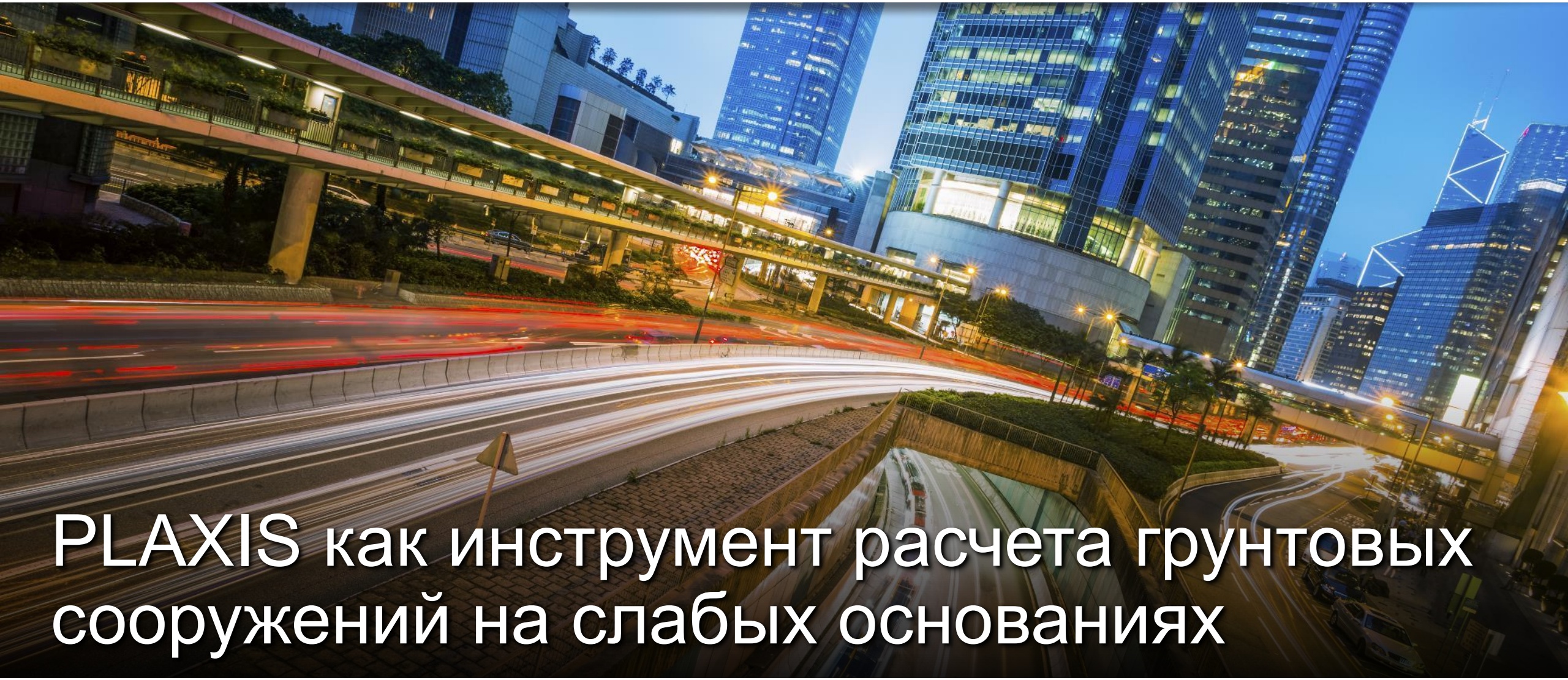


PLAXIS как инструмент расчета грунтовых сооружений на слабых основаниях

Дорожные насыпи, гидротехнические дамбы и другие грунтовые сооружения

Bentley®
Advancing Infrastructure

© 2020 Bentley Systems, Incorporated

План вебинара

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

1. Критерии выделения грунтов в категорию «слабый»;
2. Особенности поведения слабых грунтов:
   по прочностным и деформационным свойствам;
3. Рекомендации по выбору моделей грунта
   и назначению типа поведения по условиям дренирования;
4. Сочетания режимов расчета и типов поведения
   по условиям дренирования;
5. Упрощенная схема выполнения расчетов нестабилизированного
   и стабилизированного состояния;
6. Комплексный грунтового расчет сооружения на слабом основании.

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Сообщество по разработке PLAXIS

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

UPC

UNIVERSITY OF WASHINGTON 1861

NORTHWESTERN UNIVERSITY 1851

AVANCEZ 1829

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088

STVDIVM VRBIS

UBC

Deltares Enabling Delta Life

TU Delft

BAW Bundesanstalt für Wasserbau

UNIVERSITY OF OXFORD

ILLINOIS

NUS National University of Singapore

AIN SHAMS UNIVERSITY

UNIVERSITÉ DE LYON

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

LIÈGE université

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

Caltrans

MIT

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

NGI

TU Graz

UGA Université Grenoble Alpes

NTNU

Berkeley UNIVERSITY OF CALIFORNIA

TUHH Hamburg University of Technology

Tampereen yliopisto Tampere University

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Организации-пользователи

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

ЛЕННИИПРОЕКТ 1925 LENNIIPROEKT

РУСАЛ

РусГидро

>300 организаций

РУССКАЯ МЕДНАЯ КОМПАНИЯ

СПбГАСУ 1832

НИИОСП

ПИК ГРУППА

НИИ ТС

МОСИНЖПРОЕКТ

Росинжиниринг

МИСИ МГСУ

SetlCity

РОСНЕФТЬ

ЛУКОЙЛ

ГОРГПРОЕКТ

ВНИПИгаздобыча

Транснефть

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ФУНДАМЕНТПРОЕКТ

МНИИТЭП

ГРУППА КОМПАНИЙ МОСПРОЕКТ-3

ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНС

ЛЕНГИПРОТРАНС

АСЭ·ASE

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Сертификат PLAXIS

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS® CONNECT Edition

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Добровольная сертификация

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.СП09.Н00146

Срок действия с 05.05.2019 по 04.05.2022

№ 1814188

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ RA.RU.11СП09

Орган по сертификации программных средств ООО «Центр разработки, испытаний и обучения в области информационных технологий» (ОС ПС ООО ЦРИОИТ)
170023, г. Тверь, а/я 2303, ул. Ржевская, д.10, тел./факс (4822) 44-40-44

ПРОДУКЦИЯ

Программный комплекс для геотехнических расчетов PLAXIS в составе: PLAXIS 2D, PLAXIS 3D
Серийный выпуск

код ОК 005 (ОКП): ОКПД2 58.29.29.000

код ТН ВЭД России:

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

ГОСТ 27751-2014, ГОСТ 25100-2011, ГОСТ 5180-2015, ГОСТ 12248-2010, ГОСТ 20276-2012, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 (п.п. 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3); ГОСТ Р ИСО 9127-94 (п.п. 6.1, 6.3-6.5), нормативных и программных документов (см. прилож. на 1 л., бланк № 0947682)

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Компания ООО «Бентли Системс».
Российская Федерация, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, д. 53, стр. 5.

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН
Компании ООО «Бентли Системс».
Российская Федерация, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, д. 53, стр. 5.
Телефон: 8 800 100 94 43

НА ОСНОВАНИИ
протокола испытаний от 30.04.2019 № 287 ИЛ программных средств ООО ЦРИОИТ (рег. № RA.RU.21СП05)

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ
Схема сертификации – 3.
Поставщик: ООО «НИП-Информатика», 192102, г. Санкт-Петербург, ул. Фучика, д. 4, лит «К». Телефон / факс: 812 321 00 55

Руководитель органа — подпись — С.Л. Котов (инициалы, фамилия)

М.П.

Эксперт — подпись — Г.Е. Колесников (инициалы, фамилия)

Сертификат не применяется при обязательной сертификации

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

№ 0947682

ПРИЛОЖЕНИЕ

К сертификату соответствия № РОСС RU.СП09.Н00146

Перечень конкретной продукции, на которую распространяется действие сертификата соответствия

код ОК 005 (ОКП) / код ТН ВЭД России	Наименование и обозначение продукции, ее изготовитель	Обозначение документации, по которой выпускается продукция
ОКПД2 58.29.29.000	Программный комплекс для геотехнических расчетов PLAXIS в составе: PLAXIS 2D, PLAXIS 3D ООО «НИП-Информатика»	Руководство пользователя 46.52199206.504100-02 90 01, Руководство пользователя 46.52199206.504100-02 90 03

Нормативные и программные документы, которым соответствует программный комплекс:

ВСН 26-90, ВСН 41.88, ГОСТ 19912-2012, ГОСТ 23161-2012, ГОСТ 24847-2017, ГОСТ 27217-2012, ГОСТ 28622-2012, ГОСТ 32960-2014, ГОСТ 33149-2014, ГОСТ 33384-2015, ГОСТ Р 58326-2018, ГОСТ Р 53582-2009, МР 1.5.2.05.999.0026-2011, ОДМ 218.2.001-2009, ОДМ 218.2.006-2010, ОДМ 218.5.002-2008, ОДМ 218.5.003-2010, ПиНАЭ - 5.10-87, СП 100.13330.2016 (СНиП 2.06.03-85), СП 101.13330.2012 (СНиП 2.06.07-87), СП 102.13330.2012 (СНиП 2.06.09-84), СП 103.13330.2012 (СНиП 2.06.14-85), СП 104.13330.2016 (СНиП 2.06.15-85), СП 11-105-97, СП 11-114-2004, СП 116.13330.2012 (СНиП 22-02-2003), СП 118.13330.2012 (СНиП 31-06-2009), СП 119.13330.2012 (СНиП 32-01-95), СП 119.13330.2017 (СНиП 32-01-95), СП 120.13330.2012 (СНиП 32-02-2003), СП 121.13330.2012 (СНиП 32-03-96), СП 122.13330.2012 (СНиП 32-04-97), СП 123.13330.2012 (СНиП 34-02-99), СП 125.13330.2012 (СНиП 2.05.13-90), СП 14.13330.2014 (СНиП II-7-81*), СП 14.13330.2018 (СНиП II-7-81*), СП 15.13330.2012 (СНиП II-22-81*), СП 16.13330.2011 (СНиП II-23-81*), СП 16.13330.2017 (СНиП II-23-81*), СП 20.13330.2011 (СНиП 2.01.07-85*), СП 20.13330.2016 (СНиП 2.01.07-85*), СП 21.13330.2012 (СНиП 2.01.09-91), СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83*), СП 22.13330.2016 (СНиП 2.02.01-83*), СП 23.13330.2011 (СНиП 2.02.02-85*), СП 238.1326000.2015, СП 24.13330.2011 (СНиП 2.02.03-85), СП 248.1325800.2016, СП 249.1325800.2016, СП 250.1325800.2016, СП 25.13330.2012 (СНиП 2.02.04-88), СП 26.13330.2012 (СНиП 2.02.05-87), СП 287.1325800.2016, СП 291.1325800.2017, СП 32-103-97, СП 32-104-98, СП 34.13330.2012 (СНиП 2.05.02-85*), СП 35.13330.2011 (СНиП 2.05.03-84*), СП 354.1325800.2017, СП 358.1325800.2017, СП 361.1325800.2017, СП 36.13330.2012 (СНиП 2.05.06-85*), СП 369.1325800.2017, СП 381.1325800.2018, СП 38.13330.2012 (СНиП 2.06.04-82*), СП 38.13330.2018 (СНиП 2.06.04-82*), СП 39.13330.2012 (СНиП 2.06.05-84*), СП 40.13330.2012 "СНиП 2.06.06-85, СП 41.13330.2012 (СНиП 2.06.08-87), СП 43.13330.2012 (СНиП 2.09.03-85), СП 45.13330.2012 (СНиП 3.02.01-87), СП 45.13330.2017 (СНиП 3.02.01-87), СП 47.13330.2012, СП 50-101-2004, СП 50-102-2003, СП 54.13330.2011 (СНиП 31-01-2003), СП 54.13330.2016 (СНиП 31-01-2003), СП 58.13330.2012 (СНиП 33-01-2003), СП 63.13330.2012 (СНиП 52-01-2003), СП 80.13330.2016 (СНиП 3.07.01-85), СП 88.13330.2014 (СНиП II-11-77*), СП 90.13330.2012 (СНиП II-58-75), СП 91.13330.2012 (СНиП II-94-80), ТСН 31-332-2006, ТСН 50-302-2004, ТСН 50-304-2001
и программные документы:
PLAXIS 2D. Руководство пользователя 46.52199206.504100-02 90 01,
PLAXIS 3D. Руководство пользователя 46.52199206.504100-02 90 03

Руководитель органа — подпись — С.Л. Котов (инициалы, фамилия)

М.П.

Эксперт — подпись — Г.Е. Колесников (инициалы, фамилия)

Срок действия:
05.05.2019
04.05.2022

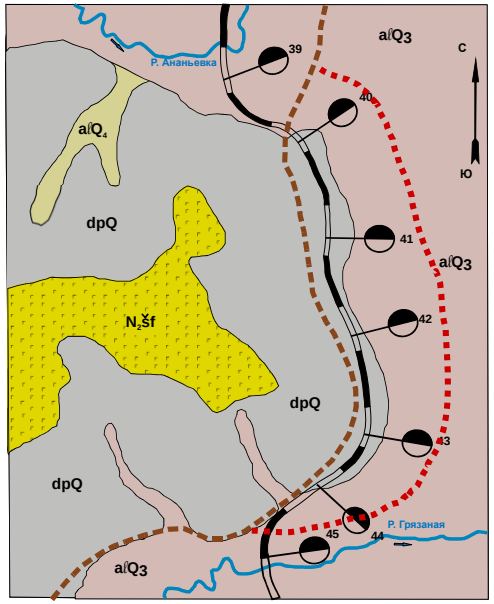
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley®

Введение

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Слабые основания



alQ_3 Верхнечетвертичные аллювиальные отложения. Коричнево-серые суглинки, глины со щебнем.

alQ_4 Современные четвертичные аллювиальные отложения. Суглинки, глины с галькой.

dpQ Четвертичные оползневые накопления. Глыбы, обломки базальтов с суглинком.

