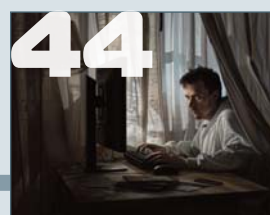


Независимый электронный журнал ГеоИнфо

Численное моделирование
процесса таяния мерзлого
грунта. Стр. 6

Лабораторные испытания
методом динамического
простого сдвига. Стр. 14

Новые санкции: удастся ли
остаться с импортным ПО.
А надо ли? Стр. 30



GEOINFO

ISSN 2949-0677 (ONLINE)

WWW.GEOINFO.RU

SEPTEMBER • СЕНТЯБРЬ • ТОМ VI • 9-2024

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



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ГК «ОЛИМПРОЕКТ»

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «МИДАС» / MIDAS IT



MalinSoft



ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» / FUGRO



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGGEO»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ НЕЗАВИСИМОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА «ГЕОИНФО»

Ананко Виктор Николаевич

Главный редактор журнала «ГеоИнфо»

Баборькин Максим Юрьевич

Главный аналитик Центра геоинформационных технологий Университета Иннополис, главный геолог ООО «Аэрогеоматика», к.г.-м.н., имеет степень MBA

Бершов Алексей Викторович

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

Гизатуллин Рушан Рафаэлевич

Инженер-геотехник ООО «НИП-Информатика»

Ермолов Александр Александрович

Научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера Кафедры геоморфологии и палеогеографии Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н.

Жидков Роман Юрьевич

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

Зайцев Андрей Александрович

Доцент кафедры "Путь и путевое хозяйство" РУТ (МИИТ), к.т.н.

Исаев Владислав Сергеевич

Старший научный сотрудник Кафедры геокриологии Геологического факультета МГУ, к.г.-м.н.

Королев Владимир Александрович

Профессор Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., член-корреспондент Российской академии естественных наук (РАЕН) по секции наук о Земле

Латыпов 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.

Миронюк Сергей Григорьевич

Доцент/старший научный сотрудник Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, научный сотрудник ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова», к.г.-м.н.

Пиоро Екатерина Владимировна

Генеральный директор ООО «Петромоделинг Лаб», к.г.-м.н.

Самарин Евгений Николаевич

Профессор Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Судакова Мария Сергеевна

Старший преподаватель Кафедры сейсмологии 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»)

Труфанов Александр Николаевич

Заведующий лабораторией «Методов исследования грунтов» НИИОСП им. Н.М. Герсванова, АО «НИЦ Строительство», к.т.н., Почетный строитель России

Федоренко Евгений Владимирович

Научный консультант ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.

Фоменко Игорь Константинович

Профессор Кафедры инженерной геологии МГРИ, д.г.-м.н.

Фролова Юлия Владимировна

Доцент Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Шарафутдинов Рафаэль Фаритович

Директор НИИОСП им. Н.М. Герсванова, ученый секретарь Российского Общества по Механике Грунтов, Геотехнике и Фундаментостроению (РОМГГиФ), член ISSMGE, к.т.н.

Шац Марк Михайлович

Ведущий научный сотрудник Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ), к.г.н.

ГЕОИНФО

Электронное издание

Издается с марта 2016 года.

Периодичность: 10 выпусков в год.

ISSN: 2949-0677

Префикс DOI: 10.58339

Редакцией журнала принимаются к рассмотрению статьи по следующим темам: инженерные изыскания для строительства; геотехническое проектирование; инженерная и экологическая геология; механика грунтов, геотехника, проектирование оснований и фундаментов; экология и экологические исследования; проблемы инженерно-геологического риска; методы прогнозирования, предотвращения, минимизации и ликвидации последствий опасных природных процессов и явлений; инженерная защита территории.

Учредитель:

ИП Ананко Виктор Николаевич

Издательство:

ГеоИнфо, ИП Ананко В.Н.

Адрес:

119146, РФ, Москва,
ул. 3-я Фрунзенская, 10/12

Редакция:

Ананко Виктор Николаевич
Главный редактор

Васин Михаил Васильевич
Обозреватель

Дьяченко Людмила
Специальный корреспондент

Еремеева Мария
Специальный корреспондент

Виноградова Вера
Специальный корреспондент

Дизайн и верстка:

ИП Лившиц С.С.

Официальный сайт:

Geoinfo.ru

Адрес в НЭБ:

https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=80357

Распространяется бесплатно.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Дата выхода в свет: 12.12.2024

© Ананко Виктор Николаевич, 2024

© ГеоИнфо, 2024

Фото на обложке: www.Pixabay.com

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Численное моделирование процесса таяния мерзлого грунта 6
Янь Чж., Пань В., Фан Цз., Лю Цз.

МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА

Лабораторные испытания методом динамического простого сдвига 14
Мирный А.Ю., Идрисов И.Х., Мосина А.С.

Описание и параметры моделей А.И. Боткина и Ю.К. Зарецкого 26
Мирный А.Ю., Мосина А.С.

Поверхности текучести и законы пластического течения 32
Мирный А.Ю., Мосина А.С.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Описание и параметры модели NGI-ADP 40
Мирный А.Ю., Мосина А.С.

Новые санкции: удастся ли остаться с импортным ПО. А надо ли? 44
Дьяченко Людмила

**Евгений Бибин: Ростехнадзор планомерно сокращает количество
бесхозных гидросооружений 48**

**Как деградация строительной отрасли привела к массовым авариям
на дамбах: мнение проектировщика 52**
Булгаков А.А.

**Аварии на дамбах: виновных много, а отвечать некому. Ну какой
спрос с крыс? 56**
Дьяченко Людмила

Перечень научных специальностей:

- 020102. Основания и фундаменты, подземные сооружения
- 020806. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
- 010601. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика
- 010606. Гидрогеология
- 010607. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение
- 010608. Гляциология и криология Земли
- 010609. Геофизика
- 010621. Геоэкология
- 020110. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства
- 010612. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов
- 010616. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия
- 020106. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология
- 010617. Океанология
- 010619. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия
- 010620. Геоинформатика, картография
- 010622. Геодезия
- 020107. Технология и организация строительства
- 020109. Строительная механика

ENGINEERING GEOLOGY. ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEY

Numerical simulation of thawing process in frozen soil6
 Yan Zh., Pan W., Fang J., Liu Z.

SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICS

Laboratory tests by the dynamic simple shear method14
 Mirnyy A.Yu., Idrisov I.Kh., Mosina A.S.

Description and parameters of A.I. Botkin and Yu.K. Zaretskiy models26
 Mirnyy A.Yu., Mosina A.S.

Yield surfaces and plastic flow laws32
 Mirnyy A.Yu., Mosina A.S.

APPENDIX. DISCUSSION MATERIALS

Description and parameters of the NGI-ADP model40
 Mirnyy A.Yu., Mosina A.S.

**New sanctions: will it be possible to stay with imported software?
 But is it necessary?**44
 D'yachenko Lyudmila

**Evgeniy Bibin: The Federal Service for Environmental, Technological
 and Nuclear Supervision is systematically reducing the number
 of ownerless hydraulic structures**48

**How the degradation of the construction industry led to mass dam failures:
 a designer's opinion**52
 Bulgakov A.A.

**Dam accidents: many guilty ones, but no one to answer. Well, what
 is the demand from rats?**56
 D'yachenko Lyudmila



ЕВГЕНИЙ БИБИН: Ростехнадзор планомерно сокращает количество бесхозных гидросооружений Стр. 48

GEOINFO

Electronic publication
 Published since 2016
 Publication frequency:
 10 issues per year
 ISSN: 2949-0677
 DOI prefix: 10.58339

The editorial board of the journal accepts for consideration articles on the following topics: Site Investigation for Construction; Geotechnical Designing; Engineering and Ecological Geology; Soil Mechanics; Geotechnics; Design of Bases and Foundations; Ecology and Environmental Studies; Engineering-Geological Risk Problems; Methods for Forecasting, Preventing, Minimizing and Eliminating the Consequences of Hazardous Natural Processes and Phenomena; Engineering Protection of Territories.

Founder:
 Ananko Viktor Nikolaevich

Publisher:
 GeoInfo, individual entrepreneur
 Ananko V.N.

Address:
 10/12 3rd Frunzenskaya str., Moscow, 119146, Russian Federation

Editorial staff:
 editor-in-chief:
 Ananko Viktor Nikolaevich;
 analyst:
 Vasin Mikhail Vasilyevich;
 D'yachenko Lyudmila
 Special Correspondent;
 Eremeeva Mariya
 Special Correspondent;
 Vinogradova Vera
 Special Correspondent;

Designer and layout designer:
 individual entrepreneur
 Livshic S.S.

Official website:
 Geoinfo.ru

Address in the National Electronic Library of the RF:
https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=80357

It is distributed for free
 The editorial staff is not responsible for the content of advertising materials
 Publication date: 12.12.2024
 © Ananko Viktor Nikolaevich, 2024
 © GeoInfo, 2024
 Cover photo: www.Pixabay.com



ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТАЯНИЯ МЕРЗЛОГО ГРУНТА

ЯНЬ Чж.

Факультет инженерных методов охраны природных ресурсов и обеспечения безопасности Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай

ПАНЬ В.

Факультет инженерных методов охраны природных ресурсов и обеспечения безопасности Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай

ФАН Цз.

Факультет инженерных методов охраны природных ресурсов и обеспечения безопасности Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай

ЛЮ Цз.

Факультет инженерных методов охраны природных ресурсов и обеспечения безопасности Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай

АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи китайских исследователей «Численное моделирование процесса таяния мерзлого грунта» (Yan et al., 2020). Эта работа была опубликована в рецензируемом журнале *Geofluids* («Геофлюиды») издательством Hindawi в 2020 году. Она находится в открытом доступе по лицензии CC BY, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Yan et al., 2020) приведена в конце.

Многолетняя мерзлота из-за изменений климата теперь тает быстрее, что приводит к выбросам парниковых газов, переменам в гидрологическом режиме, воздействиям на здания и так далее. Поэтому в том числе необходимо изучать процесс таяния мерзлого грунта.

В пакете программ COMSOL Multiphysics 5.5 авторы переведенной статьи построили модель сопряженного воздействия «вода – тепло» на таяние мерзлого грунта, основанную на интерфейсах Darcy's law («Закон Дарси») и Heat Transfer in Porous Media («Теплоперенос в пористых средах»). В результате численного моделирования были получены три кривые для общего объема жидкой воды, минимальной температуры и общего теплового потока в процессе таяния.

Также были смоделированы изменения в распределении жидкой воды, температуры и давления во времени. Полученные изменения для жидкой воды согласуются с кривой ее общего объема, для температуры – с кривыми минимальной температуры и общего теплового потока, для давления – с поведением льда в мерзлом грунте, которое в процессе таяния приводит к отрицательному давлению.

Результаты исследования с помощью численного моделирования, представленные в данной статье, углубляют понимание внутренней эволюции мерзлого грунта в процессе его таяния и имеют определенную эталонную ценность для последующих экспериментов в рассматриваемой сфере и для соответствующих приложений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

многолетняя мерзлота; таяние мерзлого грунта; численное моделирование; тепловой поток; лёд; жидкая вода; температура; давление.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Янь Чж., Пань В., Фан Цз., Лю Цз. Численное моделирование процесса таяния мерзлого грунта // *Геоинфо*. 2024. Т. 6. № 9. С. 6–13.
DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-6-13.

NUMERICAL SIMULATION OF THAWING PROCESS IN FROZEN SOIL

YAN Zh.

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, China

PAN W.

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, China

FANG J.

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, China

LIU Z.

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, China

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper “Numerical simulation of thawing process in frozen soil” by Chinese researchers (Yan et al., 2020). It was published in the peer-reviewed journal “Geofluids” by the Hindawi publishing company. It is an open access article under the CC BY license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Yan et al., 2020) used for the presented translation is given in the end.

Permafrost has been thawing faster due to climate change, which would release greenhouse gases, change the hydrological regimes, affect buildings above, and so on. It is necessary to study the thawing process of frozen soil.

A water-heat coupling model for frozen soil thawing is established on Darcy’s law and Heat Transfer in Porous Media interfaces in Comsol Multiphysics 5.5. Three curves of total liquid water volume, minimum temperature, and total heat flux in the thawing process are obtained from the numerical simulation.

The distributions of liquid water, temperature, and pressure based on time are simulated too. The liquid water distribution is consistent with the total liquid water volume curve. The temperature distribution is confirmed by the minimum temperature and total heat flux curve. The pressure distribution represents ice in the frozen soil that generates negative pressure during the melting process.

The numerical simulation research in this article deepens the understanding of the internal evolution in the process of frozen soil thawing and has a certain reference value for subsequent experimental research and related applications.

KEYWORDS:

permafrost; frozen soil thawing; numerical simulation; heat flux; ice; liquid water, temperature; pressure.

FOR CITATION:

Yan Zh., Pan W., Fang J., Liu Z. Chislennoye modelirovaniye protsessa tayaniya merzlogo grunta [Numerical simulation of thawing process in frozen soil] // Geoinfo. 2024. T. 6. № 9. S. 6–13. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-6-13 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В северных и высокогорных регионах, таких как Цинхай-Тибетское нагорье, имеются большие площади с многолетней мерзлотой (ММ) [1]. Однако связанные с этим гидрологические и экологические сложности усугубляются из-за изменений климата [2–7]. В результате глобального повышения температуры ММ теперь тает быстрее. При этом парниковые газы, такие как углекислый газ и метан, выделяющиеся при таянии многолетней мерзлоты, в свою очередь, усугубляют глобальное потепление [8–10]. И эта тенденция сохранится по крайней мере в обозримые десятилетия [11].

В результате таяния ММ или перемены в характере сезонного подземного льда могут происходить изменения в

распределении поверхностных и подземных вод и, соответственно, в гидрологическом и гидрогеологическом режимах [12–14]. Кроме того, циклы заморозания-оттаивания грунтов также могут влиять на здания и сооружения, построенные на таких территориях [15, 16].

Поэтому ключевой темой для изучения влияния изменений климата на бо-реальные и высокогорные регионы являются грунты в условиях заморозания и оттаивания [17]. Одно из основных направлений в этом отношении – экспериментальные исследования. Так, Ван с соавторами [18] изучали изменения физико-механических свойств цинхай-тибетской глины в результате циклического заморозания-оттаивания. Чжан с коллегами [19] исследовали из-

менения температуры и объемного содержания незамерзшей воды в процессе заморозания-оттаивания грунта. Позже Ван и др. [20–22] изучали характеристики трещиноватости и механическое поведение скальных пород в таких условиях. Дэрроу и др. [23] измеряли электрокинетический потенциал (дзета-потенциал) грунтов, обработанных катионами, чтобы выяснить его влияние на подвижность незамерзшей воды. Цао и др. [24] изучали влияние циклических обработок замораживанием-оттаиванием на характеристики трещиноватости песчаника. Чжоу и др. [25] исследовали механическое поведение лёсса под воздействием таких циклов. Хан и др. [26] изучали влияние этих циклических процессов на сдвиговую прочность засоленного грунта. Чжао и др.

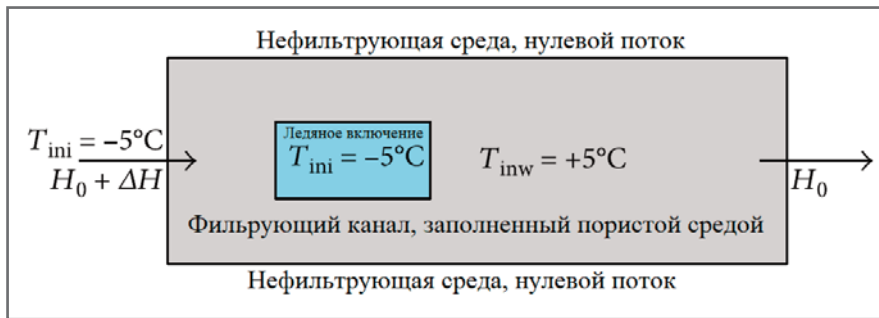


Рис. 1. Схематичное представление численной модели

Таблица 1. Свойства льда, воды и пористой среды («скелета», или «твёрдой матрицы»)

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг*К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)
Лед	920	2060	2,14
Вода	1000	4182	0,6
Пористая среда	2650	835	9

[27–30] исследовали динамическую прочность мерзлой засоленной сульфатной пылеватой глины при циклическом нагружении. Де Гузман и др. [31] обнаружили, что сдвиговая прочность образцов мерзлого грунта при замерзании-оттаивании снижается на целых 50%. Кроме того, некоторые ученые изучали поведение поверхности раздела «мерзлый грунт – бетон» при сдвиге в таких условиях [32, 33].

Помимо экспериментальных исследований, возможным подходом также является численное моделирование. Линь и др. [34–36] построили поле напряжений в зоне верхней части открытой трещины в моделях одноосного сжатия и сдвига. Ли и др. [37] разработали термогидромеханическую (thermo-hydro-mechanical, THM) модель для исследований механизмов разрушения при замерзании-оттаивании и для разработки соответствующих мер инженерной защиты. Чжао и др. [38–41] создали модели поведения скальных пород в таких условиях с использованием модели THM. Гренье и др. [42] изучали потоки подземных вод и перенос тепла в системах, подвергающихся замораживанию-оттаиванию. Хэ и др. [43] предложили модель температурно-влажностных деформаций мерзлых водонасыщенных грунтов. Принимая во внимание влияние потока воды в пористой среде, вызванное эффектом Соре (Soret) и потенциалом сегрегации (разжижения), на скорость фильтрации и распределе-

ние давления воды, Тань и др. [44] разработали термогидравлическую (thermo-hydraulic, TH) модель для строительства высокогорного тоннеля Галун Ла (Galung La tunnel) на Тибете. Амири и др. [45] расширили парадигму теоретической кривой замерзания грунта. Курилик и Ватанабэ [46] обобщили и исследовали совмещенные модели, описывающие перенос тепла и воды в холодных регионах.

Грунты в условиях замерзания-оттаивания изучались и изучаются с различных точек зрения. Однако изменения в состоянии мерзлого грунта невозможно отобразить интуитивно. Поскольку внутреннюю эволюцию этого грунта в процессе таяния трудно наблюдать, для изучения изменений, происходящих при этом в содержании воды, температуре, переносе тепла и давлении, был выбран подход, основанный на численном моделировании. Результаты такого исследования имеют определенную эталонную ценность для последующих экспериментов и соответствующих приложений.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ►

Определение модели ►

Численное моделирование процесса таяния мерзлого грунта выполнялось с помощью пакета программ Comsol Multiphysics 5.5. При этом были выбраны такие интерфейсы, как Darcy's law («Закон Дарси») и Heat Transfer in Porous Media («Теплоперенос в пористых средах»).

На рисунке 1 схематично отражена построенная двумерная численная модель. Заполненный пористой средой канал длиной 3 м и шириной 1 м с общим направлением фильтрационного потока слева направо содержит зону со льдом в порах, двумерный профиль которой имеет квадратную форму с длиной стороны 0,333 м (далее будем называть эту зону ледяным включением). Начальная температура данного ледяного включения T_{ini} равна минус 5 °С. Температура в пористом канале T_{inw} составляет плюс 5 °С. Движение потока жидкости осуществляется за счет гидравлического градиента (потери напора) ΔH , равного 3% по длине канала.

Для облегчения исследовательской работы модель была построена при следующих допущениях: в уравнение теплопереноса не включена термическая дисперсия (рассеяние тепла); плотность воды и динамическая вязкость считаются постоянными по отношению к температуре (таблица 1).

Уравнения модели ►

При использовании опции Storage model («Модель хранения») в интерфейсе Darcy's law («Закон Дарси») обеспечивается выполнение закона Дарси, что дает возможность определения линейаризованного хранения S (1/Па) с использованием сжимаемости жидкости и пористой среды («скелета», или «твёрдой матрицы»):

$$\rho S \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \left[-\frac{\kappa}{\mu} (\nabla p + \rho g \nabla D) \right] = Q_m, \quad (1)$$

где Q_m – источник массы, который представляет собой дополнительную жидкую воду в результате таяния ледяных включений.

В этом случае S определяется по формуле:

$$S = S_w \beta \epsilon_p, \quad (2)$$

где S_w – водонасыщенность; ϵ_p – пористость; β – эффективная сжимаемость, которая представляет собой совокупную сжимаемость воды, льда и пористой среды.

Для простоты гравитационной составляющей, имеющейся в уравнении (1), пренебрегают.

В результате формула для определения Q_m выглядит следующим образом:

$$Q_m = S_w \epsilon_p (\rho_i - \rho_w) \frac{\partial S_w}{\partial t}, \quad (3)$$

где ρ_i , ρ_w – плотность льда и жидкой воды соответственно.

Водонасыщенность жидкой воды S_w зависит от фазового перехода так:

$$S_w = S_{wres} + (1 - S_{wres})\theta_2, \quad (4)$$

где S_{wres} – остаточная насыщенность жидкой водой; θ_2 – сглаженная ступенчатая функция, определенная в опции Phase change («Фазовый переход»). Ступенчатая функция $\theta_2(T)$ равна нулю для температур ниже температуры плавления T_{pc} и равна единице для температур выше T_{pc} .

Теплоперенос в пористой среде описывается следующим уравнением:

$$(\rho C)_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_w \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot (-k_{eq} \nabla T) = Q. \quad (5)$$

где $(\rho C)_{eq}$ – эквивалентное значение произведения плотности ρ (кг/м³) и удельной теплоемкости при постоянном давлении C (Дж/(кг*К)); k_{eq} – эффективный коэффициент теплопроводности (Вт/(м*К)); T – температура (К); Q – объемная плотность теплового потока, характеризующая мощность действия внутреннего источника теплоты (Вт/м³); C_w – эффективная теплоемкость жидкости при постоянном давлении (Дж/(кг*К)).

Данные модели ►

В базовом (контрольном) примере описывается фазовый переход от льда к воде для ледяного включения внутри пористого канала (значения тепловых свойств воды, льда и пористой среды представлены в таблице 1). Применена скрытая теплота плавления L , равная 334 кДж/кг. Дополнительные физические параметры, использованные в примере, сведены в таблицу 2.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ ►

Моделирование соответствовало по времени 56 часам. Через 19,2 часа лед полностью растаял, но минимальная температура в пористом канале не возвращалась к первоначальным 5 °С до 56-го часа. При таянии льда изменения различных физических показателей в этом канале могут отражать внутреннюю эволюцию процесса таяния в мерзлом грунте, что заслуживает дальнейшего обсуждения.

Кривые по результатам численного моделирования ►

В «запущенной» модели лед в грунте постепенно таял и общий объем жидкой воды в пористом канале увеличивался (рис. 2). Примерно через 19,2 ч этот

Таблица 2. Дополнительные физические параметры

Параметр	Обознач.	Ед. изм.	Значение
Динамическая вязкость воды	μ_w	Па*с	$1,793 \cdot 10^{-3}$
Пористость	ε	-	0,37
Эффективная сжимаемость	β	1/Па	10^{-8}
Остаточная насыщенность жидкой водой	S_{wres}	-	0,05
Коэффициент сопротивления фильтрации	Ω	-	50
Водопроницаемость	k_{int}	м ²	$1,3 \cdot 10^{-10}$

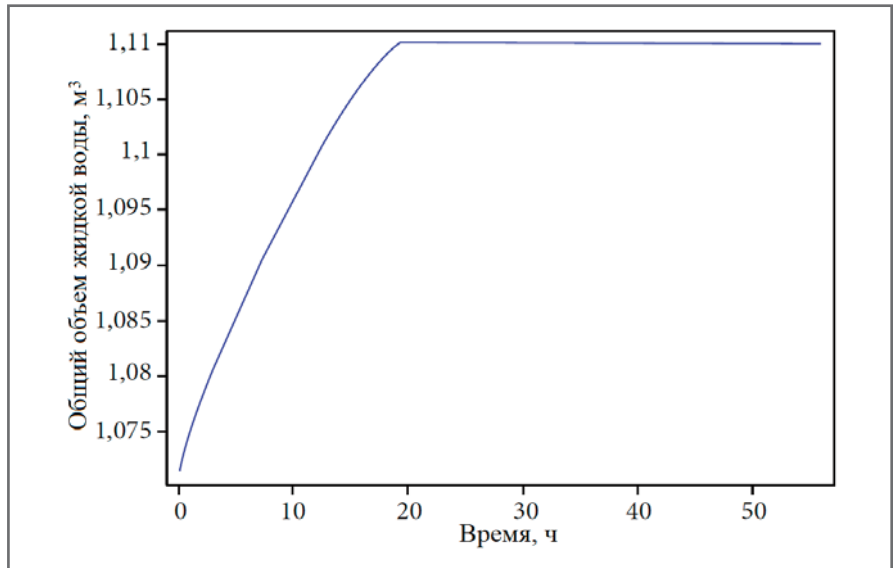


Рис. 2. Изменения общего объема жидкой воды в пористом канале в процессе таяния ледяного включения

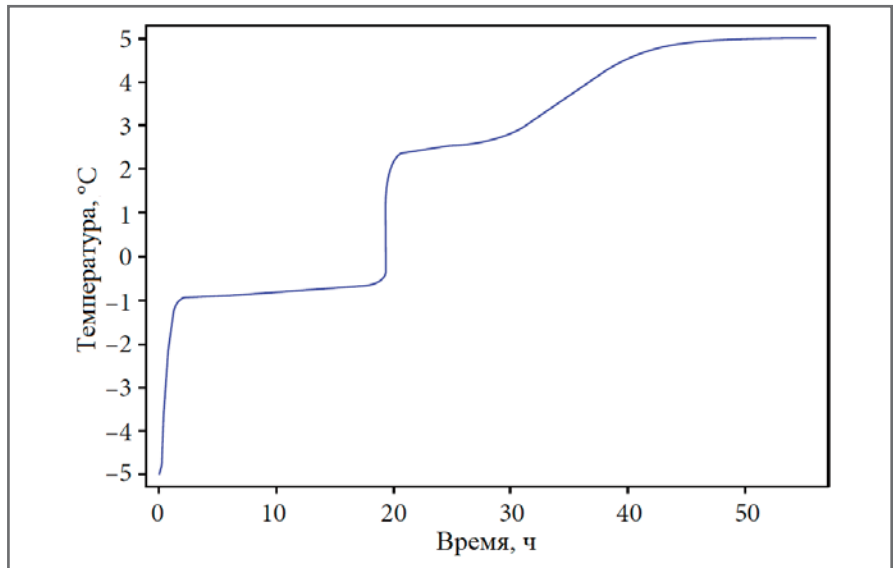


Рис. 3. Изменения минимальной температуры в пористом канале в процессе таяния ледяного включения

объем вырос до 1,11 м³ и далее оставался постоянным, что свидетельствовало о том, что лед полностью растаял.

В начале моделирования температура грунта в основной части пористого канала составляла плюс 5 °С, а темпе-

ратура льда – минус 5 °С, в то же время минимальная температура в канале была равна температуре льда, то есть минус 5 °С. Через 56 часов минимальная температура во всем канале стала равной плюс 5 °С.

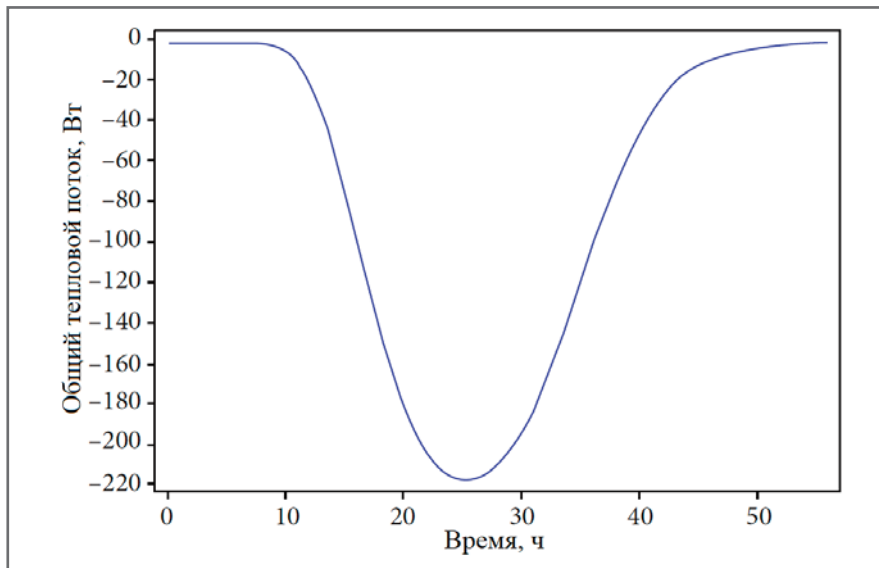


Рис. 4. Изменения общего теплового потока, выходящего из системы через выходную границу канала, в процессе таяния ледяного включения

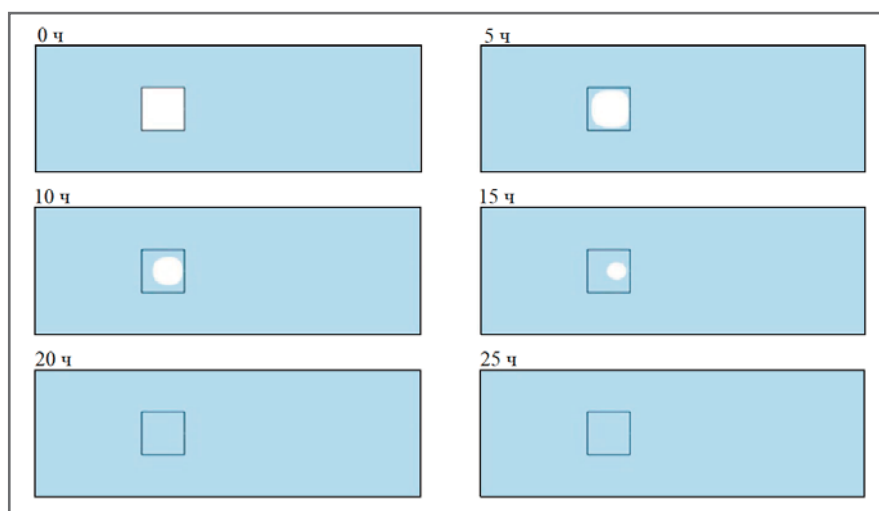


Рис. 5. Насыщение пористого канала жидкой водой. Зоны с жидкой водой показаны голубым цветом, зоны со льдом – белым

Как видно из рисунка 3, минимальная температура в канале быстро поднялась до минус $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение первых двух часов после начала таяния льда. С момента 2 ч до примерно 19,2 ч она повышалась очень медленно. В узком интервале с 19,2 до 19,9 ч она повышалась быстро и превысила точку замерзания. Затем повышение минимальной температуры в канале происходило в три этапа (медленный, быстрый и опять медленный) и через 56 ч она стала равной плюс $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, какой была исходно в основной части канала.

