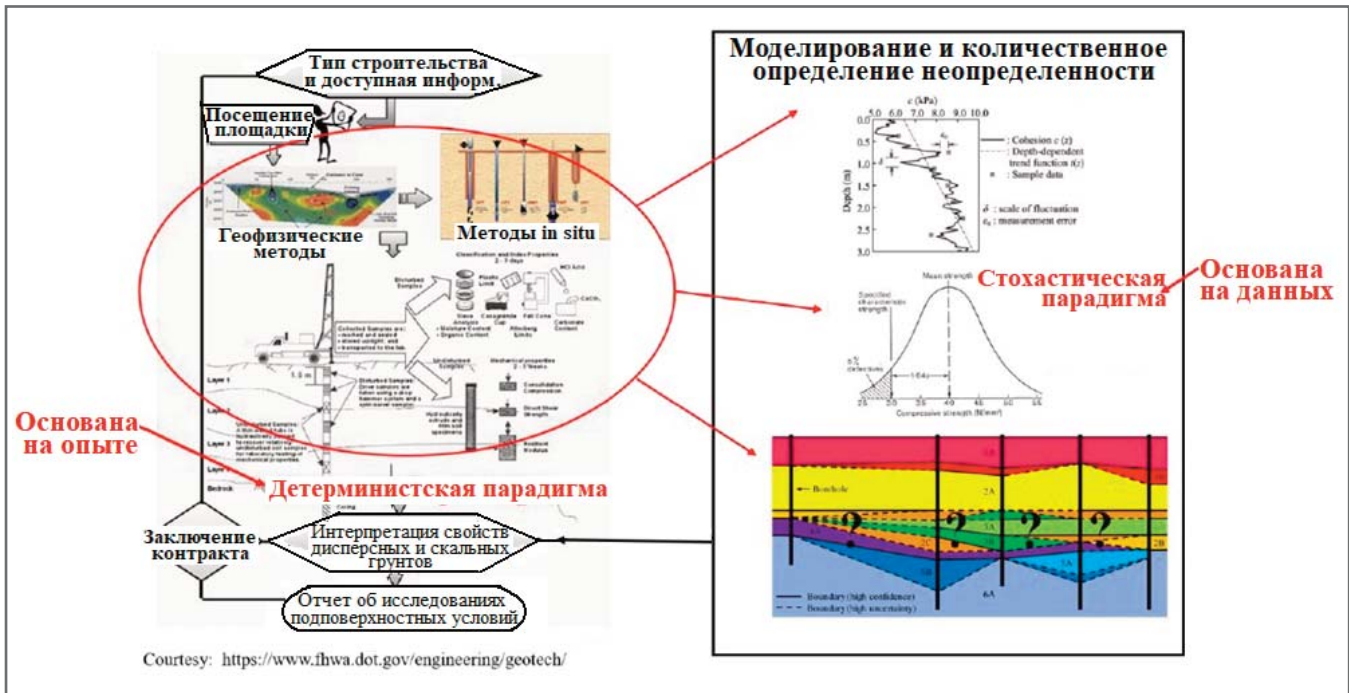


Рис. 9. Традиционные методы инженерно-геологических исследований, основанные на опыте, и современные парадигмы, основанные на данных (по Wang et al., 2020)

рисунке 10 уровень называется физическим пространством и соответствует пространственному распределению различных типов дисперсных и скальных грунтов ниже поверхности земли, которое может быть описано с использованием пространственно коррелированной категориальной модели, основанной, например, на марковском процессе (то есть на случайном поле Маркова). Второй уровень называется пространством признаков, в котором представлены вариации изменчивых показателей свойств грунта (например, плотности, влажности, водопроницаемости, прочности, параметров СРТ и SPT и т. д.).

Для описания изменчивости свойств грунта могут быть использованы допущения Гаусса (или логарифмически нормальные допущения). Как марковское предположение, так и предположение Гаусса уже давно используются исследователями. Однако каждое из них не может рассматриваться как всеобъемлющая модель для интерпретации и моделирования геологических условий. Предположение Маркова само по себе не может отразить изменчивость свойств грунта. А классификация грунта, основанная только на предположении Гаусса, уязвима для «белого шума» данных, и получаемая интерпретированная стратификация грунта обычно нереалистична и показывает чрезмерно частую смену типов грунта по глубине.

Предыдущие исследования (Wang et al., 2018, 2019) представляли собой

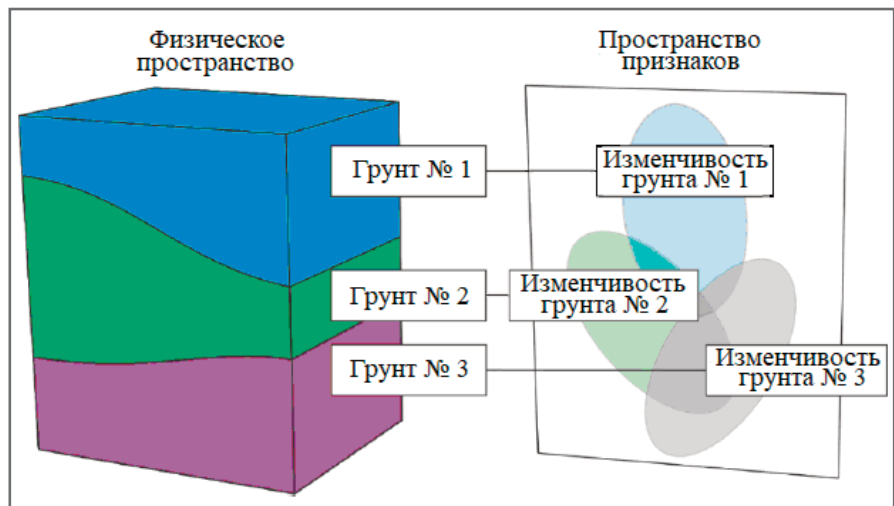


Рис. 10. Схематическое представление концептуальной иерархической геологической модели (Wang et al., 2020)

экспериментальные попытки объединить эти два предположения в иерархическую модель, которая позволяла бы полностью интегрировать предварительные знания человека о подземном пространстве с измеряемыми свойствами грунтов. Кроме того, с точки зрения совместимости моделей такая комбинация интуитивно понятна, поскольку методы отбора проб грунта и визуальный/лабораторный контроль предоставляют прямые данные о типе грунта в физическом пространстве, а полевые испытания и/или геофизические исследования обеспечивают измерения инженерных характеристик грунтов в подземном пространстве площадки изысканий.

Таким образом, разработанная иерархическая модель обеспечивает базовую основу, позволяющую объединять разнообразные данные о грунтах из разных источников и моделировать их унифицированным образом.

На основе концептуальной иерархической геологической модели (см. рис. 10) интерпретация данных изысканий, по существу, представляет собой решение байесовской задачи классификации, основанной на сходстве показателей свойств грунта в пространстве признаков с учетом их пространственной корреляции (иначе говоря, пространственной структуры) в физическом пространстве.

Для площадки изысканий с несколькими типами данных по грунтам, собранных в нескольких местах, существуют две возможные схемы интерпретации.

Обычная схема заключается в том, чтобы интерпретировать эти данные отдельно, а затем вручную интегрировать полученную локальную стратификацию в полную 3D-модель. Этот процесс работы является субъективным и детерминированным.