Третичные базальты

Автодорога Раздольное-Хасан:

а) существующая

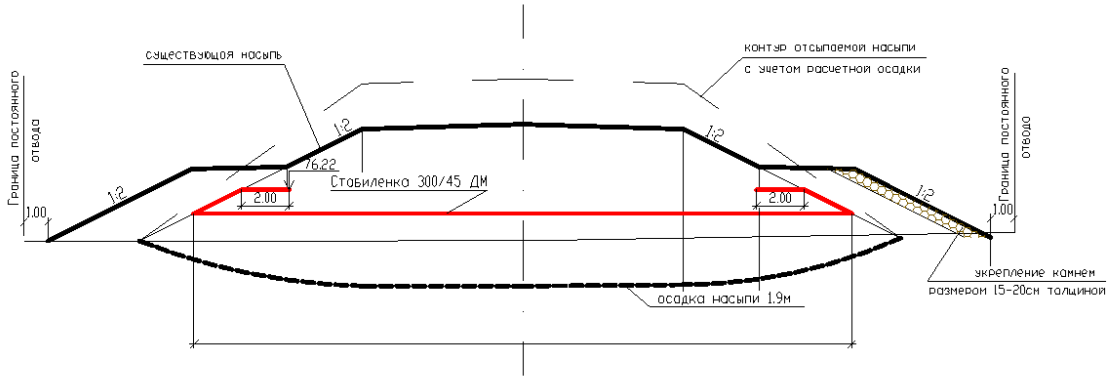
б) проектируемая

Железнодорожная линия Барановский-Хасан

Насыпь разрушена

Повторное обрушение

Проектное решение



 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Слабые основания

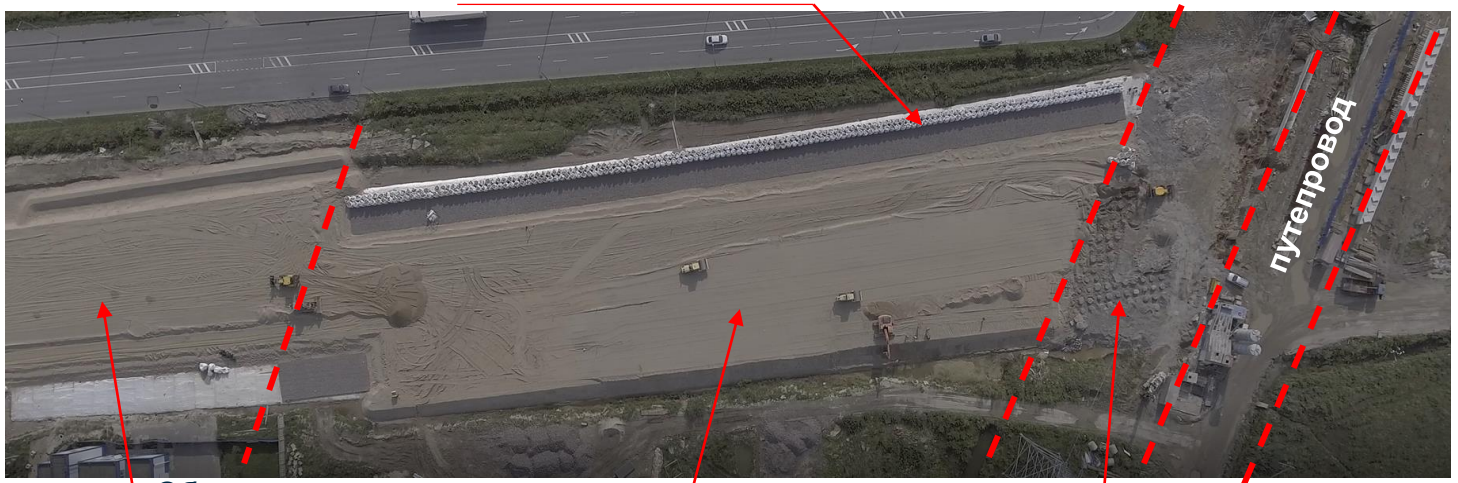
НИП-ИНФОРМАТИКА

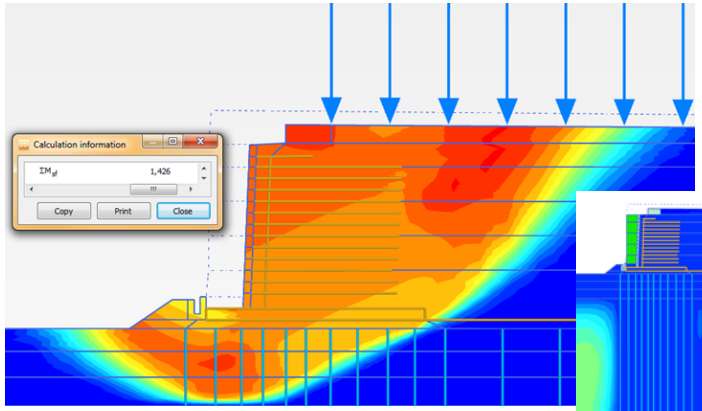
PLAXIS® CONNECT Edition

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

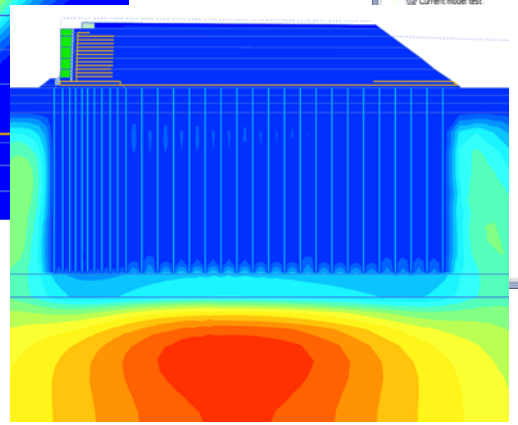
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ ОСНОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

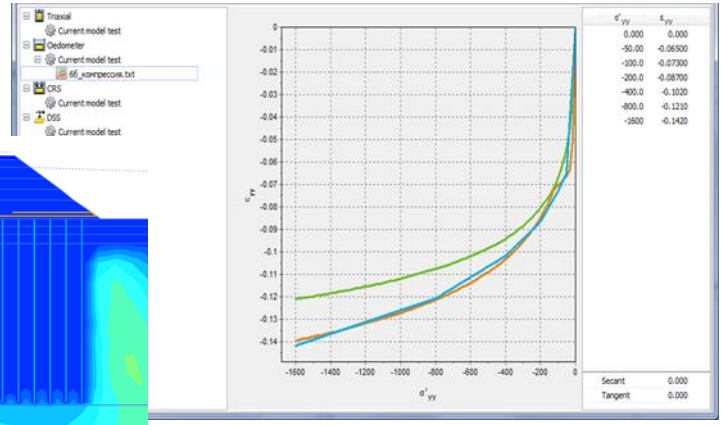




Численное моделирование



Калибровка модели SS



 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley®

Структура программного комплекса PLAXIS

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Структура PLAXIS

PLAXIS® CONNECT Edition

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS® CONNECT Edition

PLAXIS Ultimate

PLAXIS Advanced

PLAXIS

Оценка напряженно-деформированого состояния
Оценка устойчивости и несущей способности

Расчеты консолидации (время осадки)
Стационарные расчеты фильтрации
Учет подтопления сооружений

Сейсмические воздействия (псевдостатика)

Решение нестационарных фильтрационных задач (дамбы, плотины, котлованы)

Сейсмические воздействия
Динамические воздействия оборудования и транспорта

Промерзание-оттаивание
Деградация многолетнемерзлых грунтов
Искусственное замораживание
Морозное пучение

2D

НДС

Фильтрация

Динамика

Температура

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley®

Общая концепция работы

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Soil → Structures → Mesh → Flow conditions → Staged construction

Soil	Программа ввода данных
Structures	
Mesh	Задание и выполнение расчётов
Flow conditions	
Staged construction	
Output	Программа вывода данных

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

«Слабость» грунта

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Деформационный и прочностной критерии

НИП-ИНФОРМАТИКА

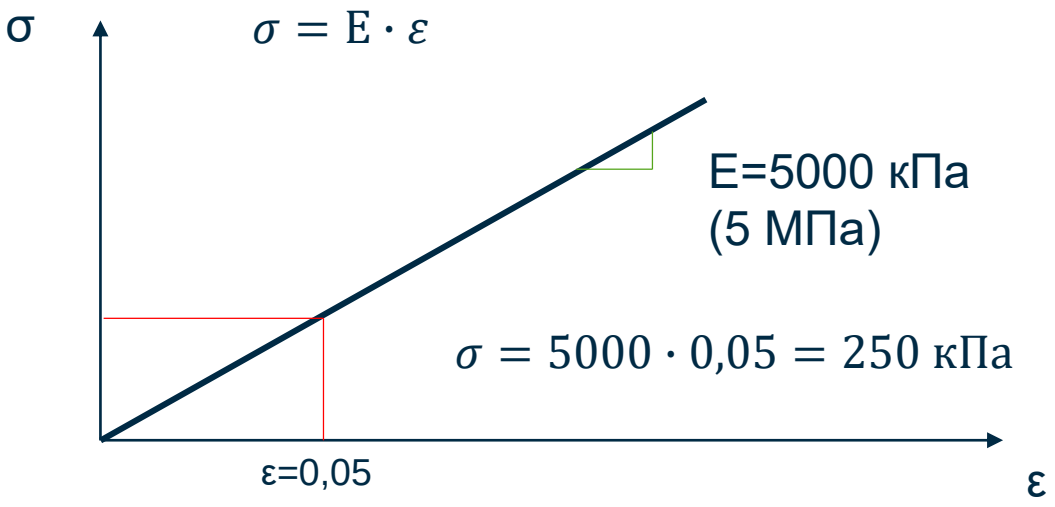
PLAXIS CONNECT Edition

Слабые грунты имеют модуль деформации менее 5 МПа

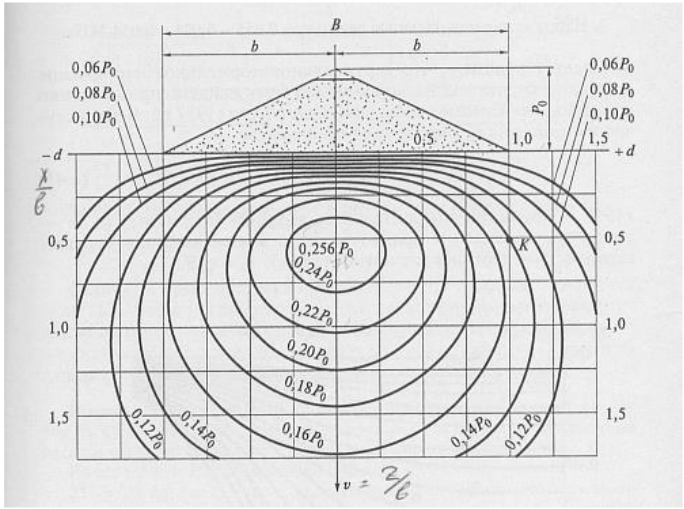
Ориентируясь на классификацию грунта по сжимаемости, предложенную Н. Н. Масловым, в качестве условного критерия высокой сжимаемости можно принять такую сжимаемость, когда величина сжатия при условно-расчетной нагрузке превышает 5% от мощности сжимаемой толщи. Этому критерию отвечают грунты с модулем осадки $e_p \geqslant 50$ мм/м, который при принятой условно-расчетной нагрузке 2,5 кгс/см² соответствует модулю деформации $E_p \leqslant 50$ кгс/см² (что примерно согласуется с предложением М. Ю. Абелева [1]).

При максимальной высоте типовой насыпи 12 м напряжения, действующие на поверхность основания (учитывая просевшую часть), не должны превышать 2,5 кгс/см². Эту нагрузку можно принять за *условно-расчетную*. При трапецеидальном поперечном профиле насыпи максимальные касательные напряжения в этом случае не превысят 0,75 кгс/см². Если сопротивляемость грунта сдвигу будет меньше 0,75 кгс/см², возможно нарушение устойчивости основания насыпи. Поэтому к слабым можно отнести грунты, сопротивляемость сдвигу которых, определяемая, например, крыльчаткой, оказывается менее 0,75 кгс/см². При этих же предпосылках данному критерию будет соответствовать

Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д. Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. М.: Транспорт, 1976. – 271 с.



t_{max}=250·0,256=64 кПа (близко к 75 кПа)



Дорожная насыпь высотой более 12,5 м относится к индивидуальному проектированию.

σ=γ·h=20 кН/м³·12,5м=250 кПа

Для насыпи высотой 3 м расчетное давление равно 3·19=57 кПа, тогда максимальные касательные напряжения будут около 57·0,256=15 кПа.

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Обобщенный критерий — показатель текучести

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

- *К слабым грунтам следует относить: торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5.*

  [Пособие по проектированию автодорог на слабых грунтах, Росавтодор 2004]

- *При достижении грунтом состояния характеризующегося IL≤0,5, в геотехнической практике считается, что консолидация от собственного веса завершена и грунт является стабилизированным.*

  [М.Н. Гольдштейн Механика грунтов, основания и фундаменты/ М.: Транспорт 1981. – 320 с.]

- По теории Н.Н. Маслова грунты с показателем текучести около IL=0.62 имеют показатель степени консолидации равный примерно n=1,8; при этом процесс консолидации <u>начинается</u> при значениях n>1,6-1,7. Величина IL<0,5 может быть вполне принята за граничное условие процесса фильтрационной консолидации с достаточным запасом.