В модели жидкость течет в канале слева направо, поэтому правая сторона очерчивающего его прямоугольника является выходной границей системы (см. рис. 1). Изменения общего теплового потока, выходящего через нее, показаны на рисунке 4. Поскольку ледяное включение находится в левой половине канала на опре-

деленном расстоянии от правой границы, тепловой поток, идущий через нее, не соответствует в точности изменениям теплоты, вызванным таянием льда. Поэтому рисунки 3 и 4 не согласуются друг с другом со всей очевидностью (соответствующая взаимосвязь между изменениями теплового потока и температуры будет описана в статье позже). Изменения теплового потока на выходной границе системы обусловлены таянием льда, и этот поток отрицателен по направлению. Но по модулю общий тепловой поток на выходной границе сначала увеличивался, а затем уменьшался (см. рис. 4).

Распределение жидкой воды ►

Модельные изменения в распределении жидкой воды в пористом канале показаны на рисунке 5. Видно, что ледяное включение начинает таять с четы-

рех углов. Его левая сторона обращена навстречу к потоку жидкости, и скорость таяния льда слева выше, чем справа. В процессе оттаивания форма профиля включения постепенно меняется с квадратной на круглую и его размеры постепенно уменьшаются вплоть до полного исчезновения льда. Для показанных на рисунке 5 моментов времени видно, что через 20 ч лед полностью растаял, жидкая вода полностью заполнила поры канала, а ее общий объем постоянен (в соответствии с кривой, показанной на рисунке 2).

Распределение температуры ►

Распределение температуры в пористом канале тоже менялось по мере таяния льда (рис. 6). Зона с температурой ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ содержала в порах лед. При таянии льда низкая температура распространялась вокруг его зоны, а затем перемещалась в модели вправо по мере течения жидкости. Наконец низкая температура «вытекла» из канала и в нем везде восстановились первоначальные плюс $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 6 видно, что в диапазоне времени от 0 до 20 ч распределение льда в процессе его таяния согласуется с рисунком 5. Картины для моментов времени 0; 0,083; 0,25; 1 ч (см. рис. 6) подтверждают быстрое повышение минимальной температуры в пористом канале в течение первого часа моделирования, отраженное на рисунке 3. Таяние льда привело к понижению температуры воды вокруг его зоны. Эта низкотемпературная вода текла вправо под действием гидравлического напора, что изменило тепловой поток на выходной границе, и это подтверждает показанное на рисунке 4. На рисунке 6 видна выделенная голубым цветом низкотемпературная вода, проходящая через выходную границу в период времени между 20 и 30 ч, что соответствует большим значениям теплового потока по модулю, отраженным на рисунке 4.

Распределение давления ►

Изменения в распределении давления в пористом канале по мере таяния льда показаны на рисунке 7 в соответствии с цветовой шкалой. Видно, что они сосредоточены в основном в зоне ледяного включения. Светлые линии на рисунке, идущие слева направо, отражают поле скоростей фильтрации (скоростей Дарси) и пути течения жидкости в пористой среде. С началом таяния давление в ледяной зоне стало снижаться. Сначала оно изменилось с положительного на отрицательное в четырех

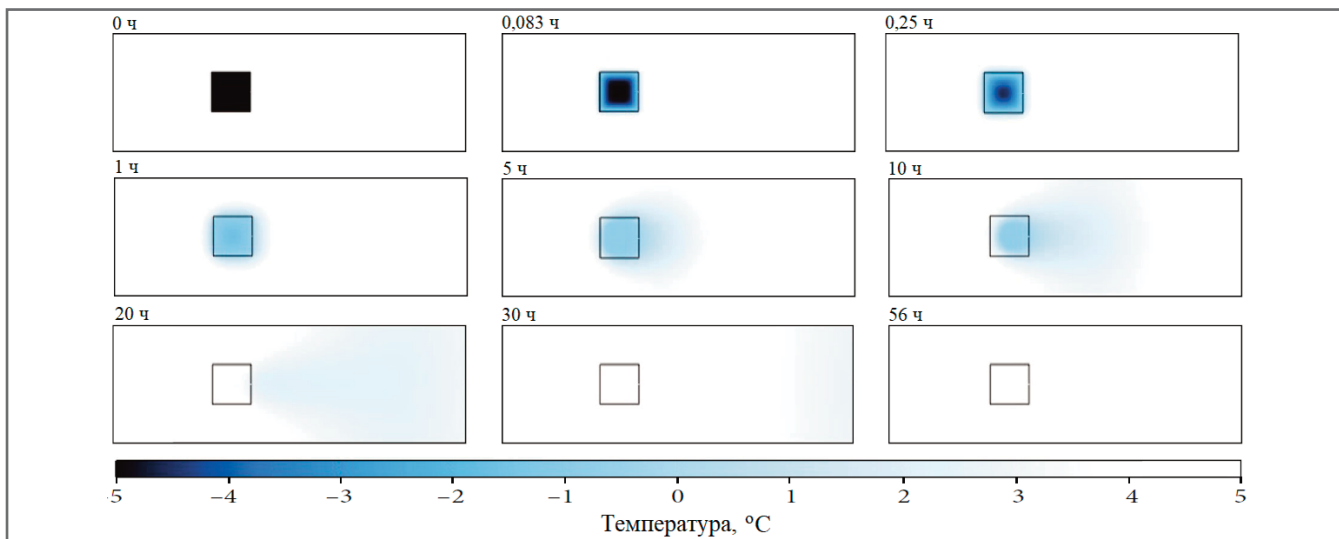


Рис. 6. Изменения в распределении температуры в пористом канале в процессе таяния ледяного включения

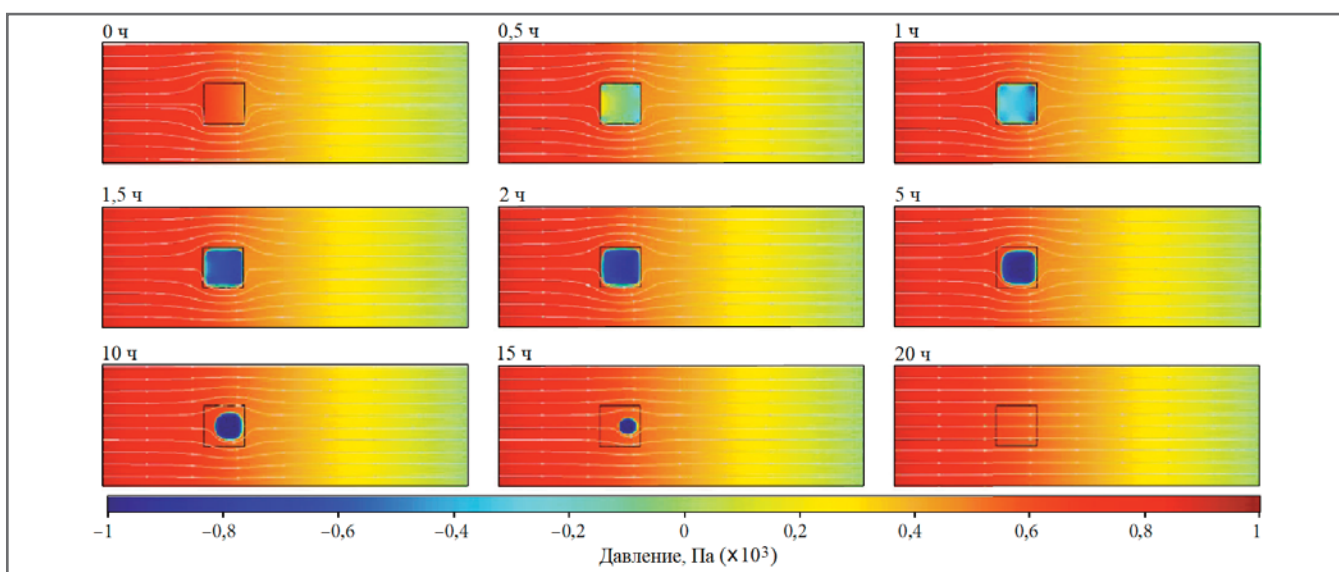


Рис. 7. Изменения в распределении давления в пористом канале в процессе таяния ледяного включения

углах включения, а затем полностью стало отрицательным во всей ледяной зоне. Профиль льда в процессе таяния становился все меньше и меньше по площади, потом стал круглым. При этом отрицательное давление постепенно увеличивалось по модулю. В конце концов ледяное включение растаяло полностью, в результате чего величины давления стали одинаковыми в каждом поперечном сечении канала, а линии тока жидкости, поначалу огибающие включение, заняли зону растаявшего льда и выпрямились.

ВЫВОДЫ ►

Для анализа процесса таяния мерзлого грунта была создана двумерная модель сопряженного воздействия «вода – тепло» на таяние ледяного включения в канале, заполненном пористой средой.

Выполненное численное моделирование позволило выявить внутреннюю эволюцию мерзлого грунта в процессе таяния под действием четырех факторов – воды, температуры, тепла и давления. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Смоделированные изменения в распределении жидкой воды в процессе таяния мерзлого грунта соответствуют кривой общего объема жидкости и могут отразить площадь профиля нерастаявшего льда.

2. Смоделированные изменения в распределении температуры в процессе таяния мерзлого грунта, с одной стороны, объясняют ход кривой минимальной температуры в пористом канале, а с другой стороны, говорят о том, что минимальная температура воды, проходящей через выходную гра-

ницу системы, соответствует общему тепловому потоку.

3. Смоделированные изменения давления и путей тока воды показали, что лед в мерзлом грунте в процессе таяния создает отрицательное давление.

4. Выполненное численное моделирование имеет «справочное» значение, поэтому необходимо провести дополнительные полевые наблюдения и исследования по таянию многолетней мерзлоты, чтобы можно было четко понять реальный механизм этого процесса. Одним из возможных подходов является крупномасштабное размещение датчиков в многолетнемерзлых грунтах для мониторинга изменений в процессе оттаивания. ■

Эта работа была выполнена при поддержке Национальной программы ключевых исследований и разработок Китая (грант № 2018YFC0808404).

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►**(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ►**

Yan Zh., Pan W., Fang J., Liu Z. Numerical simulation of thawing process in frozen soil // *Geofluids*. Hindawi, 2020. Article ID 8822320. DOI: doi.org/10.1155/2020/8822320. URL: hindawi.com/journals/geofluids/2020/8822320.

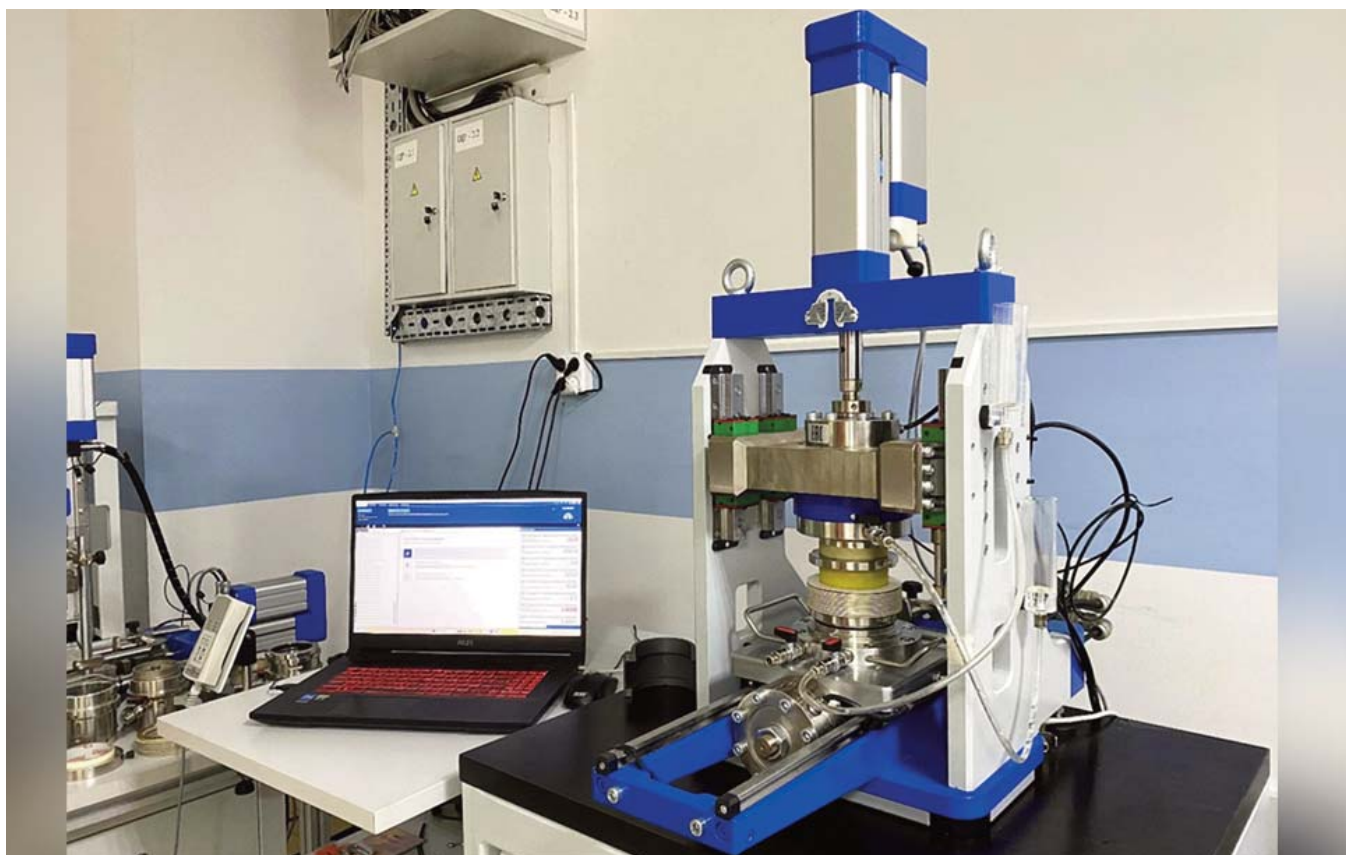
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►**(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ►**

- Xia K., Luo Y., Li W.P. Simulation of freezing and melting of soil on the northeast Tibetan Plateau // *Chinese Science Bulletin*. 2011. Vol. 56. № 20. P. 2145–2155.
- Rouse W.R., Douglas M.S.V., Hecky R.E., et al. Effects of climate change on the freshwaters of arctic and subarctic north America // *Hydrological Processes*. 1997. Vol. 11. № 8. P. 873–902.
- Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin F.S., et al. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment // *Climatic Change*. 2000. Vol. 46. № 1/2. P. 159–207.
- Jorgenson M.T., Racine C.H., Walters J.C., Osterkamp T.E. Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in Central Alaska [J] // *Climatic Change*. 2001. Vol. 48. № 4. P. 551–579.
- Hinzman L.D., Bettez N.D., Bolton W.R., et al. Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other Arctic regions // *Climatic Change*. 2005. Vol. 72. № 3. P. 251–298.
- Schindler D.W., Smol J.P. Cumulative effects of climate warming and other human activities on freshwaters of arctic and subarctic north America // *Ambio*. 2006. Vol. 35. № 4. P. 160–168.
- Zhongqiong Z., Qingbai W., Guanli J., Siru G., Ji C., Yongzhi L. Changes in the permafrost temperatures from 2003 to 2015 in the Qinghai-Tibet Plateau // *Cold Regions Science and Technology*. 2020. Vol. 169. Article 102904.
- Anisimov A.O. Potential feedback of thawing permafrost to the global climate system through methane emission // *Environmental Research Letters*. 2017. Vol. 2. № 4. |Article 045016.
- Masyagina O.V., Menyailo O.V. The impact of permafrost on carbon dioxide and methane fluxes in Siberia: a meta-analysis // *Environmental Research*. 2020. Vol. 182. Article 109096.
- IPCC. Climate change 2001 – the scientific basis // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2001. Vol. 19. № 2. P. 359–365.
- IPCC, Stocker T., Qin D., et al. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // *Climate Change*. 2013. Vol. 2013.
- Connon R.F., Quinton W.L., Craig J.R., Hayashi M. Changing hydrologic connectivity due to permafrost thaw in the lower Liard River valley, NWT, Canada // *Hydrological Processes*. 2014. Vol. 28. № 14. P. 4163–4178.
- Kurylyk B.L., Macquarrie K.T.B., Mckenzie J.M. Climate change impacts on groundwater and soil temperatures in cold and temperate regions: implications, mathematical theory, and emerging simulation tools // *Earth-Science Reviews*. 2014. Vol. 138. P. 313–334.
- Frampton A., Destouni G. Impact of degrading permafrost on subsurface solute transport pathways and travel times // *Water Resources Research*. 2015. Vol. 51. № 9. P. 7680–7701.
- Yang B., Qin Z., Zhou Q., Li H., Li L., Yang X. Pavement damage behavior of urban roads in seasonally frozen saline ground regions // *Cold Regions Science and Technology*. 2020. Vol. 174. Article 103035.
- Yang Z., Dutta U., Xiong F., Biswas N., Benz H. Seasonal frost effects on the dynamic behavior of a twenty-story office building // *Cold Regions Science and Technology*. 2008. Vol. 51. № 1. P. 76–84.
- Lawrence D.M., Slater A.G., Swenson S.C. Simulation of present-day and future permafrost and seasonally frozen ground conditions in CCSM4 // *Journal of Climate*. 2012. Vol. 25. № 7. P. 2207–2225.
- Wang D.Y., Ma W., Chang X.X., Sun Z.Z., Feng W.J., Zhang J.W. Physico-mechanical properties changes of Qinghai-Tibet clay due to cyclic freezing and thawing // *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005. Vol. 23. P. 4313–4319.
- Zhang M., Zhang X., Lai Y., Lu J., Wang C. Variations of the temperatures and volumetric unfrozen water contents of fine-grained soils during a freezing-thawing process // *Acta Geotechnica*. 2020. Vol. 15. № 3. P. 595–601.
- Wang Y., Zhang H., Lin H., Zhao Y., Li X., Liu Y. Mechanical behavior and failure analysis of fracture-filled gneissic granite // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2020. Vol. 108. Article 102674.
- Wang Y., Lin H., Zhao Y., Li X., Guo P., Liu Y. Analysis of fracturing characteristics of unconfined rock plate under edge-on impact loading // *European Journal of Environmental & Civil Engineering*. 2019. P. 1–16.
- Wang Y., Zhang H., Lin H., Zhao Y., Liu Y. Fracture behavior of central-flawed rock plate under uniaxial compression // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2020. Vol. 106. Article 102503.



23. Darrow M.M., Guo R., Trainor T.P. Zeta potential of cation-treated soils and its implication on unfrozen water mobility // *Cold Regions Science and Technology*. 2020. Vol. 173. Article 103029.
24. Cao R.-H., Wang C., Yao R., et al. Effects of cyclic freeze-thaw treatments on the fracture characteristics of sandstone under different fracture modes: laboratory testing // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2020. Vol. 109. Article 102738.
25. Zhou Z., Ma W., Zhang S., Mu Y., Li G. Effect of freezethaw cycles in mechanical behaviors of frozen loess // *Cold Regions Science and Technology*. 2018. Vol. 146. P. 9–18.
26. Han Y., Wang Q., Wang N., et al. Effect of freeze-thaw cycles on shear strength of saline soil // *Cold Regions Science and Technology*. 2018. Vol. 154. P. 42–53.
27. Zhao Y., Lai Y., Zhang J., Liao M. A dynamic strength criterion for frozen sulfate saline silty clay under cyclic loading // *Cold Regions Science and Technology*. 2020. Vol. 173. Article 103026.
28. Zhao Y., Zhang L., Wang W., Tang J., Lin H., Wan W. Transient pulse test and morphological analysis of single rock fractures // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017. Vol. 91. P. 139–154.
29. Zhao Y., Zhang L., Wang W., Liu Q., Tang L., Cheng G. Experimental study on shear behavior and a revised shear strength model for infilled rock joints // *International Journal of Geomechanics*. 2020. Vol. 20. № 9. Article 04020141.
30. Wang C., Zhao Yu., Zhao Ya., Wan W. Study on the interaction of collinear cracks and wing cracks and cracking behavior of rock under uniaxial compression // *Advances in Civil Engineering*. 2018. № 5. P. 1–10.
31. De Guzman E.M.B., Stafford D., Alfaro M.C., Dore G., Arenson L.U. Large-scale direct shear testing of compacted frozen soil under freezing and thawing conditions // *Cold Regions Science and Technology*. 2018. Vol. 151. P. 138–147.
32. He P. Mu Y., Yang Z., Ma W., Dong J., Huang Y. Freeze-thaw cycling impact on the shear behavior of frozen soil-concrete interface // *Cold Regions Science and Technology*. 2020. Vol. 173. № 1. Article 103024.
33. Liu J., Lv P., Cui Y., Liu J. Experimental study on direct shear behavior of frozen soil-concrete interface // *Cold Regions Science and Technology*. 2014. Vol. 104-105. P. 1–6.
34. Lin H., Yang H., Wang Y., Zhao Y., Cao R. Determination of the stress field and crack initiation angle of an open flaw tip under uniaxial compression // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2019. Vol. 104. Article 102358.
35. Xie S., Lin H., Wang Y., et al. A statistical damage constitutive model considering whole joint shear deformation // *International Journal of Damage Mechanics*. 2020. Vol. 29. № 6. P. 988–1008.
36. Lin H., Zhang X., Wang Y., et al. Improved nonlinear Nishihara shear creep model with variable parameters for rock-like Materials // *Advances in Civil Engineering*. 2020. Vol. 3. P. 1–15.
37. Li G., Li N., Bai Y., Liu N., He M., Yang M. A novel simple practical thermal-hydraulic-mechanical (THM) coupling model with water-ice phase change // *Computers and Geotechnics*. 2020. Vol. 118. Article 103357.
38. Zhao Y.L., Wang W.J., Zhao Y.S., Gao W.H. 3D dual medium model of thermal-hydro-mechanical coupling and its application // *Journal of China University of Mining & Technology*. 2010. Vol. 39. № 5. P. 709–715.
39. Zhao Y., Wang Y., Wang W., Tang L., Liu Q., Cheng G. Modeling of rheological fracture behavior of rock cracks subjected to hydraulic pressure and far field stresses // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2019. Vol. 101. P. 59–66.
40. Zhao Y., Wang Y., Wang W., Wan W., Tang J. Modeling of non-linear rheological behavior of hard rock using triaxial rheological experiment // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017. Vol. 93. P. 66–75.
41. Zhao Y., Zhang L., Wang W., Wan W., Ma W. Separation of elastoviscoplastic strains of rock and a nonlinear creep model // *International Journal of Geomechanics*. 2018. Vol. 18. № 1. P. 18.
42. Grenier C., Anbergen H., Bense V., et al. Groundwater flow and heat transport for systems undergoing freeze-thaw: intercomparison of numerical simulators for 2D test cases // *Advances in Water Resources*. 2018. Vol. 114. P. 196–218.
43. He M., Li N., Liu N.F. Analysis and validation of coupled heat-moisture-deformation model for saturated frozen soils // *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*. 2012. Vol. 34. № 10. P. 1858–1865.
44. Tan X., Chen W., Tian H., Cao J. Water flow and heat transport including ice/water phase change in porous media: numerical simulation and application // *Cold Regions Science and Technology*. 2011. Vol. 68. № 1-2. P. 74–84.
45. Amiri E.A., Craig J.R., Kurylyk B.L. A theoretical extension of the soil freezing curve paradigm // *Advances in Water Resources*. 2018. Vol. 111. P. 319–328.
46. Kurylyk B.L., Watanabe K. The mathematical representation of freezing and thawing processes in variably-saturated, non-deformable soils // *Advances in Water Resources*. 2013. Vol. 60. P. 160–177.





ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОСТОГО СДВИГА

МИРНЫЙ А.Ю.

Доцент геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Независимая геотехника», к. т. н., г. Москва, Россия
nfo@indep-geo.ru

ИДРИСОВ И.Х.

Генеральный директор ООО НПП «Геотек», г. Москва, Россия

МОСИНА А.С.

Научный сотрудник лаборатории изучения состава и свойств грунтов ИГЭ РАН, заместитель генерального директора ООО «Независимая геотехника», к. г.-м. н., г. Москва, Россия
Mosina.A.S@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Испытания методом простого сдвига на протяжении 60 лет применяются за рубежом, однако в РФ практически не известны. Тем не менее ГОСТ Р 56353-2022 предусматривает возможность проведения испытаний на простой сдвиг в динамическом режиме, что позволяет заменить более сложные и дорогостоящие испытания в приборах трехосного сжатия.

В данной статье рассматриваются основные принципы испытаний методом простого сдвига, конструкции приборов, предложенные различными исследователями. Отдельное внимание уделено прибору динамического простого сдвига, разработанному ООО НПП «Геотек». Помимо этого в работе приводится подробная методика проведения подобных испытаний и интерпретации их результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

механическое поведение грунта; метод динамического простого сдвига; прибор динамического простого сдвига; прибор кембриджского типа; прибор норвежского типа; российский производитель; требования ГОСТ; условия сейсмического воздействия; вертикальные напряжения; касательные напряжения; консолидированно-дренированный режим; консолидированно-недренированный режим; деформация; дополнительная деформация; виброползучесть; динамическая прочность; разжижение.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мирный А.Ю., Идрисов И.Х., Мосина А.С. Лабораторные испытания методом динамического простого сдвига // Геоинфо. 2024. Т. 6. № 9. С. 14–24.
DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-14-24.

LABORATORY TESTS BY THE DYNAMIC SIMPLE SHEAR METHOD

MIRNYY A.Yu.

Associate professor at the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University, the head of "Independent Geotechnics" LLC, PhD, Moscow, Russia
info@indep-geo.ru

IDRISOV I.Kh.

Head of "Geotek" LLC, Moscow, Russia

MOSINA A.S.

Researcher at the Laboratory for Studying the Composition and Properties of Soils, Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Science; the deputy general director of "Independent Geotechnic" LLC, PhD, Moscow, Russia
Mosina.A.S@yandex.ru

ABSTRACT

Simple shear tests have been used abroad during 60 years, but they are practically unknown in the Russian Federation. Nevertheless, GOST R 56353-2022 provides for the possibility of conducting simple shear tests in dynamic mode, which allows replacing more complex and expensive tests in triaxial compression devices.

This paper discusses the basic principles of simple shear testing, the device structures proposed by various researchers. Special attention is paid to the dynamic simple shear device developed by "NPP Geotech" LLC. In addition, the paper describes a detailed procedure of conducting such tests and interpreting their results.

KEYWORDS:

soil mechanical behavior; dynamic simple shear method; dynamic simple shear device; Cambridge type device; Norwegian type device; Russian manufacturer; GOST requirements; seismic impact conditions; vertical stresses; shear stresses; consolidated-drained mode; consolidated-undrained mode; strain; additional strain; vibrocreep; dynamic strength; liquefaction.

FOR CITATION:

Mirnyy A.Yu., Idrisov I.H., Mosina A.S. Laboratornyie ispytaniya metodom dinamiceskogo prostogo sdviga [Laboratory tests by the dynamic simple shear method] // Geoinfo. 2024. Vol. 6. № 9. S. 14–24. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-14-24 (in Rus.).

Введение ▶

Испытания методом динамического простого сдвига выполняют для исследований механического поведения грунтов в диапазоне деформаций сдвига γ от 10^{-3} до 10^{-1} и более. Подобные циклические испытания хорошо воспроизводят работу грунта в условиях сейсмического воздействия, поскольку позволяют нагружать образец грунта вертикальной статической нагрузкой и одновременно прикладывать к нему знакопеременную касательную силу, физически моделируя распространение волн у поверхности земли. Кроме этого, они позволяют выполнять испытания с вращением осей главных напряжений и/или главных деформаций в условиях плоской деформации, что наблюдается в массивах грунтов под реальными инженерными сооружениями. Следует отметить, что испытания в условиях динамического простого сдвига, как и статического, не предполагают фиксации поверхности среза – она образуется в ходе испытания и зависит от неоднородности строения образца грунта.