Другая схема заключается в объединении данных по грунтам, собранных в разных местах с использованием разных методов исследований, и их совместной интерпретации в единой системе классификации грунтов. Исследования (Wang et al., 2020) показали, что такой путь имеет значительные преимущества по сравнению с обычной схемой интерпретации. Так, со статистической точки зрения дополнительные выборки данных могут предоставить более полную и расширенную статистическую информацию для каждого кластера (типа и свойств грунта) и тем самым значительно повысить точность результатов кластеризации. Более того, совместная интерпретация данных по грунтам, полученных с использованием нескольких методов исследований, может извлечь выгоду из взаимодополняемости различных методов, дополнительно устранив потенциальные несоответствия и приведя к согласованным результатам интерпретации. Что еще более важно, совместная интерпретация служит надежной гарантией масштабируемости процесса байесовского вывода, поскольку он обеспечивает надежный способ интеграции дополнительных данных по грунтам. Для использования такой схемы типичная задача состоит в том, чтобы объединить различные показатели в единую структуру корреляции, учитывая при этом различную достоверность разных показателей из-за способов их измерений. Эта проблема может быть решена путем внедрения алгоритмов контролируемого обучения или полууправляемого обучения в неконтролируемые подходы к кластеризации для учета корреляций между различными показателями свойств грунтов. Байесовский вывод иерархической модели может включать выборку в многомерном пространстве параметров для оценки апостериорной вероятности. Для повышения эффективности такого вывода были разработаны усовершенствованные схемы выборки по методу Монте-Карло с цепью Маркова (англ. MCMC) для численной реализации байесовского вывода. Некоторые самые последние ме-

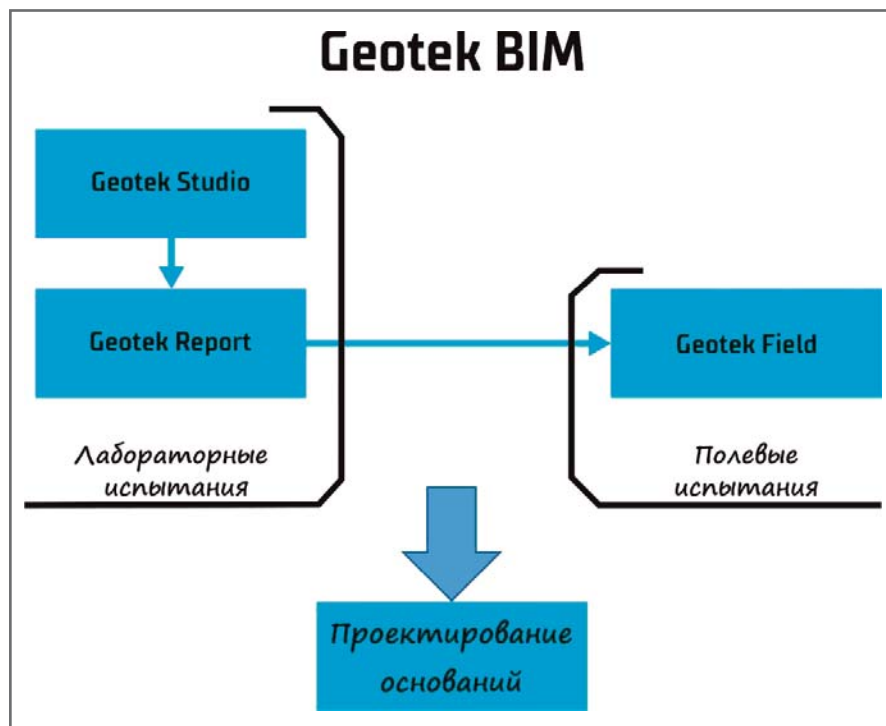


Рис. 11. Структура информационных потоков в технологии информационного моделирования Geotek BIM (названия программных модулей приведены на латинице)

тоды, упомянутые выше, уже были реализованы в программе моделирования подповерхностного пространства, разработанной в FHWA.

2. *Марковские случайные поля – математические представления пространственной неоднородности.* Пространственное распределение грунтов и связанных с ними инженерных объектов обладает определенными закономерностями, которые обусловлены естественными процессами формирования и эволюции подповерхностного пространства. С учетом локальных результатов интерпретации (то есть локальной стратификации грунтов и локальных оценок их свойств) построение полной 2D/3D геологической модели требует ее адекватного понимания и эффективного воспроизведения. Более конкретно, инженерно-геологическую модель можно разделить на две части: стационарную и нестационарную. Первая отражает основные характеристики грунтов (состав, текстуру и пр.), которые в значительной степени определяются одними и теми же или сходными процессами их формирования. Вторая имеет большое значение для специфической местной геологической деятельности (поднятия, складкообразования и др.). Реальные конфигурации подповерхностных слоев можно рассматривать как наложение друг на друга нестационарной локализованной и крупномасштабной стационарной структур.

Работы по дистанционному зондированию и геофизическим измерениям (Wang et al., 2019; Wang et al., 2016) показали, что марковские случайные поля (MRF) могут использоваться для имитации стационарных пространственных структур и разрезов реальных грунтов. Более конкретно, дискретизированное подповерхностное пространство может быть представлено в виде неориентированной графической модели, в которой каждый пиксель (в двумерном физическом пространстве) или воксель (в трехмерном физическом пространстве) грунта может быть пространственно коррелирован с соседними пикселями/вокселями. Такая настройка используется для моделирования следующего основного наблюдаемого факта: сходные типы дисперсных или скальных грунтов обычно находятся близко друг к другу и образуют слоистые структуры (принцип кригинга). Анизотропия обычно контролируется путем установки параметров в марковских моделях случайного поля. Алгоритмы распознавания образов, основанные на машинном обучении, могут извлекать стационарную пространственную структуру грунта из результатов либо непрерывных геофизических измерений, либо «разреженных» наблюдений в скважинах с помощью метода байесовского вывода, как упоминалось выше.

Нестационарная структура может быть частично определена на основе известных геологических данных (геологических

карт и пр.). Если же геологическая информация отсутствует или недостаточна, то в большинстве случаев простой и эффективной альтернативой является выполнение условного стохастического моделирования на основе полученных результатов по стратификации в отдельных точках и разработанной концептуальной модели с выбором всех возможных тенденций. Нестационарное поведение контролируется путем локальных изменений параметров MRF в соответствии с доступными локальными данными.

Как только пространственные структуры будут получены, они могут быть закодированы и представлены в виде соответствующих моделей случайного поля, а также воспроизведены в виде



Рис. 12. Структурная схема полевых испытаний и проектирования оснований при использовании технологии информационного моделирования Geotek BIM

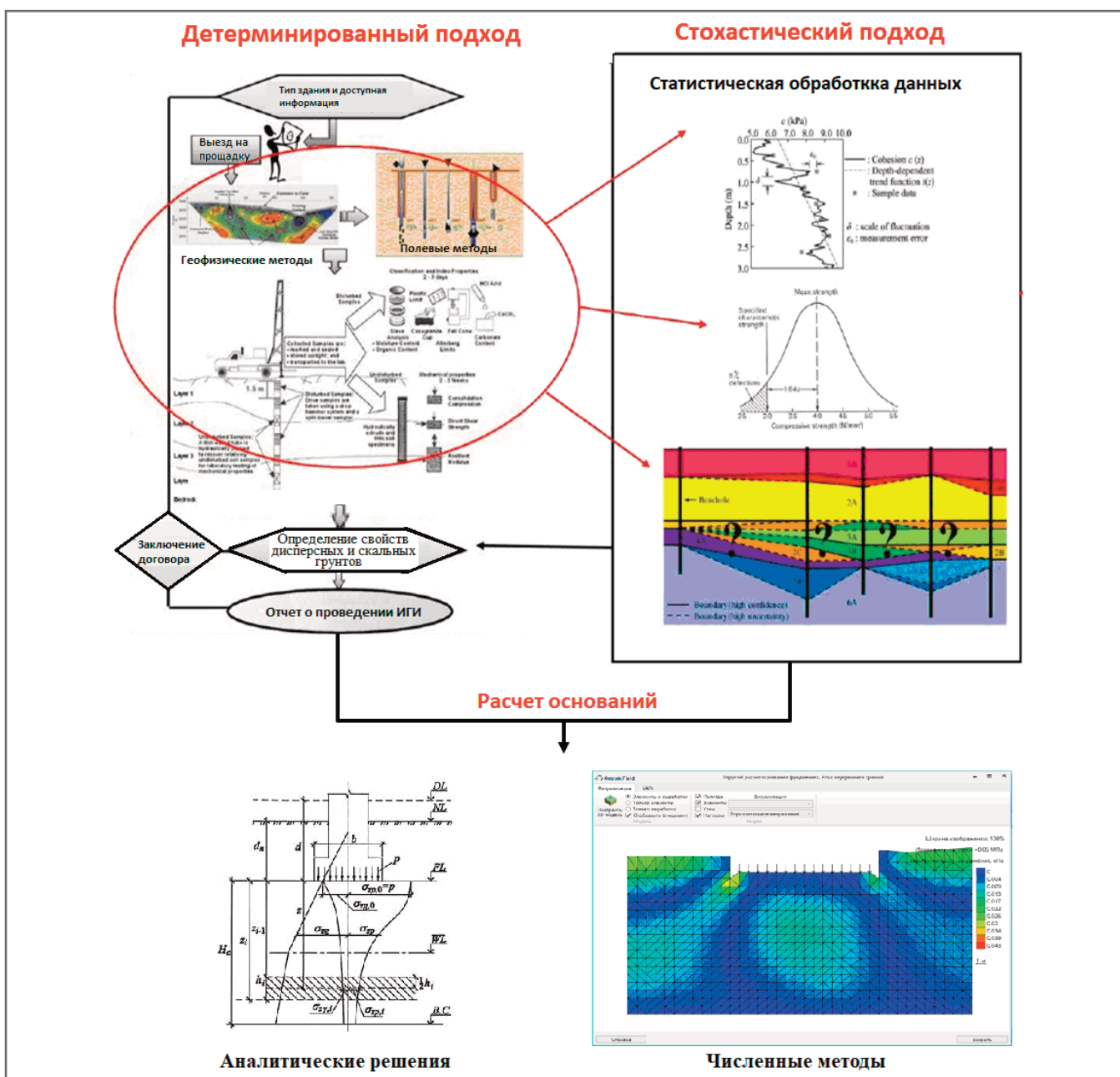


Рис. 13. Комплексный подход к решению задач инженерных изысканий и проектирования оснований, использованный в технологии информационного моделирования Geotek BIM