- *Неконсолидированный быстрый срез - для водонасыщенных глинистых и органо-минеральных грунтов, имеющих показатель текучести более IL>0,5.*

  [ГОСТ 12248-2010]

Глинистые грунты, имеющие IL>0.5, рассматриваются как слабые и требуют особого внимания:

1. **В расчетах устойчивости следует учитывать нестабилизированное состояние (разделять недренированное начальное поведение и дренированное стабилизированное состояние).**
2. **В расчетах осадки решать задачу во времени (консолидация).**

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Пример

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

При значениях IL>0,5 необходим учет нестабилизированных характеристик, расчет консолидации

Номер ИГЭ	Наименование грунта	Характеристика	Природная влажность грунта W, дол. ед.	Плотность, г/см^3 при естественной влажности ρe	Плотность, г/см^3 в водонасыщенном состоянии ρв	Плотность, г/см^3 сухого грунта ρd	Плотность, г/см^3 частиц грунта ρs	Коэффициент пористости e, дол. ед.	Влажность на границе текучести WL, дол. ед.	Влажность на границе раскатывания Wp, дол. ед.	Число пластичности Jp, дол. ед.	Показатель текучести JL, дол. ед.	Угол внутреннего трения, градус при естественной влажности	Угол внутреннего трения, градус в водонасыщенном состоянии	Удельное сцепление, кПа при естественной влажности	Удельное сцепление, кПа в водонасыщенном состоянии	Модуль общей деформации, МПа при естественной влажности	Модуль общей деформации, МПа в водонасыщенном состоянии
	Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный	Xn	0,28	1,95	-	1,52	2,73	0,791	0,38	0,24	0,14	0,29	19		39		14,1	
3	незасоленный с примесью органических веществ с	α=0,85		1,95									18		37			
	прослоями полутвердого и глины	α=0,95		1,95									18		35			
	Песок мелкий неоднородный средней плотности	Xn	0,25	2,00	-	1,60	2,69	0,683	-	-	-	-	29	-	1	-	23,7	-
5	насыщенный водой	α=0,85		1,97									29		1			
		α=0,95		1,96									19		1			
	Суглинок легкий пылеватый мягкопластичный	Xn	0,28	1,97	-	1,54	2,73	0,767	0,32	0,21	0,11	**0,64**	16	-	31	-	3,3	-
7	незасоленный с примесью органических веществ с	α=0,85		1,96									16		27			
	прослоями текучепластичного	α=0,95		1,96									15		23			
9	Глина легкая пылеватая полутвердая незасоленная с	Xn	0,29	1,93	-	1,50	2,76	0,842	0,49	0,27	0,22	0,09	14	-	59	-	21,3	-
	примесью органических веществ с прослоями твердой и	α=0,85		1,93									14		57			
	тугопластичной	α=0,95		1,93									14		56			
	Суглинок легкий пылеватый тугопластичный	Xn	0,27	1,96	-	1,54	2,73	0,776	0,35	0,24	0,11	0,27	21	-	39	-	14,4	-
10	незасоленный с примесью органических веществ с	α=0,85		1,94									21		38			
	прослоями полутвердого	α=0,95		1,93									20		37			
	Глина легкая пылеватая мягкопластичная незасоленная с	Xn	0,36	1,87	-	1,37	2,76	1,014	0,44	0,23	0,21	**0,62**	11	-	29	-	8,4*	-
11	примесью органических веществ	α=0,85		1,85									10		24			
		α=0,95		1,83									9		21			

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Особенности поведения слабых грунтов

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Особенности слабых грунтов

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Общие

- Нелинейность зависимости между напряжениями и деформацией;
- Нестабилизированное состояние (нет зависимости сопротивления сдвигу от давления);
- Формирование избыточного порового давления при нагружении;
- Рассеивание порового давления в течение длительного времени (консолидация);
- Упрочнение грунта в процессе консолидации;
- Реологические свойства (ползучесть).

Природные

- Анизотропность свойств;
- Структурная прочность.

Геотехнические:

- Переменность сжимаемой толщи во времени;
- Переуплотнение за счет ползучести;
- Начальный градиент (?).

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Нестабилизированное и стабилизированное состояния

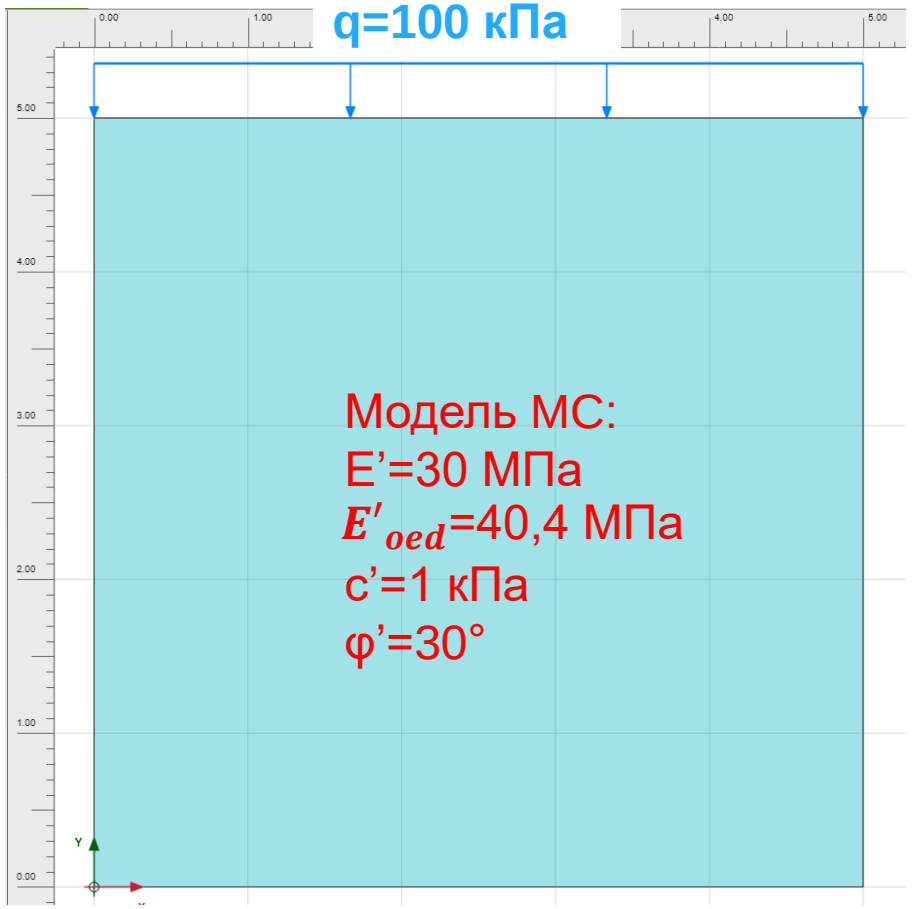
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Нестабилизированное и стабилизированное состояния

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Расчетная схема

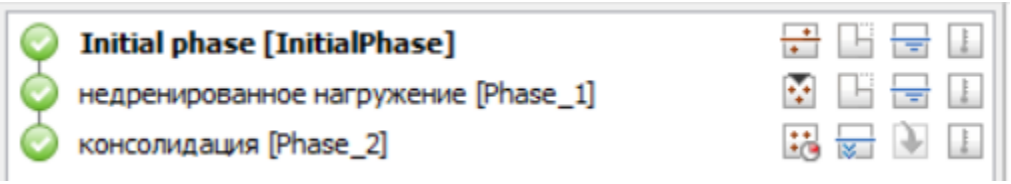


Последовательность:

0. Расчет начальных напряжений (К0)

1. Нестабилизированное состояние (Plastic + Undrained A)

2. Консолидация (переход в стабилизированное состояние)



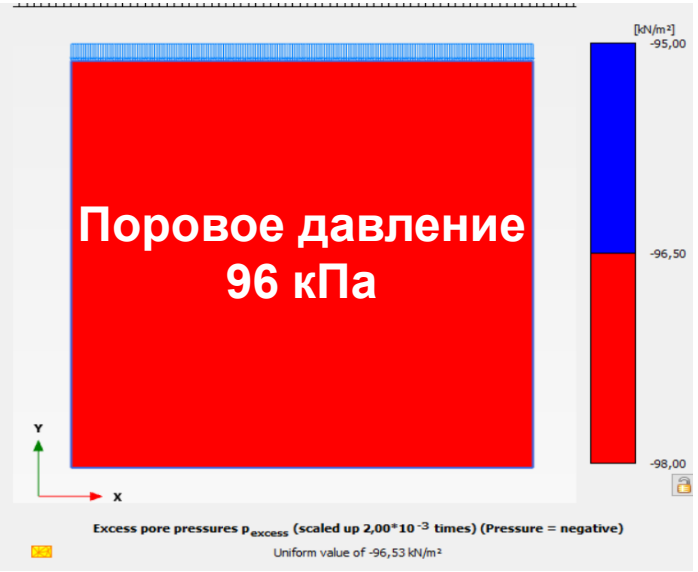
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

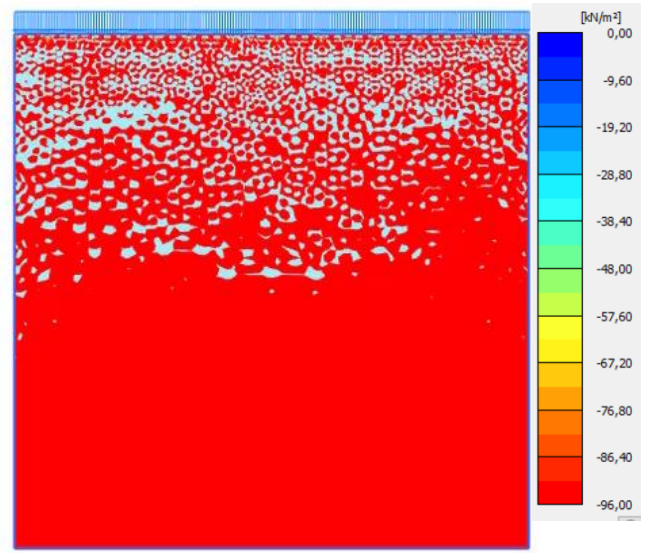
Bentley

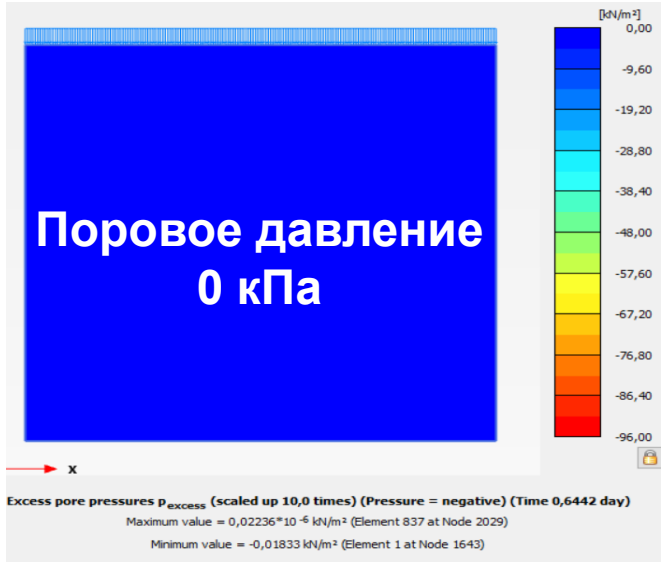
Нестабилизированное и стабилизированное состояния

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition



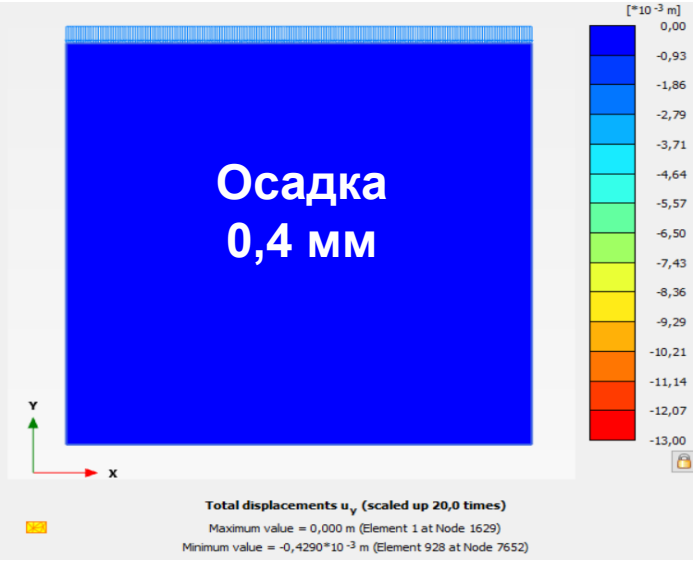


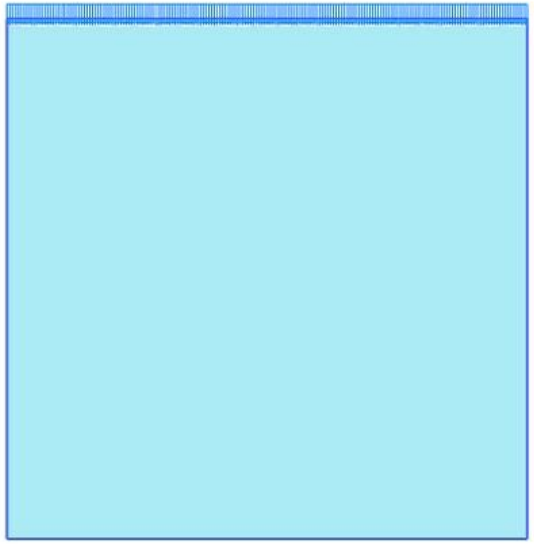


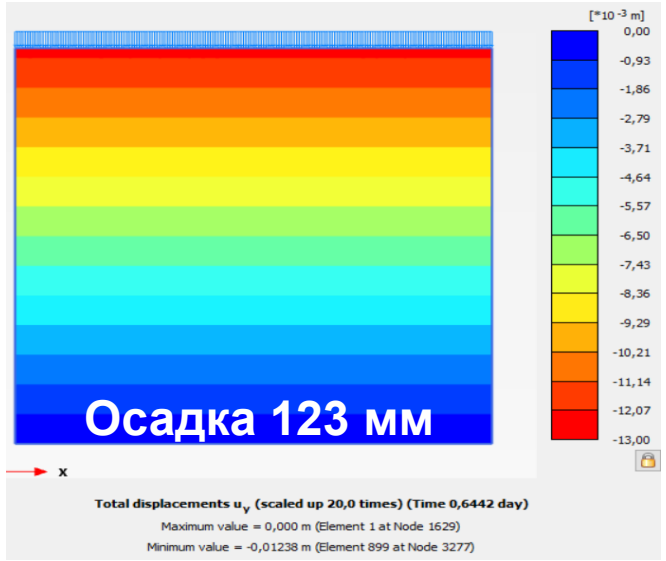
НЕСТАБИЛИЗИРОВАННОЕ

Консолидация

СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ







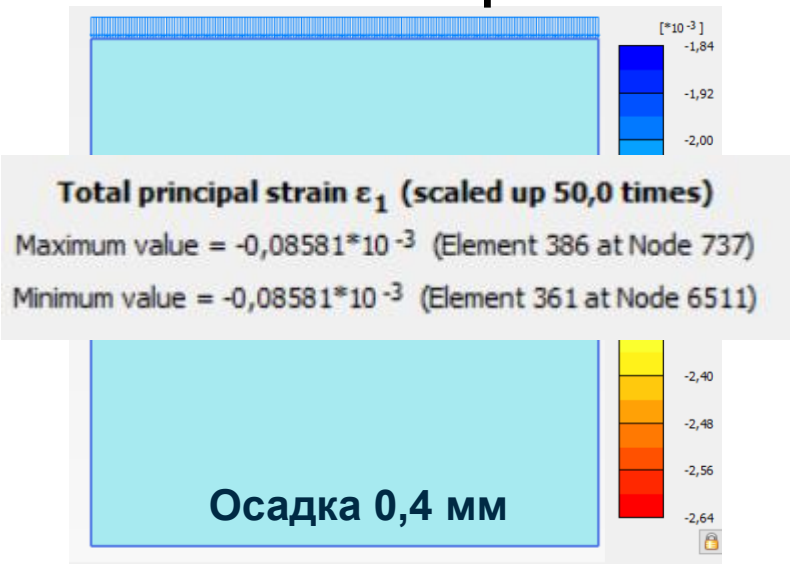
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