В зарубежной литературе испытания методом динамического простого сдвига известны под названием *direct simple shear*, или *DSS* (в дословном переводе –

«прямой простой сдвиг»), что обычно подразумевает проведение в одном приборе двух испытаний – методом обычного прямого среза и методом простого сдвига. Тем не менее большинство приборов простого сдвига на самом деле таковыми не являются – их правильное было бы называть приборами многоплоскостного среза. Это связано с тем, что в грунтах с неоднородностями строения (и, как следствие, с неоднородностями жесткости и прочности) взаимное смещение отдельных сечений – колец обоймы – необязательно будет одинаковым, если между кольцами прибора отсутствует жесткая кинематическая связь. Следовательно, в образце не сформируется однородное деформированное состояние, как это было бы в изотропном сплошном теле. Тем не менее в настоящей статье приборами простого сдвига называются те приборы, в которых между отдельными сечениями отсутствует кинематическая связь, так как к этой категории относится большинство промышленно выпускаемых конструкций.

Метод динамического простого сдвига в общем случае заключается в нагружении образца вертикальным (нормальным) и касательным напряжениями,

действующими на верхней или нижней торцевой поверхности цилиндрического или призматического образца при ограничении перемещений на других границах образца (рис. 1). Испытание начинается с предварительного уплотнения – консолидации, при отсутствии касательных напряжений напряженное состояние в образце подобно условиям компрессионного сжатия. В случае связных грунтов консолидация может проводиться и вне камеры, в приборах предварительного уплотнения. На втором этапе испытания воспроизводят циклический сдвиг грунта при его постоянном объеме, динамическая составляющая нагрузки прикладывается в виде горизонтально направленной силы. Постоянство объема в ходе испытания обеспечивается невозможностью поперечного расширения образца (ему препятствуют жесткие кольца обоймы) и поддержанием постоянной высоты образца путем фиксации перемещений верхнего штампа. При этом, очевидно, вертикальное напряжение будет изменяться в зависимости от протекания процессов дилатансии/контракции. Предполагается, что изменение полного измеряемого вертикального напряжения в ходе сдвига равно изменению по-



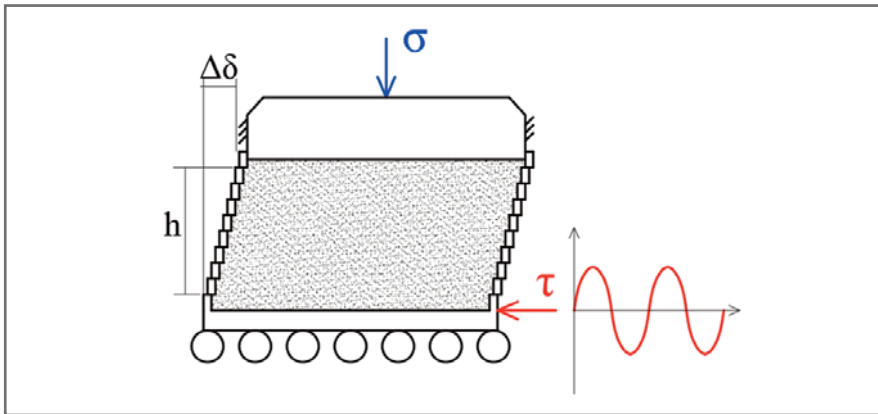


Рис. 1. Схема прибора динамического простого сдвига

рового давления при недренированном испытании. Таким образом, режим испытания – консолидированно-недренированный.

Конструкции приборов для испытаний методом динамического простого сдвига ►

История создания прибора динамического простого сдвига началась в 50-е годы XX века. В 1951 году Чельман (Kjellman) [1] разработал устройство для испытаний цилиндрических образцов в условиях простого сдвига с резиновой оболочкой, армированной проволокой. Динамическая нагрузка в нем прикладывалась в одном горизонтальном направлении к верхнему торцу короткого цилиндрического образца, заключенного в резиновую мембрану и ряд тонких жестких колец. Продолжавшаяся разработка прибора динамического простого сдвига привела к выделению двух типов его конструкции, которые до настоящего момента остаются основными. К ним относятся прибор кембриджского типа (Cambridge University-type, CU-type) и норвежского типа (Norwegian Geotechnical Institute, NGI) (рис. 2).

Создание так называемого кембриджского прибора простого сдвига принято относить к 1953 году. Так, Роско (Roscoe) определил, что устройство, разработанное Чельманом [1], не позволяет создавать однородное напряженное состояние по поперечному сечению образца, потому что напряжения в этом случае должны быть касательными к круговой границе. И Роско [1] предложил жесткий механизм сдвига, а вместо цилиндрической формы образца принял прямоугольную. Образец имел размер в плане 100 мм × 100 мм и высоту 20 мм и ограничивался по боковым сторонам жесткими пластинами, закрепленными на шарнирах и скользящих за-

делках для достижения условий простого сдвига [3, 4]. Боковые стенки, параллельные направлениям деформаций сдвига, были закреплены относительно основания, в результате чего воспроизводились условия плоской деформации. Деформация чистого сдвига реализовывалась путем поворота боковых граней относительно двух шарниров при смещении нижнего штампа в горизонтальном направлении. Однако в этом приборе конструктивно невозможно было реализовать недренированные испытания грунта. Помимо этого недостатком приборов такого типа является прямоугольная форма испытываемых образцов, которая усложняет их подготовку ввиду сложности сохранения ненарушенной структуры. Кроме того, наличие углов приводит к дополнительной неоднородности распределения деформаций. Позже исследователи, являющиеся авторами работ [5–8], усовершенствовали некоторые элементы кембриджского прибора простого сдвига.

Второй, и более распространенный, норвежский тип прибора простого сдвига NGI был разработан в 1966 году в Норвежском институте геотехники [9]. Его конструкция характеризуется более гибкой обоймой – цилиндрический образец размещен в резиновой оболочке и армирован металлической проволокой. Предполагается, что обмотка предотвращает изменение диаметра образца во время испытания, в то же время допуская вертикальные деформации во время уплотнения. В приборе NGI проводили испытания цилиндрического образца высотой 2 см и диаметром 8 см, находящегося в армированной резиновой оболочке, герметично соединенной с верхним штампом и основанием. Однако и этот тип прибора не лишен проблемы неоднородности распределения напряжений и деформаций. Так, исследование, прове-

денное Лаксом (Lucks) с соавторами [10], позволило установить, что 30% объема образца в приборе типа NGI находятся в условиях неоднородного напряженного состояния, которое при росте уровня деформаций увеличивается, что приводит к разрушению образцов при меньших напряжениях [11]. Неравномерность распределения объемных деформаций в приборе была отмечена также Казагранде (Casagrande) [12] – даже поддержание постоянного объема образца при динамическом нагружении не может предотвратить перераспределение поровой влаги в образце. Первоначальная конструкция прибора типа NGI неоднократно модифицировалась. Так, ее доработкой занимались Казагранде (Casagrande) [12], Деальба (de Alba) с коллегами [13], Анселл и Браун (Ansell, Brown) [5] и другие. В 1979 году исследователи из Днепропетровского инженерно-строительного института (ДИИТ) под руководством профессора М.Н. Гольдштейна заменили армирующую стальную проволоку на стопку алюминиевых колец вокруг образца, сдвиг в этом случае осуществлялся перемещением верхней плиты. Образец имел диаметр 6 см и окружался резиновой оболочкой с металлическими плоскими кольцами вокруг, зазоры между которыми составляли 1–2 мм.

В нескольких исследованиях были предприняты попытки измерить радиальное напряжение в приборе DSS типа NGI [14, 15]. Модификация прибора в основном заключалась в реализации возможности контроля боковых сжимающих напряжений в ходе динамического нагружения [16]. Некоторые исследователи заменили армирование проволокой в NGI на приложение в камере бокового давления, что позволило им контролировать поперечное напряжение на этапах консолидации и сдвига [17, 18]. Кроме того, конструкция модифицировалась под отдельные задачи. Например, доработка прибора выполнялась для реализации в ней исследований динамического поведения грунта при малых деформациях [19–21]. Модификации проводились и для испытаний в условиях разнонаправленного нагружения [22–26].

Последние десятилетия выполнялось большое количество модификаций приборов простого сдвига. Многие из них направлены на решения частных задач и разрабатываются отдельными исследователями и университетами. При этом большинство совершенствований приборов простого сдвига основано на

модифицировании двух приведенных типов конструкций.

В настоящее время приборы простого сдвига разработаны и реализуются ведущими крупными производителями лабораторного оборудования. Следует отметить, что они часто используются как альтернатива более дорогим и трудоемким динамическим стабилометрам, так как многие из моделей имеют возможность динамического нагружения. Среди зарубежных производителей можно выделить компании Geocomp (www.geocomp.com), GDS (www.gdsinstruments.com), Controls (www.controls-group.com); VJ Tech (www.vjtech.co.uk), Wille Geotechnik (www.wille-geotechnik.com), а также японские компании (www.marui-group.co.jp, www.seikensha.com).

Например, динамический прибор простого сдвига с возможностью создания бокового давления (до 2 МПа), производимый компанией VJ Tech, использует два электромеханических привода для создания вертикальной и горизонтальной нагрузок на образец (диаметром 70 или 100 мм) и дает возможность проводить как испытания в камере трехосного сжатия, так и стандартные испытания в условиях простого сдвига с использованием ограничивающих колец без всестороннего давления. Вертикальное и горизонтальное перемещения измеряются индуктивными датчиками или энкодерами и являются частью сервомоторов с защитой максимальной величины перемещения по каждой из осей. Вертикальная и горизонтальная нагрузки измеряются внутренними датчиками. Обратное давление контролируется гидравлическим контроллером, а всестороннее давление создается воздухом через интерфейс «воздух – вода».

Прибор производства компании Wille Geotechnik создает статическую вертикальную и динамическую горизонтальную нагрузки с частотой 1 Гц. Образец грунта ограничен стальными кольцами.

Российские производители лабораторного оборудования также конструировали и совершенствовали приборы простого сдвига. Так, накопленный опыт при разработке приборов простого сдвига и динамического оборудования позволил компании ООО НПП «Геотек» выпустить на рынок собственную динамическую сдвиговую установку ГТ 1.2.17. Ее конструкция основана на базе прибора простого сдвига типа NGI. В ГТ 1.2.17 цилиндрический образец помещается в резиновую оболочку, ко-

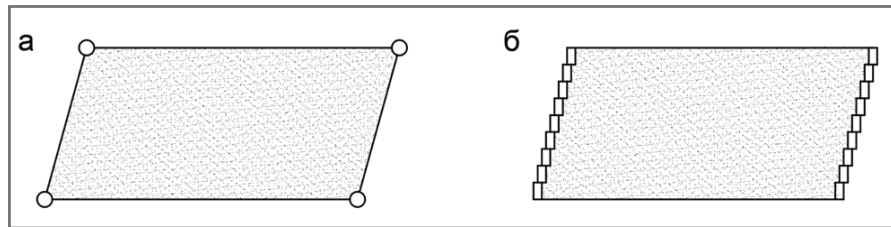


Рис. 2. Схема механизма работы проборов простого сдвига двух типов: а – кембриджского (Cambridge University type, CU type); б – норвежского (Norwegian Geotechnical Institute, NGI)

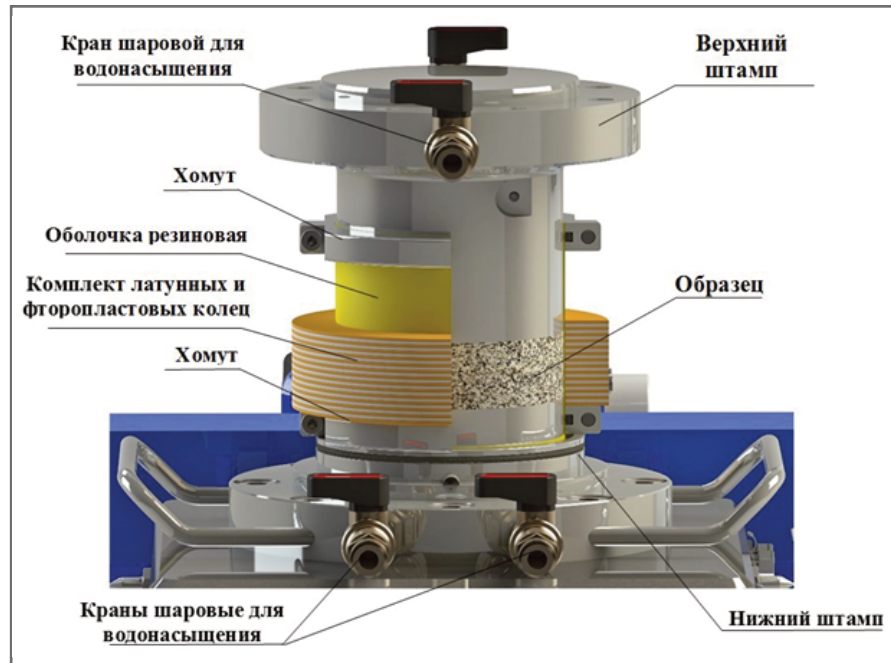


Рис. 3. Конструкция прибора динамического простого сдвига ГТ 1.2.17 производства компании ООО НПП «Геотек»

торая окружена отдельными кольцами. Последние могут соединяться между собой посредством вертикальных скользящих направляющих, наклоняющихся в ходе опыта по мере развития сдвига. Данная конструкция позволяет реализовать однородное напряженно-деформированное состояние в образце грунта на протяжении всего опыта даже при значительных смещениях, как в приборах кембриджского типа. Это означает, что каждая точка образца будет испытывать сдвиг на одну и ту же величину. Следовательно, появляется возможность определения сдвиговой жесткости образца, ведь известны его высота и угол формоизменения (рис. 3).

В динамическом приборе ГТ 1.2.17 сдвиг образца грунта осуществляется путем перемещения нижней каретки прибора относительно неподвижной верхней при передаче на образец вертикальной нагрузки. Он представляет собой рамную настольную конструкцию с вертикальными и горизонтальными электромеханическими силовыми при-

водами. Усилие, создаваемое приводами, измеряется датчиками силы с номинальной нагрузкой 5 кН и 10 кН. Вертикальная нагрузка создается электромеханическим приводом и передается на образец через подвижную traversу. Сдвигающая нагрузка создается под управлением серводвигателя через подвижную каретку (рис. 4). В конструкции привода используются компоненты, обеспечивающие отсутствие люфтов при знакопеременной нагрузке. Системы линейного перемещения верхней обоймы и срезной каретки конструктивно выполнены с преднатягом, что позволяет добиться большей жесткости установки. Для удобства установки и выгрузки образца грунта в приборе предусмотрена возможность горизонтального выдвижения каретки.

Динамический прибор производства компании ООО НПП «Геотек» позволяет выполнять испытания грунтов в консолидированно-недренированном и консолидированно-дренированном режимах. Консолидация грунта с водона-

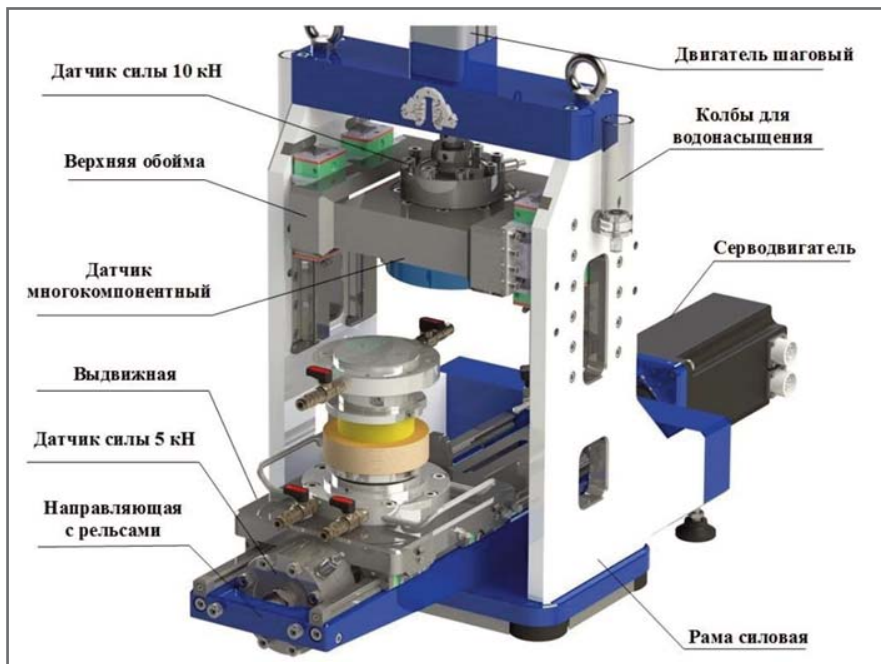


Рис. 4. Конструкция прибора динамического простого сдвига ГТ 1.2.17 производства компании ООО НПП «Геотек»

Таблица 1. Технические характеристики прибора динамического простого сдвига ГТ 1.2.17 производства компании ООО НПП «Геотек»

Техническая характеристика	Значение
Вертикальная нагрузка (в статическом режиме), кН	до 10
Минимальная ступень приращения вертикальной и горизонтальной нагрузок, % от диапазона измерительного канала	не более 0,05
Скорость приложения вертикальной нагрузки в установке, кН/с	до 0,25
Горизонтальная нагрузка (в динамическом режиме), кН	до 5
Частота воздействия сдвигающего усилия, Гц	до 5
Вертикальные деформации образца, мм	до 10
Деформации среза образца, мм	до 20
Размеры образцов (диаметр, мм × высота, мм)	71,4×21,5

сыщением выполняется без противодействия непосредственно в сдвиговом устройстве. Испытания методом динамического простого сдвига в установке ГТ 1.2.17 позволяют: определить потерю прочности грунта, оценить дополнительные деформации грунтов (виброползучесть) с накоплением критической для данного сооружения деформации грунтов в условиях динамического воздействия, изучить возможность динамического разжижения водонасыщенного грунта и др. Испытания грунтов в рассмотренной установке возможны также в стандартном монотонном режиме со статическим и кинематическим способами силового воздействия. Технические характеристики установки динамического простого сдвига производства компании ООО НПП «Геотек» приведены в таблице 1.

Прибор простого сдвига ГТ 1.2.17, производства ООО НПП «Геотек» разрабатывался с учетом требований ГОСТ Р 56353-2022 и полностью им соответствует.

Методика проведения испытаний методом динамического простого сдвига ▶

На территории РФ проведение испытаний методом простого сдвига регламентируется ГОСТ Р 56353-2022, разработанным ООО «Геологический научно-методический центр МГУ имени М.В. Ломоносова», ассоциацией «Инженерные изыскания в строительстве» при участии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Этим методом допускается проводить испытания песчаных, глинистых, органи-

неральных и органических грунтов для определения:

- возможности потери прочности грунтов в условиях динамических нагрузок;
- дополнительных деформаций дисперсных грунтов в условиях наложения динамических нагрузок;
- возможности динамического разжижения водонасыщенного грунта.

Испытания проводятся в консолидированно-дренированном (в случае оценки дополнительной деформации во времени за счет виброползучести) и в консолидированно-недренированном режимах (оценка динамической прочности, возможности разжижения, дополнительных деформаций после разжижения). Консолидацию (предварительное уплотнение) образца проводят по аналогии с требованиями ГОСТ 12248.1-2020 (по методу одноплоскостного среза), ГОСТ 12248.4-2020 (по методу компрессионного сжатия), а также ГОСТ Р 71042-2023 (по методу простого сдвига). Выбор вертикальных напряжений консолидации проводится с учетом условий природного залегания грунта и дополнительной нагрузки (при ее наличии).

Стадия недренированного испытания проводится в условиях постоянного объема образца при открытых в атмосферу дренажах. Поддержание неизменности объема обеспечивается системой механического или электронного контроля высоты образца после завершения консолидации. Измеряемое давление на верхний штамп является эффективным вертикальным напряжением σ'_v .

При проведении дренированных испытаний высота образца в ходе приложения сдвиговой нагрузки может изменяться, вертикальное напряжение поддерживается постоянным. Этот режим используется только при оценке виброползучести.

ГОСТ допускает применение приборов любой конструкции – как с мембранами, армированными проволоочной пружиной, так и со стопкой металлических колец, ограничивающих расширение образца. Особое внимание уделяется жесткости измерительной системы и отсутствию паразитного трения в устройствах передачи вертикальной и горизонтальной нагрузки. При этом допускается проведение испытаний с различными граничными условиями по нагрузке – с контролем напряжений и с контролем деформаций. Диапазон частот приложения нагрузки – не менее 0,01–0,50 Гц. Измеря-

мыми в ходе опыта величинами являются: вертикальная и горизонтальная силы; горизонтальное смещение (динамическая и постоянная составляющие); изменение высоты в ходе уплотнения (консолидации) и сдвига (для дренированных испытаний). При этом частота регистрации значений измеряемых величин должна составлять не менее 50 измерений за цикл динамического нагружения.

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или искусственно сформированные образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности. Образец должен иметь форму цилиндра с предельным отношением высоты к диаметру не более 0,4. Торцы образца должны быть плоскими и строго перпендикулярными его вертикальной оси. При работе с пылевато-глинистыми грунтами следует уделять внимание возможному развитию набухания при доувлажнении – для набухающих грунтов дополнительное водонасыщение следует проводить только после приложения вертикальной нагрузки, превышающей давление набухания.

Подготовку водонасыщенных образцов песчаных грунтов из проб нарушенного сложения ведут непосредственно на платформе прибора способами осадения в воде, влажного трамбования или сухой послойной отсыпки воздушно-сухого песка с последующим водонасыщением. С учетом того что конструкция прибора чаще всего не предполагает дополнительного измерения избыточного порового давления, дополнительный контроль качества водонасыщения по параметру Скемптона B не выполняется. Это не вызывает снижения качества измерений, так как постоянство объема порового пространства в недренированном режиме обеспечивается конструкцией прибора и условиями испытания.

Недренированные испытания для оценки динамического разжижения

Расчет динамических напряжений, если они не заданы каким-либо иным способом, приведен в приложении Г к ГОСТ Р 56353-2022. Для оценки сейсмических нагрузок при землетрясениях различной интенсивности с неглубоким расположением очага (на глубинах в десятки километров) необходимо определить частоту f , количество циклов N и CSR (отношение динамиче-

Таблица 2. Зависимость ожидаемого количества циклов от магнитуды землетрясения

Параметр	Значения				
	5,25	6,00	6,75	7,50	8,50
Магнитуда	5,25	6,00	6,75	7,50	8,50
Число циклов нагружения N	2–3	5	10	15	26

ских касательных напряжений τ_{av} к статическим нормальным σ'_v):

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = \frac{0,65a_{max}\sigma'_v r_d}{g\sigma'_v}, \quad (1)$$

где τ_{av} – среднее значение ожидаемых циклических касательных напряжений; a_{max} – максимальное ожидаемое горизонтальное ускорение колебаний на поверхности грунта; σ'_v , σ'_v – соответственно полное и эффективное вертикальные напряжения на рассматриваемой глубине; g – ускорение свободного падения; r_d – коэффициент снижения напряжений с глубиной.

Максимальное ожидаемое горизонтальное ускорение колебаний на поверхности грунта a_{max} определяется в ходе инструментальных наблюдений и может приниматься на основании акселерограмм, доступных для данного района. Между этим параметром и параметром PGA (peak ground acceleration) есть смысловая разница. PGA характеризует максимальное ускорение на поверхности, которое не всегда соответствует горизонтальному, особенно вблизи очагов сильных землетрясений. Однако на достаточном удалении вертикальная составляющая ускорения невелика и $PGA \approx a_{max}$. Помимо этого PGA может приводиться как в виде абсолютных величин (в этом случае имеет размерность ускорения m/c^2), так и как коэффициент относительно величины g (в этом случае $a_{max} = PGA \cdot g$).

Коэффициент снижения напряжений с глубиной может определяться по результатам непосредственных сейсмических измерений на площадке. При их отсутствии ГОСТ допускает использование эмпирических зависимостей, в качестве наиболее общей (до глубин z до 23 м) из которых приводится следующая:

$$r_d = \frac{1 - 0,4213z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{1 - 0,4117z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,00121z^2}. \quad (2)$$

Таким образом, на основании сведений об интенсивности землетрясения, глубине рассматриваемой точки и природном напряженном состоянии в этой точке определяется величина CSR , позволяющая для каждого испытания найти соответствующее значение τ_{av} .

Частота воздействия f_0 назначается с учетом нескольких факторов. Во-первых, частота не может быть ниже 0,01 Гц, так как при низких скоростях нагружения могут начать проявляться реологические эффекты. Во-вторых, частота воздействия должна обеспечивать приемлемое количество точек измерений за цикл, за счет чего максимальная частота ограничивается возможностями оборудования. Оптимальным является выбор частоты воздействия на основании преобладающего частотного диапазона воздействия – обычно это величина около 0,5 Гц. ГОСТ не допускает проведение испытаний на сейсмическое нагружение при частотах выше 10 Гц.

Число циклов нагружения N при оценке сейсмической разжижаемости назначается в соответствии с магнитудой ожидаемого землетрясения (таблица 2). Промежуточные значения определяются интерполяцией.

При наличии данных о длительности t и центральной частоте f_0 ожидаемого сейсмического воздействия, число циклов N может быть рассчитано по формуле:

$$N = t \cdot f_0, \quad (3)$$

Если очаги возможных землетрясений расположены на значительном удалении (в сотни километров), в спектре ожидаемого сейсмического воздействия будут преобладать поверхностные волны Рэлея, считающиеся наиболее опасными для сейсмической устойчивости сооружений. В этом случае рекомендуется проводить ориентировочный расчет возможных напряжений в поверхностной волне в соответствии с формулой:

$$\sigma = \rho CV, \quad (4)$$

где σ – напряжение; ρ – плотность грунта; C – скорость распространения волны в данной среде; V – скорость смещения частиц в волне данного типа.

Для случая прибора простого сдвига перейти от нормальных напряжений к касательным можно, предположив, что максимальные касательные напряжения

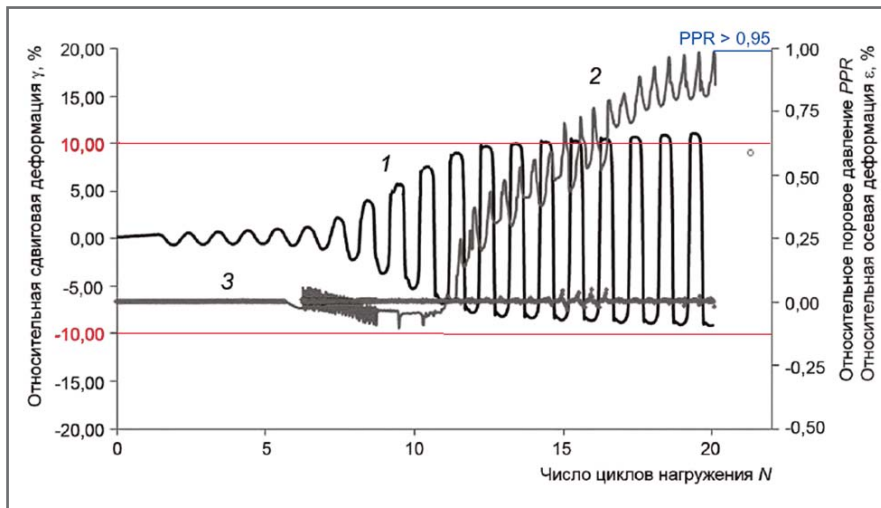


Рис. 5. Определение сейсмической разжижаемости по зависимостям: 1 – деформаций сдвига γ от числа циклов; 2 – относительного порового давления PPR от числа циклов; 3 – относительной осевой деформации ϵ_v от числа циклов

будут действовать на площадках, наклоненных под 45° к оси действия нормальных напряжений. В этом случае $\tau_{cr} = \sigma/2$.

Как источник динамической нагрузки может выступать не только землетрясение, но и воздействие волн в акваториях. В этом случае в качестве входных параметров воздействия используются расчетная высота волны H_w , период волны T_w и расчетная длительность шторма t_w . Эти данные могут быть получены на основании гидрометеорологических наблюдений для конкретного региона.

Амплитуда динамических напряжений σ_d определяется в зависимости от плотности жидкости ρ_w , ускорения свободного падения g и высоты волны H_w по формуле:

$$\sigma_d = 0,5\rho_w g H_w. \quad (5)$$

Как и в случае сейсмического воздействия, для прибора простого сдвига требуется значение амплитуды касательных напряжений, определяемое аналогично.

Частота нагружения и количество циклов принимаются по формулам:

$$\begin{aligned} f_w &= 1/T_w, \\ N &= t_w/T_w. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом того что расчетная длительность штормового воздействия может достигать нескольких часов, испытание будет иметь аналогичную продолжительность.

При определении волнового воздействия на откосные сооружения (например, основания набережных и причаль-

ных стенок) следует руководствоваться требованиями приложений Г и Д к СП 38.13330.2018.