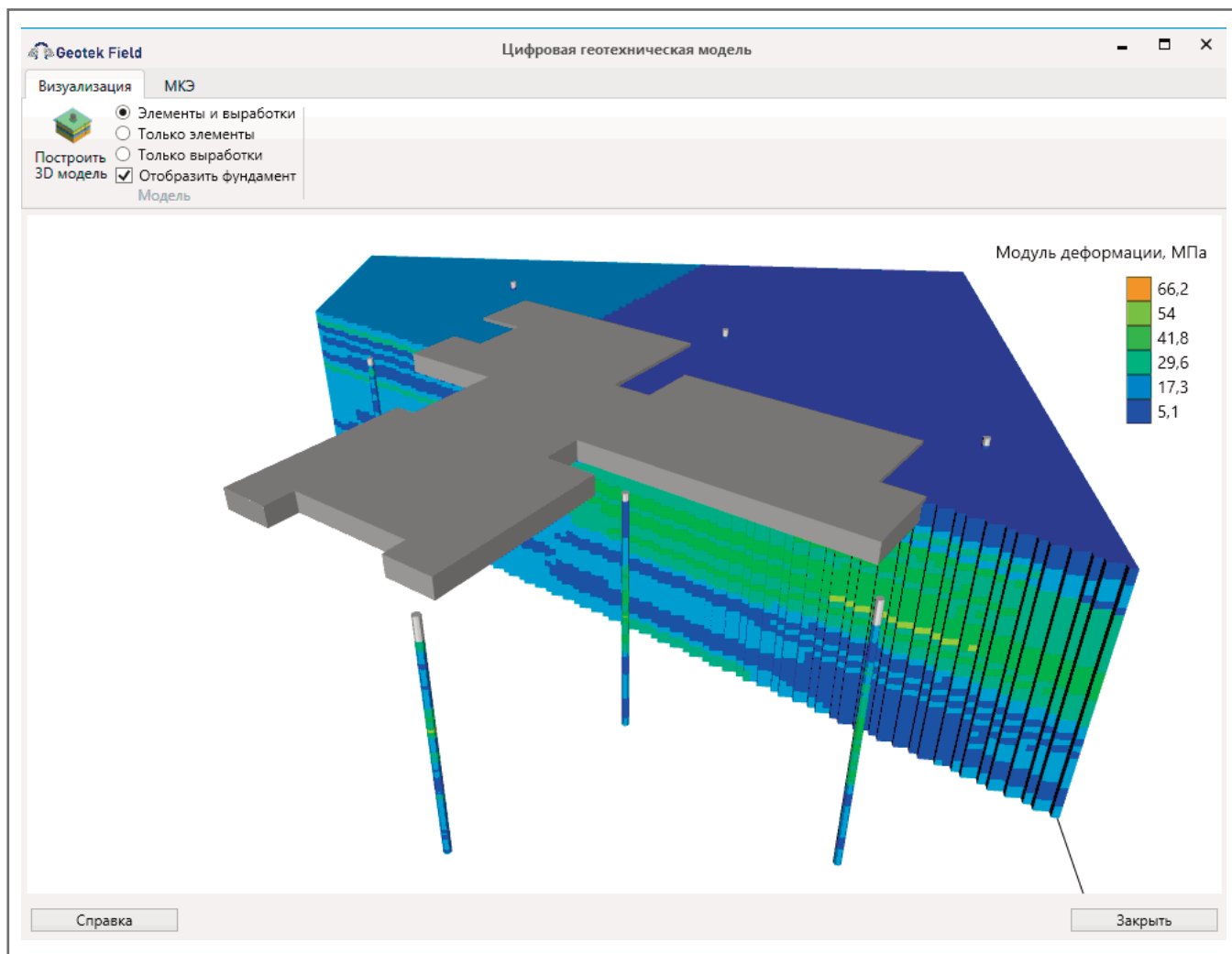


Рис. 14. Пример трехмерной модели плитного фундамента и его основания, полученной с помощью Geotek BIM

сгенерированных данных о подповерхностных условиях. Для создания непрерывных 2D/3D геологических моделей используются надлежащие методы прямого стохастического моделирования.

### Технология информационного моделирования применительно к задачам геологии и геотехники в России ▶

В Российской Федерации технологию BIM часто называют по-русски – ТИМ (технологией информационного моделирования).

Очень важно отметить, что в РФ силами ООО «НПП Геотек» была разработана ТИМ применительно к задачам геологии и геотехники под названием Geotek BIM, которая включает несколько программных модулей (рис. 11, 12).

В отличие от подхода, показанного на рисунке 9, Geotek BIM решает задачи не только исследований свойств грунтов, но и проектирования оснований зданий и сооружений с использованием аналитических решений (в соответствии со сводами правил РФ), а также численных

решений методом конечных элементов (рис. 13). Пример трехмерной модели плитного фундамента и его основания, полученной с использованием Geotek BIM, представлен на рисунке 14.


Более подробную информацию о возможности использования программы с предлагаемой отечественной технологией информационного моделирования Geotek BIM можно найти на сайте [www.geotek-bim.ru](http://www.geotek-bim.ru).

### Заключение ▶

BIM становится важным инструментом для проектирования, строительства и эксплуатации строительных объектов. Данная технология использует цифровую информационную модель в качестве надежной основы для обмена информацией, совместной работы, визуализации, принятия решений и управления на всех этапах развития проекта. Это позволяет оптимизировать проектирование, строительство и эксплуатацию объектов и минимизировать возможные неопределенности и риски. К сожалению, в настоящее время боль-

шинство строительных проектов, которые могут внедрять процессы BIM, часто игнорируют геотехнические данные и не включают их в BIM-модель здания или сооружения.

Для того чтобы решить данную проблему, ООО «НПП Геотек» разработало российскую информационную систему для геологов и геотехников, применение которой позволяет существенно сократить продолжительность инженерно-геологических исследований и проектирования оснований и уменьшить связанные с ними риски.

Результаты рассмотренных в настоящем обзоре исследований показывают, что геологические и геотехнические данные могут быть включены в BIM-модель для формирования полной информационной модели, имеющей также геологическую и геотехническую составляющие. Это может сделать решения по проекту на всех этапах его развития наиболее эффективными, безопасными и экономичными и, свою очередь, максимизировать инвестиции в геотехническую составляющую проекта. 