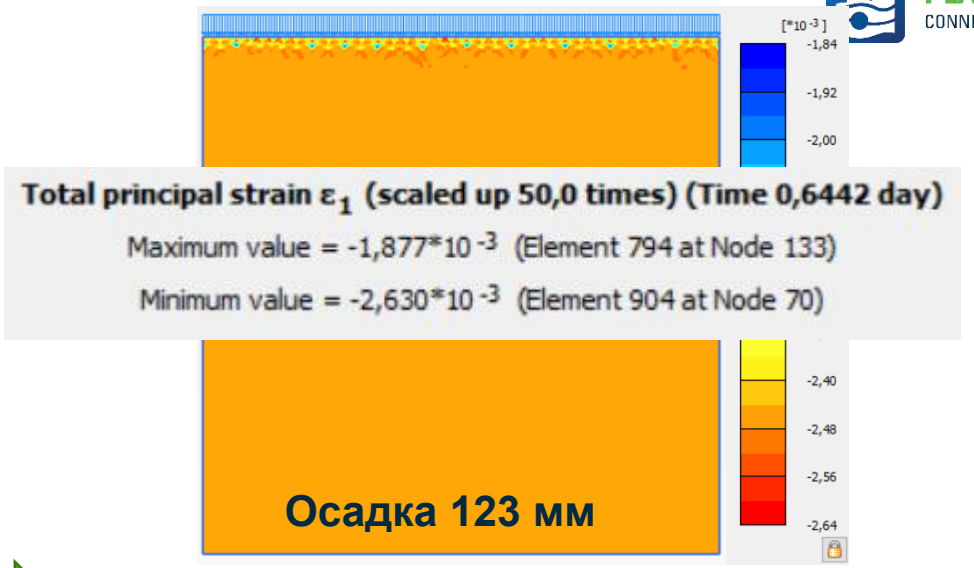
Bentley

Нестабилизированное и стабилизированное состояния

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition





НЕСТАБИЛИЗИРОВАННОЕ

Консолидация

СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Недренированный модуль

$$E_u = \frac{100}{0{,}000085} = 1250 \text{ МПа}$$

Дренированный модуль

$$E'_{oed} = \frac{100}{0{,}00263} \approx 40 \text{ МПа}$$

Stiffness		
E_u	kN/m²	0,000
ν_u (nu)		0,4950

Undrained C

Material model	Mohr-Coulomb
Drainage type	Undrained (C)

Undrained A, B

E_{oed}	kN/m²	40,38E3

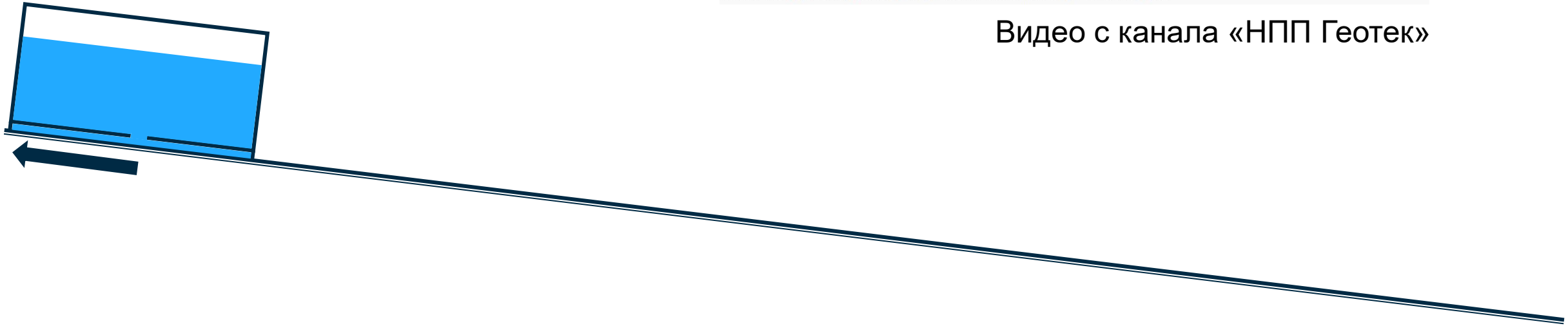
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Нестабилизированное и стабилизированное состояния

Механика грунтов. Джон Бэрланд о влиянии воды на прочность грунта

Видео с канала «НПП Геотек»



 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Нестабилизированное и стабилизированное состояния

НЕСТАБИЛИЗИРОВАННОЕ → Консолидация → СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ

Недренированное сопротивление сдвигу

$\tau = C_u$ (или S_u)

$U \neq 0$

Теория $\phi_u = 0$, трения нет $f = 0$

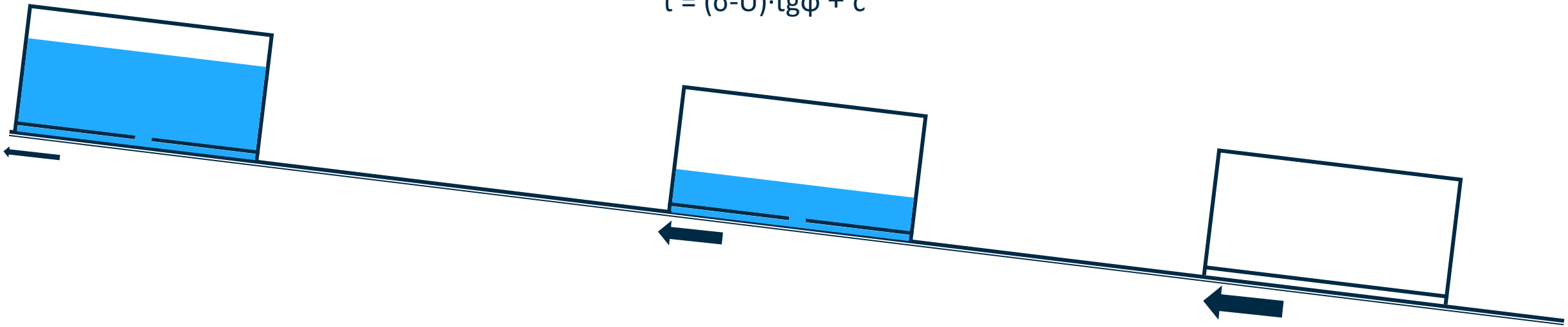
Эффективная прочность

$\tau = \sigma' \cdot tg\varphi' + c'$

$U = 0$

Трение полностью задействовано $f = tg\varphi'$

$$\tau = (\sigma - U) \cdot tg\varphi' + c'$$



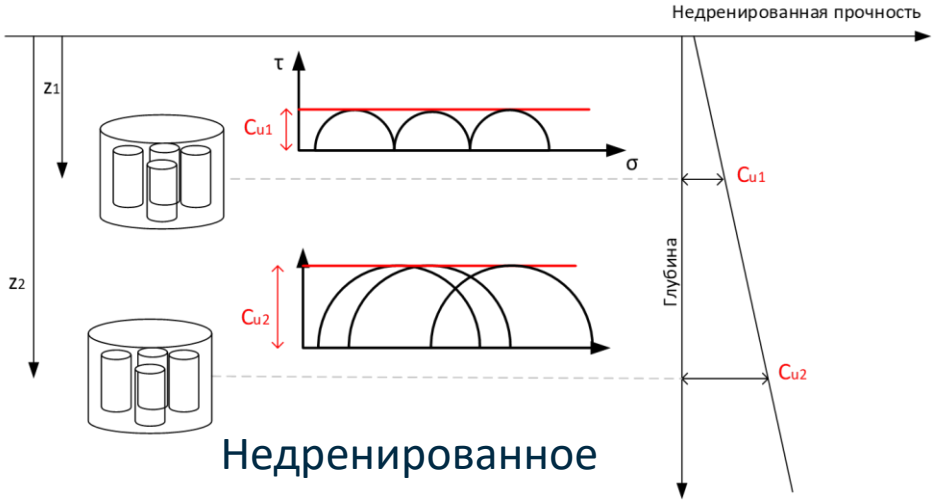
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Нестабилизированное и стабилизированное состояния

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

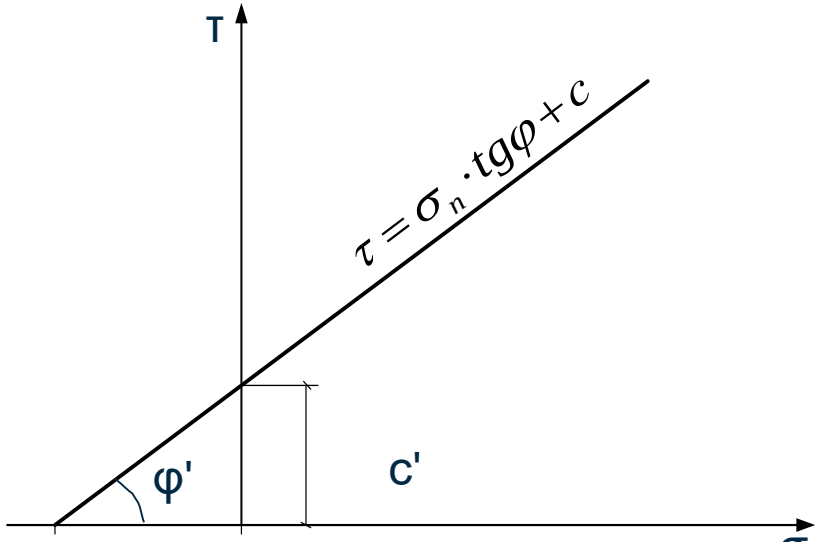
НЕСТАБИЛИЗИРОВАННОЕ



Недренированное сопротивление сдвигу τ=Cu (или Su)