Динамическое нагружение в зависимости от задачи испытания ведут либо до разрушения (при достижении амплитуды сдвиговой деформации более 15%), либо до достижения заданного программой испытаний числа циклов воздействия. При испытании песков на разжижаемость критерием остановки теста служат достижение 100%-ного коэффициента порового давления PPR , амплитуды сдвиговой деформации более 10% либо завершение заданного числа циклов воздействия.

Обработка данных заключается в расчете для всех этапов динамического нагружения значений $\Delta\sigma_v$, τ_d , PPR , осевой (ϵ) и сдвиговой (γ) деформаций образца в зависимости от времени или числа циклов нагружения N . По измеренным в процессе испытания значениям горизонтальной сдвигающей и нормальной вертикальной нагрузок вычисляют касательные и нормальные напряжения в соответствии с ГОСТ 12248.1-2020 и ГОСТ Р 71042-2023. Сдвиговую деформацию рассчитывают по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{h_k}, \quad (7)$$

где Δl – измеренное горизонтальное смещение подвижного торца образца относительно его начального положения после консолидации; h_k – высота образца после консолидации.

При определении сейсмической разжижаемости грунтов (прямая задача) по вычисленным значениям строят зависи-

мости $\gamma=f(N)$ и $PPR=f(N)$ (рис. 5). Факт разжижения фиксируют при достижении величин PPR значения более 0,95 при условии достижения двойной амплитуды (размаха) относительной деформации сдвига более 10%. Этим методом проверяется возможность разжижения при фиксированном значении напряжений и фиксированном количестве циклов.

Для определения критического для возникновения разжижения при данных условиях значения τ_d/σ'_v или PGA (обратная задача) необходимо провести серию опытов (не менее шести) с разными амплитудами касательных напряжений, по результатам которых строят зависимости $\gamma=f(N)$, $\tau_d/\sigma'_v=f(N)$ (рис. 6). За критическое значение принимается полученная интерполяцией амплитуда, обеспечивающая разжижение грунта при расчетном числе эквивалентных циклов воздействия N . Это значение может быть использовано для расчета потенциала разжижения по ГОСТ 25100 при заданных характеристиках ожидаемого сейсмического воздействия. Данное испытание проводится, если при заданном исходно уровне нагрузок разжижение не было достигнуто и необходимо определить критическое значение напряжений, при котором разжижение произойдет.

При определении критического при заданных условиях значения τ_d (или τ_d/σ'_v) проводят серию испытаний (не менее шести) с разными амплитудами, по результатам которых строят зависимости $\gamma=f(N)$, $PP=f(N)$ (см. приложение П ГОСТ 56353-2022). Последующий анализ заключается в определении способом интерполяции минимального значения τ_d , достаточного для разрушения грунта, которое фиксируется по достижении $\gamma=15\%$ при заданном числе циклов воздействия N . Данное испытание целесообразно выполнять, если при заданном исходно уровне напряжений разжижение зафиксировано и необходимо выяснить, при каком уровне напряжений образец разжижаться не будет – например, для проектирования мероприятий по снижению уровня касательных напряжений при сейсмическом воздействии.

В случае зафиксированного факта разжижения песчаного грунта следует провести расчет последующей осадки поверхности массива (см. приложение Е ГОСТ 56353-2022) и оценить возможность латерального растекания грунтов при разжижении (см. приложение Ж ГОСТ 56353-2022).

Недренированные испытания для оценки динамической жесткости и поглощения ▶

Метод динамического простого сдвига позволяет определять динамический модуль сдвига грунта G и коэффициент поглощения D в ходе циклического нагружения аналогично тому, как это делается в приборах динамического трехосного сжатия и в резонансной колонке.

После завершения предварительной консолидации при открытых дренажах и фиксированной высоте образца прикладывается динамическая касательная нагрузка. Частота динамического нагружения выбирается аналогично выбору по ранее рассмотренной методике, а амплитуда касательных напряжений τ_d – в виде доли от давления консолидации (например, 2%, 5% и 10%).

Динамический модуль упругости G определяется по зависимости изменения касательных напряжений τ_d от сдвиговой деформации γ (рис. 7). Полученная величина G соответствует достигнутой амплитуде деформации сдвига γ_{\max} – изменение амплитуды напряжений вызовет изменение деформации и позволит получить модуль сдвига при другом уровне деформации.

По этой же схеме может быть определен начальный модуль сдвига G_0 – однако точность его определения будет зависеть от измерительной системы применяемого оборудования.

Коэффициент поглощения D определяется путем расчета площади замкнутой петли за один цикл колебания (ΔW) и отнесения ее к удельной работе упругой деформации (W). Как и модуль сдвига, полученный коэффициент поглощения будет соответствовать достигнутой деформации γ_{\max} . При необходимости по результатам серии испытаний при различных амплитудах напряжений может быть получена зависимость модуля сдвига G и коэффициента поглощения D от уровня деформации сдвига γ .

Данный метод испытаний не предусмотрен ГОСТ 56353-2022, однако может применяться для оценки передаточной характеристики грунтов основания для последующих сейсмических расчетов конструкций.

Дренажные испытания для оценки виброползучести ▶

В консолидированно-дренированном режиме в приборах простого сдвига проводятся испытания дисперсных грунтов на виброползучесть при длительных динамических воздействиях

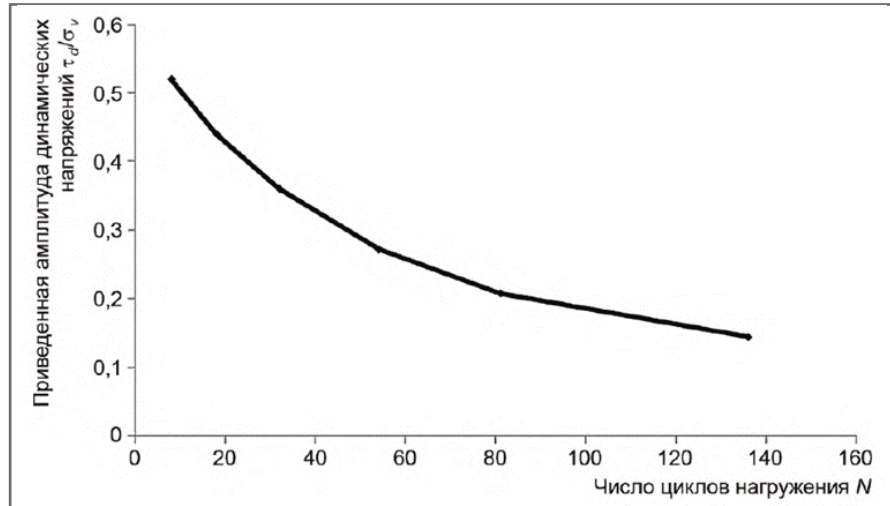


Рис. 6. Определение критического отношения τ_d/σ'_v для заданного числа циклов N

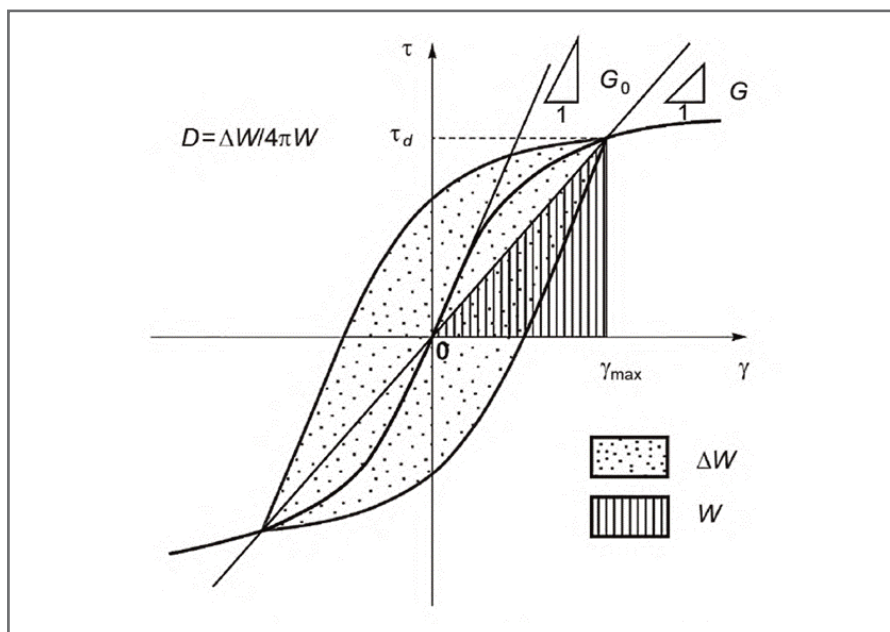


Рис. 7. Схема определения динамического модуля сдвига G и коэффициента поглощения D

умеренной интенсивности и в условиях возможности оттока влаги. Испытание проводят при открытом дренаже и постоянном вертикальном напряжении по завершении стадии предварительной консолидации.

Величину деформации за счет виброползучести ϵ_d определяют при статическом вертикальном напряжении $\sigma_v = \sigma'_v$, соответствующем глубине, для которой прогнозируется длительная деформация от совместного действия статических и динамических нагрузок.

Выбор динамических нагрузок при испытании на виброползучесть определяется источником воздействия – промышленного или технологического оборудования, транспортных сооружений. Для расчета динамических нагрузок необходимы либо значения виброскоростей

колебаний частиц от интересующего источника V_s , по которым далее возможно рассчитать виброускорения или амплитуды динамических напряжений, либо значения напряжений τ_d , возникающие в грунтах при распространении волн.

Следует отметить, что необходимая информация может быть получена только по результатам полевых сейсмических наблюдений вблизи источника вибраций на объектах-аналогах либо по результатам численного моделирования распространения колебаний. При проведении полевых измерений следует выполнять:

- измерения вибраций по трем компонентам вблизи площадок размещения объектов для получения скоростей смещения частиц грунта в сейсмических волнах;

- малоглубинные сейсмические наблюдения;
- измерения вибраций в скважинах для определения зависимости интенсивности колебаний от глубины.

Для расчета пиковых напряжений на фронте волны от рассматриваемого источника измеренные значения скоростей смещения частиц V (м/с) следует пересчитать в напряжения σ аналогично тому, как это делалось для поверхностных волн при сейсмическом воздействии.

Для проектируемых фундаментов оборудования с динамическими нагрузками ожидаемые воздействия на подстилающие грунты следует рассчитывать по характеристикам ожидаемого силового воздействия, которые указываются в паспорте оборудования изготовителем. Исходными параметрами являются масса, рабочая частота и амплитуда колебаний установки, а также конструктивные характеристики фундамента (геометрия, масса, площадь, глубина заложения). Следует отметить, что уровень напряжений и амплитуда колебаний, возникающих в основании фундамента в этом случае, определяются в динамическом режиме в соответствии с СП 26.13330.2012 и должны предоставляться в техническом задании.

Как и в случае сейсмического нагружения, при испытании на виброползучесть частота нагружения должна быть выше 0,01 Гц. Число циклов нагруже-

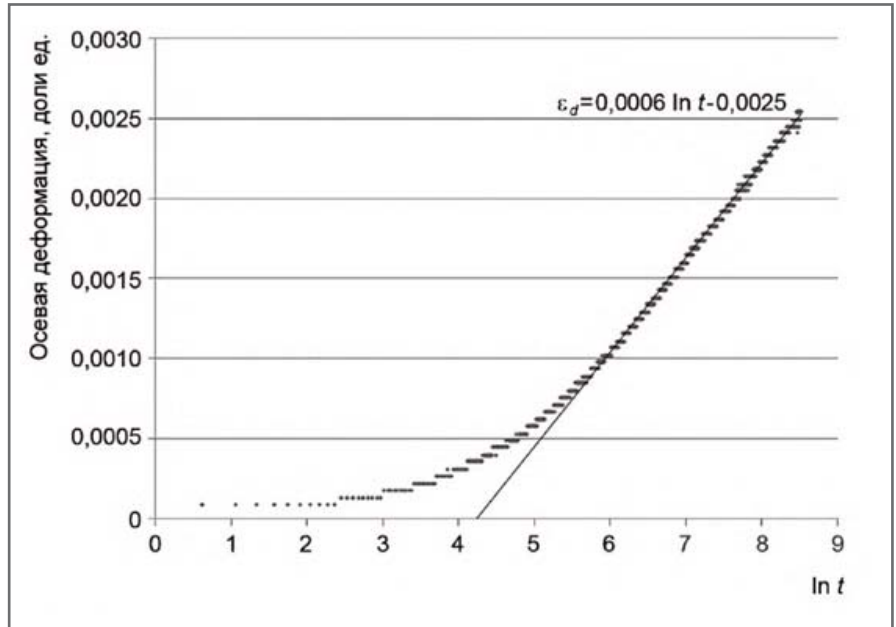


Рис. 8. Логарифмическая зависимость деформации виброползучести от времени при динамическом воздействии

ния при испытании на виброползучесть должно составлять не менее 500 для получения надежного тренда накопления деформаций во времени по результатам испытаний. Критерием завершения испытания в этом случае является достижение заданного программой числа циклов либо разрушение – достижение амплитуды сдвиговой деформации более 15%.

По результатам испытания строят зависимость осевых деформаций от вре-

мени нагружения $\epsilon_d=f(\ln t)$ (рис. 8). На график выносят значения максимальных осевых деформаций не менее чем для каждого десятого цикла нагружения. Экспериментальные значения аппроксимируются функцией вида $\epsilon_d=a\ln t+b$, где a и b – эмпирические параметры. Полученная функция позволяет рассчитать прогнозное значение дополнительной относительной деформации виброползучести при заданном периоде эксплуатации сооружения.

Таблица 3. Выбор режима и необходимых исходных данных в зависимости от цели испытания методом динамического простого сдвига

Цель испытания	Режим опыта*	Необходимые исходные данные	Метод расчета параметров испытания	Результаты опыта
Оценка возможности динамического разжижения при заданных амплитуде напряжений и числе циклов	КН	σ_v и σ_v^* , a_{max} , z , f_0 , M	Проверка достижения $PPR > 0,95$ за заданное число циклов N (п. 9.6.4 ГОСТ 56353-2022)	да/нет
Определение критической амплитуды касательных напряжений для разжижения при заданном числе циклов	КН	либо ρ , C , V , M (удаленное землетрясение),	Определение по серии опытов критической амплитуды, вызывающей разжижение (п. 9.6.5 ГОСТ 56353-2022)	τ_d/σ_v^* или PGA
Определение минимальной амплитуды касательных напряжений для разжижения при заданном числе циклов	КН	либо H_w , T_w , t_w (штормовое воздействие)	Определение по серии опытов минимального значения амплитуды, вызывающей разжижение (п. 9.6.6 ГОСТ 56353-2022)	$\tau_{d,min}$
Определение динамического модуля сдвига и коэффициента поглощения	КН		Графически, по экспериментальной замкнутой петле за один цикл (рис. 7)	$G=f(\gamma)$ $D=f(\gamma)$
Оценка виброползучести	КД	V_s либо τ_d , M , F , a_{max} , f , E	По экстраполяции зависимости $\epsilon_d=f(\ln t)$, путем вычисления значения ϵ_d при времени t , соответствующем сроку службы сооружения	ϵ_d , E_{rad}

* КН – консолидированно-недренированный режим; КД – консолидированно-дренированный режим.

Полученное значение относительной деформации виброползучести следует использовать для расчета длительных осадок основания от совместного действия статических и динамических нагрузок в соответствии с СП 22.13330.2016 (пункт 6.14.4). Это значение следует также использовать для расчета уменьшенного значения модуля деформации грунта с учетом проявления виброползучести.

Уменьшенное значение модуля деформации E_{red} следует определять по формуле:

$$E_{red} = \frac{E}{1 + \frac{E\varepsilon_d}{\beta\sigma_z}}, \quad (8)$$


где E – модуль деформации, МПа, определяемый в соответствии с ГОСТ 12248.3; β – безразмерный коэффициент учета невозможности бокового расширения в соответствии с

СП 22.13330.2016, $\beta=0,8$; σ_z – статическое вертикальное напряжение.

Выводы ►

Метод динамического простого сдвига позволяет изучать механическое поведение грунта при уровнях деформаций сдвига от 10^{-3} до 10^{-1} и более, что хорошо воспроизводит его работу в условиях сейсмического воздействия. Данный метод представляет собой нагружение образца вертикальными и касательными напряжениями, действующими с торцевой части образца при ограничении перемещений на других границах. За более чем полувековую историю создания и модернизации приборов динамического простого сдвига выделилось две их основные конструкции – кембриджского и норвежского типов. К последнему относится динамическая сдвиговая уста-

новка ГТ 1.2.17, созданная российским производителем – ООО НПП «Геотек». В статье приведено подробное описание данного прибора, разработанного с учетом требований ГОСТ Р 56353-2022.

Метод динамического простого сдвига позволяет проводить испытания в консолидированно-дренированном и консолидированно-недренированном режимах. В общем случае первый из них применяется для оценки дополнительной деформации во времени за счет виброползучести, второй – для оценки динамической прочности, возможности разжижения и дополнительных деформаций после разжижения. Итоговое обобщение методов испытаний динамическим простым сдвигом, принципов их выбора, а также необходимых исходных данных в зависимости от цели исследований приведено в таблице 3. 

Список литературы ►

1. Kjellman W. Testing the shear strength of clay in Sweden // *Geotechnique*. 1951. Vol. 2. № 3. P. 225–232.
2. Roscoe K.H. An Apparatus for the application of simple shear to soil samples // *Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich, Switzerland, 1953*. Vol. 1. P. 186–191.
3. Airey D.W., Budhu M., Wood D.M. Some aspects of the behaviour of soils in simple shear // *Developments in soil mechanics and foundation engineering. Vol. 2: Stress-strain modelling of soils* (ed. by P.K. Banerjee, R. Butterfield). Elsevier, 1985. P. 185–213. URL: http://library.dundee.ac.uk/F/?func=direct&local_base=DUN01&doc_number=376353.
4. Budhu M., Britto A. Numerical analysis of soils in simple shear devices // *Soils and Foundations*. 1987. Vol. 27. № 2. P. 31–41.
5. Ansell P., Brown S.F. A cyclic simple shear apparatus for dry granular materials // *Geotechnical Testing Journal*. 1978. Vol. 1. № 2. P. 82–92.
6. Finn W.D.L., Pickering D.J., Bransby P.L. Sand liquefaction in triaxial and simple shear tests // *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. 1971. Vol. 97. № SM4. Paper 8039. P. 639–659.
7. Peacock W.H., Seed H.B. Sand liquefaction under cyclic loading simple shear conditions // *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. 1968. Vol. 94. № SM3. Paper 5957. P. 689–708.
8. Roscoe K.H., Burland J.B. On the generalized stress-strain behavior of 'wet' clay. Cambridge: Cambridge University Press, 1967. P. 535–609.
9. Bjerrum L., Landva A. Direct simple-shear test on a Norwegian quick clay // *Geotechnique*. 1966. Vol. 16. № 1. P. 1–20.
10. Lucks A.S. et al. Stress conditions in NGI simple shear test // *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*. 1972. Vol. 98. № 1. P. 155–160.
11. Seed H.B., Peacock W.H. Test procedures for measuring soil liquefaction potential // *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. 1971. Vol. 97. № SM8. P. 1099–1119.
12. Casagrande A. Liquefaction and cyclic deformation of sands – a critical review. Cambridge: Harvard University, 1976. 88 p.
13. De Alba P., Chan C.K., Seed H.B. Sand liquefaction in large scale simple shear tests // *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1976. Vol. 102. № GT9. P. 909–927.
14. Dyvik R., Zimmie T.F., Floess C.H.L. Lateral stress measurements in direct simple shear device // *ASTM International. ASTM STP 740. Laboratory Shear Strength of Soils*. 1981. STP28752S. P. 191–206.
15. Youd T.L., Craven T.N. Lateral stress in sands during cyclic loading // *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1975. Vol. 101. № 2. P. 217–221.
16. Budhu M. Lateral stresses observed in two simple shear apparatus // *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1985. Vol. 111. № 6. P. 698–711.
17. Kang X., Kang G. Modified monotonic simple shear tests on silica sand // *Journal of Marine Georesources and Geotechnology*. 2015. Vol. 33. № 2. P. 122–126.
18. Selig E.T. et al. A new direct simple shear device // *Geotechnical Testing Journal*. 1979. Vol. 2. № 4. P. 190–199.

19. Doroudian M., Vucetic M. A direct simple shear device for measuring small-strain behavior // Geotechnical Testing Journal. 1995. Vol. 18. № 1. P. 69–85.
20. Mortezaie A.R., Vucetic M. Small-strain cyclic testing with standard NGI simple shear device // Geotechnical Testing Journal. 2012. Vol. 35. № 6. P. 935–948.
21. Vucetic M., Lanzo G. Damping at small strains in cyclic simple shear test // Journal of Geotechnical and Environmental Engineering. 1998. Vol. 124. № 7. P. 585–594.
22. Cabalar A.F. Cyclic behavior of various sands and structural materials interfaces // Geomechanics and Engineering. 2016. Vol. 10. P. 1–19.
23. Cabalar A.F., Dulundu K., Tuncay K. Strength of various sands in triaxial and cyclic direct shear tests // Engineering Geology. 2013. Vol. 156. P. 92–102.
24. Silver M.L., Seed H.B. Deformation characteristics of sands under cyclic loading // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. 1971. Vol. 97. P. 1081–1098.
25. Silver M.L., Seed H.B. Volume changes in sands during cyclic loading // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. 1971. Vol. 97. P. 1171–1182.
26. Youd T.L. Compaction of sands by repeated shear straining // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. 1972. Vol. 98. № 7. P. 709–725.

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



- Рекламная статья в журнале – **35 000 рублей.**

В каждую статью могут быть добавлены любые дополнительные

- материалы: каталоги оборудования, прайсы, фотографии, видеоролики, демоверсии программ и пр.

- Логотип в разделе «Спонсоры проекта» в правой колонке – **35 000 рублей в месяц.**

Все наши спонсоры получают свою персональную страницу на сайте журнала, где размещается информация о компании-спонсоре, все статьи

- ее сотрудников, опубликованные в журнале «ГеоИнфо» или в Базе знаний, а также любые дополнительные материалы (каталоги, буклеты, видео).

Коллеги и друзья! Наше с Вами рекламное сотрудничество будет взаимовыгодным. Вы получите отличную площадку для лоббирования

- своих интересов, а мы – возможность и дальше развивать проект, бороться за интересы отрасли инженерных изысканий и помогать профессионалам.

WWW.GEOINFO.RU



ОПИСАНИЕ И ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ А.И. БОТКИНА И Ю.К. ЗАРЕЦКОГО

МИРНЫЙ А.Ю.

Доцент геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Независимая геотехника», к. т. н., г. Москва, Россия
info@indep-geo.ru

МОСИНА А.С.

Научный сотрудник лаборатории изучения состава и свойств грунтов ИГЭ РАН, заместитель генерального директора ООО «Независимая геотехника», к. г.-м. н., г. Москва, Россия
Mosina.A.S@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Издательство журнала «Геоинфо» подготовило к печати и передало в типографию книгу «Математические модели грунтов для инженеров» (авторы – А.Ю. Мирный и А.С. Мосина), объемом более 400 страниц. Эта монография, задуманная в первую очередь как практический справочник, содержит в себе необходимую теоретическую информацию по теории упругости, пластичности и ползучести, а также сведения о более чем 30 моделях, реализованных в наиболее популярных геотехнических расчетных комплексах, об их областях применения и методиках определения параметров. На эту книгу получены положительные отзывы профессоров Г.Г. Болдырева и А.Г. Шашкина. Приобрести данное издание можно будет уже в октябре 2024 года, отправив заявку на адрес электронной почты sale@indep-geo.ru. С актуальным содержанием данной монографии можно ознакомиться по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/X-IHTOKrwOC2-A>.

Чтобы дать читателям представление о стиле изложения и содержании этой книги, мы, с согласия авторов, решили опубликовать фрагменты из нее в серии статей. В данной статье описывается модель, основанная на аналитических решениях А.И. Боткина, и модель, предложенная Ю.К. Зарецким.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

математическая модель; модель А.И. Боткина; модель Ю.К. Зарецкого; модель Гука; паспорт прочности; гиперболический закон деформирования; сдвиговая деформация; пластическая деформация; напряжение; поверхность прочности; поверхность текучести; условие прочности Мизеса – Шлейхера – Боткина.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мирный А.Ю., Мосина А.С. Описание и параметры моделей А.И. Боткина и Ю.К. Зарецкого // Геоинфо. 2024. Т. 6. № 9. С. 26–30. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-26-30.

DESCRIPTION AND PARAMETERS OF A.I. BOTKIN AND YU.K. ZARETSKIY MODELS

MIRNYY A.Yu.

Associate professor at the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University, the head of "Independent Geotechnics" LLC, PhD, Moscow, Russia
nfo@indep-geo.ru

MOSINA A.S.

Researcher at the Laboratory for Studying the Composition and Properties of Soils, Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Science; the deputy general director of "Independent Geotechnics" LLC, PhD, Moscow, Russia
Mosina.A.S@yandex.ru

ABSTRACT

The publishing house of the "GeoInfo" journal has prepared for printing the book "Mathematical models of grounds for engineers" (by A.Yu. Mirnyy and A.S. Mosina) with a volume of more than 400 pages and handed it over to a printing house. This monograph, (which was conceived primarily as a practical reference book) contains the necessary theoretical information on the theory of elasticity, plasticity and creep, as well as the information about more than 30 models implemented in the most popular geotechnical computational softwares, about their fields of application and methods for determining parameters. This book received positive reviews from professors G.G. Boldyrev and A.G. Shashkin. You will be able to purchase the book in October 2024 by sending an application to the next email address: sale@indep-geo.ru. The current contents of this monograph can be found at the next web link: <https://disk.yandex.ru/d/X-IHTOKrwOC2-A>.

To provide insight into the style of presentation and the content of the book for the readers, we decided to publish some fragments from it (with the consent of the authors) in a series of articles. This article describes the model based on analytical solutions by A.I. Botkin and the model proposed by Yu.K. Zaretskiy.

KEYWORDS:

mathematical model; A.I. Botkin model; Yu.K. Zaretskiy model; Hooke model; strength certificate; hyperbolic law of deformation; shear strain; plastic strain; stress; strength surface; yield surface; Mises-Schleicher-Botkin strength condition.

FOR CITATION:

Mirnyy A.Yu., Mosina A.S. Opisaniye i parametry modeley A.I. Botkina i Yu.K. Zaretskogo [Description and parameters of A.I. Botkin and Yu.K. Zaretskiy models] // GeoInfo. 2024. Vol. 6. № 9. S. 26–30. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-26-30 (in Rus.).

Вероятно, исторически первой моделью, использующей гиперболический закон деформирования, была так называемая модель А.И. Боткина, основанная на аналитических решениях, опубликованных А.И. Боткиным в конце 30-х – начале 40-х годов XX века [1, 2]. Эти публикации предшествовали значительно более известным в зарубежной литературе работам Р. Конднера [3, 4], кроме этого, содержали некоторые решения, позволяющие развить модель с применением положений теории пластичности. Предложенная А.И. Боткиным математическая модель помимо удачной аппроксимации экспериментально наблюдаемых зависимостей содержит еще и условие прочности в инвариантной форме. К сожалению, современному специалисту эта модель практически не известна и упоминается только в работах отдельных исследователей, например А.Н. Алехина [5]. В данном разделе описание модели приводится на основании публикаций этого автора.

По существу, модель А.И. Боткина является обобщением модели Гука, но с нелинейными значениями модулей объемного сжатия K и сдвига G . Выбор именно этих констант упругости вместо более привычных модуля общей деформации E и коэффициента относительного поперечного расширения ν представляется значительно более обоснованным для дисперсных грунтов, так как их объемная и сдвиговая жесткость обусловлены принципиально разными механизмами. Объемное сжатие связано с уменьшением объема порового пространства – следовательно, с ростом средних напряжений объемная жесткость возрастает:

$$K = \frac{\sigma_m}{\varepsilon} = A_0 \sigma_m^{1-\alpha}, \quad (1)$$

где A_0 – безразмерный параметр, определяющий величину объемной жесткости; σ_m – среднее напряжение; ε – средняя относительная деформация; α – безразмерный параметр степенной функции, близкий по смыслу параметру a в работах Н. Янбу [6].

Сдвиговое деформирование сопровождается взаимным смещением частиц скелета и в пределе приводит к разрушению, поэтому по мере накопления дефектов структуры сдвиговая жесткость снижается. В модели А.И. Боткина для этого используется гиперболический закон:

$$G = \frac{\sigma_i}{\gamma_i} = \frac{\sigma_u}{B + \gamma_i}, \quad (2)$$

где B – безразмерный параметр, определяющий начальную сдвиговую жесткость; σ_i – интенсивность напряжений; σ_u – предельное значение интенсивности напряжений; γ_i – интенсивность деформаций сдвига.

Предельное напряжение σ_u определяется в соответствии с условием прочности Мизеса – Шлейхера – Боткина.