## Список литературы ►

1. AGS, 2011. Electronic transfer of geotechnical and geoenvironmental data – AGS4. Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists, 2011.
2. Allplan, 2016. BIM-compendium theory and practise. Allplan Deutschland GmbH, 2016. 340 p.
3. Berdigulyjov M., Popa H., 2019. The implementation and role of geotechnical data in BIM process // E3S Web of Conferences 85. 2019. P. 08009.
4. Chen G., Zhu J., Qiang M., Gong W., 2018. Three-dimensional site characterization with borehole data – a case study of Suzhou area // Engineering Geology. 2018. Vol. 234. P. 65–82.
5. Ching J., Wang J.-S., Juang C.H., Ku C.-S., 2015. CPT-based stratigraphic profiling using the wavelet transform modulus maxima method // Canadian Geotechnical Journal. 2015. Vol. 52. № 12. P. 1993–2007.
6. DAUB, 2019. Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten, BIM im Untertagebau. Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen; German Tunneling Committee, May 2019.
7. Elfeki A., Dekking M., 2001. A Markov chain model for subsurface characterization: theory and applications // Mathematical Geology. 2001. Vol. 33. № 5. P. 569–589.
8. Gong W., Tang H., Wang H., Wang X., Juang C.H., 2019. Probabilistic analysis and design of stabilizing piles in slope considering stratigraphic uncertainty // Engineering Geology. 2019. Vol. 259. P. 105162.
9. Hu Q., Huang H., 2007. Risk analysis of soil transition in tunnel works // Proceedings of the 33rd ITA-AITES world tunnel congress-underground space-the 4th dimension of metropolises. May 2007. P. 209–215.
10. Khan M.S., Park J., Seo J., 2021. Geotechnical property modeling and construction safety zoning based on GIS and BIM integration // Appl. Sci. 2021. Vol. 11. P. 4004.
11. Konietzky H., 2020. BIM for geotechnical engineering. TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, 2020. 30 p. URL: [tu-freiberg.de/sites/default/files/media/professur-felsmechanik-32204/E-book/39\\_geotechnical\\_building\\_information\\_modelling\\_8.pdf](https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/professur-felsmechanik-32204/E-book/39_geotechnical_building_information_modelling_8.pdf).
12. Li X., Zhang L., Li J., 2015. Using conditioned random field to characterize the variability of geologic profiles // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2015. Vol. 142. № 4. P. 04015096.
13. Li Z., Wang X., Wang H., Liang R.Y., 2016. Quantifying stratigraphic uncertainties by stochastic simulation techniques based on Markov random field // Engineering Geology. 2016. Vol. 201. P. 106–122.
14. Liao T., Mayne P., 2007. Stratigraphic delineation by three-dimensional clustering of piezocone data // Georisk. 2007. Vol. 1. № 2. P. 102–119.
15. Moller O., Mahutka K.-P., 2018. BIM in der Geotechnik – Konzeptpapier, Hochschule 21, Buxtehude: technical report № 10. 2018. 18 p.
16. Morin G., 2018. Geotechnical BIM: applying BIM principles to the subsurface. Autodesk University, 2018. № TR-21042. 10 p.
17. Morin G., Hassall S., Chandler R., 2014. Case study – the real life benefits of geotechnical building information modelling // Advances in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Vol. 3. Information Technology in Geo-Engineering. IOS Press, 2014. P. 95–102.
18. Napa V., Ventini R., Vittoria C., Domenico A., 2019. A new frontier of BIM process: geotechnical BIM // Proceedings of the XVII ECSMGE-2019 “Geotechnical Engineering foundation of the future”, 2019.
19. Norberg T., Rosen L., Baran A., Baran S., 2002. On modelling discrete geological structures as Markov random fields // Mathematical Geology. 2002. Vol. 34. № 1. P. 63–77.
20. Obergriesser M., Borrmann A., 2012. Infrastructural BIM standards – development of an Information Delivery Manual for the geotechnical infrastructural design and analysis process, // eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction. Taylor & Francis, 2012. P. 581–587.
21. PAS 1192-2, 2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. London: British Standards Institution, 2013.
22. Patel M.D., McMechan G.A., 2003. Building 2-D stratigraphic and structure models from well log data and control horizons // Computers & geosciences. 2003. Vol. 29. № 5. P. 557–567.
23. Qi X.-H., Li D.-Q., Phoon K.-K., Cao Z.-J., Tang X.-S., 2016. Simulation of geologic uncertainty using coupled Markov chain // Engineering geology. 2016. Vol. 207. P. 129–140.
24. Tawelin L.R., Mickowski S.B., 2016. The implementation of geotechnical data into the BIM process // Procedia Engineering. 2016. Vol. 143. P. 73–741.
25. Vanicek I., Jirasko D., Vanicek M., 2021. Role of geotechnical engineering in BIM process modelling // 14th Baltic Sea Region Geotechnical Conference, 2021.
26. Walthall S., Palmer M., 2006. The development, implementation and future of the AGS data formats for the transfer of geotechnical and geoenvironmental data by electronic means // GeoCongress 2006 “Geotechnical Engineering in the Information Technology Age”. 2006. P. 1–4.
27. Wang H., Wang X., Liang R., 2020. Study of AI based methods for characterization of geotechnical site investigation data: report № FHWA/OH-2020-3. 2020. 56 p.
28. Wang H., Wang X., Wellmann F., Liang R.Y., 2018. A Bayesian unsupervised learning approach for identifying soil stratification using cone penetration data // Canadian Geotechnical Journal. October 2018. DOI:10.1139/cgj-2017-0709. URL: [researchgate.net/publication/328463267\\_A\\_Bayesian\\_unsupervised\\_learning\\_approach\\_for\\_identifying\\_soil\\_stratification\\_using\\_cone\\_penetration\\_data](https://researchgate.net/publication/328463267_A_Bayesian_unsupervised_learning_approach_for_identifying_soil_stratification_using_cone_penetration_data).
29. Wang H., Wellmann F., Zhang T., Schaaf A., Kanig R.M., Verweij E., von Hebel C., van der Kruk J., 2019. Pattern extraction of topsoil and subsoil heterogeneity and soil-crop interaction using unsupervised Bayesian machine learning: an application to satellite-derived NDVI time series and electromagnetic induction measurements // Journal of Geophysical Research. Biogeosciences. 2019. Vol. 124. P. 1524–1544. DOI: [doi.org/10.1029/2019JG005046](https://doi.org/10.1029/2019JG005046).
30. Wang H., Wellmann J.F., Li Z., Wang X., Liang R.Y., 2016. A segmentation approach for stochastic geological modeling using hidden Markov random fields // Mathematical Geosciences. 2016. Vol. 49. № 2. P. 145–177.

31. Wang X., Li Z., Wang H., Rong Q., Liang R.Y., 2016. Probabilistic analysis of shield-driven tunnel in multiple strata considering stratigraphic uncertainty // *Structural Safety*. 2016. Vol. 62. P. 88–100.
32. Wang X., Wang H., Liang R.Y., 2017. A method for slope stability analysis considering subsurface stratigraphic uncertainty // *Landslides*. 2017. Vol. 1 P. 1–12 (2018. Vol. 15. № 5. P. 925–936).
33. Wang X., Wang H., Liang R.Y., Liu Y., 2019. A semi-supervised clustering-based approach for stratification identification using borehole and cone penetration test data // *Engineering Geology*. 2019. Vol. 248. P. 102–116.
34. Wang X., Wang H., Liang R.Y., Zhu H., Di H., 2018. A hidden Markov random field model based approach for probabilistic site characterization using multiple cone penetration test data // *Structural Safety*. 2018. Vol. 70. P. 128–138.
35. Wang Y., Huang K., Cao Z., 2013. Probabilistic identification of underground soil stratification using cone penetration tests // *Canadian Geotechnical Journal*. 2013. Vol. 50. № 7. P. 766–776.
36. Weaver S.D., Lefchik T.E., Hoit M.I., Beach K., 2008. Geoenvironmental and geotechnical data exchange: setting the standard // *GeoCongress 2008 “Characterization, Monitoring, and Modeling of GeoSystems”*. 2008. P. 557–564.
37. Wu J., Chen J., Chen G., Wu Z., Zhong Y., Chen B., Ke W., Huang J., 2021. Development of data integration and sharing for geotechnical engineering information modeling based on IFC // *Hindawi. Advances in Civil Engineering*. 2021. Article ID 8884864. 15 p.
38. Zhang J., Wu C., Wang Y., Ma Y., Wu Y., Mao X., 2017. The BIM-enabled geotechnical information management of a construction project. 2017, 2018. DOI:10.1007/s00607-017-0571-8. URL: [researchgate.net/publication/319187043\\_The\\_BIM-enabled\\_geotechnical\\_information\\_management\\_of\\_a\\_construction\\_project](https://researchgate.net/publication/319187043_The_BIM-enabled_geotechnical_information_management_of_a_construction_project).

## Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал  
**ГеоИнфо**

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



# 100+

## TECHNO BUILD

IX Международный  
строительный форум  
и выставка

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

18-21 октября 2022  
Екатеринбург



стать экспонентом

**13 000**  
посетителей

**235**  
экспонентов

**500**  
спикеров

**120**  
секций

**25**  
стран

\*показатели 2021 года



## ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В ТЕКУЩИХ УСЛОВИЯХ: КУРС НА РАЗВИТИЕ



**СИЗОВА ГАЛИНА**  
 Специалист по  
 связям с  
 общественностью  
 ГК SMART  
 ENGINEERS  
[g.sizova@smrte.ru](mailto:g.sizova@smrte.ru)

Вопросам цифровизации строительной отрасли последние несколько лет государство в лице Минстроя России уделяет повышенное внимание. Для содействия развитию и внедрению современных цифровых технологий в деятельность строительной отрасли создана Ассоциация «Национальное объединение организаций в сфере технологий информационного моделирования» (НОТИМ), основной задачей которой является создание прозрачного рынка для внедрения цифровых решений и технологий. И если последние два года основной упор при развитии цифровизации строительной отрасли был направлен в целом на внедрение ТИМ-технологий, то после введения санкций и ухода с российского рынка ряда игроков приоритетом стало выявление и развитие отечественных цифровых технологий. Как показали три прошедших месяца, без современных цифровых технологий российская строительная отрасль точно не останется, а отечественные разработки получили уникальную возможность выхода на рынок. Какие вопросы предстоит решить отрасли, как себя чувствуют разработчики цифровых решений для строительства в текущих реалиях, какие цифровые решения уже внедрены и применяются и какие это приносит результаты? Ответы на эти и многие другие вопросы – в интервью «Разговоры о текущей ситуации на рынке. Ваше мнение» с экспертами рынка, участниками III Ежегодного отраслевого форума «Управление строительством в России. Современные практики и технологии», организованного инжиниринговой компанией SMART ENGINEERS при поддержке Минстроя России.

**В**ажным вопросом для развития рынка цифровизации строительства остается вопрос готовности самой отрасли, а именно строительных компаний, к внедрению «цифры». «Идет настоящая технологическая информационная революция со всеми атрибутами, дискуссиями, спорами, лидерами, и, собственно говоря, есть и отстающие, – убежден **Михаил Виктор**, президент **НОТИМ**. – Поэтому в рамках внедрения новых подходов, в том числе функционала заказчика, застройщика как государственного, так и негосударственного, очень важное значение имеет знание, что есть на рынке, знание проблем, знание тех технологий, которые эту проблему могут либо просто закрыть, либо нивелировать ее до минимума. Рынок строительства – один из самых консервативных, который крайне тяжело меняется, и здесь можно сделать такую условную разбивку – если проектировщики привыкли уже, наверное, последние 15–20 лет использовать электронный инструмент, так называемые САПР-системы, которые являются уже таким естественным технологическим обиходом, то для производственного блока, уже для функционала заказчика, генподрядчика, субподрядных организаций, я должен объективно признать, это переход тяжелый. Существует некое отторжение, я бы сказал, нежелание переходить, поэтому реформа, которая сейчас идет, я считаю, что она идет исключительно сверху. Но сверху не только с административного уровня Аппарата Правительства или Минстроя России, со стороны губернатора или акционеров крупных корпораций, в том числе государственных. Она идет от руководства, потому что любой руководитель, гендиректор всегда хочет знать сроки, иметь прозрачную картину освоения средств, иметь обратную связь по темпу, по качеству, ну а нижестоящий уровень привык работать по-старому. Вооружать, учить надо, прежде всего, заказчика как верхнюю цепочку системы управления стройкой. Людей надо учить – это важно. Знание упрощает подход и дает тот самый инструмент, поэтому практика и знания очень важны».

«Технологии информационного моделирования – это не просто мода или теоретический интерес, это уже практическая необходимость для всего строительного комплекса, – подтверждает тенденции **Лариса Маливанова**, генеральный директор ООО «Строительный Эксперт». – ТИМ-технологии ускоряют процессы проектирова-

ния, строительства, эксплуатации объектов и делают строительные процессы прозрачными, то есть в результате приводят к значительной экономии времени и средств. То, что рынок осознал необходимость в применении ТИМ и вплотную подошел к переходу на цифровизацию, – это уже очевидно для всех участников. Другого пути для развития строительной отрасли у рынка нет. Вопрос нехватки специалистов в новых технологиях, который на этом этапе есть, решается просто: нужно взять и научиться. Других препятствий, кроме внутренних, для овладения новыми знаниями и для решения новых задач нет».

«Быстрее всех по пути перехода на технологии информационного моделирования прошли проектные компании, а также девелоперы, для которых управление своими операционными затратами является ключом к эффективности и дополнительной прибыли, – отмечает **Алексей Никитин**, председатель Совета директоров ГК **SMART ENGINEERS**. – Эффект от результатов внедрения цифровых решений в процесс строительства, который можно оценить в денежном эквиваленте, уже начинает фиксироваться, появляется оценка опыта и понимание лучших практик. Однако, если в технологиях информационного моделирования прогресс внедрения уже начинает быть заметен, то в цифровых управленческих технологиях все пока обстоит несколько хуже. Дело не только в том, что цифровые управленческие решения немного отодвинуты в сторону перед массовой кампанией по внедрению ТИМ, сколько в том, что визави этого внедрения – строительные компании, которые, как показывает практика, являются самыми консервативными игроками на рынке. Косвенно это подтверждают результаты отраслевого исследования «Качество управления строительством в России», проведенного ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС» в декабре 2021 года, согласно которому большинство из опрошенных руководителей проектов используют «ручной режим» управления проектами – электронную почту, личные встречи и телефонные звонки, а самым популярным инструментом управления строительством является чат или переписка в мессенджере. Главной причиной, тормозящей внедрение цифровых решений в строительной среде, является не низкая информированность, а нежелание руководителей погружаться в этот процесс. Если рассматривать более глубокие причины, то среди наиболее системных про-



Михаил Викторов, президент НОТИМ



Лариса Маливанова, генеральный директор ООО «Строительный Эксперт»



Алексей Никитин, председатель Совета директоров ГК SMART ENGINEERS

блем выделяются: изменение целей внедрения цифрового решения в ходе реализации проекта, формальное, непродуманное планирование проекта внедрения, отсутствие грамотного технического задания, несогласованная работа участников проекта (проектных групп), нехватка ресурсов – времени, кадров и финансов, возможное неприятие новой системы большинством персоналом предприятия как следствие отсутствия постоянного вовлечения персонала к решению вопросов внедрения».



Алексей Нестеров, директор по ERP-решениям Фирмы «1С»

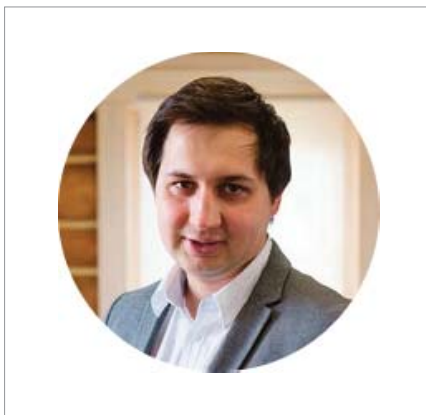


Ольга Цыганова, директор по развитию ООО «Цифровые решения в строительстве»

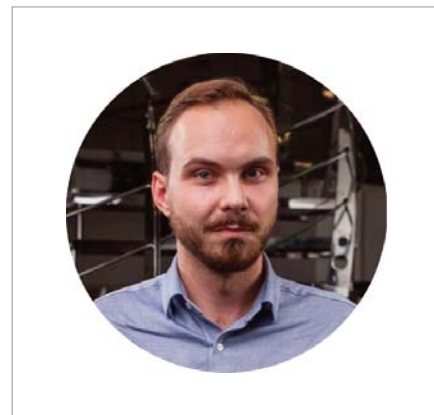


Константин Алешкин, руководитель департамента по внедрению компании «Матрикс»

С выше упомянутыми проблемами игроки цифровизации строительного рынка вынуждены сталкиваться и работать постоянно. Если же говорить про работу в сложившихся условиях, то новые экономические сложности многие компании воспринимают не как барьер, а, скорее, как трамплин для развития и возможность получить дополнительную прибыль даже в условиях экономической нестабильности. «Ситуация непростая на рынке, но, вы знаете, она была непростая и в период пандемии, и, к нашему удивлению, именно в пандемию мы заметили большой рост, спрос на решения для управления строительным предприятием, для сметного ценообразования и тренд на автоматизацию и повышение эффективности бизнес-процессов, он сохраняется и сейчас, – подчеркивает текущую особенность **Алексей Нестеров, директор по ERP-решениям Фирмы «1С»**. – Конечно, добавляются новые тренды, такие как импортозамещение программного обеспечения. Это особенно заметно на программных продуктах для информационного моделирования в строительстве одного из наших совместных предприятий, там в два раза увеличился спрос. Мы недавно провели исследование – кто из заказчиков, наших клиентов пользуется нашими продуктами, и выяснили, что это самые разные категории: есть и проектировщики, и заказчики, и подрядчики, и генподрядчики. Масштаб бизнеса разный – малый, средний, крупный. И разного вида строительство – и гражданское строительство, и промышленность, и социальные объекты, то есть спектр продуктов «1С» для автоматизации бизнеса он очень широко распределен, конечно, у нас есть продукты разного уровня. По исполнительной документации мы развиваем направление в виде совместного



Артур Хасиятуллин, региональный директор TraceAir в России



Денис Захаркин, генеральный директор компании VR Concept

предприятия со «СМАРТ ИНЖИНИРИНГ». Это предприятие называется «Цифровые решения в строительстве». Сервис «DACON» для ведения исполнительной документации, для цифровизации этого бизнес-процесса повышает эффективность деятельности соответственно инженеров и организаций, которые пользуются этим сервисом, и разработан этот сервис с использованием платформы «1С:Предприятие». Как раз это было предметом нашего сотрудничества и создания совместного предприятия, чтобы предприятия могли получить более доступный сервис, чем если он был реализован и масштабирован на зарубежных технологиях, где очень высокая стоимость лицензии».