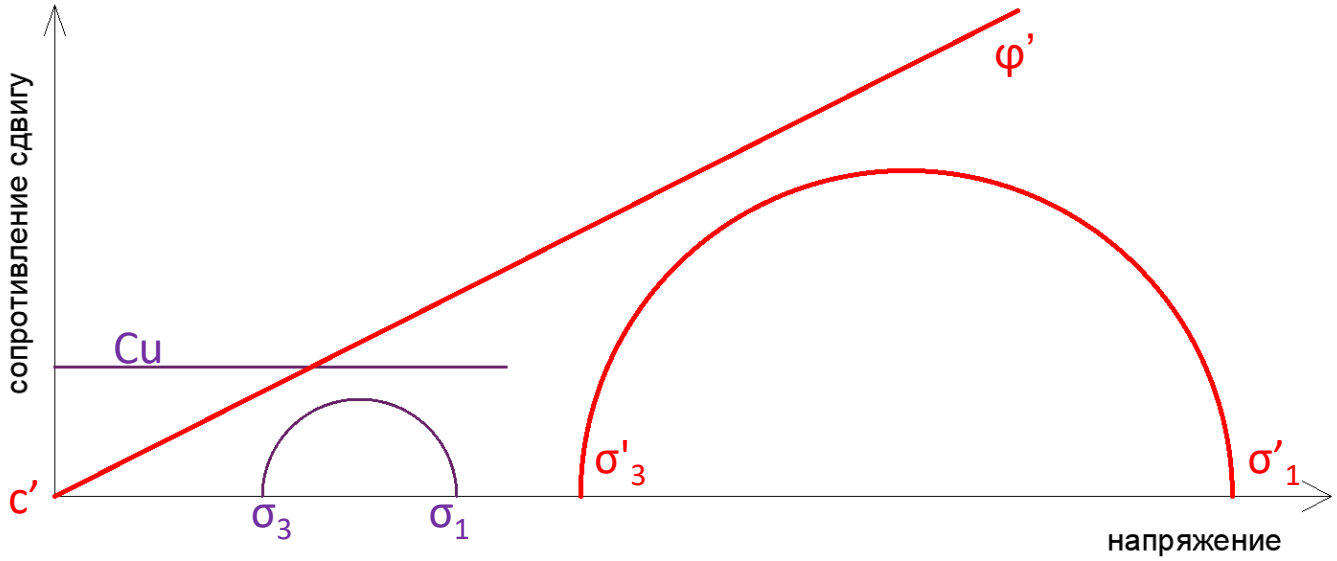
Консолидация

СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ



Эффективная прочность

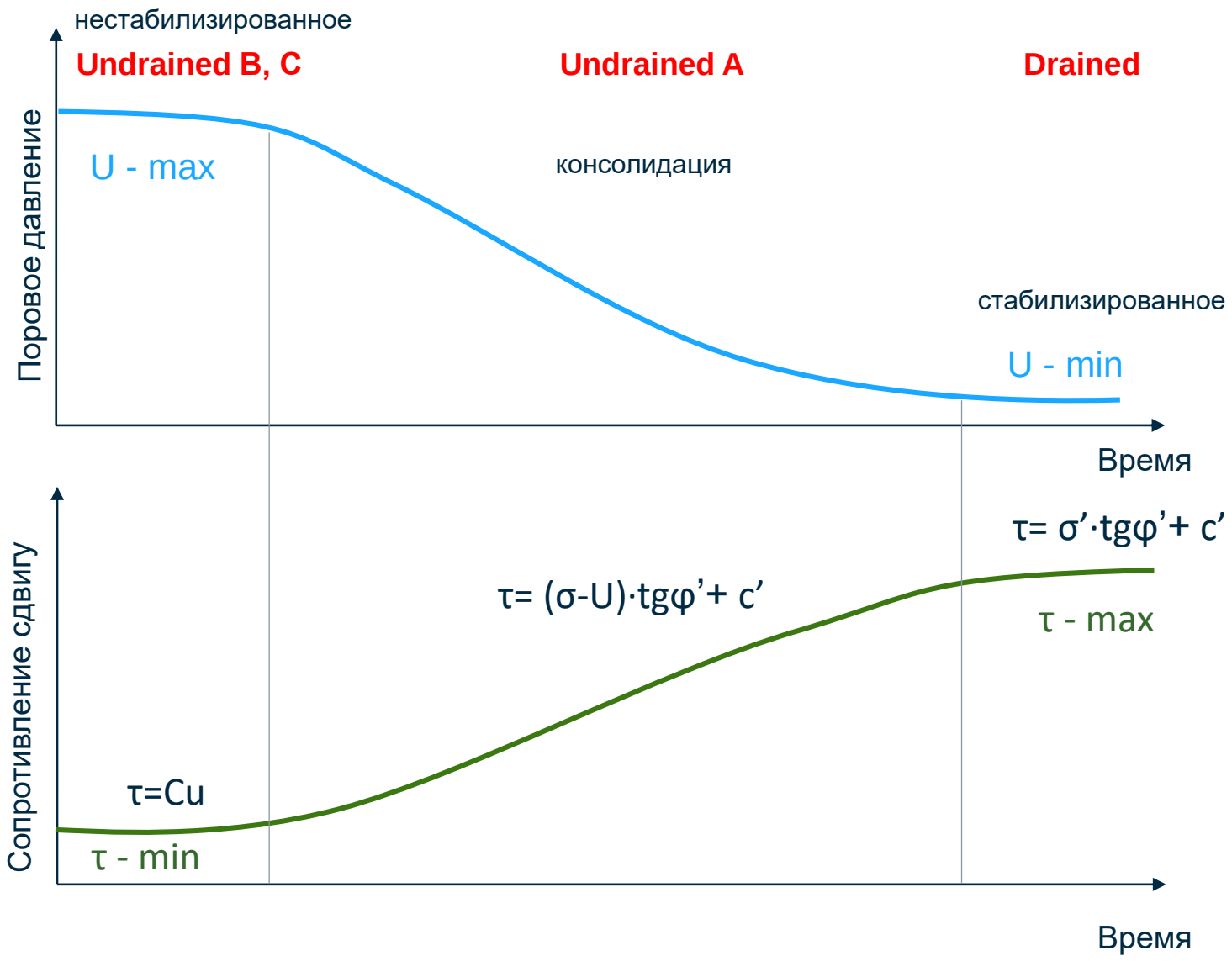
τ= σ'·tgφ'+ c'



 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Нестабилизированное и стабилизированное состояния



Упрочнение во время консолидации — рост сопротивления сдвигу при снижении порового давления

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Нестабилизированное состояние (до консолидации)

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

1. Анализ в полных напряжениях (TSA)

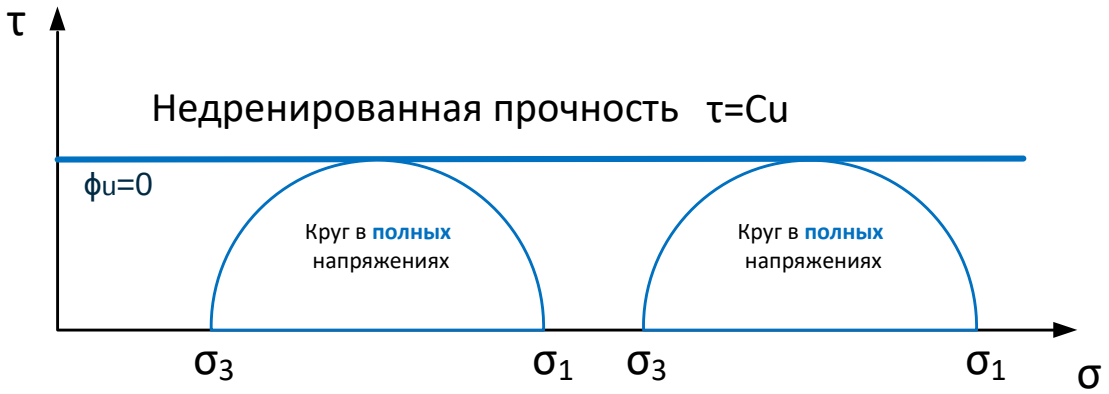
входные параметры: Cu (или Su)

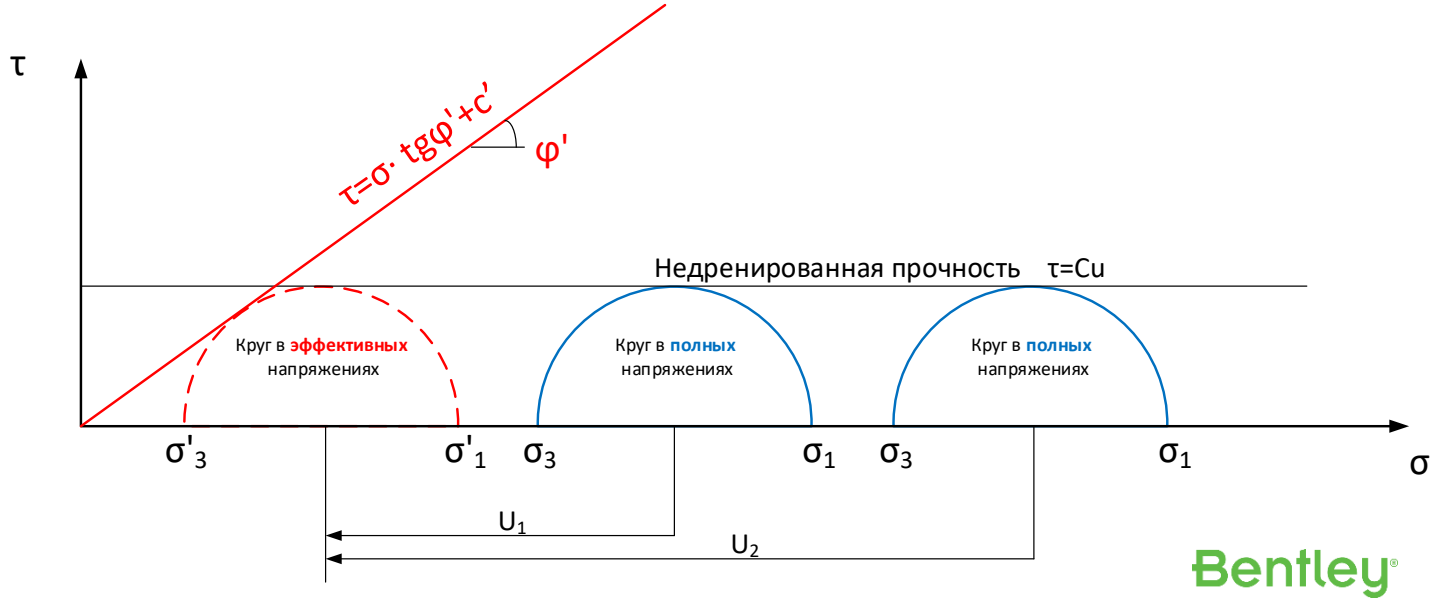
тип поведения: **Undrained B, C**

2. Анализ в эффективных напряжениях (ESA или USA)

входные параметры: c' φ'

тип поведения: **Undrained A**

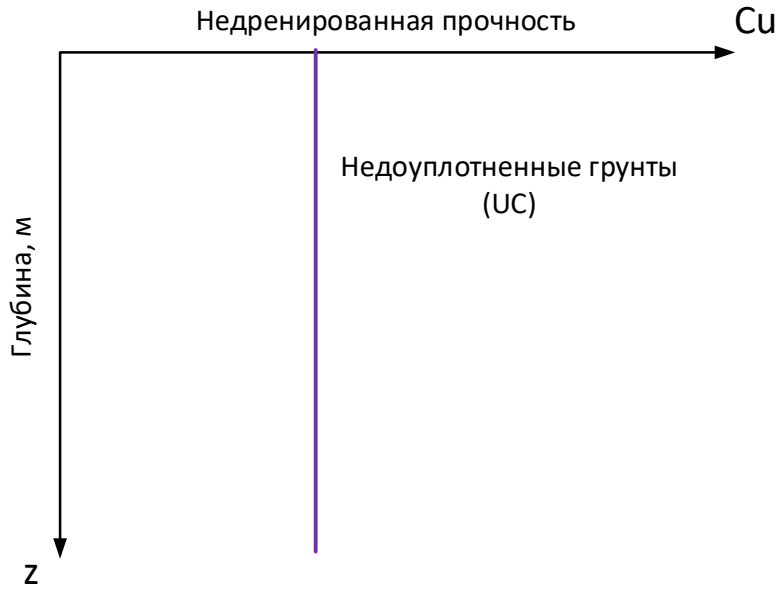


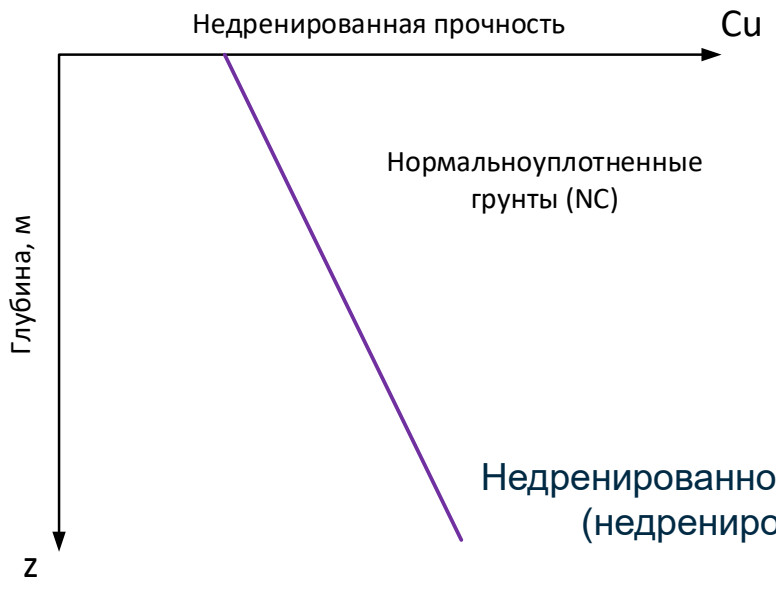


 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Нестабилизированное состояние (до консолидации)





Недренированное сопротивление сдвигу
(недренированная прочность)
Su=Cu

Undrained B, C

Property	Unit	Value
Strength		
$s_{u,ref}$	kN/m ^{2}	10,00
φ_u (phi)	°	0,000
ψ (psi)	°	0,000

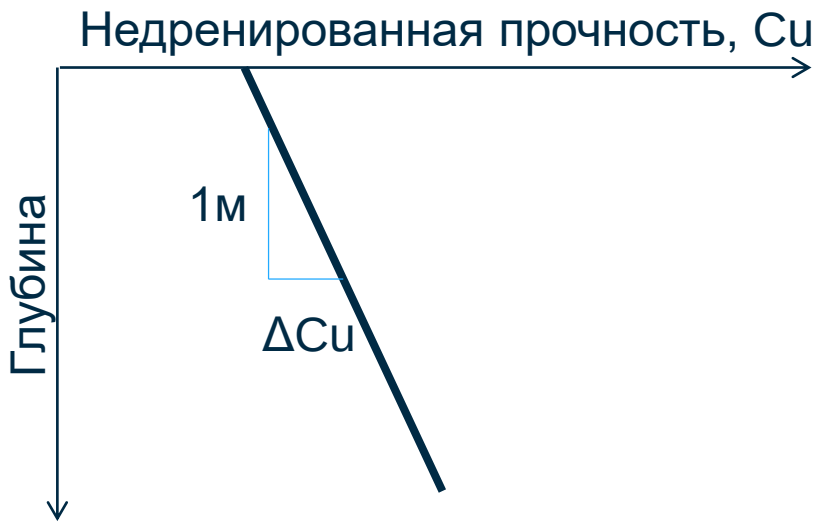
Property	Unit	Value
Strength		
$s_{u,ref}$	kN/m ^{2}	10,00
φ_u (phi)	°	0,000
ψ (psi)	°	0,000
Advanced		
Set to default values		☐
Stiffness		
E'_{inc}	kN/m ^{2}/m	0,000
y_{ref}	m	0,000
Strength		
$s_{u,inc}$	kN/m ^{2}/m	0,5000
y_{ref}	m	0,000

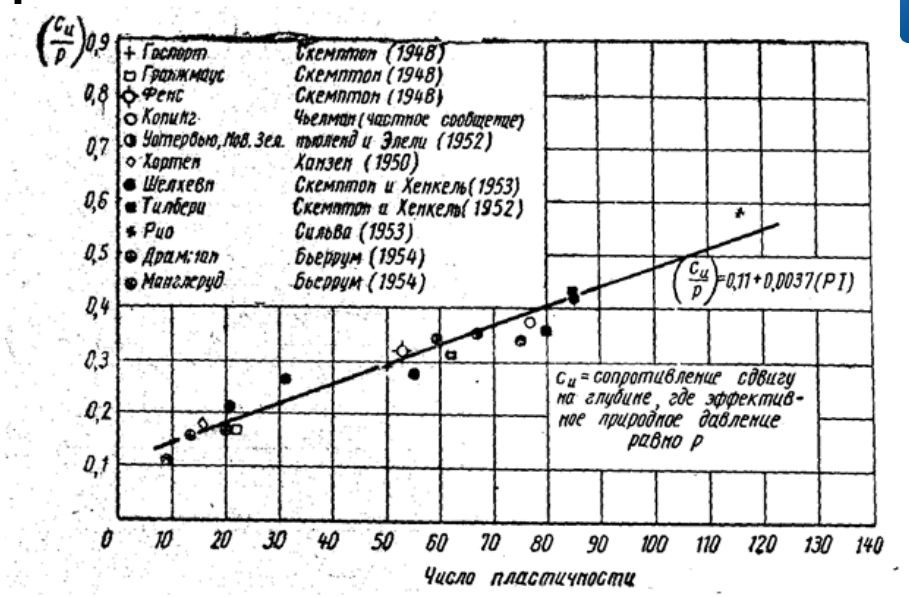
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Нормализованная недренированная прочность