Следует отметить, что у различных авторов встречаются различные формы записи, не меняющие существа модели, в частности вместо средних напряжений и деформаций могут использоваться первые инварианты тензора напря-

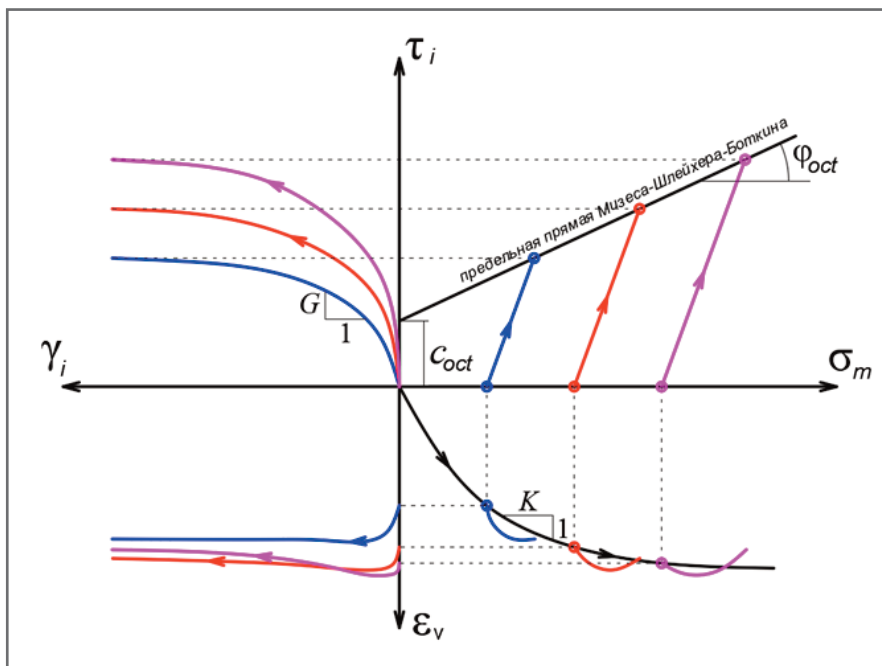


Рис. 1. Паспорт прочности грунта (графическое представление модели А.И. Боткина). Цветом выделены зависимости, соответствующие одному опыту; черным показаны зависимости, полученные по совокупности опытов

жений и деформаций соответственно, вместо интенсивности – вторые инварианты. Эти расхождения в формулировках приводят только к изменениям в величинах коэффициентов модели.

Традиционно математическая модель А.И. Боткина отображается в виде так называемого паспорта прочности – диаграммы, включающей в себя ряд зависимостей инвариантов напряжений и деформаций, а также предельную прямую (рис. 1). Это построение объединяет на одной координатной плоскости зависимости между напряжениями, инвариантами напряжений, объемными и сдвиговыми деформациями:

I квадрант: траектория нагружения, зависимость интенсивности касательных напряжений от среднего напряжения, предельная прямая. Каждый единственный опыт трехосного сжатия отображается в виде траектории нагружения, по предельным точкам можно построить предельную прямую (либо огибающую, если используется нелинейное условие прочности);

- I квадрант: зависимость интенсивности деформаций сдвига от интенсивности касательных напряжений. Для каждого единичного опыта трехосного сжатия могут быть получены свои параметры нелинейного деформирования. Видно, как жесткость меняется с ростом среднего напряжения;

- III квадрант: зависимость интенсивности деформаций сдвига от объемных деформаций, дилатансия и контракция.

В этом квадранте каждый опыт трехосного сжатия позволяет получить значение угла дилатансии. Хорошо видно, что с ростом средних напряжений за счет уплотнения скелета грунта дилатансия возрастает. Дальнейшее увеличение среднего напряжения будет, наоборот, приводить к снижению дилатансии, так как объемному расширению будет препятствовать действующее всестороннее давление;

- IV квадрант: зависимость объемных деформаций от среднего напряжения, дилатансия и контракция. В этом квадранте точка окончания консолидации в каждом единичном опыте – это точка на компрессионной кривой, по совокупности опытов ее можно построить полностью. При девиаторном нагружении каждый опыт представляется в виде дополнительного участка зависимости, отражающего дилатансию или контракцию.

Насколько известно авторам, в настоящее время модель А.И. Боткина в оригинальном виде не реализована в каких-либо распространенных численных программных комплексах. Тем не менее ее развитие представляется перспективным в связи с простотой и рациональностью используемых зависимостей.

Определение параметров модели А.И. Боткина, учитывая феноменологический характер используемых зависимостей, следует проводить путем подбора значений для достижения наилучшей

аппроксимации экспериментальных кривых.

Применительно к крупнообломочным грунтам, используемым в качестве оснований и материалов гидротехнических сооружений, Ю.К. Зарецким гиперболический закон применялся для описания как объемного, так и сдвигового деформирования. Данная модель во многом напоминает модель А.И. Боткина, но обладает расширенными функциональными возможностями. Модель подробно описана в работах Ю.К. Зарецкого и его учеников [7, 8]. К сожалению, широкого применения модель не нашла, однако по сведениям авторов, реализована в качестве пользовательской модели в ПК ANSYS и применяется единичными специалистами при проектировании земляных плотин.

В отличие от модели Duncan-Chang, для описания жесткости использовался не линейный модуль деформации, а модули сдвига и объемного сжатия. Кроме того, использовались инвариантные величины компонентов НДС – интенсивность касательных напряжений и деформаций сдвига. В результате закон деформирования записывался следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\tau_i}{\tau_i^*} &= \frac{\gamma_i}{A + B \cdot \gamma_i}, \\ \varepsilon_v &= \frac{\sigma_m}{a + b \cdot \sigma_m}. \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициенты A , B и a , b предполагалось определять непосредственно по результатам испытаний осесимметричного трехосного сжатия. Интересно отметить, что в данной модели не требуется введения дополнительного закона изменения сдвиговой жесткости от уровня средних напряжений – это происходит автоматически на основании (3), так как увеличение средних напряжений приводит к увеличению предельного значения интенсивности касательных напряжений τ_i^* . По существу, кривые деформирования при различных уровнях средних напряжений будут подобны друг другу, как и в моделях, родственных Hardening Soil, но для описания этого требуется существенно более простая запись.

Поверхность прочности в модели описывается модифицированным условием прочности Мизеса – Шлейхера – Боткина и записывается в октаэдрических напряжениях. Поверхность текучести кусочно-линейная, что позволяет хорошо адаптировать модель к фактиче-

ским экспериментальным данным. Каждый из участков поверхности текучести соответствует своему виду нагружения: I – объемному растяжению; II – девиаторному нагружению; III – объемному сжатию с девиаторным нагружением; IV – объемному сжатию (рис. 2).

Участок I характеризует поведение материала в области растягивающих напряжений, и за его первую точку принимается «сопротивление отрыву» $\sigma_{m,t}$. В качестве упрощения участок I может объединяться с участком II в единую прямую линию, в этом случае поверхность текучести модели примет вид конуса (Ю.К. Зарецкий в своей монографии «Лекции по современной механике грунтов» приводит также вариант этой модели для различных видов напряженного состояния – при изменении параметра Лоде меняется и форма поверхности текучести; в этом случае форма поверхности текучести в пространстве главных напряжений близка к неправильной шестиугольной пирамиде), а начальной точкой линии служит виртуальная точка среднего напряжения, соответствующего давлению связности. Угол наклона этой прямой меняется от начальной величины φ_0 до предельной φ_{oct}^* , текущее значение угла трения φ_{oct} равнозначно по смыслу мобилизованному углу трения φ_m или углу отклонения θ , но в других координатах это параметр состояния модели.

Участки III и IV формируют «шатровую» часть поверхности текучести. Параметром обратного наклона участка III является угол Ψ (не путать с углом дилатансии), начальное значение которого Ψ_0 определяется экспериментально. Пересечение этой прямой с осью абсцисс определяется суммой действующих средних напряжений и структурной прочности. Положение участка IV – вертикальной линии – описывается значением функции упрочнения P^* , определяемым в зависимости от накопленной пластической объемной деформации.

Следует отметить, что выбор конкретных функций и точек раздела участков функции текучести неслучаен – каждый из них обоснован с точки зрения теории накопления и залечивания дефектов структуры дисперсного грунта. В частности, точка пересечения участков III и IV всегда принадлежит траектории СТС при трехосном сжатии в дренированном режиме, что позволяет легко определять ее в любой момент расчета. Участок II предполагает, что пластическая деформация сопровожда-

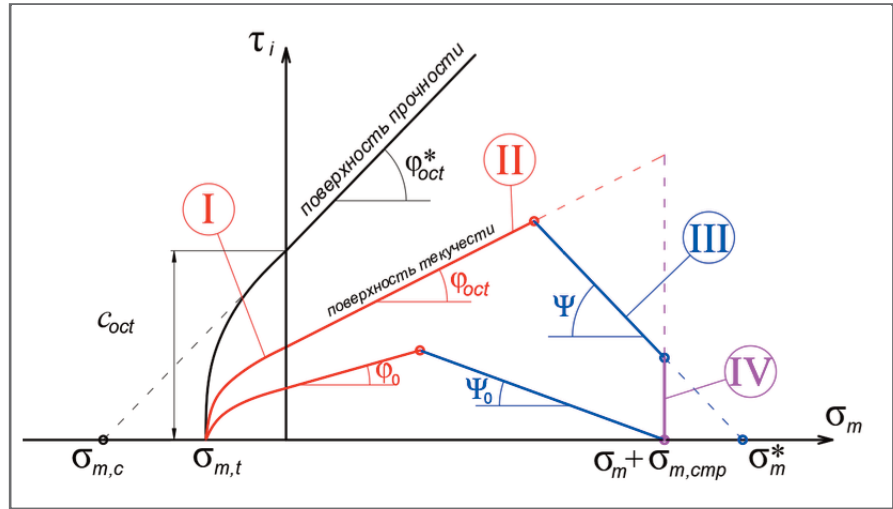


Рис. 2. Поверхности прочности и текучести модели Ю.К. Зарецкого в плоскости «средние напряжения σ – интенсивность касательных напряжений σ_r » [7]

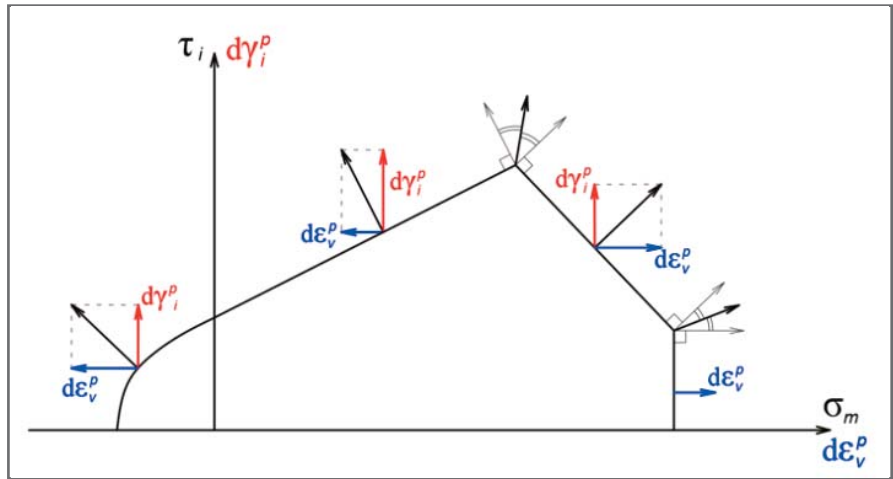


Рис. 3. Направление вектора приращения пластической деформации в различных точках поверхности текучести (черный) и его компонент сдвига (красный) и объемного сжатия (синий) в модели Ю.К. Зарецкого [7]

ется разрыхлением (дилатансией), вследствие чего постепенное накопление дефектов структуры не компенсируется залечиванием. Если же нагружение идет по участку III, то за счет уплотнения происходит залечивание накопленных дефектов и такое деформирование может долго не приводить к разрушению.

На рисунке 3 показано направление приращения вектора пластической деформации в различных точках поверхности текучести. Модель использует ассоциированный закон пластического течения. В случае если нагружение проходит через сингулярную точку, для определения направления вектора течения используется правило Койтера.

Упрочнение в модели связывает каждую из функций текучести для соответствующих участков поверхности (4) с пластической объемной де-

формацией, при этом функция упрочнения (Φ , Ψ , P) для каждого участка своя (5). Для упрощения восприятия в выражениях ниже используется система обозначений, принятая ранее в данной монографии:

$$\begin{cases} f_{I+II} = \tau_i - \{\tau_i^0 + (\tau_i^* - \tau_i^0)\Phi(\gamma_i^p)\} = 0; \\ f_{III} = \tau_i - \{\sigma_m - P^*(\varepsilon_v^p, \gamma_i^p)\} \operatorname{tg}\Psi + \sigma_i^* \Phi(\gamma_i^p) = 0; \\ f_{IV} = \sigma_m - P^*(\varepsilon_v^p, \gamma_i^p) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \tau_i^* &= \operatorname{tg}\varphi_{oct} + c_{oct}, \\ \operatorname{tg}\Psi &= \Psi^0 + \operatorname{tg}\Psi^0 \Psi(\gamma_i^p), \end{aligned}$$

где γ_i^p – интенсивность пластической деформации сдвига; ε_v^p – пластическая объемная деформация; σ_m – среднее напряжение (нормальное октаэдрическое); τ_i , τ_i^* – интенсивность касательных напряжений и ее предельное значение соответственно; φ_{oct} , c_{oct} – октаэдри-

Таблица. Параметры модели Ю.К. Зарецкого и методы их определения

Параметр	Ед. изм.	Значение	Метод определения
φ_{oct}	Октаэдрический угол внутреннего трения	°	Характеризует зависимость сопротивления сдвигу от средних напряжений
c_{oct}	Октаэдрическое сцепление	кПа	Характеризует сопротивление сдвигу при нулевых средних напряжениях
φ_0	Угол начального положения поверхности текучести I–II	°	Определяет размер упругой области в начале нагружения (девиаторное нагружение)
Ψ_0	Угол начального положения поверхности текучести III	°	
$\sigma_{mстр}$	Структурная прочность в октаэдрических координатах	кПа	Определяет размер упругой области в начале нагружения (объемное сжатие)
A, B	Параметры гиперболической зависимости интенсивности деформации сдвига от интенсивности касательных напряжений	-	Задают сдвиговую жесткость модели
a, b	Параметры гиперболической зависимости объемной деформации от средних напряжений	-	Задают объемную жесткость модели

ческие параметры прочности; Φ, Ψ, P – функции упрочнения.

$$\begin{aligned} \Phi(\gamma_i^p) &= \frac{\tau_i}{\tau_i^*} = \frac{\gamma_i^p}{(1-B)\gamma_i^* + B\gamma_i^p}; \\ \Psi(\gamma_i^p) &= \frac{\gamma_i^p}{\gamma_i^* - \gamma_i^p}; \\ P^*(\epsilon_v^p, \gamma_i^p) &= K^p \epsilon_v^p, \end{aligned} \quad (5)$$

где B – экспериментальный параметр; γ_i^* – предельное значение интенсивности

пластических деформаций; K^p – модуль объемной пластической деформации.

Максимально подробное описание модели с примером определения параметров на основании паспорта прочности приведено в учебном пособии В.В. Орехова [8].

К безусловным достоинствам модели Ю.К. Зарецкого следует отнести ее простоту и ясный физический смысл каждого параметра, ведь каждое входящее в модель выражение обосновано экспериментальными наблюдениями. В отличие

от большинства современных моделей, эта модель может быть полностью определена на основании 3–6 опытов трехосного сжатия, что, собственно говоря, и сделало ее удобным инструментом для проектирования гидротехнических сооружений с применением крупнообломочных грунтов, для которых проведение многочисленных испытаний затруднено, а иногда и невозможно. Несмотря на кажущуюся сложность выражений (4) и (5), математическая постановка модели не требует сложных вычислений. **и**

Список литературы

1. Боткин А.И. Исследование напряженного состояния в сыпучих и связных грунтах // Известия ВНИИГ. 1939. № 24. С. 153–171.
2. Боткин А.И. О прочности сыпучих и хрупких материалов // Известия ВНИИГ. 1940. Т. 26. С. 205–235.
3. Kondner R.L. Hyperbolic stress-strain response: cohesive soils // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 1963. Vol. 89. № 1. P. 115–143.
4. Kondner R.L., Zelasko J.S. A hyperbolic stress strain formulation for sands // Proceedings of the 2nd Pan American Conference on soil mechanics and foundation engineering, Brazil, San Paulo, 1963. Vol. 1. P. 289–324.
5. Алехин А.Н., Алехин А.А. Эффективный метод определения параметров нелинейной модели грунта из полевых испытаний // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 4. С. 54–63.
6. Janbu N. Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests // Proceedings of European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Wiesbaden, 1963. Vol. 1. P. 19–25.
7. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1989. 608 с.
8. Орехов В.В. Методика расчетов многофазных, нелинейно деформируемых грунтовых оснований при статических и сейсмических воздействиях. Москва: МГСУ, 2010. 80 с.

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



- Рекламная статья в журнале – **35 000 рублей.**

В каждую статью могут быть добавлены любые дополнительные

- материалы: каталоги оборудования, прайсы, фотографии, видеоролики, демоверсии программ и пр.

- Логотип в разделе «Спонсоры проекта» в правой колонке – **35 000 рублей в месяц.**

Все наши спонсоры получают свою персональную страницу на сайте журнала, где размещается информация о компании-спонсоре, все статьи

- ее сотрудников, опубликованные в журнале «ГеоИнфо» или в Базе знаний, а также любые дополнительные материалы (каталоги, буклеты, видео).

Коллеги и друзья! Наше с Вами рекламное сотрудничество будет взаимовыгодным. Вы получите отличную площадку для лоббирования

- своих интересов, а мы – возможность и дальше развивать проект, бороться за интересы отрасли инженерных изысканий и помогать профессионалам.

WWW.GEOINFO.RU



ПОВЕРХНОСТИ ТЕКУЧЕСТИ И ЗАКОНЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ

МИРНЫЙ А.Ю.

Доцент геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Независимая геотехника», к. т. н., г. Москва, Россия
info@indep-geo.ru

МОСИНА А.С.

Научный сотрудник лаборатории изучения состава и свойств грунтов ИГЭ РАН, заместитель генерального директора ООО «Независимая геотехника», к. г.-м. н., г. Москва, Россия
Mosina.A.S@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Издательство журнала «Геоинфо» подготовило к печати и передало в типографию книгу «Математические модели грунтов для инженеров» (авторы – А.Ю. Мирный и А.С. Мосина), объемом более 400 страниц. Эта монография, задуманная в первую очередь как практический справочник, содержит в себе необходимую теоретическую информацию по теории упругости, пластичности и ползучести, а также сведения о более чем 30 моделях, реализованных в наиболее популярных геотехнических расчетных комплексах, об их областях применения и методиках определения параметров. На эту книгу получены положительные рецензии профессоров Г.Г. Болдырева и А.Г. Шашкина. Приобрести данное издание можно будет уже в октябре 2024 года, отправив заявку на адрес электронной почты sale@indep-geo.ru. С актуальным содержанием данной монографии можно ознакомиться по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/X-INTOKrwOC2-A>.

Чтобы дать читателям представление о стиле изложения и содержании этой книги, мы, с согласия авторов, решили опубликовать фрагменты из нее в серии статей. В данной статье рассказывается о поверхностях текучести и законах пластического течения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

поверхность прочности; поверхность текучести; поверхность нагружения; упрочнение; разупрочнение; закон упрочнения; ассоциированный закон пластического течения; неассоциированный закон пластического течения; пластический потенциал; поверхность пластического потенциала.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мирный А.Ю., Мосина А.С. Поверхности текучести и законы пластического течения // Геоинфо. 2024. Т. 6. № 9. С. 32–38. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-32-38.

YIELD SURFACES AND PLASTIC FLOW LAWS

MIRNYY A.Yu.

Associate professor at the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University, the head of "Independent Geotechnics" LLC, PhD, Moscow, Russia
info@indep-geo.ru

MOSINA A.S.

Researcher at the Laboratory for Studying the Composition and Properties of Soils, Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Science; the deputy general director of "Independent Geotechnics" LLC, PhD, Moscow, Russia
Mosina.A.S@yandex.ru

ABSTRACT

The publishing house of the "GeoInfo" journal has prepared for printing the book "Mathematical models of grounds for engineers" (by A.Yu. Mirnyy and A.S. Mosina) with a volume of more than 400 pages and handed it over to a printing house. This monograph (which was conceived primarily as a practical reference book) contains the necessary theoretical information on the theory of elasticity, plasticity and creep, as well as the information about more than 30 models implemented in the most popular geotechnical computational softwares, about their fields of application and methods for determining parameters. This book received positive reviews from professors G.G. Boldyrev and A.G. Shashkin. You will be able to purchase the book in October 2024 by sending an application to the next email address: sale@indep-geo.ru. The current contents of this monograph can be found at the next web link: <https://disk.yandex.ru/d/X-IHTOKrwOC2-A>.

To provide insight into the style of presentation and the content of the book for the readers, we decided to publish some fragments from it (with the consent of the authors) in a series of articles. This article considers yield surfaces and the plastic flow laws.

KEYWORDS:

strength surface; yield surface; loading surface; hardening; softening; hardening law; associated plastic flow law; non-associated plastic flow law; plastic potential; plastic potential surface.

FOR CITATION:

Mirnyy A.Yu., Mosina A.S. Poverkhnosti tekuchesti i zakony plasticheskogo techeniya [Yield surfaces and plastic flow laws] // GeoInfo. 2024. Vol. 6. № 9. S. 32–38. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-32-38 (in Rus.).

Очевидно, что ни одно реальное физическое тело не способно деформироваться бесконечно долго и полностью восстанавливать форму после снятия нагрузки. Тем не менее большинство конструкционных материалов, таких как сталь или железобетон, используются при пренебрежимо малых величинах деформаций исключительно в линейно-упругом диапазоне, что позволяет применять к ним теорию упругости. В дисперсных средах пластические деформации преобладают над упругими, что необходимо учитывать при моделировании. Вопросы деформирования тел за пределом упругости рассматривает теория пластичности.

Неограниченное развитие деформаций противоречит гипотезе о малости деформаций (в этом случае перестают выполняться физические уравнения теории упругости) либо приводит к потере сплошности (в этом случае тело разделяется на два отдельных тела, взаимодействующих как механизм). Переход от упругопластического деформирования к неограниченному пласти-

ческому течению либо к потере сплошности под действием внешних сил рассматривается теорией прочности.

Если в пространстве главных напряжений отметить все точки, в которых удовлетворяется выбранное условие прочности, то получится некоторая замкнутая поверхность – **поверхность прочности**. Все точки, попадающие внутрь данной поверхности, соответствуют напряженным состояниям, при которых не превышена прочность материала. Как только траектория изменения напряжений достигает поверхности прочности, «срабатывает» условие прочности – происходит разрушение тела. Традиционно поверхности прочности описываются некоторой *функцией прочности*, обозначаемой f . При $f=0$ точка в пространстве главных напряжений лежит на поверхности прочности.

Поверхности текучести и прочности, помимо пространственного отображения в пространстве главных напряжений, удобно характеризовать посредством *меридианного сечения* (сечения плоскостью, проходящей по гидростатической оси и оси одного из главных

напряжений) и *девиаторного сечения* (сечения плоскостью, проходящей перпендикулярно гидростатической оси). Пересеченная плоскостью поверхность оставляет на плоскости след. Так, например, след поверхности прочности на девиаторном сечении показывает, как сопротивление разрушению зависит от вида напряженного состояния при постоянном среднем напряжении. След поверхности на меридианной плоскости позволяет оценить влияние среднего напряжения на сопротивление разрушению.

Поверхность прочности хрупких тел разделяет упругое деформирование и нарушение сплошности. Все напряженные состояния внутри поверхности прочности относятся к идеально упругому поведению, а снаружи – к хрупкому разрушению (рис. 1, а).

У вязких же тел после упругого деформирования наблюдается развитие пластических деформаций без разрушения (упругопластическая модель). В связи с этим выделяют вторую поверхность, которая разграничивает упругое и пластическое деформирова-

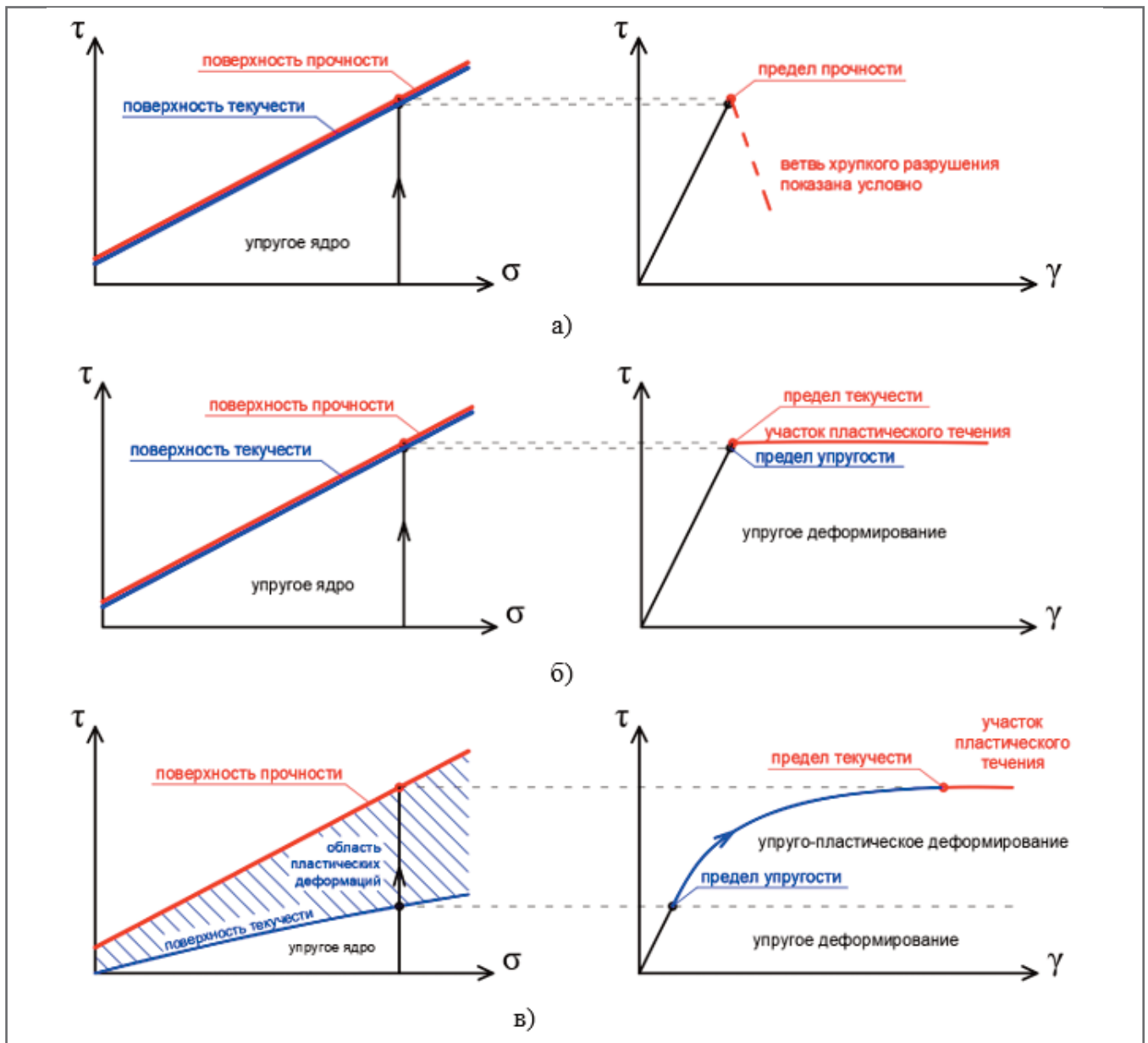


Рис. 1. Следы поверхностей текучести и прочности и графики деформирования: а – идеально упругопластическая модель в случае хрупкого разрушения; б – идеально упругопластическая модель в случае вязкого разрушения; в – упругопластическая модель с разделенными поверхностями текучести и прочности

ние, – **поверхность текучести**¹. Соответственно, траектория напряжений сначала достигает поверхности текучести (и в этот момент деформации перестают быть упругими, начинается развитие пластических деформаций), а затем доходит до поверхности прочности (и в этот момент фиксируется разрушение, то есть полная потеря жесткости, развитие неограниченных пластических деформаций при постоянном напряжении) (рис. 1, в).

Положение поверхности текучести вязкого тела зависит от характера нагружения и особенности деформирования тела. Так, в простых *идеально*

упругопластических моделях поверхность текучести совпадает с поверхностью прочности и отражает переход от упругого деформирования к пластическому течению, минуя при этом стадию пластических деформаций без разрушения (см. рис. 1, б). Таким образом, все напряженные состояния внутри поверхности текучести относятся к идеально упругому поведению, а снаружи – к неограниченному пластическому течению, то есть разрушению. Следует отметить, что переход деформирования к пластическому течению без стадии пластических деформаций крайне редко наблюдается в

реальных телах. Именно поэтому эта модель носит название «идеальная». Подобный тип деформирования характерен для некоторых металлов, которые после превышения предела упругости начинают неограниченно пластически течь.

Наконец, в моделях с упрочнением / разупрочнением поверхность текучести называют **поверхностью нагружения**, и она меняет свое положение в зависимости от истории нагружения. Поверхность прочности в данном случае является предельной поверхностью для упрочнения при эволюции поверхности текучести.

¹ Поверхность текучести отделяет упругое деформирование от пластического течения в идеально упругопластических моделях и от пластического деформирования в упругопластических моделях.