«В настоящее время завершён переезд на платформу «1С», команда приступает к расширенному пилотированию сервиса «DACON», – комментирует **Ольга Цыганова, директор по развитию ООО «Цифровые решения в строительстве»**. – Однако по итогам уже реализованных проектов виден не только существенный запрос на цифровизацию исполнительной документации, но и экономия операционных за-

трат инжиниринговых и подрядных компаний. Уверена, что цифровизация исполнительной документации – важный тренд в повышении эффективности процесса реализации и завершения строительного проекта».

Курс на развитие подтверждают и другие разработчики цифровых решений. «Всем известно, что сейчас российский рынок покидают иностранные производители, в том числе и производители программного обеспечения по управлению проектами в строительстве. И не только. За счет того, что рынок становится свободней у нас – отечественных разработчиков – открывается больше возможностей, – рассказывает **Константин Алешкин, руководитель департамента по внедрению компании «Матрикс»**. – Государство одобрило пакет мер поддержки для IT сектора, поэтому в нашей деятельности сейчас наблюдается активное развитие, и мы фиксируем прогрессивное движение вперед».

«Все мы сейчас находимся на начальном этапе по цифровизации строительства, дальнейшая активность вокруг которой будет сформирована в ближай-

шие 2–3 года, – отмечает **Артур Хасиятуллин, региональный директор TraceAir в России**. – В условиях импортозамещения, логистических разрывов, подорожания стройматериалов у застройщиков изменилось отношение к инновациям, он понимает, что аналитические данные облачных решений позволяют экономить бюджет в строительстве. Сейчас заказчику не нужно объяснять, что дроны – это не только wow-инструмент для маркетинга, но, прежде всего, они помогают строить в срок за счет автоматизации многих процессов, ликвидируя человеческий фактор».

«Сейчас большой идет вопрос по импортозамещению как оборудования, так и программного обеспечения, – присоединяется к беседе **Денис Захаркин, генеральный директор компании VR Concept**. – Для некоторых компаний это просто вопрос комплаенса, вопрос безопасности, переход с зарубежного на российский софт. Рынок строительства и IT, к которому мы относимся, который создает сервисы для строительного рынка, смотрит позитивно и с оптимизмом в будущее и рассчитывает на то, что здесь российские компании, российские решения смогут себя проявить».

Таким образом, перед российскими разработчиками цифровых решений для строительства стоит амбициозная задача – за короткий срок не только разработать или апробировать свои разработки, но и убедить строительную отрасль, а в особенности заказчиков и подрядчиков, начинать внедрять эти решения в свои бизнес-процессы. Что из этого выйдет – покажет время, а пока остается надеяться как на активность самих игроков, так и на системную помощь главного отраслевого куратора НОТИМ и внимание Минстроя России.. **И**

### Справочно: ►

II Ежегодный отраслевой форум «Управление строительством в России. Современные практики и технологии» является логичным продолжением ежегодных мероприятий, организуемых Центром компетенций в строительстве ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС» с 2018 г. Особенностью Форума стал фокус на роли заказчика в управлении инвестиционно-строительным проектом, а также роли и месте института независимого технического заказчика. На Форуме обсуждались проблемы основных участников процесса строительства в текущих кризисных условиях, особенности реализации инвестиционных проектов, строительные риски, рассмотрены наиболее эффективные организационно-управленческие и цифровые решения на примере реальных кейсов.

В рамках III Ежегодного отраслевого форума прошла выставка цифровых решений, где были представлены стенды российских компаний-разработчиков технологий и сервисов для управления и контроля строительства. На официальном обходе выставочного пространства президенту НОТИМ Михаилу Викторову и директору по ERP-решениям Фирмы «IC» Алексею Нестерову были презентованы цифровой сервис для разработки и ведения исполнительной документации DACON (СП ГК SMART ENGINEERS и Фирмы «IC»), «ОКО Управление строительством» (ООО «Русская экспертная группа»), программный комплекс «СтройКонтроль», «Управление Строительством» (ООО «Мобильные решения для строительства»), IT-платформа «Цифровое Управление Строительством» (ООО «Матрикс»), веб-платформа TraceAir (ООО «ТрэйсЭйр»), ПО VR Concept (ООО «BP Концепт»), БПЛА и ПО «Agisoft Metashape» (Группа компаний «Геоскан»).

Организатор форума – ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС» при поддержке Минстроя России. Генеральный информационный партнер Форума – ИД «Коммерсантъ».

Генеральный информационный партнер Форума – ИД «Коммерсантъ».

Генеральный партнер: ГК «ПРАЙМКЕЙ».

Стратегические партнеры: «Цифровые решения в строительстве», «Строй Техно Инженеринг».

Партнеры: «Русская экспертная группа», «Матрикс».

Деловые партнеры: Ассоциация «Национальное объединение организаций в сфере технологий информационного моделирования» (НОТИМ), Национальное объединение «Технологических и ценовых аудиторов» (НО ТЦА), Рейтинговое агентство RAEX («РАЭК-Аналитика»), НП «Российская гильдия управляющих и девелоперов» (РГУД), Ассоциация индустриальных парков России (АИП России), «Национальное объединение специалистов по безопасности бизнеса», Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС), «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Государственный университет управления (ГУУ), Фирма «IC».

Информационные партнеры: отраслевой журнал «Вестник», портал DigitalDeveloper, интернет портал «Строительный эксперт», газета профессионального сообщества изыскателей России «Вестник инженерных изысканий», федеральное отраслевое издание «Российский строительный комплекс», информационно-аналитический портал «Арендатор.ру», «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», информационно-рекламное издание «Техсовет», Новостной портал «ASN-info», научно-технический журнал «Инженерные системы», всероссийский отраслевой журнал «Строительная Орбита», издательство «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД», журнал «Дороги. Инновации в строительстве», журнал «Вестник государственной экспертизы», информационно-торговая система «Сделано в России», сетевое издание «GR News», ГБУ «Мосстройинформ», издательство «Композит XXI век», международный промышленный портал «ПВ.РФ», независимый электронный журнал «ГеоИнфо», научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство», журнал «Строительные материалы», журнал «Жилищное строительство», отраслевое издание «Строительная газета», отраслевой журнал «Строительство», Агентство Новостей «Строительный Бизнес», Международный выставочный портал ExpoClub.ru.



## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В СФЕРЕ ПО. ЧТО ЛУЧШЕ: РОССИЙСКОЕ, КИТАЙСКОЕ ИЛИ ПРЕЖНЕЕ СЕРОЕ

**ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО**  
Специальный корреспондент

Уход зарубежных цифровых сервисов из РФ поставил в трудное положение всех россиян, так или иначе причастных к ним в профессиональной и обычной жизни.

У предпринимателей есть четыре варианта: переходить на отечественный софт, продолжать подпольно работать с привычными ИТ-продуктами, использовать ПО из дружественных стран, эмигрировать и вести бизнес в России дистанционно.

Какой бы путь не был выбран, придется преодолеть определенные барьеры – финансовые, правовые, психологические. Корреспондент «ГеоИнфо» расспросил участников рынка, какой они делают выбор и почему, с чем предпочитают работать, какую видят ИТ-перспективу.

## Неожиданное было ожидаемым ►

Санкции обескуражили представителей бизнеса, согласились эксперты, а далее все зависело уже от способности человека оправиться от шока. Кроме того, оказалось, что «неожиданные санкции» оказались таковыми не для всех. Как подметил главный специалист Института наук о Земле Южного федерального университета Борис Талпа, разговоры о рисках отключения от зарубежных сервисов велись еще с 2014 года, когда цифровые технологии только начали повсеместно внедряться. Поэтому можно было подготовиться и учесть данные риски.