Skempton (1957) для нормальноуплотненных глин NC:

$$\frac{C_u}{\sigma'_v} = 0{,}11 + 0{,}0037 \cdot Ip$$

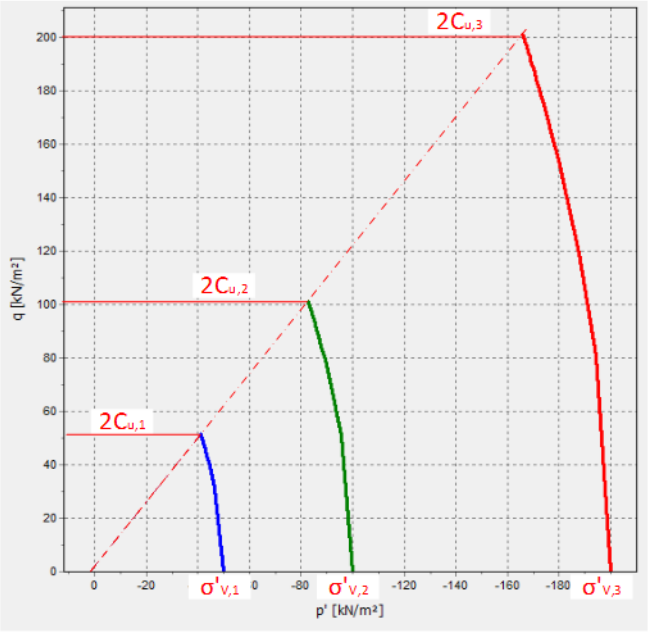




Зависимость Mayne (1988) для NC:

$$\frac{C_u}{\sigma'_v} = \frac{\sin\varphi'}{2}$$

определяет минимальные значения Cu



$$s = \frac{C_{u,1}}{\sigma'_{v,1}} = \frac{C_{u,2}}{\sigma'_{v,2}} = \frac{C_{u,3}}{\sigma'_{v,3}}$$

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Выбор моделей

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Подходы к описанию компрессионной кривой

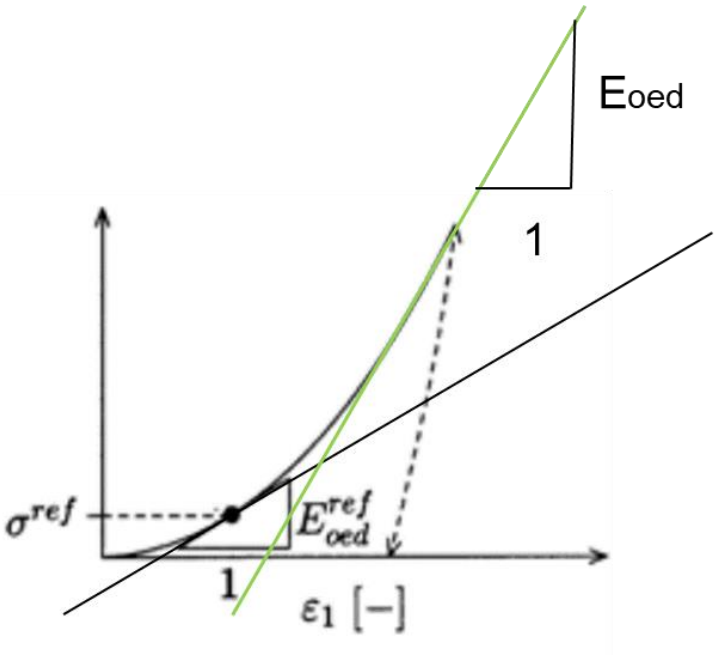
НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

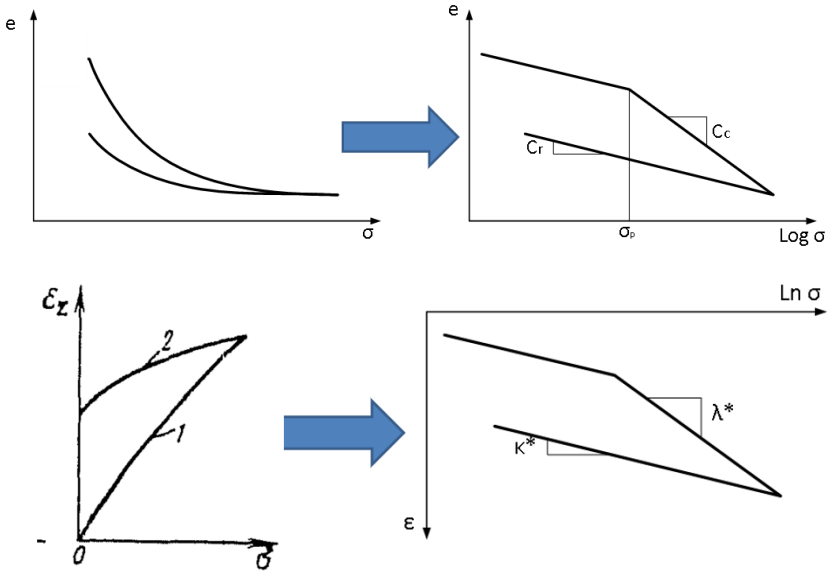
1. **Степенная зависимость** с использованием опорного модуля деформации Eoed и показателя степени m.

2. **Логарифмическая зависимость** с индексом компрессии Cc или модифицированным коэф-фициентом компрессии λ*.

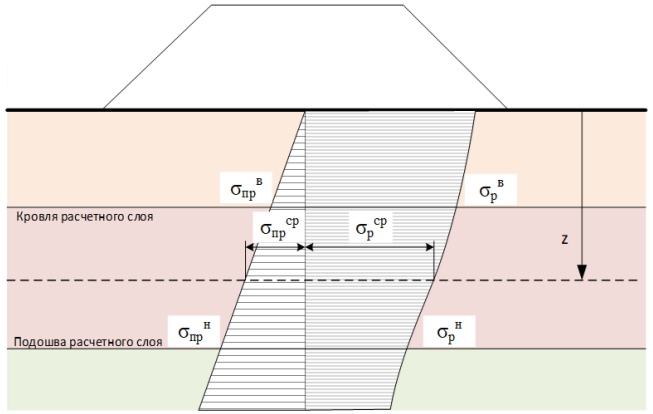
3. **Линейная зависимость** с модулем деформации в действующем диапазоне напряжений (нелинейность возможна за счет приращения)

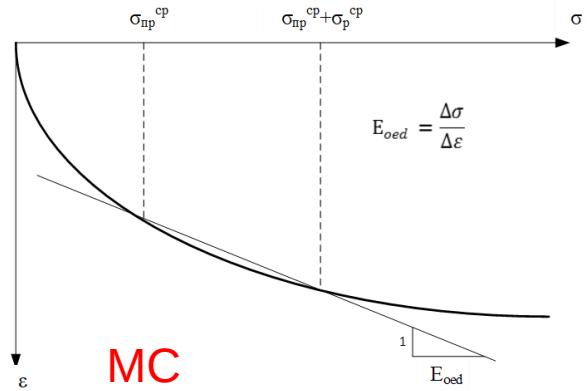


HS, HSS, GHS



MCC, SS, SSC



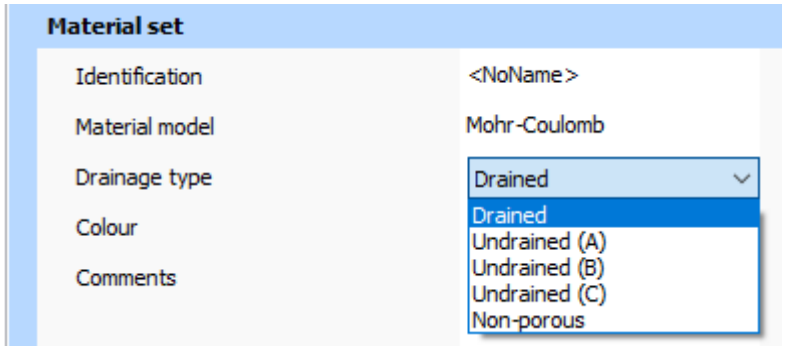


MC

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

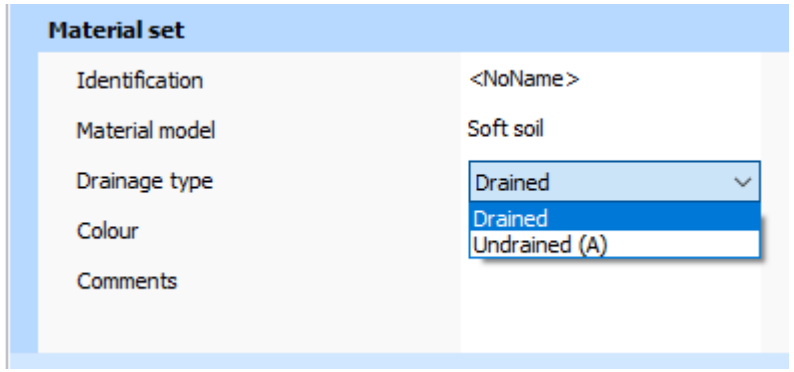
Модель Кулона-Мора



Свойство	Учет	Особенности
Нестабилизированное состояние	Undrained B (C)	
Упрочнение во времени	Undrained A	Завышает недренированную прочность
Нелинейность деформаций	Условно через Einc	Только нагружение

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Модель SoftSoil (SoftSoilCreep)



Свойство	Учет	Особенности
Нестабилизированное состояние	Только через Undrained A	Требуется контроль недренированной прочности
Упрочнение во времени	Undrained A	
Нелинейность деформаций	Логарифмическая зависимость	Нагрузка/разгрузка
Реологические свойства	только для SoftSoilCreep	

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Критерий необходимости учета ползучести

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Необходимость использования реологических моделей PM определяется на основе двух критериев. Учет ползучести (использование SSC) не требуется для:

1. **переуплотненных грунтов (коэффициент переуплотнения OCR > 4)**
   Для грунтов с такой степенью переуплотнения допускается не учитывать ползучесть.

2. **грунтов с индексом вязкости пластических деформаций CR > 25**

CR показывает отношение пластических деформаций первичного сжатия к пластическим деформациям ползучести:

$$CR = \frac{(\lambda^* - \kappa^*)}{\mu^*}$$

CR < 5: грунты сильно подверженные процессам ползучести (молодые отложения, слабые грунты) необходимо использовать реологическую модель грунтов (SSC).

CR > 25: грунты слабо подверженные ползучести, применение реологической модели PM нецелесообразно.

25 > CR > 5: в зависимости от коэффициента переуплотнения OCR могут быть отнесены к требующим или не требующим учета ползучести.

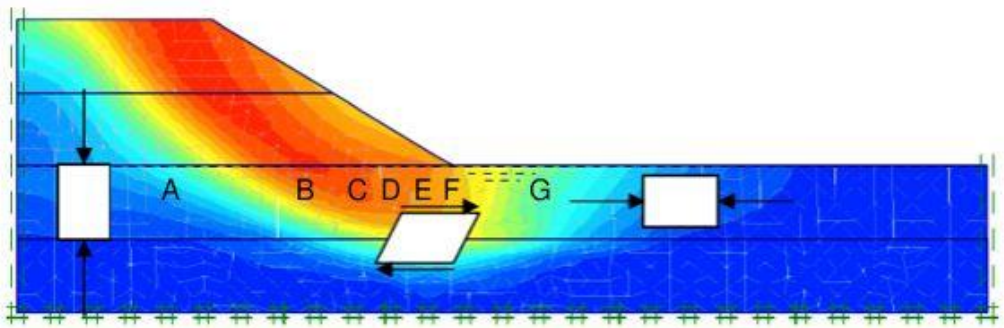
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Другие модели для слабых грунтов

NGI ADP — анизотропная модель для слабых грунтов Норвежского геотехнического института (NGI), различающая прочность в активном состоянии (A), при простом сдвиге (Dss) и для пассивного состояния (P).