Для изотропных тел поверхность прочности будет симметрична относительно гидростатической оси. Но для абсолютного большинства грунтов эта поверхность не является телом вращения, так как предел прочности зависит от вида напряженного состояния. Для структурно анизотропных тел, в том числе некоторых разновидностей грунтов, ось поверхности прочности не совпадает с гидростатической осью и в специализированных моделях это учитывается.

Форма поверхности текучести описывается математической функцией, называемой *условием текучести*. Ко всем без исключения условиям текучести предъявляются определенные требования, подробнее о которых можно узнать из курса теории пластичности. Данные требования основаны на энергетических принципах описания пластического деформирования.

Постулат Друкера, сформулированный Друкером и Хиллом, состоит из двух утверждений [1, 2]:

- в процессе нагружения увеличение напряжений совершает положительную работу. Так как работа определяется как произведение приращений напряжений и деформаций, это означает, что данные приращения имеют одинаковый знак. С точки зрения физического смысла это утверждение постулирует, что при увеличении напряжений происходит увеличение деформаций;
- за весь цикл дополнительного нагружения и разгрузки добавочные напряжения совершают положительную работу, если имеет место пластическая деформация. Это означает, что сумма работы внешних сил при нагружении и запасенной телом потенциальной энергии, расходуемой на разгрузку, равна нулю при идеально упругом деформировании. Если же совершается пластическая деформация, то часть работы внешних сил расходуется на изменение внутренней энергии тела и сумма работы будет иметь положительный знак (при нагружении потрачено энергии больше, чем запасено телом). (Более подробно этот процесс рассматривается в разделе, посвященном гистерезису.)

Отсюда следует, что поверхность текучести должна быть выпуклой, то есть луч, выходящий из начала координат,

должен пересекать поверхность в единственной точке. Если на поверхности текучести будут «впадины» и «складки», то гипотетически может существовать такая траектория нагружения, при которой снижение напряжений приведет к развитию пластической деформации, а это нарушает закон сохранения энергии (при разгрузке телом будет потрачено больше энергии, чем получено за счет совершения работы внешних сил при нагружении). Отметим, что для разупрочняющихся моделей постулат Друкера не выполняется.

Очевидно также, что поверхность текучести не может проходить через начало координат, так как это означает, что пластические деформации возникают при отсутствии напряжений².

Условия текучести и прочности для изотропного материала не должны зависеть от выбора направления осей в системе координат, то есть должны формулироваться в виде функций *инвариантов* тензора напряжений. Наиболее наглядно это видно на примере хорошо известного условия прочности Кулона – Мора. Закон Кулона сам по себе не может использоваться в расчетах пространственного напряженного состояния, так как связывает между собой нормальные и касательные напряжения на некой опасной площадке, положение которой неизвестно. В то же время закон Кулона – Мора (выраженный уже в главных напряжениях) не зависит от ориентации осей и позволяет оценить прочность на площадках, ориентированных под любым углом.

Теория пластичности предполагает, что всестороннее сжатие/растяжение является исключительно упругим и не должно влиять на положение поверхности текучести (ограничивающей исключительно девиаторное нагружение). Данное требование, как говорилось выше, характерно для сплошных тел, но не относится к дисперсным средам, где всестороннее сжатие может вызывать пластические деформации.

Помимо этих основных требований есть и дополнительные. Так, например, для использования при численном моделировании желательнее, чтобы поверхность текучести в любой точке была дифференцируемой, то есть имела бы

единственным образом направленную нормаль. Это необходимо, так как направление вектора приращения пластической деформации определяется с помощью касательной к поверхности текучести. Наличие на поверхности текучести складок и ребер приводит к двойственности оценки состояния тела, так как положение касательной плоскости не определено.

Поверхность текучести необязательно должна занимать фиксированное положение в пространстве. Это означает, что история изменения НДС будет вызывать изменение точки перехода от упругого деформирования к пластическому (размер «упругого ядра»). Например, вследствие развития и накопления пластических деформаций после разгрузки и повторного нагружения поверхность текучести будет находиться выше, то есть упругое ядро увеличит размер, произойдет **упрочнение** (hardening). И наоборот, если при разгрузке поверхность текучести будет уменьшаться вместе с напряжениями, произойдет **разупрочнение** (softening). Данные процессы позволяют учесть структурные изменения в материале при пластическом деформировании.

Упрочнение при сдвиге больше характерно для дисперсных грунтов с вязким разрушением, в которых развитие пластических деформаций в большинстве случаев приводит к уплотнению скелета и увеличению жесткости и прочности. Разупрочнение, наоборот, встречается в средах с хрупким разрушением, например в скальных грунтах: накопление дефектов приводит к частичной или полной необратимой потере прочности при многократном нагружении. Также с помощью разупрочнения описывается поведение чувствительных грунтов, сопротивление которых сдвигу снижается вследствие тиксотропии.

Многие зарубежные источники связывают упрочнение и разупрочнение с состоянием переуплотнения. В недоуплотненных и нормально уплотненных грунтах обычно наблюдается достаточно высокая пористость и при сдвиге происходит уплотнение скелета. При этом образуются новые контакты и сопротивление дальнейшему сдвигу по-

² Данное условие применительно к дисперсным грунтам требует отдельного комментария. Действительно, в твердых телах (и в связных грунтах) за счет наличия жестких связей между элементами структуры любому пластическому деформированию должно предшествовать упругое. Однако для идеально сыпучих сред, не обладающих сцеплением, малейшее увеличение напряжений приводит к пластическому деформированию, что наблюдается в экспериментах и не противоречит физическому смыслу. Тем не менее при численном моделировании это приводит к возникновению пластических деформаций при начальном загрузении модели и сразу порождает нелинейное решение. Именно поэтому в ряде источников встречается рекомендация задавать минимальное значение удельного сцепления не равным нулю, – в этом случае поверхность текучести не пересекает начало координат и устойчивость численного решения повышается.



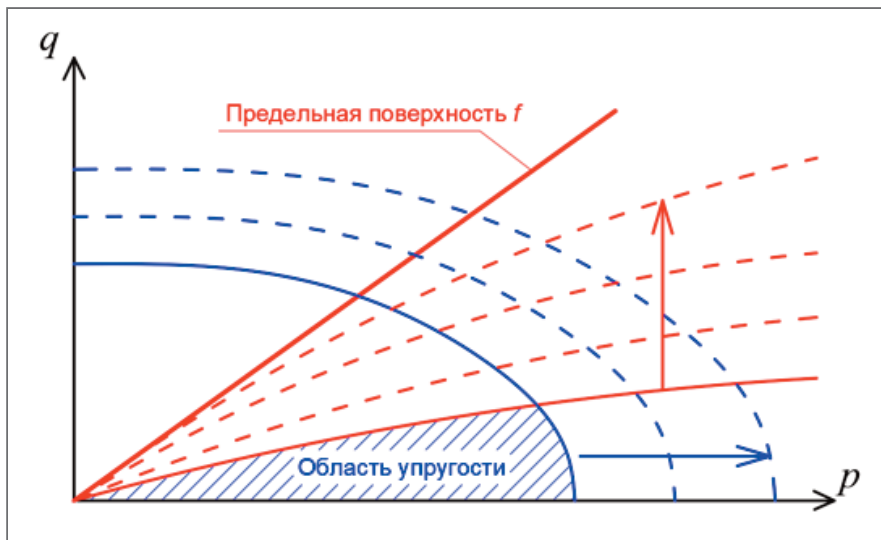


Рис. 2. Сдвиговое (красный цвет) и объемное (синий цвет) упрочнение в плоскости инвариантов « $p - q$ » на примере модели *Hardening Soil*

степенно возрастает. В переуплотненных грунтах сдвиг вызывает постепенное разрушение контактов и снижение сопротивления сдвигу, за счет чего наблюдается разупрочнение. Данные утверждения можно рассматривать только в общем смысле, так как в природных грунтах возможны различные отклонения от этой закономерности.

Упрочнение может наблюдаться и при объемном сжатии – это означает, что дальняя точка шатровой поверхности текучести будет отодвигаться от начала координат. Эта важная особенность характерна для всех дисперсных сред: при первичном объемном сжатии в них наблюдаются пластические де-

формации объема, а при повторном – уже только упругие.

Различают изотропное и кинематическое упрочнение. При изотропном упрочнении поверхность текучести симметрично увеличивается относительно гидростатической оси. Для большинства грунтов характерно именно изотропное упрочнение.

При кинематическом упрочнении размер поверхности текучести не меняется, но ее положение в пространстве главных напряжений смещается, то есть предел упругости изменяется в различных направлениях по-разному. Это характерно для металлов при таких явлениях, как наклеп³. Кинематическое

упрочнение в дисперсных грунтах также имеет место (например, при переуплотнении глинистых грунтов и формировании анизотропной структуры), но слабо изучено. Тем не менее модели с кинематическим упрочнением используются, например для расчетов динамической устойчивости грунтов.

Упрочнение (разупрочнение) описывается в каждой модели отдельной функцией – **законом упрочнения**. В зависимости от используемых в модели решений закон упрочнения может записываться по-разному, однако чаще всего он связывает размер поверхности текучести с уровнем достигнутых напряжений либо пластической деформации. Примеры отдельных законов упрочнения будут приведены в описании конкретных моделей во второй части книги.

Очевидной особенностью всех пластических тел является развитие течения в направлении действия напряжений, вызывающих это течение, – точно так же, как и жидкости текут в направлении градиента сил [3]. Это позволяет связать направление вектора приращения пластической деформации с вектором приращения напряжений.

В теории пластичности сплошного тела предполагается, что при пластическом течении объем тела остается постоянным (то есть объемные деформации равны нулю, объемная жесткость бесконечно велика, а коэффициент Пуассона стремится к 0,5). При этом для материалов, предел упругости которых

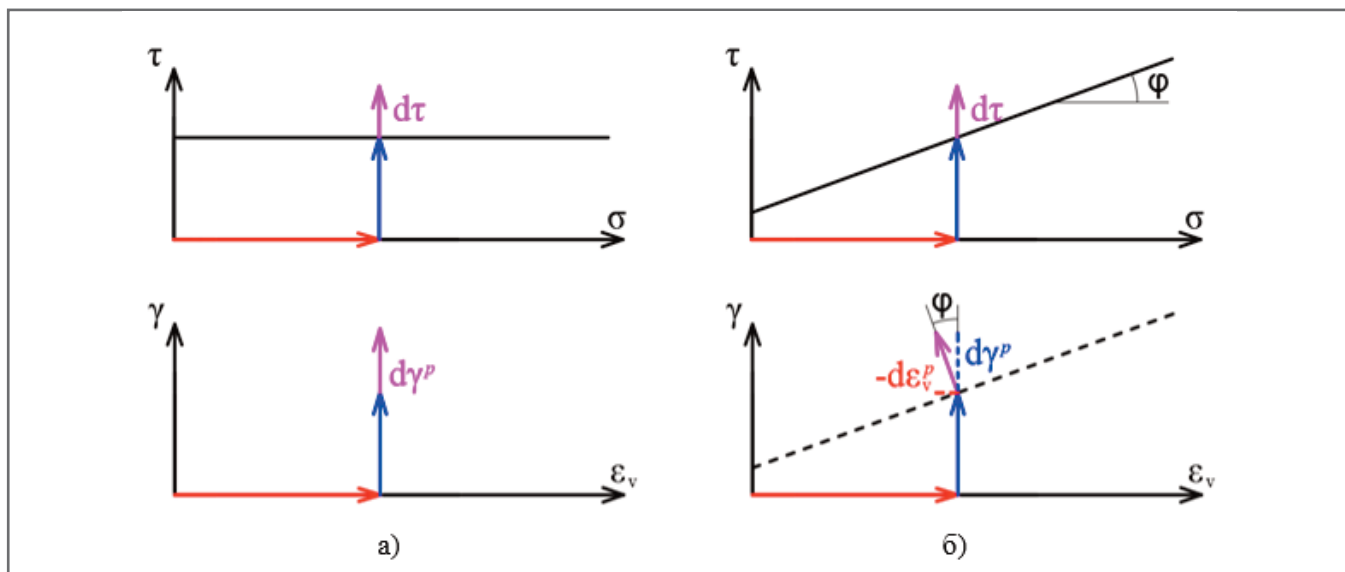


Рис. 3. Применение ассоциированного закона пластического течения для материалов, предел упругости которых не зависит от среднего напряжения (а) и материалов, предел упругости которых зависит от среднего напряжения (б)

³ Наклеп – упрочнение металлов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

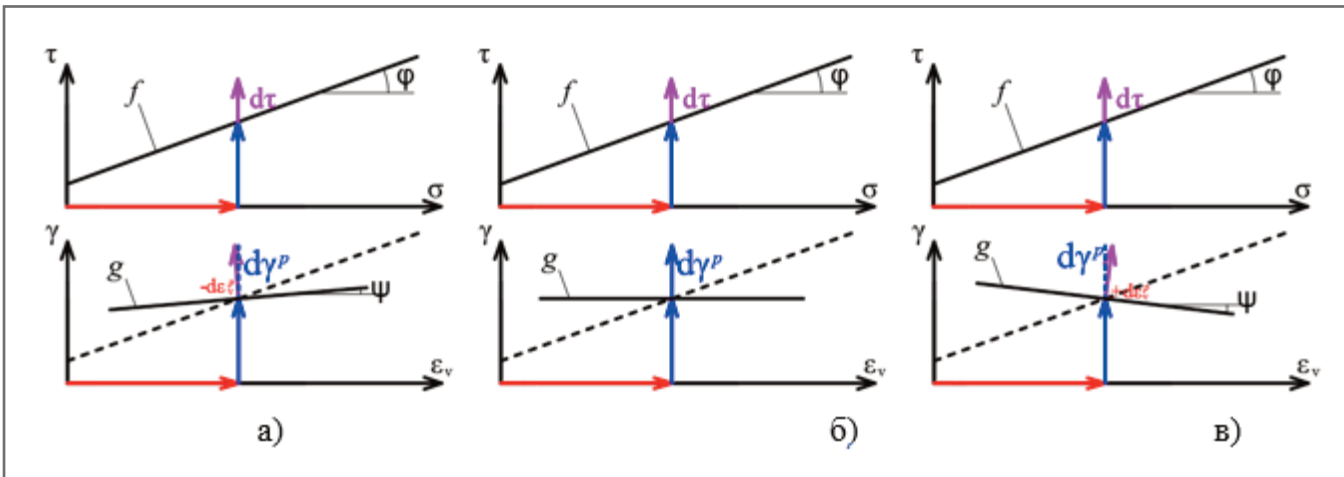


Рис. 4. Неассоциированный закон течения, направление вектора пластической деформации при различных значениях угла дилатансии: $\psi > 0$ – дилатансия (а); $\psi = 0$ – пластические объемные деформации отсутствуют (б); $\psi < 0$ – контракция (в); g – след поверхности пластического потенциала, f – след функции текучести.

не зависит от среднего напряжения (например, металлов), можно использовать условия прочности, в которых поверхность прочности параллельна гидростатической оси (например, Мизеса или Треска – Сен-Венана). Исходя из этого, при пластическом течении будут развиваться исключительно деформации сдвига, то есть вектор развития деформаций будет перпендикулярен поверхности текучести (рис. 3, а). Это утверждение носит название «**ассоциированный закон пластического течения**», так как вектор развития деформаций связан («ассоциирован») с поверхностью текучести:

$$d\gamma_{ij}^p = d\lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \quad (1)$$

Если же применить ассоциированный закон пластического течения к материалам, предел упругости которых зависит от среднего напряжения (например, дискретным, для которых используются поверхности прочности, не параллельные гидростатической оси), то это приведет к появлению чрезмерно высокого значения объемной составляющей пластической деформации (из-за принятия перпендикулярности вектора деформаций) (рис. 3, б). В реальном эксперименте объемные деформации при сдвиге в данных телах действительно будут наблюдаться, однако их величина будет значительно меньше. Фактически наблюдаемый в эксперименте вектор развития пластических деформаций окажется не перпендикулярен поверхности текучести. В этом случае для оценки пластических деформаций используется еще одна поверхность, перпендикуляр к которой будет соответ-

ствовать вектору развития деформаций, – *поверхность пластического потенциала*. Она не совпадает с поверхностью текучести и описывается отдельной функцией напряжений. Производная от пластического потенциала используется в **неассоциированном законе пластического течения**.

В теории пластического течения Д. Друкером и В. Прагером [4] было введено понятие *пластического потенциала*. Пластическим потенциалом называется такая функция напряжения g , частная производная от которой пропорциональна приращению пластической деформации:

$$d\gamma_{ij}^p = d\lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} \quad (2)$$

Для условия прочности Кулона – Мора потенциал пластичности g – функция, определяющая направление вектора приращений пластической деформации, – задается группой уравнений:

$$\begin{aligned} g &= (\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \psi \\ g &= (\sigma_2 - \sigma_3) - (\sigma_2 + \sigma_3) \sin \psi \\ g &= (\sigma_1 - \sigma_2) - (\sigma_1 + \sigma_2) \sin \psi \end{aligned} \quad (3)$$

Угол наклона поверхности потенциала пластичности именуется углом дилатансии и обозначается ψ . В целом, дилатансией называется свойство дисперсных грунтов изменять объем при сдвиге. Это явление обусловлено переупаковкой частиц при развитии сдвиговых деформаций, что приводит к разуплотнению при изначально плотной упаковке (дилатансии) или уплотнению при изначально рыхлой упаковке (контрак-

ции). Соответственно, данные процессы могут сменять друг друга при сложной траектории нагружения. Проявление дилатансии в дисперсных грунтах не позволяет использовать допущение теории пластичности об отсутствии объемных деформаций при пластическом течении.

Угол дилатансии обеспечивает учет изменения объема при развитии пластических деформаций сдвига (контракция при $\Delta \epsilon_v < 0$ и дилатансия при $\Delta \epsilon_v > 0$). В ассоциированном законе пластического течения угол дилатансии ψ равен углу внутреннего трения φ , поверхность текучести одновременно рассматривается как потенциальная поверхность ($g=f$) (рис. 3).

При $0 < \psi < \varphi$ используется неассоциированный закон течения – наблюдается дилатансия, происходит увеличение объема (рис. 4, а). При $\psi = 0$ объемные деформации при сдвиге будут отсутствовать, так как вектор деформаций будет лежать в девиаторной плоскости (рис. 4, б). При $\psi < 0$ в ходе сдвига объем будет уменьшаться – происходит контракция (рис. 4, в).

Функция пластического потенциала является неотъемлемым атрибутом любой упругопластической модели. Она может быть подобна функции текучести или отличаться от нее. Некоторые программные комплексы предоставляют пользователю возможность независимого выбора формы поверхности пластического потенциала и поверхности текучести.

Для определения направления вектора пластической деформации требуется, чтобы поверхность текучести была дифференцируема в любой точке. В противном случае для напряженных

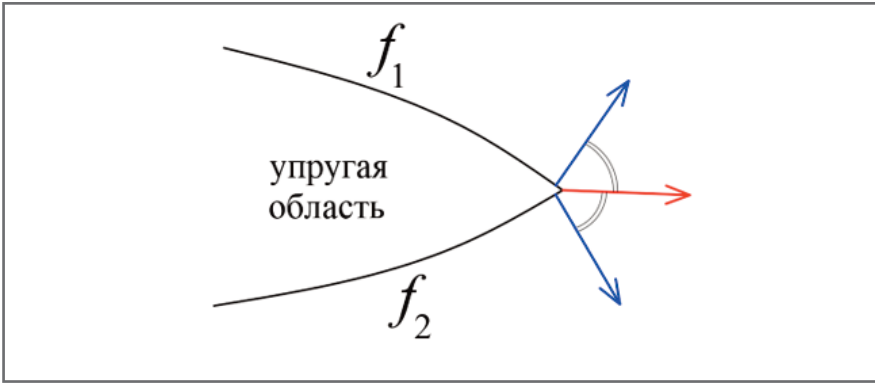


Рис. 5. Реализация правила Койтера в недифференцируемой точке пересечения двух поверхностей текучести. Красным показан результирующий вектор

состояний в точках на ребрах поверхности текучести, а также там, где две поверхности пересекают друг друга, возникают точки сингулярности⁴. Это

обстоятельство принципиально в первую очередь для численных расчетов, в которых будет наблюдаться ухудшение сходимости. Для описания функции в

недифференцируемой точке используется правило Койтера (рис. 5).

Принимают, следуя Д. Прагеру [5] и В. Койтеру [6], что течение на ребре является линейной комбинацией течений слева и справа от ребра. Это означает, что вектор пластического течения будет направлен по биссектрисе угла, образованного двумя перпендикулярами к примыкающим поверхностям в ближайших дифференцируемых точках:

$$d\gamma_{ij}^p = d\lambda_1 \frac{\partial g_1}{\partial \sigma_i} + d\lambda_2 \frac{\partial g_2}{\partial \sigma_i}. \quad (4)$$

В современных моделях зачастую вводятся дополнительные промежуточные поверхности текучести, обеспечивающие сглаживание поверхности, в связи с чем правило Койтера применять не требуется. **и**

Список литературы ▶

1. Drucker D.C. A definition of a stable inelastic material // Journal of Applied Mechanics. 1959. Vol. 26. № 1. P. 101–195.
2. Hill R. General theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 1958. Vol. 6. № 3. P. 236–249.
3. Schofield A.N., Wroth C.P. Critical State Soil Mechanics. London: McGraw-Hill, 1968.
4. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design // Journal of Applied Mathematics. 1952. Vol. 10. P. 157–165.
5. Прагер В. Проблемы теории пластичности. Москва: Физматлит, 1958. 136 с.
6. Койтер В. Соотношения между напряжениями и деформациями, вариационные теоремы и теоремы единственности для упруго-пластического материала с сингулярной поверхностью текучести // Механика (сборник). 1960. Т. 2. С. 117–129.

Телеграм-канал журнала

ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>

⁴ Точка сингулярности – это точка, в которой функция не определена или имеет нерегулярное поведение (например, точка, в которой функция имеет разрыв или недифференцируема)

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



- Рекламная статья в журнале – **35 000 рублей.**

В каждую статью могут быть добавлены любые дополнительные

- материалы: каталоги оборудования, прайсы, фотографии, видеоролики, демоверсии программ и пр.

- Логотип в разделе «Спонсоры проекта» в правой колонке – **35 000 рублей в месяц.**

Все наши спонсоры получают свою персональную страницу на сайте журнала, где размещается информация о компании-спонсоре, все статьи

- ее сотрудников, опубликованные в журнале «ГеоИнфо» или в Базе знаний, а также любые дополнительные материалы (каталоги, буклеты, видео).

Коллеги и друзья! Наше с Вами рекламное сотрудничество будет взаимовыгодным. Вы получите отличную площадку для лоббирования

- своих интересов, а мы – возможность и дальше развивать проект, бороться за интересы отрасли инженерных изысканий и помогать профессионалам.

WWW.GEOINFO.RU



ОПИСАНИЕ И ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ NGI-ADP

МИРНЫЙ А.Ю.

Доцент геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Независимая геотехника», к. т. н., г. Москва, Россия
info@indep-geo.ru

МОСИНА А.С.

Научный сотрудник лаборатории изучения состава и свойств грунтов ИГЭ РАН, заместитель генерального директора ООО «Независимая геотехника», к. г.-м. н., г. Москва, Россия
Mosina.A.S@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Издательство журнала «Геоинфо» подготовило к печати и передало в типографию книгу «Математические модели грунтов для инженеров» (авторы – А.Ю. Мирный и А.С. Мосина), объемом более 400 страниц. Эта монография, задуманная в первую очередь как практический справочник, содержит в себе необходимую теоретическую информацию по теории упругости, пластичности и ползучести, а также сведения о более чем 30 моделях, реализованных в наиболее популярных геотехнических расчетных комплексах, об их областях применения и методиках определения параметров. На эту книгу получены положительные рецензии профессоров Г.Г. Болдырева и А.Г. Шашкина. Приобрести данное издание можно будет уже в октябре 2024 года, отправив заявку на адрес электронной почты sale@indep-geo.ru. С актуальным содержанием данной монографии можно ознакомиться по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/X-INTOKrwOC2-A>.

Чтобы дать читателям представление о стиле изложения и содержании этой книги, мы, с согласия авторов, решили опубликовать фрагменты из нее в серии статей. В данной статье описывается модель NGI-ADP.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

устойчивость сооружений; природные грунты; слабые неконсолидированные грунты; слабые водонасыщенные грунты; моделирование; модель NGI-ADP; анизотропные условия прочности; анизотропный закон упрочнения; трехосное сжатие; трехосное растяжение; простой сдвиг; трехосное сжатие с растяжением; испытания.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мирный А.Ю., Мосина А.С. // Геоинфо. 2024. Т. 6. № 9. С. 40–43.
DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-40-43.

DESCRIPTION AND PARAMETERS OF THE NGI-ADP MODEL

MIRNYY A.Yu.

Associate professor at the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University, the head of "Independent Geotechnics" LLC, PhD, Moscow, Russia
info@indep-geo.ru

MOSINA A.S.

Researcher at the Laboratory for Studying the Composition and Properties of Soils, Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Science; the deputy general director of "Independent Geotechnic" LLC, PhD, Moscow, Russia
Mosina.A.S@yandex.ru

ABSTRACT

The publishing house of the "GeoInfo" journal has prepared for printing the book "Mathematical models of grounds for engineers" (by A.Yu. Mirnyy and A.S. Mosina) with a volume of more than 400 pages and handed it over to a printing house. This monograph, (which was conceived primarily as a practical reference book) contains the necessary theoretical information on the theory of elasticity, plasticity and creep, as well as the information about more than 30 models implemented in the most popular geotechnical computational softwares, about their fields of application and methods for determining parameters. This book received positive reviews from professors G.G. Boldyrev and A.G. Shashkin. You will be able to purchase the book in October 2024 by sending an application to the next email address: sale@indep-geo.ru. The current contents of this monograph can be found at the next web link: <https://disk.yandex.ru/d/X-IHTOKrwOC2-A>.

To provide insight into the style of presentation and the content of the book for the readers, we decided to publish some fragments from it (with the consent of the authors) in a series of articles. This article describes the NGI-ADP model.

KEYWORDS:

stability of structures; natural soils; soft unconsolidated soils; soft water-saturated soils; modeling; NGI-ADP model; anisotropic strength conditions; anisotropic hardening law; triaxial compression; triaxial extension; simple shear; triaxial compression with extension; tests.

FOR CITATION:

Mirnyy A.Yu., Mosina A.S. Opisaniye i parametry modeli NGI-ADP [Description and parameters of the NGI-ADP model] // GeoInfo. 2024. Vol. 6. № 9. S. 40–43. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-9-40-43 (in Rus.).

В некоторых случаях игнорировать физическую анизотропию природных грунтов при моделировании невозможно. В первую очередь это касается массивов пылевато-глинистых грунтов, сам процесс отложения которых подразумевает формирование частого переслаивания грунтов разного состава. Для решения подобных задач была разработана упругопластическая модель со сдвиговым упрочнением NGI-ADP.

Название модели раскрывается как Norwegian Geotechnical Institute Active, Direct simple shear and Passive modes of loading. Это означает, что модель учитывает влияние различных траекторий нагружения на величину сопротивления недренарованному сдвигу. Примененный авторами модели подход позволяет достаточно прямолинейно решить известную задачу. Если рассмотреть основание некоторого сооружения в состоянии предельного равновесия (рис. 1), то окажется, что на трех условных участках линии скольжения грунт

находится в различных напряженных состояниях: под сооружением – трехосное сжатие, на горизонтальном участке – простой сдвиг, а вне сооружения, в зоне выпора, – трехосное сжатие с растяжением. Из экспериментов известно, что сопротивление сдвигу в каждом из этих трех случаев будет различным. Следовательно, необходимо либо разделить массив на три области и использовать в каждой свои параметры прочности (что на практике крайне неудобно), либо использовать для всего массива модель с анизотропным условием прочности. Последнее позволит при расчете автоматически применять корректные параметры сопротивления сдвигу в различных частях массива в зависимости от вида напряженного состояния.

Как следует из названия, модель является результатом работы сотрудников Норвежского геотехнического института [1], опирающимся на исследования таких ученых, как Л. Бьеррум, А. Шофилд и Ч. Лэдд (L. Bjerrum, A. Schofield, Ch. Ladd). Модель предназначена

для решения задач устойчивости сооружений на основаниях, сложенных слабыми неконсолированными грунтами, в которых внутреннее трение не оказывает существенного влияния на сопротивление сдвигу.