Генеральный директор ООО «ЗВ Групп» Дмитрий Ларин (Ростов-на-Дону) считает, что к любому событию можно быстрее адаптироваться, если его конкретизировать и с чем-то сравнить. Так, уход из России компании Autodesk с системой AutoCAD не сильно коснулся возглавляемого им предприятия, замена была найдена. А гораздо больше проблем, по его мнению, доставляют поставщики товаров и услуг, которые повысили цены и не желают торговаться.

## Серый импорт давно в ходу ►

Вследствие санкций российский рынок покинули зарубежные BIM-сервисы, несмотря на то, что их внедрение в нашей стране долго и весьма успешно лоббировалось. Комплексные цифровые решения даже стали обязательными в госзаказе с первого января 2022 года, но спустя два месяца были отменены из-за начала военной спецоперации.

Поставщики BIM-программ не только внезапно ушли с нашего рынка, но и отключили пользователей, которые приобрели лицензионные ИТ-продукты. Правда, таких платежеспособных компаний в стране немного.

Как сообщил Александр Репин, основатель проектной компании «Технология» и ИТ-компания «БИМИТ» (Ижевск), представитель АРПП «Отечественный софт», две трети российских организаций использовали и продолжают использовать бесплатное или серое иностранное программное обеспечение.

Связано это с тем, что рентабельность в проектировании очень низкая, и бюджетов для приобретения лицензионного ПО многим не хватает. Отечественное ПО не подорожало, более доступно. «Поэтому, по большому счету, мало что поменялось при введении санкций», - отметил Репин.

Отказ западных компаний обслуживать россиян обернулся скорее возможностями, нежели ограничениями. Например, уход Autodesk ничуть не критичен. Напротив, освободилась ниша, которую займут российские разработчики. «На первоначальном этапе будут некоторые сложности, но они преодолены и являются незначительными относительно масштаба текущих геополитических событий», - убежден Репин.

## Свой – плохой, чужой – хороший ►

Импортозамещение стало темой онлайн-конференции «BIM на практике в новой реальности», которую организовало «ПСС Грайтек» - подразделение глобальной компании по разработке и внедрению BIM Graitec.

На круглом столе в финале конференции зашла речь об отношении к западным и отечественным цифровым продуктам ТИМ.

Специалисты, которые не хотят расставаться с привычными импортными программами BIM, задали вопрос, можно ли приобрести лицензию Autodesk на юрлицо в Казахстане и дать доступ удаленщикам в России. Знатоки не рекомендовали, потому что Autodesk отслеживает удаленных пользователей на территории, где действуют санкции, и отберет у казахстанского владельца лицензию.

Технический директор ООО «Нанософт разработка» Денис Ожигин (Москва) отметил, что многим россиянам свойственно искать только плюсы в западных товарах и только минусы в отечественных. Перевоспитать себя можно, целенаправленно двигаясь по пути саморазвития.

Заместитель генерального директора Renga Software Максим Нечипоренко прокомментировал, что отказ от привычки искать изъяны в российском ПО не мешает здраво оценивать отечественные продукты. Некоторые программы еще нуждаются в доработке, отстают от западных аналогов.

Чтобы наши цифровые продукты совершенствовались, возможно, надо сформировать запрос и довести его до программистов, чтобы они учли в своей разработке потребности пользователей: строителей, проектировщиков, изыскателей.

Технический директор «ПСС Грайтек» Константин Биктимиров (Санкт-Петербург) обратил внимание на важность создания постоянной и действенной обратной связи разработчиков с пользователями, как заведено в Auto-

desk. Если разработчики будут публиковать перспективные планы развития своих продуктов, то пользователи будут больше им доверять.

## Если не Россия, то Китай и другие разработчики ►

В целом участники конференции были не против цифрового импортозамещения. Тем не менее, многие выражали опасение, что, если российские программисты отгородятся от других стран, им не с кем будет конкурировать и, соответственно, развиваться.

Альтернативное мнение: чтобы развиваться, не обязательно сравнивать и бороться. Есть смысл не конкурировать, а кооперироваться с коллегами и партнерами внутри страны и таким образом развиваться.

Полезно также глубже разобраться, почему западные 3D-технологии стали популярны в России. Например, Autodesk, зашедший в нашу страну, усилил свою техподдержку, внимательно изучал обращения, работал с каждым, понял, что нужно, и адаптировал платформу под российского потребителя.

Сейчас техподдержка – безусловный козырь отечественного ПО, ведь ответы приходят быстро, диалог ведется на русском языке. За счет этого наши программисты могут быстро привязать к себе клиентов, привыкших к западным сервисам.

На конференции продемонстрировали также импортное ПО из дружественных стран. Цян Хьянг, представитель китайской компании ZWCAD, рассказала, что их программы и приложения для инженерной, кадастровой, проектной деятельности уже используются в России. Разработчики заинтересованы в сотрудничестве, стремятся адаптировать ПО к требованиям российских потребителей.

Какой бы ни была страна происхождения ПО, резюмировали участники конференции, при выборе подрядчика и цифровых продуктов нужно обращать внимание на качество продукта, на политику лицензирования, перспективы развития, стоимость, наличие профессиональной техподдержки в РФ.

## Быть самостоятельным или зависимым ►

Почему за 30 лет в России не появилось достойных импортозамещающих ИТ-продуктов, почему сейчас приходится нагонять? Эта тема поднималась на деловом форуме «Технотренды», проведенном агентством «РБК Петер-

бург», и на конференции «Российская ИТ-индустрия: влияние санкций», организатором которой выступило НП «Руссофт».

Как пишет РБК со ссылкой на участников этих мероприятий, пока гром не грянул, импортозамещение у нас делалось для галочки, лишь бы отчитаться перед начальством. Другие причины – лень, нежелание повторять то, что кто-то уже придумал, убежденность, что, отказываясь от импорта, мы отгораживаемся от цивилизованного мира. Еще объяснение – создание отечественного софта не сильно поддерживалось государством, и только с началом спецоперации ИТ-отрасль стала пользоваться повышенным вниманием.

Разработчики считают, что все перечисленное важно, но еще нужен спрос. Только он способен продвинуть российские технологии далеко вперед. Российские пользователи, однако, настолько привыкли к импорту, что чаще выбирают серые программы или же вот теперь пытаются сесть на новую импортную иглу, например, китайскую.

На создавшуюся ситуацию недавно обратили внимание председатель комитета Совета Федерации по конституционному законодательству и госстрои-

тельству Андрей Клишас и председатель Национального антикоррупционного комитета Кирилл Кабанов. Налицо проблема управленческая, потому что на уровне министерств некоторые руководители пытаются сделать всю нашу промышленность зависимой от других стран, теперь азиатских. Программа импортозамещения на данный момент, как выразился Клишас, «полностью провалена», сообщило РБК.

**Не ждать, уже пользоваться ▶**

В новостях и социальных сетях встречаются тайные надежды части россиян, мол, санкции отменят, и все будет по-старому. Даже пресс-секретарь президента РФ Дмитрий Песков обмолвился, что признанная экстремистской Meta (владелец Facebook, Instagram, WhatsApp) может быть разблокирована, если начнет соблюдать российские законы.

Правда, идея не нашла широкой поддержки в интернете. Читатели прокомментировали, мол, чего пятиться назад, если приняли решение двигаться вперед. Их оппоненты считают, что, не создав за 30 лет своих достойных ИТ-продуктов и отказавшись от импортных, Россия сама себя отбросила назад на три десятилетия.

«Сложно говорить про безвозвратный уход, мы не можем спрогнозировать, когда снимут санкции и снимут ли вообще. По большому счету, альтернативу можно подобрать или разработать. Не надо ждать, когда что-то появится, есть продукты, и ими надо пользоваться, например, nanoCAD», - прокомментировал Александр Репин.

По мнению Яны Горловой, альтернатива ушедшим соцсетям будет быстро найдена, при разогретой многомиллионной аудитории и поддержке государства, а с узкоспециализированными сервисами будет все сложнее и дольше.

Новые ИТ-продукты для специалистов могут появиться разными путями. Например, если какой-то крупный игрок рынка закажет разработку для себя, унифицирует и растиражирует, то на это понадобится от четырех до шести лет.

Если же несколько инвесторов-практиков скооперируются, позабыв о конкуренции, вложатся в разработчиков, обсудят, какой продукт им необходим, то все будет гораздо быстрее, за два-три года. Команда программистов, получив такой опыт, инвестиции и запрос, легко создаст целую линейку сервисов, необходимых узким специалистам. **И**







**TRUMER**  
Schutzbauten

[www.trumer.cc](http://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](mailto: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.