User-defined model		
DLL file		ngiadps64.dll (Plaxis UDSM)
Model in DLL		NGI-ADP-S
Parameters		
G/s_u^A		0,000
γ_f^C	%	0,000
γ_f^E	%	0,000
γ_f^{DSS}	%	0,000
$s_u^A{}_{ref}$	kN/m²	0,000
$vert_{ref}$	m	0,000
$s_u^A{}_{inc}$	kN/m²/m	0,000
s_u^P/s_u^A		0,000
τ_0/s_u^A		0,000
s_u^{DSS}/s_u^A		0,000
ν		0,000
ν_u		0,000
alpha		0,000
power		0,000
$s_{u,min}$	kN/m²	0,000

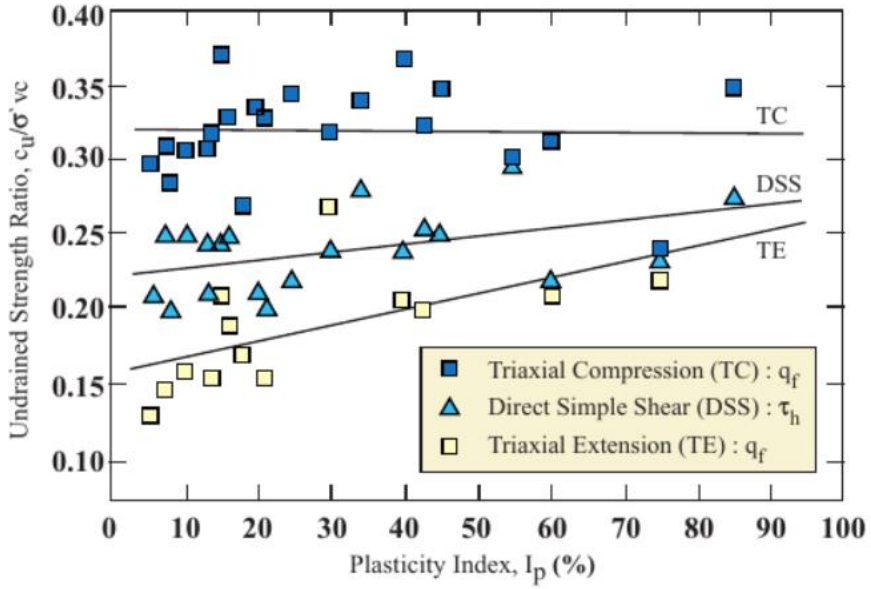


Пользовательская модель:

SHANSEP

NGI ADP+

$$S_u = \alpha\sigma'_1 \left(\frac{\sigma'_{1,max}}{\sigma'_1}\right)^m = \alpha\sigma'_1 (OCR)^m$$

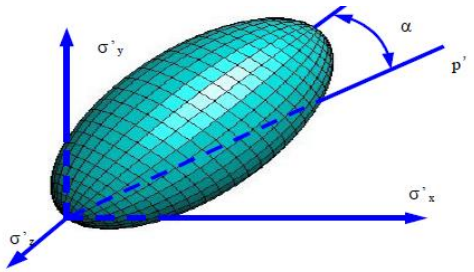


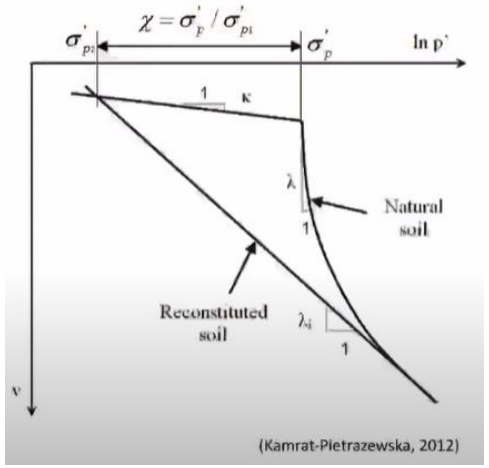
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

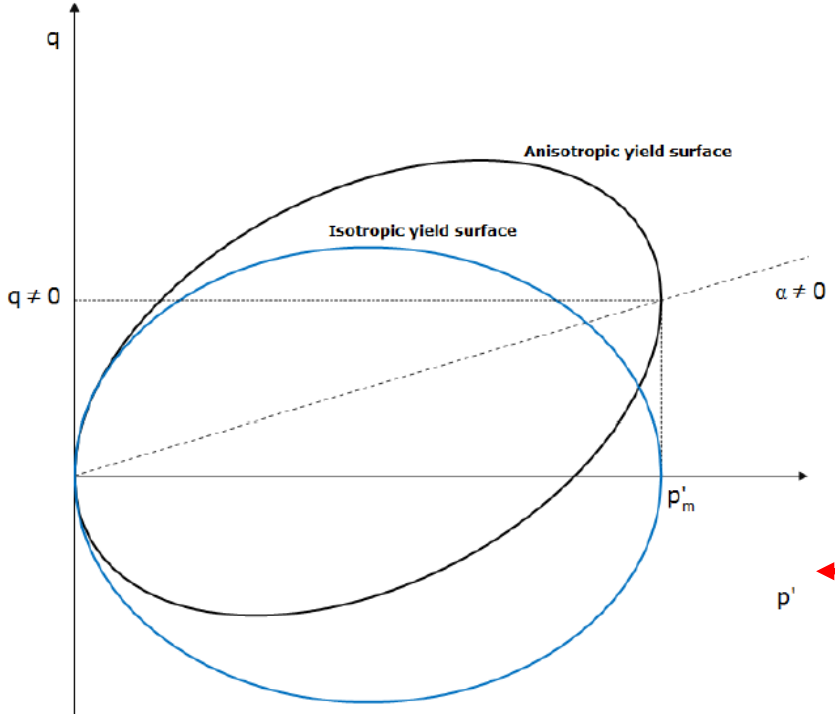
Другие модели для слабых грунтов

Creep-SCLAY1S (S1Clay) развитие модели CamClay
с учетом особенностей слабых грунтов:

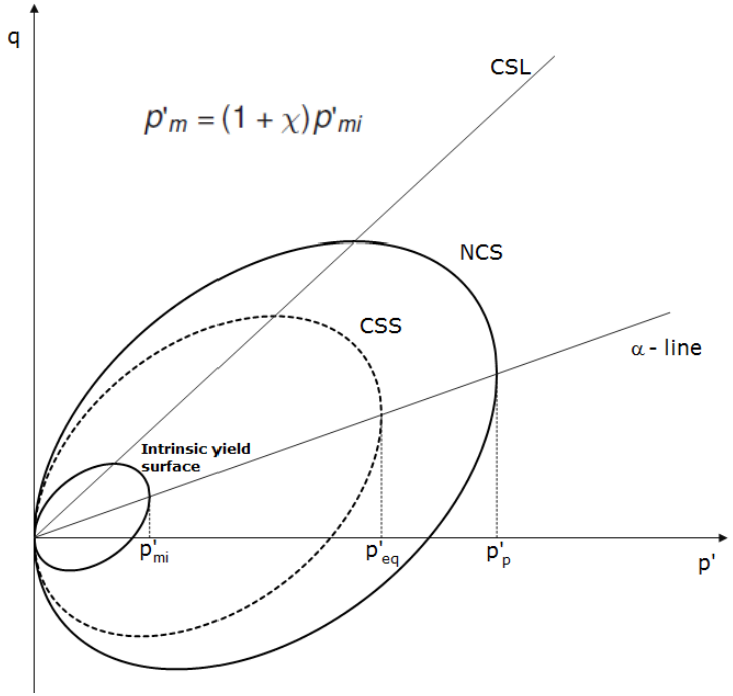
- анизотропия (природная/наведенная);
- ползучесть;
- структурная прочность.







User-defined model		
DLL file		creep-sclay1s64.dll (Plaxis UDS
Model in DLL		Creep-SClay1S
Parameters		
κ^*		0,000
ν		0,000
λ^*		0,000
M_c		0,000
M_e		0,000
ω		0,000
ω_d		0,000
ξ		0,000
ξ_d		0,000
OCR >=1		0,000
POP >=0	kN/m²	0,000
e_0		0,000
α_0		0,000
χ_0		0,000
τ	day	0,000
μ^*		0,000
K_0^{NC}		0,000



при α=0 модель изотропна (аналог CamClay)

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Сочетания режимов и типов поведения по условиям дренирования

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Типы поведения по условиям дренирования

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Типы поведения по условиям дренирования:

- *Недренированный* (**Undrained B, C**) — задается по результатам НН трехосных испытаний (Cu) или испытаний крыльчаткой (τ=Cu). Предназначен **только для оценки нестабилизированного** состояния слабых оснований до начала консолидации.

- *Дренированный* (**Drained**) — задается по результатам КД (КН) трехосных испытаний, медленного сдвига как эффективная прочность (c'и φ'). Предназначен **только для оценки стабилизированного** состояния слабых оснований после завершения консолидации.

- *Универсальный* (**Undrained A**) — использует в качестве входных значений результаты КД (КН) трехосных испытаний в виде эффективной прочности (c' и φ'). Предназначен для комплексной оценки как **нестабилизированного, стабилизированного**, так и переходного состояния слабых оснований. Требуется контроль нестабилизированного состояния!

- *Водоупор* (**Non-porous**) — этот тип не допускает образование избыточного порового давления. Применяется для принудительного исключения генерации избыточного порового давления в прочных грунтах (IL<0,5).

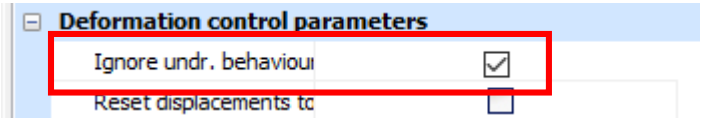
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

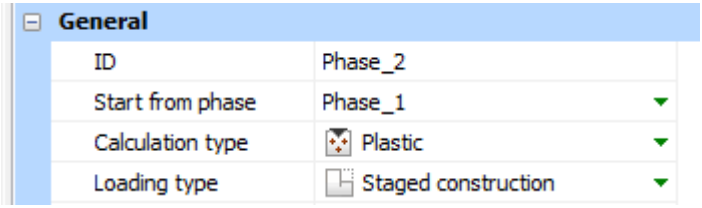
Bentley

Режимы расчетов

Используется три режима расчета:

1) *Стабилизированный* (**Plastic + Ignore undr. behaviour**) расчет предполагает условно мгновенное (без учета времени) приложение нагрузки, формирование напряженного состояния и определение деформаций. Избыточное поровое давление в этом расчете не генерируется. Применяется для определения остаточной осадки и в тех случаях, когда не требуется учитывать избыточное поровое давление (например, для дренирующих грунтов).





2) *Нестабилизированный* (**Plastic**) расчет производится без учета времени только для <u>недренированного поведения моделей</u> предназначен для генерации максимального избыточного порового давления.

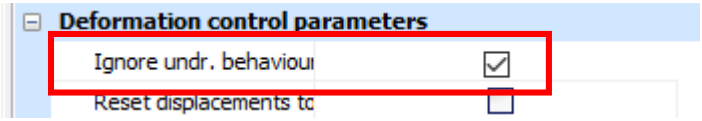
Режим расчета	Тип поведения	Состояние
Plastic	Undrained	**НЕ**стабилизированное
Plastic	**Drained** или **Ignore undrained behaviour**	Стабилизированное

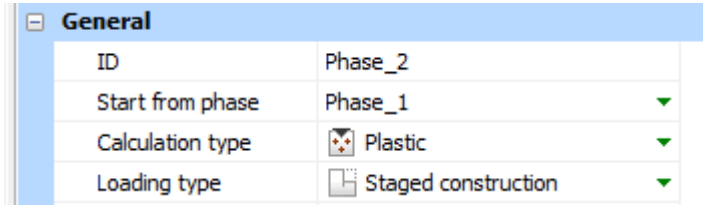
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Режимы расчетов

Используется три режима расчета:

1) *Стабилизированный* (**Plastic + Ignore undr. behaviour**) расчет предполагает условно мгновенное (без учета времени) приложение нагрузки, формирование напряженного состояния и определение деформаций. Избыточное поровое давление в этом расчете не генерируется. Применяется для определения остаточной осадки и в тех случаях, когда не требуется учитывать избыточное поровое давление (например, для дренирующих грунтов).





2) *Нестабилизированный* (**Plastic**) расчет производится без учета времени только для <u>недренированного поведения моделей</u> предназначен для генерации максимального избыточного порового давления.

3) *Консолидационный* (**Consolidation**). Применяется для определения времени консолидации после завершения строительства. Для моделирования стадийности отсыпки и временных выдержек применяется только при использовании универсального типа поведения по условиям дренирования (Undrained A).

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Общие рекомендации

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Особенность	Тип поведения	Режим	Модель
Поровое давление	Undrained A, B	Plastic, Consolidation	Все
	Drained	Consolidation	

Не забывайте делать **непористыми** бетон и другие материалы,
в которых нет и не бывает порового давления!

NON-POROUS

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Общие рекомендации

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

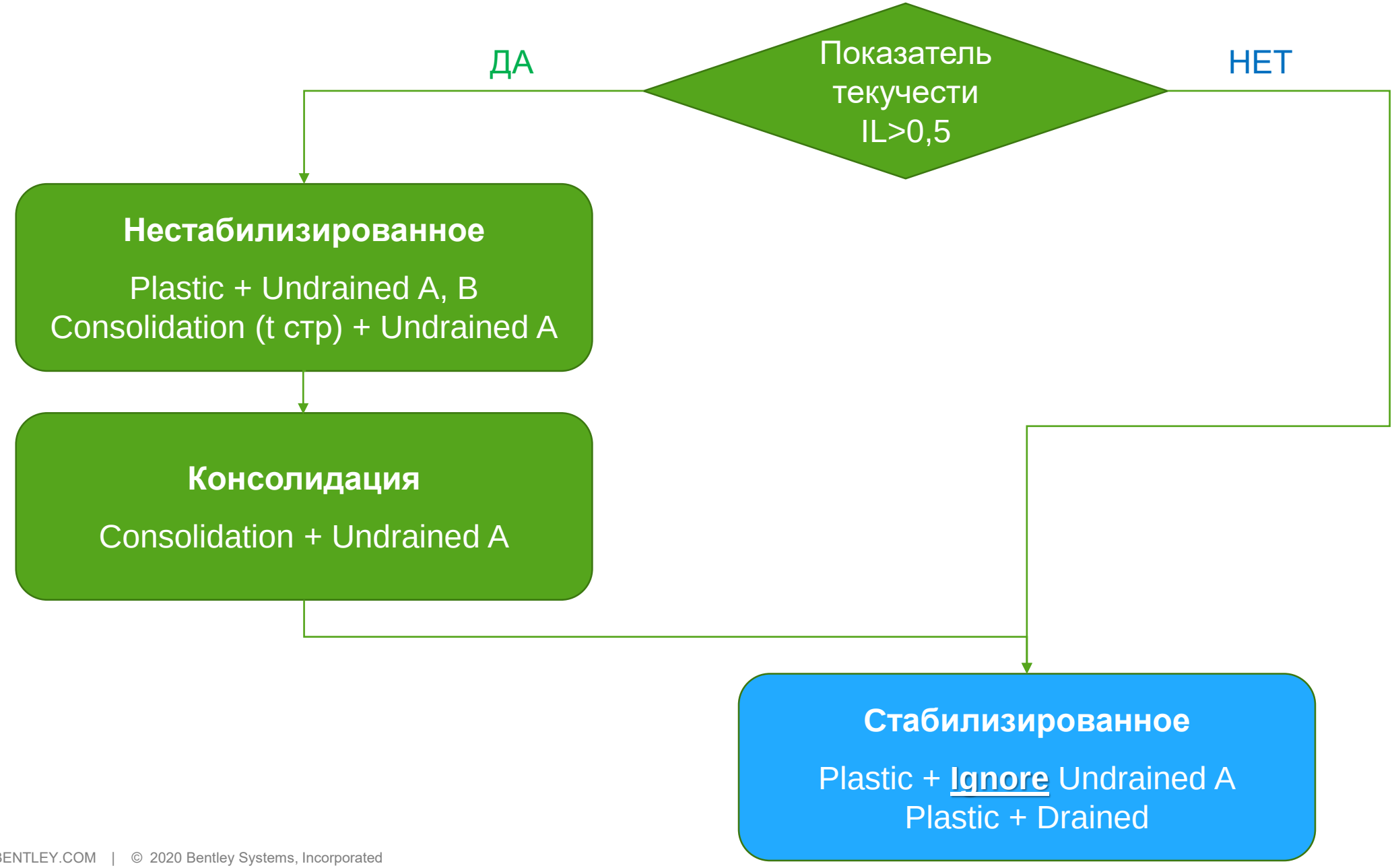
Особенность	Тип поведения	Режим	Модель
Поровое давление	Undrained A, B	Plastic, Consolidation	Все
	Drained	Consolidation	
Нестабилизированное состояние (до консолидации)	Только Undrained A	Plastic, Consolidation	SS, SSC, MC, HS
	Только Undrained B		HS, MC
	Только Undrained C	Только Plastic	MC, NGI-ADP
	Drained (условно)	Consolidation (t → 0)	Все
Упрочнение во времени	Undrained A	Consolidation	Все
Нелинейность деформаций	—	Plastic, Consolidation	SS, SSC, HS, MC*
Реологические свойства	—	Plastic, Consolidation	SSC, SO*, SClay1S*