В основе модели лежит условие прочности Треска, представляющее собой правильную шестиугольную призму, ось которой совпадает с гидростатической осью. Для учета физической анизотропии ось призмы смещается по одной из координат (как это происходило бы при кинематическом упрочнении). Фактический размер и положение поверхности прочности определяются по значениям сопротивления недренарованному сдвигу при различных траекториях нагружения: при трехосном сжатии (ТХС) – s_u^C ; при трехосном растяжении (ТХР) – s_u^E ; при активном нагружении в условиях плоской деформации (PSA) – s_u^A ; при пассивном нагружении в условиях плоской деформации (PSA) – s_u^P . В результате поверхность прочности оказыва-

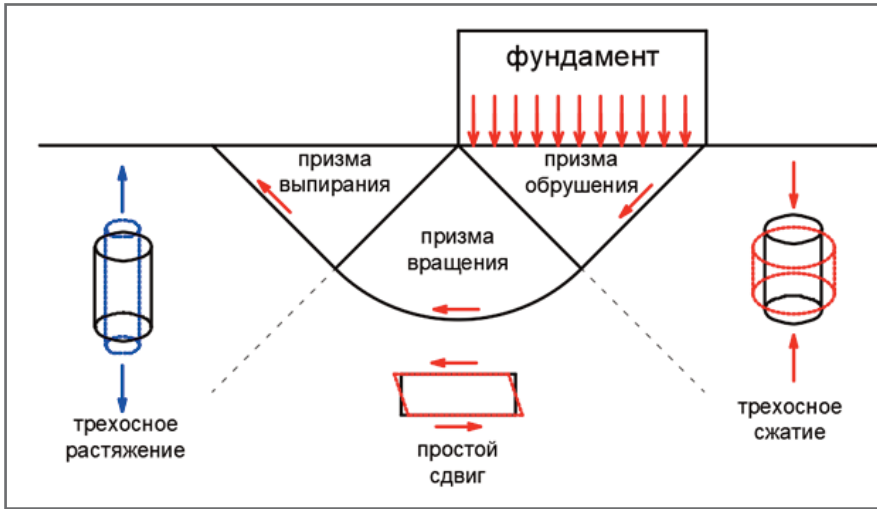


Рис. 1. Условное разделение грунтового основания в предельном состоянии на зоны по видам напряженного состояния

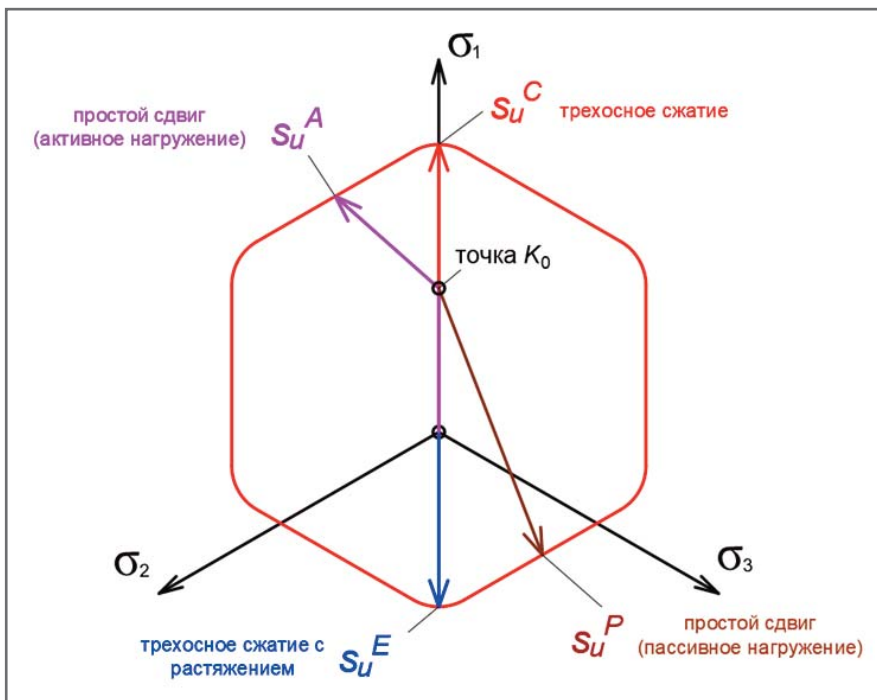


Рис. 2. Девиаторное сечение поверхности текучести в модели NGI-ADP, траектории нагружения при различных испытаниях

ется смещенной относительно гидростатической оси (рис. 2).

Точкой, из которой берут начало все траектории, ведущие к разрушению, является точка, соответствующая бытовому напряженному состоянию и принадлежащая линии K_0 . С учетом того что в природном напряженном состоянии вертикальные и горизонтальные напряжения не равны друг другу, в этой точке девиатор напряжений также не равен нулю. В качестве входного параметра модель использует величину начальных касательных напряжений $\tau_0 = 0,5(\sigma_z^i - \sigma_x^i)$.

Чтобы избежать необходимости применения правила Койтера, модель использует инвариантную форму записи

условия прочности Треска [2] и потенциал пластичности по Мизесу, чтобы «скруглить» ребра призмы и таким образом обеспечить дифференцируемость в каждой точке поверхности текучести. Для этого в функцию текучести вводится дополнительное слагаемое.

С учетом того что модель изначально предназначена для моделирования недренажного режима нагружения, материал предполагается абсолютно несжимаемым в объеме (это задается путем принятия $\nu = 0,5$). Следовательно, величина сопротивления недренажному сдвигу не зависит от уровня средних напряжений и призма не ограничена с торцов. Упругая жесткость

при сдвиге задается с помощью упругого модуля сдвига G_{up} .

Все параметры модели вводятся не в абсолютных величинах, а как отношение к величине сопротивления недренажному сдвигу при активном нагружении в условиях плоской деформации s_u^A , которая, в свою очередь, может быть задана как функция глубины отбора (известно, что сопротивление недренажному сдвигу с глубиной возрастает). Таким образом, модель может использоваться для воспроизведения поведения элементов достаточно большой мощности без необходимости разделять толщу на отдельные РГЭ.

Модель использует неассоциированный закон пластического течения и при этом учитывает сдвиговое упрочнение. Разработчиками модели отмечается, что изменение траектории нагружения и вида напряженного состояния влияет и на характер упрочнения. В связи с этим модель в качестве входных параметров требует ввода значения деформации сдвига при разрушении для каждой из трех траекторий.

С учетом того что прибор плоской деформации практически недоступен для проведения серийных испытаний, для упрощения практического применения модели ее параметры приведены к более привычным и распространенным методам. Входные параметры определяются по результатам испытаний образцов-близнецов в трех различных напряженных состояниях: при трехосном сжатии ($b=0$; $\theta=0^\circ$), трехосном растяжении ($b=1$; $\theta=60^\circ$) и простом сдвиге ($b=0,5$; $\theta=30^\circ$). Отношение между сопротивлением недренажному сдвигу при трехосном сжатии и в приборе плоской деформации принимается равным 0,99, что позволяет легко определить все остальные величины. Отметим, что для отечественной лаборатории это не снимает всех трудностей, так как приборы простого сдвига в РФ не используются, а трехосное сжатие с растяжением можно выполнить только в камерах трехосного сжатия типа Б по специальной схеме. Тем не менее даже при отсутствии специализированного оборудования можно оценить значения параметров по опубликованным соотношениям между ними, хотя полученный расчет допустимо использовать только в качестве предварительного.

Модель использует анизотропный закон упрочнения, то есть упрочнение будет определяться траекторией нагружения. Этот закон задается с помощью

Таблица. Параметры модели NGI-ADP и методы их определения

Параметр	Ед. изм.	Значение	Метод определения
$s_{u\ ref}^A$	кПа	Характеризует сопротивление недренированному сдвигу в условиях активного нагружения в приборе плоской деформации на некоторой известной глубине	Прибор плоской деформации (простого сдвига). Допускается косвенное определение на основании соотношения $s_u^C/s_{u\ ref}^A=0,99$
$s_u^C/s_{u\ ref}^A$	-	Позволяет изменять величину s_u^C в зависимости от $s_{u\ ref}^A$	Расчетом по результатам непосредственных испытаний (по литературным данным составляет 0,97–0,99)
$s_u^P/s_{u\ ref}^A$ ¹	-	Позволяет изменять величину s_u^P в зависимости от $s_{u\ ref}^A$	Расчетом по результатам непосредственных испытаний
$s_u^{DSS}/s_{u\ ref}^A$	-	Позволяет изменять величину s_u^{DSS} в зависимости от $s_{u\ ref}^A$	Расчетом по результатам непосредственных испытаний
$\tau_0/s_{u\ ref}^A$	-	Позволяет изменять величину τ_0 в зависимости от $s_{u\ ref}^A$	Расчетом на основании природного НДС
γ_{ref}	м	Глубина, для которой определены все параметры и соотношения между ними	На основании глубины отбора образца
$s_{u\ inc}^A$	кПа/м	Описывает увеличение сопротивления сдвигу с глубиной. Если задана равной нулю, то сопротивление сдвигу – постоянная величина	На основании испытаний образцов с различных глубин либо по данным зондирования
$G_w/s_{u\ ref}^A$	-	Позволяет изменять величину G_w в зависимости от $s_{u\ ref}^A$	На основании испытаний в приборах трехосного сжатия или простого сдвига
γ_f^C	-	Определяет предел сдвигового упрочнения при трехосном сжатии	На основании непосредственных испытаний
γ_f^E	-	Определяет предел сдвигового упрочнения при трехосном сжатии с растяжением	На основании непосредственных испытаний
γ_f^{DSS}	-	Определяет предел сдвигового упрочнения при простом сдвиге	На основании непосредственных испытаний

¹ Авторы указывают, что испытания в приборе плоской деформации не требуются, однако su^P определяется только в нем. По всей видимости, при пассивном нагружении также выполняется соотношение $su^E/su^P = 0,99$.


значений предельной деформации при разных напряженных состояниях. Более подробно ознакомиться с аналитическим обоснованием модели, а также с некоторыми частными результатами определения параметров можно в оригинальной публикации [1].

Несмотря на кажущуюся громоздкость списка параметров, для обоснова-

ния модели требуется всего три различных опыта:

- испытание на трехосное сжатие в режиме НН в полном соответствии с ГОСТ 12248.3;
- испытание на простой сдвиг в режиме НН в полном соответствии с ГОСТ Р 71042-2023;

Данная модель является одной из

наиболее детализированных моделей, позволяющих выполнять расчеты устойчивости оснований, сложенных слабыми водонасыщенными грунтами, и могла бы успешно применяться при проектировании инженерных сооружений на шельфе, в припортовых зонах, в транспортном строительстве и т.п. 

Список литературы ▶

1. Grimstad G., Andresen L., Jostad H.P. NGI-ADP: anisotropic shear strength model for clay // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2010. Vol. 36. P. 483–497.
2. Billington E.W. Generalized isotropic yield criterion for incompressible materials // Acta Mechanica. 1988. Vol. 72. P. 1–20.
3. Мирный А.Ю., Лузин И.Н., Рахматуллина Е.В. Метод определения прочности на растяжение связных грунтов и его применение в геотехнических расчетах // Геотехника. 2016. № 3. С. 24–30.



НОВЫЕ САНКЦИИ: УДАСТСЯ ЛИ ОСТАТЬСЯ С ИМПОРТНЫМ ПО. А НАДО ЛИ?

ДЬЯЧЕНКО ЛЮДМИЛА

Специальный корреспондент

АННОТАЦИЯ

Редакция журнала «ГеоИнфо» обратила внимание на рост количества анонсируемых мероприятий, посвященных цифровизации строительства, а также отечественному и импортному программному обеспечению (ПО). Кто-то подводит итоги ухода крупных зарубежных вендоров из России за два года, а кто-то готовится к новым санкциям против IT-сектора в РФ в сентябре 2024 года. Новые санкции – это значит, что закроется доступ к облачным хранилищам данных, прекратятся техобслуживание и поддержка, доступ к привычным сервисам станет сложнее и дороже. Даже оплаченная лицензия от этого не спасет.

Тем временем к рассмотрению в Госдуме РФ готовится законопроект о взимании дополнительных отчислений с компаний за пользование зарубежным ПО.

В преддверии большой конференции журнала «ГеоИнфо», посвященной автоматизации и цифровизации инженерно-геологических изысканий, в этой статье мы расскажем о том, как сориентироваться в мероприятиях по цифровизации строительной отрасли, и о том, что обсуждалось на экспертной сессии Московской конфедерации промышленников и предпринимателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

строительство; технологии информационного моделирования; импортное программное обеспечение; российское программное обеспечение; санкции; изменения нормативно-правовой базы; государственный заказчик; госконтракт; перенос данных; бесшовные программы.

NEW SANCTIONS: WILL IT BE POSSIBLE TO STAY WITH IMPORTED SOFTWARE? BUT IS IT NECESSARY?

D'YACHENKO LYUDMILA

Special correspondent

ABSTRACT

The editorial staff of the “Geoinfo” journal drew attention to the increase in the number of announced events dedicated to the digitalization of construction, as well as to domestic and imported software. Someone sums up the results of the withdrawal of major foreign vendors from Russia two years ago, and someone prepares for new sanctions against the IT sector in the Russian Federation in September 2024. New sanctions mean that the access to cloud datastores will be closed, maintenance and support will stop, the access to familiar services will become more difficult and expensive. Even a paid license will not save you from this.

Meanwhile, a draft law on charging additional deductions from companies for using foreign software is being prepared for consideration in the State Duma of the Russian Federation.

On the eve of the big conference of the “Geoinfo” journal dedicated to automation and digitalization of engineering-geological surveys, in this article we will talk about how to orientate oneself in the digitalization activities of the construction industry and about what was discussed at the expert session of the Moscow Confederation of Industrialists and Entrepreneurs.

KEYWORDS:

construction; information modeling technologies; imported software; Russian software; sanctions; changes in the regulatory framework; government customer; government contract; data transfer; seamless programs.

Как разобраться в мероприятиях ▶

Конференции на строительную ИТ-тематику можно ранжировать по организаторам, по программам выступлений, по условиям участия. Их организаторами обычно бывают органы власти, общественные объединения, коммерческие структуры, среди которых особняком стоят разработчики программного обеспечения (ПО).

Представители власти, как правило, информируют участников таких мероприятий об изменениях нормативно-правовой базы. Например, с 1 июля стало обязательным применение технологий информационного моделирования (ТИМ) для компаний, работающих с госзаказами. Они также должны быть включены в Информационную систему управления проектами государственного заказчика в сфере строительства (ИСУП).

Общественники-организаторы могут транслировать на таких мероприятиях интересы как государства, так и бизнеса. Если они связывают свою перспективу с государством, то лоббируют нужные им законы. Если они хотят как

можно меньше соприкоснуться с структурами, то их конференции, форумы, круглые столы носят коммерческий характер.

Разработчики ПО устраивают платные и бесплатные деловые встречи, рассказывают об обновлениях своих продуктов.

Что за санкции будут в сентябре ▶

Московская конфедерация промышленников и предпринимателей (работодателей) (МКПП(Р)) инициировала в августе экспертную сессию «Отечественное ПО: стратегии перехода».

«12 июня стало известно о новом пакете санкций в сфере ИТ-услуг. Они вступят в силу 12 сентября. Может быть, не сразу и не в полной мере, но нужно быть готовыми к тому, что уже нельзя будет работать так, как привыкли. Мы столкнулись с тем, что предприятия даже не знают об этих санкциях», – констатировал начальник управления промышленной политики, инновационного развития и предпринимательства МКПП(Р) Игорь Хлебников.

Расширенные санкции, о которых идет речь, – инициатива Министерства финансов США, согласованная с Государственным департаментом США и оформленная в виде дополнения к указу президента этой страны от 6 апреля 2022 года. В нем говорилось о запрете новых инвестиций в РФ и оказания ей определенных услуг.

В свете новых санкций запрещается предоставление любому лицу в РФ ИТ-услуг: консультирования, проектирования, техподдержки и облачных сервисов для управления предприятием, проектирования, производства. Вне санкций остаются организации, которые принадлежат американским владельцам или контролируются ими, а также причастные к экспорту, реэкспорту на основании лицензий и иных разрешений Министерства торговли США.

Для смягчения ситуации в РФ с июня 2022 года стали создаваться индустриальные центры компетенций, чья основная задача – анализ российского программного обеспечения на предмет соответствия потребностям бизнеса и

разработка отечественных аналогов зарубежного ПО.

До 2022 года почти все специализированное ПО было импортным. Некоторые компании всеми правдами и неправдами продолжают использовать импортное программное обеспечение. Они надеются, что им и на этот раз удастся выкрутиться. На словах они не отказываются переходить на российское ПО, а на деле откладывают переход на неопределенное время.

Зачем нужна цифровая вертикаль ▶

Руководитель комитета по информационному моделированию градостроительной деятельности АРПП «Отечественный софт» Михаил Бочаров, выступая на упомянутой экспертной сессии МКПП(Р), сказал, что к переходу на российское ПО толкают не только новые санкции в IT-сфере. Государство заинтересовано в создании цифровой вертикали управления строительством. Она похожа на централизованное управление экономикой в СССР. Ни в одной стране ничего похожего нет. Компаниям, которые хотят работать с госзаказами, нужно вписаться в эту систему и работать на отечественном программном обеспечении. У них две варианта выбора: создавать свое ПО или приобретать его у сторонних разработчиков. Оба пути имеют свои плюсы и минусы. Собственное программное обеспечение подходит только для того, кто его заказал. «Если каждое предприятие будет иметь свое ПО, рынок ПО будет погублен», – выразил опасение Бочаров.

Возможно, после 12 сентября западный IT-бизнес, которому нет дела до большой политики, начнет продавать лицензии в третьи страны, чтобы через них работать в России. Если какие-то российские компании увидят в этом для себя просвет, у них закроется окно возможностей для получения доступа к выгодным госконтрактам.

«Российские пользователи привыкли к лучшему, потому и используют теневые схемы. Те, кто осознает, что лучше с доступом к привычному ПО не станет, начинают сами разрабатывать или просят оказать поддержку с поиском и внедрением отечественных IT-решений», – продолжил тему представитель сервиса Правительства Москвы «Банк технологий» Дмитрий Костенко.

Процесс перехода на отечественное ПО сложен. Компании боятся потерь при переносе данных из зарубежных об-

лачных хранилищ в отечественное ПО. По мнению Михаила Бочарова, это напрасное опасение. На российском рынке достаточно бесшовных программ, чтобы совершить такой перенос безболезненно и продолжить работать.

Еще бывает, что директора слушают своих айтишников, а те уверяют, что все отечественное программное обеспечение плохое, и предлагают обходные пути к привычному зарубежному ПО.

Почему нужно ПО не красивое, а подходящее ▶

После ухода западных IT-компаний у нас в стране раздавалось много грантов на создание отечественных IT-продуктов. Потом оказалось, что многое из созданного не пользуется спросом.

«Придумано много классного ПО, которое нельзя применять. Внедрять нужно только IT-продукты, опробованные на практике, а у нас айтишники сделают что-то автономно так, как им видится, и говорят предлагают это внедрять», – рассказал Дмитрий Кулик, основатель компании ERP: AMD Solution, занимающейся разработкой отечественного программного обеспечения. «Разработчики спешат получить деньги за свое ПО. Производителю же нужна бесплатная демонстрационная версия демоверсия. Он будет за нее платить потом, когда поймет, что программа нужная», – продолжил он.

В Москве эту проблему решили созданием сервиса «Банк технологий». Он представляет собой реестр технологических решений, используемых в промышленности (в том числе в строительстве проектировании), предложений разработчиков и потребностей предприятий.

Компании плохо информированы о том, что есть в России, что им покупать. Есть случаи, когда предприниматели поспешили приобрести лицензию на отечественное ПО, разочаровались и вернулись к пиратскому импортному. Кто-то имеет официальную лицензию и считает, что он в безопасности. «Это иллюзия. Нужно готовиться к тому, что даже оплаченную лицензию отберут», – предупредил Костенко.

«У кого еще хоть как-то что-то работает, продолжают работать на привычном ПО. Нас приучили к обманным решениям», – констатировал генеральный директор ООО «МЕТРЕКС» Вячеслав Козлов.

Сейчас в выигрыше находятся компании, которые изначально использовали отечественное программное обес-

печение. «В 2014 году такие решения не были популярными, а в 2022 году вдруг стало ясно, что наша стратегия была правильной», – сообщил генеральный директор исполнительной дирекции ООО «МОСИТЛАБ» Ян Анисов.

Почему гранты нужно давать, а не раздавать ▶

Государство уже не раздает деньги просто так. Многие меры поддержки бизнеса отменены или видоизменены.

Больше не выдаются субсидии на проекты по разработке и внедрению российских решений в сфере IT, на разработку цифровых платформ и программных продуктов, на возмещение затрат на использование российского ПО.

Все финансовые ресурсы переброшены на поддержку особо значимых проектов. Правительство РФ готово выдавать гранты на суммы от 10 млн до 1 млрд руб. на внедрение российских решений в сфере IT при условии софинансирования в размере 50%. Такие решения должны быть тиражируемыми и подходящими для экспорта.

Правительство Москвы согласно компенсировать 20% затрат на приобретение ПО и его техническое сопровождение, если получатель является участником Московского инновационного кластера.

В АРПП «Отечественный софт» считают, что импортозамещение в стране больше похоже на лозунги. Вместо этого хотелось бы комплексного технологического суверенитета, создания отечественных IT-стандартов, форматов и правил управления данными, стимулирования не вендоров, а адресных потребителей к переходу на отечественное ПО.

Необходимо не просто замещать импорт, а на государственном уровне пересматривать правила игры. Пока же в России вроде есть выбор бесшовных лицензий ПО для управления проектами, командами, операционной деятельностью, но постоянно что-то идет не так, как заметил Михаил Бочаров.

Он также добавил, что не хватает твердого курса на импортозамещение в высшем образовании. В вузах студентов учат тому, как пользоваться западным ПО, несмотря на то что зарубежные компании ушли из России. Вот и появляются айтишники, которые уверяют директоров предприятий, что все российское ПО плохое.

Выводы ▶

Участникам строительного рынка хотелось бы быстрых и идеальных реше-

ний от государства, чтобы работалось без потерь. Государство что-то предпринимает, но не всегда его решения эффективны.


Бизнес изобретает варианты того, как двигаться дальше – с государством или без него. Без него – это значит не участвовать в строительстве на бюджетные деньги, но пользоваться любимым импортным ПО. Государство не запрещает такую траекторию развития, но ставит бизнес в такие условия, чтобы он добровольно отказался от зарубежного программного обеспечения. Например, к рассмотрению в Госдуме готовится за-

конопроект о сборе платы с бизнеса за использование импортного программного обеспечения.

Участники профессиональных Telegram-чатов возмущаются: «Отечественное ПО разрабатывается за бюджетные деньги, продается по высокой цене. “Нанокad” уже стоит 40 тысяч рублей в год за одно рабочее место, а “Автокад” стоил 12 тысяч рублей в год до ухода с российского рынка».

Пользователям хотелось бы, чтобы уровень разрабатываемого российского ПО соответствовал уровню замещаемого и ценник не был бы в три раза выше.

Некоторые компании не участвуют в госконтрактах только по этой причине и намерены искать пути для обхода новых санкций в IT-секторе.

Подобные наболевшие проблемы и побуждают организаторов мероприятий браться за цифровую тематику. Участники таких форумов хорошо набираются. Организаторам остается только определиться с выбором встречи и понять, что на данный момент приоритетно – обсуждение или принятие какого-то решения. Ведь далеко не все определились с тем, как работать после новых санкций. 

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU



ЕВГЕНИЙ БИБИН: РОСТЕХНАДЗОР ПЛАНОМЕРНО СОКРАЩАЕТ КОЛИЧЕСТВО БЕСХОЗЯЙНЫХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

АННОТАЦИЯ

В этом году все – и рядовые жители, и профильные специалисты – отметили тревожную закономерность. За достаточно короткий промежуток времени смыло сразу несколько дамб, некоторые из которых были весьма крупными и важными для своих регионов. Что стало причиной этого?

Заместитель начальника управления государственного энергетического надзора Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) Евгений Бибин рассказал редакции журнала «ГеоИнфо» о том, кому принадлежат гидротехнические сооружения (ГТС), что происходит с объектами, у которых нет хозяина, и как сократить количество аварий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

гидротехническое сооружение; защитное гидротехническое сооружение; авария; предотвращение аварии; вероятность чрезвычайной ситуации; ответственность; безопасность; проектная документация; государственная экспертиза; декларация безопасности; мониторинг; контроль технического состояния; квалификация; строительные материалы.

EVGENIY BIBIN: THE FEDERAL SERVICE FOR ENVIRONMENTAL, TECHNOLOGICAL AND NUCLEAR SUPERVISION IS SYSTEMATICALLY REDUCING THE NUMBER OF OWNERLESS HYDRAULIC STRUCTURES

ABSTRACT

This year, everyone (both ordinary residents and specialized experts) have noted an alarming pattern. In a relatively short period of time, several dams have been washed away. At that, some of them were quite large and important for their regions. What was the reason for this?

Evgeniy Bibin, the deputy head of the Department of State Energy Supervision of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision told the editorial staff of the "GeoInfo" journal about who owns hydraulic structures, what happens to the objects that have no owners, and how to reduce the number of accidents.

KEYWORDS:

hydraulic structure; protective hydraulic structure; accident; accident prevention; probability of emergency situation; responsibility; safety; design documentation; state expertise; safety declaration; monitoring; technical condition control; qualification; building materials.

Ответственность за состояние гидротехнического сооружения несет собственник ▶

Ред.: Евгений Алексеевич, в этом году произошло несколько событий, когда гидротехнические сооружения, созданные для защиты от воды, себя не оправдали. Последствия масштабно освещались в СМИ. Среди множества причин звучали и такие: плохие хозяева или отсутствие хозяев. Сколько в России гидротехнических сооружений (ГТС) и кому они принадлежат?

Е.Б.: Общее количество поднадзорных Ростехнадзору ГТС и комплексов ГТС, повреждения которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, составляет 20 179. Из них 792 относятся к промышленности, 418 – к энергетике, 18 969 имеют водохозяйственное назначение, 2122 (10,5%) предназначены для защиты населения и промышленных предприятий от паводков. последние – это так называемые защитные ГТС. Из них 309 (14,5%) являются бесхозными.

Ред.: Кто и как должен следить за состоянием гидротехнического сооружения – ремонтировать, оплачивать эти работы?

Е.Б.: Правоотношения в области безопасности ГТС регулируются Фе-

Справка

Гидротехническими называются сооружения, созданные для использования водных ресурсов и для защиты от вредного воздействия воды. К ним относятся дамбы и плотины, шлюзы и судоподъемники, ГЭС и насосные станции, тоннели и каналы, пирсы и волноломы, молы, водяные мельницы, колодцы и другие объекты.



деральным законом от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений». В нем говорится, что ответственность за безопасное эксплуатационное состояние сооружения несет собственник либо другое юридическое лицо, которому оно передано в эксплуатацию. Данная ответственность действует до момента перехода прав собственности к другому физическому или юридическому лицу до полного завершения работ по ликвидации ГТС.

Гидротехническое сооружение должно соответствовать требованиям безопасности ▶

Ред.: *В СМИ высказывалось мнение, что на гидротехнические сооружения «не распространяются требования деклараций о безопасности и мониторинге». Можете это пояснить?*

Е.Б.: Данное мнение ошибочно. На организации, эксплуатирующие гидротехнические сооружения, которые подпадают под надзор в соответствии с требованиями Федерального закона от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», то есть те ГТС, повреждения которых могут привести к чрезвычайным ситуациям, распространяются требования по разработке декларации безопасности ГТС, а также по обеспечению мониторинга показателей состояния сооружения.

Справка. Собственник возмещает ущерб в результате аварии

В соответствии со статьей 10 Федерального закона от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» собственник ГТС и/или эксплуатирующая организация несет ответственность за безопасность этого ГТС (в том числе в соответствии со статьями 16, 17 и 18 указанного закона возмещает ущерб, нанесенный в результате аварии гидротехнического сооружения) вплоть до момента перехода прав собственности к другому физическому или юридическому лицу либо до полного завершения работ по ликвидации ГТС.

Справка. Безопасность ГТС включает в себя и квалификацию работников

В соответствии с положениями Федерального закона от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» обеспечение безопасности ГТС осуществляется на основании таких общих требований, как:

- обеспечение допустимого уровня риска аварий на ГТС;
- представление деклараций безопасности ГТС;
- осуществление федерального государственного надзора в области безопасности ГТС;
- непрерывность эксплуатации ГТС;
- осуществление мер по обеспечению безопасности ГТС, в том числе установление критериев их безопасности, оснащение гидротехнических сооружений техническими средствами в целях постоянного контроля их состояния, обеспечение необходимой квалификации работников, обслуживающих ГТС;
- необходимость заблаговременного проведения комплекса мероприятий по максимальному уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на ГТС;
- ответственность за действия (бездействие), которые повлекли за собой снижение безопасности ГТС ниже допустимого уровня.

Справка. Собственник обязан контролировать состояние ГТС

В соответствии с законом собственник гидротехнического сооружения и/или эксплуатирующая организация обязаны:

- обеспечивать соблюдение обязательных требований при строительстве, капитальном ремонте, эксплуатации, реконструкции, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений, а также их техническое обслуживание, эксплуатационный контроль и текущий ремонт;
- обеспечивать контроль (мониторинг) показателей состояния ГТС, природных и техногенных воздействий и на основании полученных данных осуществлять оценку безопасности гидротехнического сооружения, в том числе регулярную оценку безопасности ГТС и анализ причин ее снижения с учетом работы ГТС в каскаде, вредных природных и техногенных воздействий, результатов хозяйственной и иной деятельности, в том числе деятельности, связанной со строительством и с эксплуатацией объектов на водных объектах и на прилегающих к ним территориях ниже и выше гидротехнического сооружения;
- обеспечивать разработку и своевременное уточнение критериев безопасности ГТС, а также правил его эксплуатации, требования к содержанию которых устанавливаются федеральными органами исполнительной власти в соответствии с их компетенцией;
- развивать системы контроля состояния ГТС;
- систематически анализировать причины снижения безопасности ГТС и своевременно разрабатывать и реализовывать меры по обеспечению технически исправного состояния гидротехнического сооружения и его безопасности, а также по предотвращению аварии на ГТС;
- обеспечивать проведение регулярных обследований ГТС.