# ПОСТАНОВЛЕНИЕ №914: ИЗМЕНЕНИЯ В ПЕРЕЧНЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ

**МИРНЫЙ АНАТОЛИЙ ЮРЬЕВИЧ**  
Доцент Геологического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н.  
MirnyyAY@mail.ru

Не прошло и года с момента вступления в силу 1 сентября 2021 года постановления Правительства РФ №815, как опубликованы изменения к нему – постановление №914 от 20 мая 2022 года. Этот документ в очередной раз вносит изменения в перечень национальных стандартов и сводов правил, обеспечивающих соблюдение Технического регламента о безопасности зданий и сооружений. Как и предыдущее, данное постановление вступает в силу с 1 сентября 2022 года.

Опубликованные изменения к постановлению №815 превращают перечень нормативных документов в «пустой», и делает абсурдной саму идею данного перечня.

Н е прошло и года с момента вступления в силу 1 сентября 2021 года постановления Правительства РФ №815, как опубликованы изменения к нему – постановление №914 от 20 мая 2022 года. Этот документ в очередной раз вносит изменения в перечень национальных стандартов и сводов правил, обеспечивающих соблюдение Технического регламента о безопасности зданий и сооружений. Как и предыдущее, данное постановление вступает в силу с 1 сентября 2022 года.

Прежде чем рассмотреть содержательную сторону вопроса, необходимо отметить, что этот документ составлен в довольно непростых условиях для отрасли. С одной стороны, стратегией развития строительной отрасли заявлены без преувеличения колоссальные темпы строительства – более миллиарда квадратных метров жилья до 2030 года. С другой – достижение этих темпов сильно осложняется бюрократическими процедурами подготовки и согласования проектной документации. Очевидно, перед разработчиками нового постановления стояла задача упростить процедуру без ущерба для надежности и безопасности сооружений.

В профессиональной среде данные нормативные акты (ГеоИнфо подробно писал об этом в статье о Постановлении №815 в сентябре 2021 года) традиционно рассматривают как «перечень обязательных документов». На самом деле это не совсем так. Любой нормативный технический документ содержит в себе четко ограниченную область применения. Если реализуемый объект входит в эту область применения – данный документ для него автоматически становится обязательным, даже если он вообще не упомянут в обсуждаемых постановлениях. И лишь в тех случаях, когда для объекта действительно отсутствуют утвержденные нормативные документы, допускается использовать зарубежные методики, стандарты организаций и т.д. Но такая ситуация практически невозможна, учитывая разработанное на настоящий момент количество документов различных уровней (как СП XXX.13330, так и СП XXX.1325800). По крайней мере, автору приходилось слышать именно такую позицию от представителя Главгосэкспертизы России на одной из отраслевых конференций.

Это можно рассмотреть на примере. Допустим, существует некий нормативный документ на устройство слаботоочных инженерных сетей. Непосредствен-

ного влияния на надежность и эксплуатационную пригодность сооружения данные сети не оказывают – это означает, что и в постановлении об обязательности выполнения данный документ упомянут не будет. Но его область применения строго определена, и при проектировании его использование обязательно, даже если его не упомянули в техническом задании на производство работ – ведь документ существует, он утвержден в установленном порядке.

Подводя промежуточные итоги: независимо от содержания вышеупомянутых постановлений, все действующие нормативные документы обязательны к применению, если реализуемый объект попадает в их область применения.

Но вернемся к новому постановлению, вступающему в силу с 1 сентября текущего года. Предложенные изменения представлены всего на трех страницах, что позволяет нам разобрать их по пунктно.

Изменения во второй абзац п. 2, фактически, разграничивают сроки действия постановлений – с 1 сентября 2022 постановление №815 следует применять уже с учетом новых изменений. При этом вводится дополнительный абзац, утверждающий применение предыдущего постановления (№985) для документации, разработка которой начата в период с 01.08.20 по 01.09.21, и постановления №1521 для периода до 01.08.20.

Следует отметить, что как в предыдущих постановлениях, так и в новых изменениях к ним, допускается использовать перечни документов из различных постановлений (№1521, №985, №815), «по выбору застройщика или технического заказчика». Очевидно, такая свобода действий объясняется тем, что со временем перечень ни разу не расширялся, а только сокращается – следовательно, использование более ранних редакций не приведет к снижению надежности.

Сутевые изменения перечня документов содержатся только на последней странице изменений к постановлению.

Перестал быть обязательным пункт 11.6 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». Данный пункт относился к применению «в некоторых случаях» расчета с использованием экспериментальных исследований реальных конструкций и моделей строительных объектов. Действительно, испытания сооружений и физическое моделирование явно не относятся к по-

вседневной практике, и делать обязательным пункт с формулировкой «в некоторых случаях» совершенно нет необходимости.

Так же исключены пп. 12.2 и 12.6 данного ГОСТ, относящиеся к контролю качества строительно-монтажных работ и этапов, на которых в целом выполняется контроль качества. В целом формулировка п. 12.2 выглядит достаточно странной, так как контроль качества материалов, изделий и конструкций на этапе инженерно-геологических изысканий представляется сомнительной идеей. Таким образом, исключение данного пункта существенного влияния на безопасность не окажет.

Широкими мазками изменения исключают из перечня пункты с 2 по 10, с 12 по 16, с 18 по 37, с 39 по 66, 68 и 69. В результате проще рассмотреть лишь те документы, которые остались в перечне:

- 11. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», без изменений;
  - 17. СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии», с сокращением всего п. 9.2 до п. 9.2.1, касающегося стальных конструкций в условиях сильноагрессивных сред;
  - 38. СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения», без изменений;
  - 67. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», без изменений.
- В сухом остатке с 1 сентября 2022 года в перечне обязательных к применению документов осталось всего пять, причем среди них нет ни СП 22, ни СП 47.

Первые два документа - ГОСТ 27751 и СП 20.13330 – являются основополагающими документами для принятого в нашей стране метода предельных состояний, поэтому их сохранение в перечне вопросов не вызывает. СП 131.13330 «Строительная климатология» так же является источником сведений об атмосферном воздействии на сооружения, и в этой области дополняет СП 20. Но в таком случае возникает вопрос, почему нет в перечне, например, СП 14, устанавливающего порядок определения сейсмических воздействий?

Сохранение в перечне СП 28 «Защита строительных конструкций от коррозии» представляется вполне обоснованным, ведь его соблюдение является основой долговечности сооружений. А вот каким образом на обеспечение требований регламента по безопасности повлияет соблюдение СП 59.13330 – большой вопрос. К счастью,

к инженерным изысканиям особенности маломобильных групп населения не относятся.

Фактически, опубликованные изменения к постановлению №815 превращают перечень нормативных документов в «пустой», и делает абсурдной саму идею данного перечня. Если на этапе

постановления №1521 задачей перечня было обеспечение безопасности в условиях «необязательности» выполнения требований нормативных документов в целом, то с 1 сентября 2022 года строго обязательными останутся только метод предельных состояний, коррозионная стойкость и пандусы у подъездов.

При этом экспертиза любого уровня по-прежнему будет требовать соблюдения всех пунктов действующих документов, даже если они не упомянуты в техническом задании, так как область деятельности изыскателей и геотехников практически полностью перекрывается утвержденными нормативными документами. **h**

# Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

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



**WWW.GEOINFO.RU**

**АНАНКО Виктор Николаевич**  
Главный редактор журнала «ГеоИнфо»

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

**ГИЗЗАТУЛЛИН Рушан Рафаэлевич**  
Инженер-геотехник  
ООО «НИП-Информатика»

**ЖИДКОВ Роман Юрьевич**  
Начальник группы разработки программного  
обеспечения по геологии  
ГБУ «Мосгоргеотрест», к.г.-м.н.

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

**ЛАТЬПОВ Айрат Исламгалиевич**  
Руководитель Лаборатории по исследованию грунтов в строительстве,  
доцент по специальности «Инженерная геология, мерзлотоведение и  
грунтоведение», член национального реестра специалистов в области  
строительства, эксперт Министерства экологии и природных ресурсов  
Республики Татарстан, к.т.н.

**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.

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

**ПИОРО Екатерина Владимировна**  
Генеральный директор  
ООО «Петромоделинг Лаб», к.г.-м.н.

**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.

**СЛОБОДЯН Владимир Юрьевич**  
Генеральный директор  
АО «Институт экологического проектирования и изысканий»  
(АО «ИЭПИ»)

**ФЕДОРЕНКО Евгений Владимирович**  
Научный консультант  
ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.