Количество бесхозных ГТС сокращается, но выявляются новые ▶

Ред.: В СМИ, которые описывали последствия паводков в Оренбургской области, Карелии и других регионах, было много дискуссий по поводу правильных и неправильных материалов для строительства ГТС. Почему используются материалы, которые могут быть размыты? Кто и как их выбирает?

Е.Б.: Гидротехнические сооружения проектируются в соответствии с требованиями:

- Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
- Федерального закона от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;
- Федерального закона от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»;
- сводами правил, разработанными во исполнение упомянутых федеральных законов, основным из которых является СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения».

В настоящее время при строительстве гидротехнических сооружений, особенно I и II классов, вся проектная документация в обязательном порядке проходит государственную экспертизу в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности. В рамках этой экспертизы осуществляется проверка правильности выбора строительных материалов.

Ред.: Еще одна популярная тема дискуссий в СМИ и профессиональ-

ных сообществах – «системная проблема, которая привела к авариям». Что под этим понимается с Вашей точки зрения?

Е.Б.: Значительная часть защитных ГТС, участвующих в пропуске половодий и паводков и защите территорий от затопления (1446 объекта), находится в собственности муниципальных образований. Их бюджеты ограничены и не позволяют выполнять все необходимые работы, направленные на обеспечение надежности и безопасности ГТС, в том числе на разработку деклараций безопасности ГТС. Над решением этой проблемы работает Правительственная комиссия по предупреждению и ликвидации на территориях отдельных субъектов РФ последствий природных явлений, вызванных негативным воздействием паводковых вод. В рамках работы этой комиссии Ростехнадзор предложил рассмотреть вопрос передачи защитных гидротехнических сооружений, находящихся в муниципальной собственности, в собственность субъектов РФ с формированием региональных программ обеспечения безопасности защитных ГТС, учитывающих выделение целевых средств на их поддержание в исправном состоянии.

Значительное количество бесхозных гидротехнических сооружений на территории России – это один из наиболее проблемных вопросов в области обеспечения безопасности ГТС на протяжении многих лет. Ростехнадзор ведет непрерывную работу по сокращению количества бесхозных ГТС.

По итогам первого полугодия 2024 года, в 56 субъектах РФ насчитыв-

валось 2175 бесхозных гидротехнических сооружений. Их количество сокращено на 227 при 112 вновь выявленных.

Таким образом, сводное количество бесхозных ГТС уменьшилось на 115, или на 5% (если сравнивать с соответствующим показателем на 1 января 2024 года, когда было 2290 бесхозных сооружений).

В целом за последние 12 лет количество бесхозных ГТС сокращено более чем в три раза – с 7069 до 2175.

Требования безопасности нельзя игнорировать ▶

Ред.: Что такое строительная вероятность чрезвычайной ситуации [ЧС] применительно к гидротехническому сооружению?

Е.Б.: При оценке вероятного вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии на ГТС в соответствии с методикой, утвержденной приказом Ростехнадзора от 10 декабря 2020 года № 516, разработчик декларации безопасности ГТС определяет сценарии и вероятности возникновения и развития аварий. Количественная оценка вероятностей аварий на гидротехнических сооружениях может выполняться в соответствии с требованиями переизданного ГОСТ Р 22.2.09-2015 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экспертная оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений. Общие положения».

Ред.: Что может быть предпринято для предотвращения аварий?

Е.Б.: Основной принцип предотвращения аварийных ситуаций на ГТС – это соблюдение собственниками гидротехнических сооружений и/или эксплуатирующими организациями обязательных требований, в том числе по декларированию их безопасности и контролю технического состояния ГТС, в особенности в период прохождения весеннего половодий и паводков.

Также важно, чтобы финансирование мероприятий по обеспечению безопасности ГТС было достаточным.

Много полезной информации для специалистов и собственников гидротехнических сооружений есть на официальном сайте Ростехнадзора. Здесь же можно почтить и про уроки, извлеченные из аварий, разрушений гидротехнических сооружений, и сделать необходимые выводы. **И**



КАК ДЕГРАДАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ПРИВЕЛА К МАССОВЫМ АВАРИЯМ НА ДАМБАХ: МНЕНИЕ ПРОЕКТИРОВЩИКА

БУЛГАКОВ А.А.

Индивидуальный предприниматель, осуществляющий деятельность в области архитектуры, инженерных изысканий, проектирования и строительного контроля; эксперт в сфере водоснабжения и водоотведения

АННОТАЦИЯ

2024 год претендует на звание года потопов. Весной паводки разрушили гидротехнические сооружения в нескольких регионах Урала и Западной Сибири. Больше всего пострадал город Орск в Оренбургской области. Летом за две недели произошли четыре катастрофы в Карелии, Бурятии, Челябинской области и Приморском крае.

В числе причин аварий назывались: продолжительные осадки, жизнедеятельность грызунов, неверная оценка паводка, ошибки в проектировании, диверсия, нарушение правил эксплуатации, нарушения в объемах строительства (когда по документам все сделано, а по факту нет), некачественные или неправильные материалы.

Предприниматель, эксперт в сфере водоснабжения и водоотведения Анатолий Булгаков из г. Белгорода считает, что все это частные причины аварий, а главная – тотальная деградация строительной отрасли. Редакция журнала «ГеоИнфо» предложила ему обосновать свое мнение и рассказать, с чем сталкиваются специалисты, что нужно делать, чтобы вода перестала сносить все на своем пути.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

гидротехнические сооружения; аварии; исходно-разрешительная документация; инженерные изыскания; проектирование; государственная экспертиза; негосударственная экспертиза; строительство; эксплуатация; нормативная документация; качество; квалификация; системная деградация.

HOW THE DEGRADATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY LED TO MASS DAM FAILURES: A DESIGNER'S OPINION

BULGAKOV A.A.

Individual entrepreneur, operating in the fields of architecture, engineering surveys, design, and construction control; expert in the field of water supply and water dump

ABSTRACT

The year 2024 pretends to be the year of floods. In the spring, high waters destroyed hydraulic structures in several regions of the Urals and Western Siberia. The city of Orsk in the Orenburg region suffered the most. In the summer, four disasters occurred in two weeks in Karelia, Buryatia, the Chelyabinsk Region and the Primorye Territory.

Ones considered that the causes of those accidents were: prolonged atmospheric precipitations, rodent activities, incorrect high water assessments, design errors, subversive actions, operating rule violations, construction volume violations (when everything had been done according to documents, but in fact had not), substandard or incorrect materials.

Anatoliy Bulgakov, an entrepreneur and expert in the fields of water supply and sanitation from Belgorod, believes that all of those are private causes of accidents, and the main one is the total degradation of the construction industry. The editorial staff of the "GeoInfo" journal invited him to justify his opinio and to tell what experts are facing, what needs to be done so that the water stops demolishing everything in its path.

KEYWORDS:

hydraulic structures; accidents; initial permitting documentation; engineering surveys; design; state expertise; non-state expertise; construction; operation; regulatory documentation; quality; qualification; systemic degradation.

Низкое качество исходно-разрешительной документации ►

Сейчас почти невозможно найти объект, на старте проектирования которого была бы в наличии вся исходно-разрешительная документация, предусмотренная пунктом 10, б Постановления Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». Сплошь и рядом чего-то не хватает. В начале проектирования может не быть задания на проектирование или на инженерные изыскания, технических условий на подключение и т.д. Но время идет, сроки поджимают, а проектировать нужно – вот и начинают работать исходя из того, что есть.

Исходно-разрешительные документы появляются потом, в середине работы или перед заходом на экспертизу. Часто оказывается, что в соответствии с ними нужно переделать половину проекта или вообще весь проект. В оставшиеся сроки это сделать невозможно, и начинаются всякие ухищрения по подгонке того, что есть, к тому, что должно быть.

Проблема усугубляется отсутствием квалифицированных кадров со стороны заказчика, хоть государственного, хоть

частного. Если раньше существовал институт службы заказчика, состоявший из специалистов со строительным образованием, то теперь от лица заказчика могут выступать люди, никак не связанные с проектированием и строительством, не понимающие специфики отрасли. Они не умеют составлять задание на проектирование, принимать решение, когда требуется решение от заказчика, и еще много чего другого.

Еще бывает, что на негосударственную экспертизу приносят градостроительный план участка, задание на проектирование, технические условия, а проектировщики этих документов не видели.

Низкое качество нормативно-технической документации ►

На данный момент нумерация сводов правил (СП) перевалила за 500, и это только количественный показатель. Существует много других документов, которыми необходимо руководствоваться при проектировании.

Качество нормативной документации низкое. Например, в Постановлении Правительства РФ № 87 «О составе разделов проектной документации и

требованиях к их содержанию» в требованиях к материалам разделов «Водоснабжение и водоотведение» необходимо привести схему систем и план сетей. Но определения, позволяющего понять разницу между этими терминами, в нормативной документации нет.

Есть около семи разных косвенных определений в Градостроительном кодексе, Федеральном законе от 07.12.2011 № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении», Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Но они не позволяют понять разницу между инженерной сетью и инженерной системой или разобраться, где заканчивается одно и начинается другое. Налицо нарушение логического закона тождества, который говорит о том, что у определения должен быть только один смысл, без возможности толковать его как-то иначе.

Постоянно приходится сталкиваться и с тем, что в нормативной документации, в частности в сводах правил, отсутствуют основополагающие определения, что не позволяет однозначно понимать многие положения таких СП. Встречаются противоречия и несосты-

ковки как внутри самих сводов правил, так и между смежными СП и другими нормативными документами. Приходится догадываться, что хотели сказать авторы в каком-то пункте, опираться на предыдущие версии сводов правил, на справочную литературу.

На низкое качество документации обратил внимание и заместитель председателя Правительства РФ Марат Хуснуллин. В интервью газете «Ведомости» он сказал: «Градостроительный кодекс очень сложный сам по себе, он написан сложным языком. Даже я, будучи профессионалом, с трудом в этом разбираюсь. Потому что за время работы в него было внесено столько изменений, что их даже невозможно уловить. Надо прочитать еще кучу ссылок, указывающих на изменения в статьях».

Это касается не только Градостроительного кодекса, но и большей части нормативных документов. Очень сложно уловить смысл среди разночтений, при отсутствии определений и наличии противоречий.

Низкая квалификация проектировщиков ▶

Почти на всю проектную документацию, заходящую на экспертизу, можно сходу давать отрицательное заключение не только по формальным признакам, но и по наличию серьезных технических недостатков. Проектировщики работают без исходно-разрешительной документации, не успевают за актуализацией нормативной документации, не в состоянии выполнять расчеты и т.д.

О низкой квалификации проектировщиков постоянно говорит в своих выступлениях начальник Главгосэкспертизы РФ Игорь Маньлов. Ситуация настолько печальна, что сотрудники этого ведомства намерены участвовать

в процессе проектирования с самого начала – с подготовки задания на проектирование.

В негосударственной экспертизе все аналогично. Экспертам нередко приходится исправлять задание на проектирование, чтобы оно соответствовало нормам и целям проектирования, так как ни проектировщики, ни заказчики этого сделать не смогли.

Имеет место также низкая зарплата «на входе» в профессию. Чтобы претендовать на более высокое вознаграждение, нужно нарабатывать опыт в течение 3–10 лет. Молодые специалисты не хотят столько ждать и уходят.

Сказалась и так называемая оптимизация расходов проектных организаций в виде сокращения штатных главных специалистов и руководителей, то есть тех, кто занимался внутренней проверкой проектной документации и обучением новых кадров. Теперь наставников нет. Некому исправлять ошибки, объяснять. Неопытные специалисты приходят «в пустоту», видят только замечания экспертизы, не всегда понятные и обоснованные, не ориентируются в нормативной базе и постоянном ее обновлении.

Низкое качество экспертизы ▶

Хотя чиновники из госэкспертизы и говорят о низком качестве проектной документации и недостаточной квалификации проектировщиков, нельзя забывать, что штат экспертов пополняется этими же самыми проектировщиками.

В итоге требования органов государственной экспертизы разнятся между собой и не соответствуют сводам правил. Вдобавок количество органов госэкспертизы, в том числе региональных, выросло. У них могут быть «свои требования», не подкрепленные требо-

ваниями нормативной документации и даже противоречащие им. И нет никакого механизма оспорить или как-то повлиять на позицию эксперта во время экспертизы.

Все это происходит не только в ходе реализации проектных решений. По тому, на чем настаивают строители, какие вопросы задают, становится понятно, что среди них тоже много неквалифицированных специалистов. Зато есть желание сэкономить везде, где можно и где нельзя.


Некомпетентные сотрудники встречаются также в госструктурах, участвующих в процессе проектирования и строительства. Иногда специалистам из негосударственной экспертизы приходится составлять за них письма, технические условия, потому что они сами не смогли подготовить необходимый технически грамотный документ.

Выводы ▶

Аварии на гидротехнических сооружениях – закономерный результат системной деградации отрасли. Построенный объект получится качественным, только если качественно выполнялись работы на всех этапах его жизненного цикла: исходно-разрешительная документация, инженерные изыскания, проектирование, экспертиза, строительство, эксплуатация.

Если хоть на одном этапе была допущена ошибка, она может погубить качественную работу остальных этапов. В текущих условиях ошибки присутствуют на всех этапах, что и приводит к нежелательным последствиям.

Чтобы предотвратить аварии, необходимо исправлять ситуацию в отрасли. Начинать нужно с подготовки качественной исходно-разрешительной документации. **и**



Телеграм-канал журнала

ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>

Здесь может быть ваша
РЕКЛАМА



- Рекламная статья в журнале – **35 000 рублей.**

В каждую статью могут быть добавлены любые дополнительные

- материалы: каталоги оборудования, прайсы, фотографии, видеоролики, демоверсии программ и пр.

- Логотип в разделе «Спонсоры проекта» в правой колонке – **35 000 рублей в месяц.**

Все наши спонсоры получают свою персональную страницу на сайте журнала, где размещается информация о компании-спонсоре, все статьи

- ее сотрудников, опубликованные в журнале «ГеоИнфо» или в Базе знаний, а также любые дополнительные материалы (каталоги, буклеты, видео).

Коллеги и друзья! Наше с Вами рекламное сотрудничество будет взаимовыгодным. Вы получите отличную площадку для лоббирования

- своих интересов, а мы – возможность и дальше развивать проект, бороться за интересы отрасли инженерных изысканий и помогать профессионалам.

WWW.GEOINFO.RU



АВАРИИ НА ДАМБАХ: ВИНОВНЫХ МНОГО, А ОТВЕЧАТЬ НЕКОМУ. НУ КАКОЙ СПРОС С КРЫС?

ДЬЯЧЕНКО ЛЮДМИЛА
Специальный корреспондент

АННОТАЦИЯ

Минстрой России держит на контроле восстановление жилья и инфраструктуры в г. Орске, который пострадал от весеннего паводка 2024 года больше всего. Фоторепортажи регулярно публикуются на интернет-страницах ведомства.

Всего в Оренбургской области было обследовано почти 29,5 тыс. жилых помещений в многоквартирных и частных домах. Из федерального бюджета выделили средства для ремонта 60 объектов ЖКХ, 26,5 км дорог, 3 объектов благоустройства и дамбы в Орске.

Но наводнениями во время весеннего разлива рек на Урале и в Западной Сибири дело не ограничилось. Летом в течение двух недель одна за другой произошли еще четыре катастрофы – в Челябинской области, Карелии, Бурятии и Приморском крае.

Сценарии были схожими. Сначала – природное явление (дождь или паводок), затем – авария на гидротехническом сооружении, резкий подъем воды, стремительное разрушение жилых, гражданских и промышленных объектов. Все это эмоционально усиливалось публикациями в СМИ и рассказами очевидцев в соцсетях. Финал – поиск виновных и работа с недовольным населением, ведь компенсации не покрывали потери.

В этой статье мы напомним подробности пяти нашумевших происшествий, поразмышляем об их причинах и приведем мнения экспертов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

гидросооружение; безопасность; катастрофа; авария; наводнение; чрезвычайная ситуация; животные-землерои; ошибки в изысканиях; ошибки в проектировании; бесхозное сооружение; сокращение расходов; содержание объектов; баланс муниципалитета; региональный бюджет; федеральный бюджет.

DAM ACCIDENTS: MANY GUILTY ONES, BUT NO ONE TO ANSWER. WELL, WHAT IS THE DEMAND FROM RATS?

D'YACHENKO LYUDMILA
Special correspondent

ABSTRACT

The Ministry of Construction of Russia is controlling the restoration of the housing and infrastructure in Orsk, which suffered the most from the spring flood in 2024. Photo reports are regularly published on the Department's web pages.

In total, almost 29.5 thousand residential spaces in apartment and private houses were observed in the Orenburg region. Funds were allocated from the federal budget to repair 60 housing and communal services facilities, 26.5 km of roads, 3 land improvement facilities, and a dam in Orsk.

But the floods, which happened during the spring high water in rivers in the Urals and Western Siberia, were not limited to. In the summer, four more disasters occurred one after another within two weeks (in the Chelyabinsk region, Karelia, Buryatia, and Primorye Territory).

The scenarios were similar. First, a natural phenomenon (rain or flood) happened, then an accident occurred at a hydraulic structure, then a sharp rise in water occurred, which led to the rapid destruction of residential, civil and industrial facilities. All of that was emotionally enhanced by publications in the media and eyewitness' accounts on social networks. The final was the search for the guilty ones and work with the dissatisfied population, because compensations did not cover the losses.

In this article, we will recall the details of five sensational events of such kind, reflect on their causes and provide some experts' opinions.

KEYWORDS:

hydraulic structure; safety; disaster; accident; flood; emergency; burrowing animals; engineering survey errors; design errors; ownerless structure; cost reduction; facility maintenance; municipal balance; regional budget; federal budget.

Орскую дамбу прогрызли мыши? ►

Дамба в Орске была прорвана 5 апреля 2024 года, уровень воды в реке Урал повысился на 9,6 м. Помимо Оренбургской области весенняя вода затопила населенные пункты Курганской, Тюменской и Челябинской областей.

Эта катастрофа была как неожиданной, так и ожидаемой. Осенью 2023 года в этих местах выпало много осадков. Вода по большей части не впиталась в почву – оттого река Урал разлилась сильнее обычного.

Однако прогнозы метеорологов были проигнорированы. Жители сел возле водохранилища также сообщали, что идет большая вода, но местные власти не предпринимали никаких мер. Не проводился сброс воды в Ириклинском водохранилище – и оно переполнилось. Правда, это всего лишь одна из причин. Назывались и другие, в том числе экзотические. Например, что дамбу прогрызли мыши или крысы.

Возмущенные пользователи интернета писали, что это очередная фантазия чиновников, которые не хотят нести ответственность. У представителей науки схожее мнение, а версию про грызунов, например, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН, доктор технических наук Михаил Болгов в интервью сетевому изданию «РИА Новости» назвал экзотической гипотезой. По его мнению, «причиной прорыва дамбы в Орске, скорее всего, стал строительный брак».

Схожей точки зрения придерживается и директор АНО «Зеленая цивилизация», кандидат биологических наук Дмитрий Федоров, к которому за комментариями обратились на телеканале «Царьград»: «Будь дамба в Орске построена по проекту, никакие грызуны ей были бы не страшны, поскольку совершенно не были бы в ней заинтересованы. Грызунам попросту нечего делать в дамбе, укатанной из плотных глин и построенной на серьезном основании, в соответствии с проектом».

Сейчас идет восстановление разрушенной инфраструктуры. Недавно губернатор Оренбургской области Денис Паслер рассказал в своем Telegram-канале о сентябрьском заседании правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации последствий паводка.

Госэкспертиза выдала заключение на участки проранов (промоин) орской дамбы. В конце сентября начнутся аварийно-восстановительные работы, которые планируют завершить к концу этого года. Запланированы инженерные изыскания и научные исследования, чтобы понять, надо ли укреплять дамбу или готовить ее к реконструкции.

Пострадавших граждан волнуют компенсации на ремонт. Целевые деньги из федерального бюджета в региональный поступают небыстро, а скоро зима. «Одни обещания», – пишут в комментариях подписчики губернаторского канала. Есть желающие застраховать имущество на случай нового наводнения, а страховые компании отказываются



ся, если не был сделан капитальный ремонт жилья.

Четыре летних наводнения могли быть вызваны дождями ►

Первое наводнение

26 июля 2024 года вода, накопившаяся в результате ливней, прорвала 100-метровый участок 500-метровой дамбы на Киалимском водохранилище в Челябинской области.

Синоптики прогнозировали подъем воды. Однако Ростехнадзор увидел основополагающую причину не в обильных осадках, а в неправильных эксплуатации и техническом обслуживании сооружения. В частности, не проводился текущий ремонт, не было средств контроля состояния дамбы.

Второе наводнение

Рано утром 29 июля 2024 года в Карелии вода размывла временную дамбу, которую эксплуатировали в период ремонта участка Беломорско-Балтийского канала в Сеgezском округе. Предположительно ее соорудили из песка, а это самая подверженная размыву субстанция, тем более что прошли сильные дожди. Вода снесла дачный кооператив, несколько человек пропали без вести.

Еще одна возможная причина катастрофы – некачественная подготовка проекта.

Третье наводнение

3 и 4 августа 2024 года в Бурятии вода атаковала дамбу Хонхойского водохранилища. Паводок повредил 170 км федеральных и региональных автодорог, смыл три моста и железную дорогу. Власти объявили режим чрезвычайной ситуации (ЧС) республиканского масштаба.

Четвертое наводнение

6 августа 2024 года прорвало дамбу в г. Дальнереченске Приморского края. Как и в предыдущих случаях, вода подтопила населенные пункты, смыла мосты и дороги. Региональная прокуратура посчитала виновными местных чиновников и передала документы в Следственный комитет РФ для возбуждения уголовного дела о халатности на основе выявленных нарушений.

Аварии на гидросооружениях периодически происходят ►

Поскольку последние четыре наводнения произошли одно за другим, закономерен вопрос: «Почему так много аварий на дамбах?»

Профессор кафедры гидрологии суши, заведующий лабораторией эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева при географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова Сергей Чалов ответил на этот вопрос редакции журнала «ГеоИнфо» вопросом: «А почему вы считаете, что их много»? По его мнению, катастрофы происходят, но оперировать категориями «много» и «мало» некорректно. В качестве примеров крупных происшествий последних десятилетий в РФ собеседник назвал аварию технического характера на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году и паводок в г. Крымске в 2012 году.

На вопрос, что может быть предпринято для предотвращения катастроф на гидротехнических сооружениях, Чалов ответил: «Чтобы контролировать ситуацию, нужно заниматься мониторингом и прогнозом водного стока, проводить более обширные и частые измерения по сравнению с тем, как это делается в стране сегодня».

Версию о том, что дамбу в г. Орске прогрызли мыши, он не счел абсурдной. Неоднократно проводились научные исследования, которые показали, что животные-землерои могут существенно влиять на эксплуатацию земляных гидросооружений. Например, в дамбе на реке Дирилло на острове Сицилия с помощью георадаров была обнаружена сложная система тоннелей из нор дикобразов, способных влиять на ее устойчивость. При их наличии и наводнении эрозия развивается интенсивнее и гидротехнический объект разрушается. Землеройные животные наносят большой ущерб земляным плотинам во всем мире. И в некоторых странах эта проблема признана. В Китае даже создана специальная служба, которая следит за дамбами и грызунами в нижнем течении реки Хуанхэ, где ее русло располагается выше поймы из-за береговых земляных дамб, высота которых вдобавок растет из-за наносов.

Далее Сергей Чалов сказал, что, безусловно, к авариям также приводят ошибки в изысканиях и проектировании, прежде всего неправильный учет водного стока, других гидрологических процессов и явлений. Например, при строительстве советскими инженерами плотины на реке Хуанхэ были неправильно оценены объемы стока наносов. Специалисты не знали, что здесь наносы накапливаются рекордными темпами. Когда это стало известно, была выполнена реконструкция гидроузла.

На Камчатке Быстринская ГЭС много лет работала с мощностью ниже проектной, потому что при проектировании неправильно были рассчитаны значения потока донных наносов на реке Быстрая.

У многих гидротехнических сооружений нет хозяев ►

Главный конструктор компании «Геоизол Проект» Павел Александров подчеркнул, что ошибки, которые приводят к наводнениям, вероятны на любом этапе изысканий и проектирования, на строительной площадке и во время эксплуатации. «Чрезвычайная ситуация может быть вызвана как отдельными факторами, так и их сочетанием. Допустим, изменилась гидрогеологическая обстановка и негативно отразилась на устойчивости конструкций, а решающую роль в развитии деформаций сыграли аномальные осадки. О конкретике можно говорить лишь на основании технического отчета», – добавил он. По его мнению, многое зависит от квалификации технического заказчика и исполнителя работ, от контроля. При проектировании гидротехнических сооружений высоких классов опасности требуется научно-техническое сопровождение, когда сторонняя специализированная организация проверяет проектные решения и выполняет расчеты с применением альтернативных программных комплексов. Но говорить «о какой-то системной проблеме», которая привела к произошедшим в этом году авариям на дамбах, уверен Александров, некорректно. Они не связаны между собой.

Альтернативная точка зрения – у эксперта в сфере водоснабжения и водоотведения Анатолия Булгакова. Он считает, что именно системная проблема вызвала череду аварий на гидротехнических сооружениях, а именно: тотальная деградация строительной отрасли. Под деградацией подразумевается низкое качество исходно-разрешительной и нормативно-технической документации, недостаточная квалификация проектировщиков и сотрудников органов экспертизы. Исправлять ситуацию нужно в целом в строительной отрасли, а начинать надо с подготовки качественной исходно-разрешительной документации.

Заместитель начальника управления государственного энергетического надзора Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) Ев-

гений Бибин сделал акцент на необходимости уменьшения количества бесхозяйных гидротехнических сооружений и повышения спроса с собственников объектов.

Ростехнадзор ведет непрерывную работу в этом направлении. По итогам первого полугодия 2024 года, в 56 субъектах РФ насчитывалось 2175 бесхозяйных объектов. Их количество сокращено на 227, однако вновь выявлено 112. В целом, за последние 12 лет число бесхозяйных гидротехнических сооружений уменьшилось более чем в 2 раза – с 7069 до 2175.

Вырастут и расходы, и ответственность собственников дамб ▶

С 1 сентября 2024 года в России начал действовать рискоориентированный метод оценки безопасности гидротехнических сооружений. Это значит, что собственники больше не обязаны составлять индивидуальные планы эксплуатации объектов и должны следовать новым федеральным нормам, утверждать планы техобслуживания.

Контролировать безопасное состояние сооружений станут аттестованные Ростехнадзором эксперты. Они будут опираться на анализ текущей ситуации, а не на условия, существовавшие в момент проектирования.

Первый вице-президент Российского союза инженеров Иван Андриевский считает, что общее количество обязанностей у собственников не увеличится, а безопасность сооружений повысится. Причина, объединяющая все аварии и катастрофы на дамбах, как он сказал в интервью «Парламентской газете», существует – это сокращение расходов на содержание объектов. Например, в г. Орске годовое обслуживание дамбы, где весной произошел прорыв, оценивалось примерно в 2,5–3 млн руб. Фактически же средств было вдвое меньше.

По новому закону собственники обязаны будут обследовать плотины. В среднем затраты на один объект составят 400 тыс. руб.

Многие дамбы находятся на балансах муниципалитетов. Однако местные бюджеты имеют ограниченные ресурсы. Средств, чтобы выполнить все технические мероприятия, и раньше часто не хватало. Возможно, что какие-то сооружения будут переданы на баланс регионов или включены в федеральные программы.

В нынешнем году, по словам Андриевского, на ремонт гидротехнических сооружений в рамках разных федеральных программ была заложена сумма в 1,6 млрд руб. Не исключено, что после обследований дамб бюджет придется увеличить.

Выводы ▶

В течение 2024 года в России на дамбах произошло пять крупных аварий, которые привлекли всеобщее внимание. Паводок в г. Орске поразил масштабами разрушений, а летние происшествия – тем, что случились одно за другим. А сколько произошло более мелких происшествий – и не счесть.

Никому не хочется оказаться в числе пострадавших или виновных, да и ликвидация последствий – очень нервная работа. Поэтому всех волнует то, почему большая вода вышла из-под контроля и как предупредить катастрофы на гидросооружениях.

В каждом случае были свои предпосылки случившегося. Все происшествия объединяют: нехватка ресурсов, недостаточный мониторинг, отсутствие должного количества технических мероприятий.

Большинство собственников дамб – муниципалитеты. Возможно, картина поменяется и объекты будут передаваться на федеральный или региональный уровень. Государству, наверное, дешевле самому становиться хозяином, чем тратить средства на ликвидацию последствий катастроф. А пока из всех версий о вероятных причинах большинства происшедших аварий на гидросооружениях наиболее близкой к действительности видится версия с грызунами, прорывшими свои ходы в земляных дамбах. **И**



Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>