Специальные модели добавлены только в строках, отражающих их специфику

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Принципиальная схема выбора сочетаний



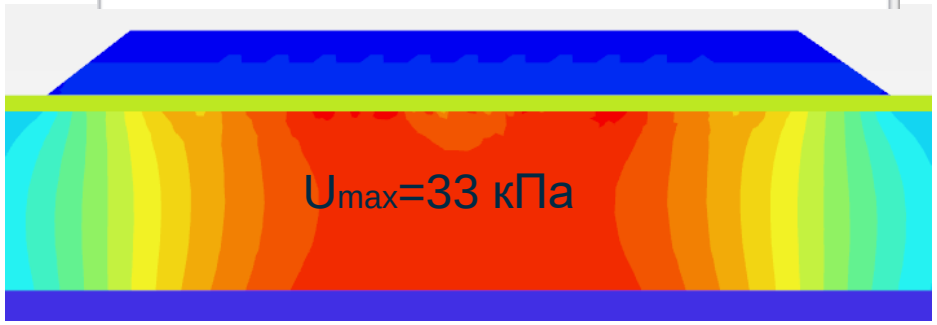
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

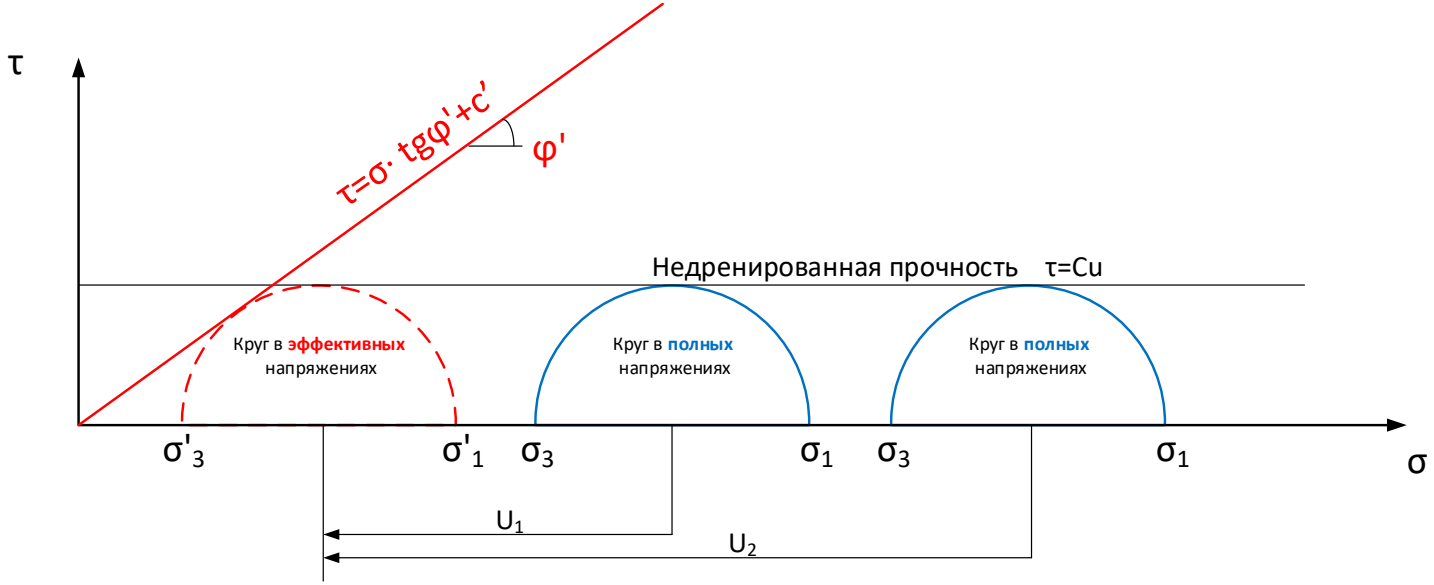
Способы нагружения (учет стадийности)

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Вариант	Режим	Описание	
Консервативный	Plastic+Undrained A	нагружение	
	Consolidation (t стр)	выдержка	t





 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

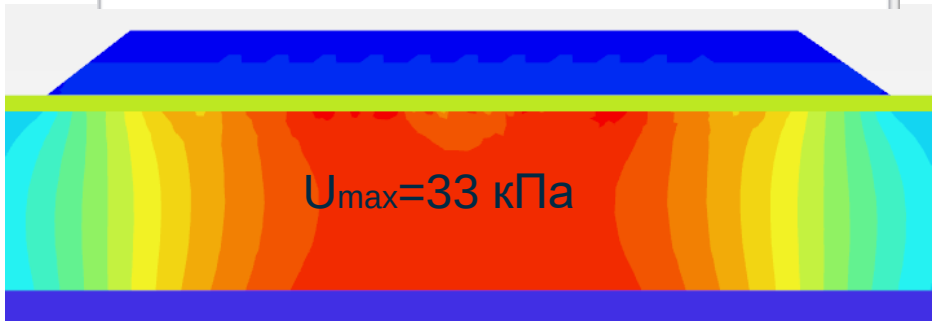
Bentley

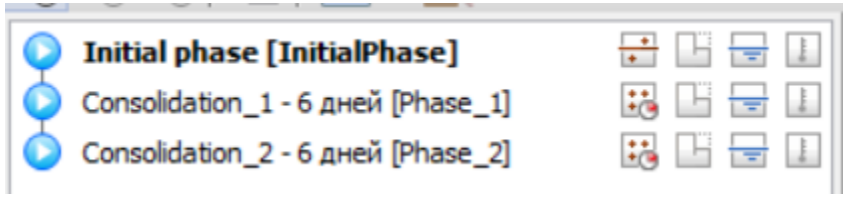
Способы нагружения (учет стадийности)

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

Вариант	Режим	Описание	
Консервативный	Plastic+Undrained A	нагружение	
	Consolidation (t стр)	выдержка	t
Зависящий от времени	Consolidation (t стр)	нагружение во времени	





 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Упрощенный подход к оценке нестабилизированного состояния

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Принципы расчетов консолидации

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

1. Анализ в *полных* напряжениях

Undrained B

НЕреалистично

Нестабилизированное	Консолидация	Стабилизированное
Cu (НН трехосные) $K_{уст}$ (строительный)	Cu (НН трехосные) время консолидации	$K_{уст}$ (эксплуатационный) S_0 конечная осадка

Переход на C' φ'

2. *Условный недренированный* анализ в полных напряжениях

«Drained»

НЕреалистично

Нестабилизированное	Консолидация	Стабилизированное
$C_{нач}$ $\varphi_{нач}$ (быстрый сдвиг) $K_{уст}$ (строительный)	$C_{нач}$ $\varphi_{нач}$ (быстрый сдвиг) время консолидации	$K_{уст}$ (эксплуатационный) S_0 конечная осадка

Переход на C' φ'

1 — консервативная оценка по прочности; 2 — неконтролируемая оценка по прочности

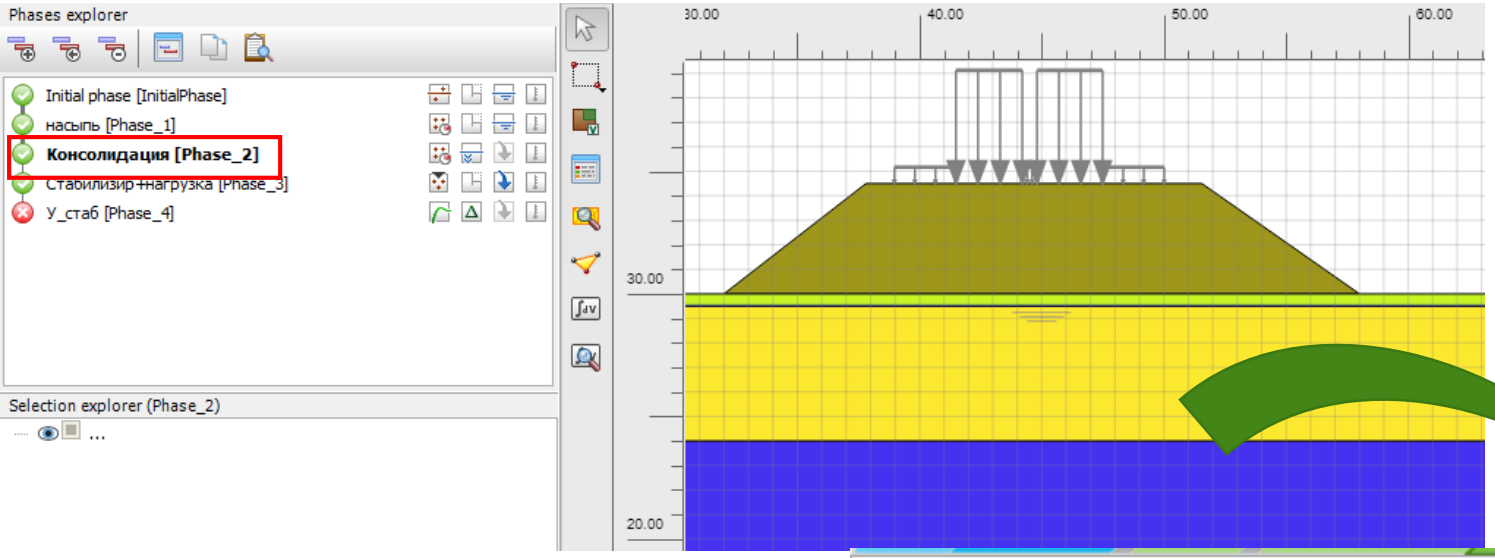
 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Условный анализ в полных напряжениях

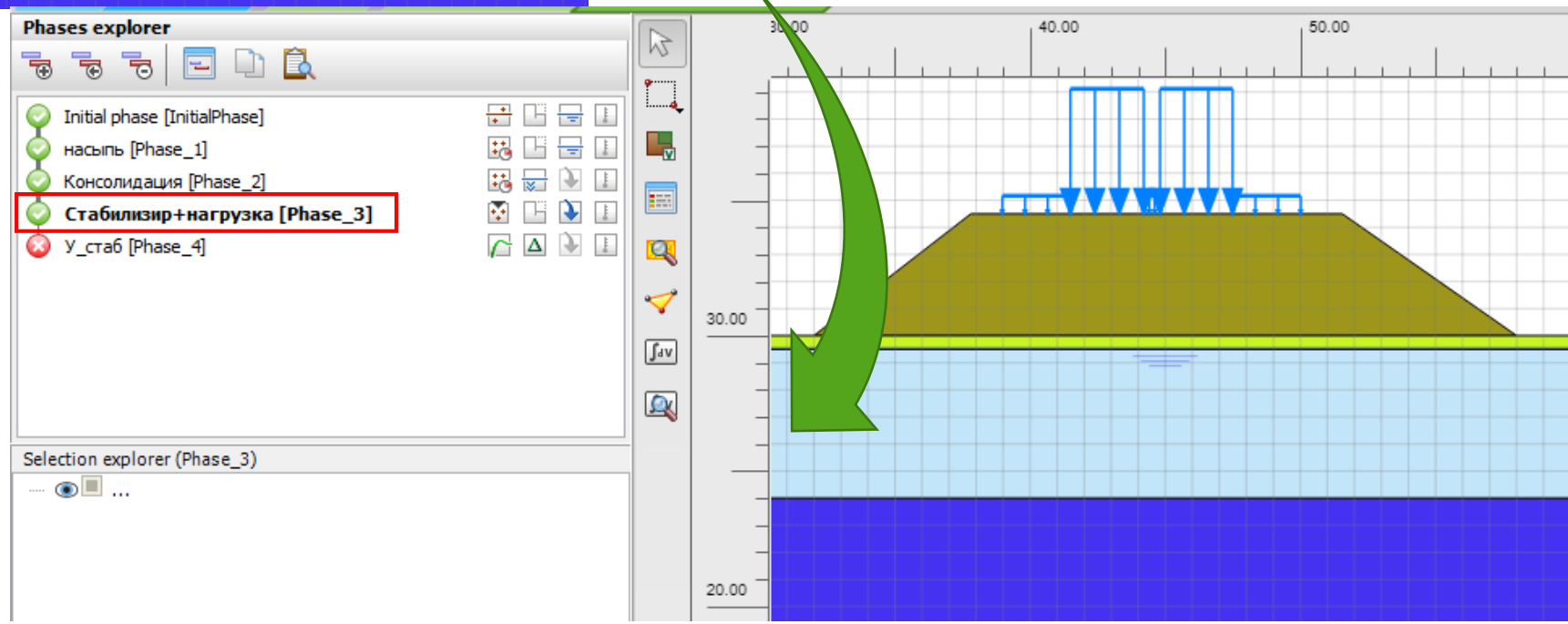
НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition



Условно-недренированный

Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 253, 232, 48
Strength		
c'_{ref}	kN/m²	5,000
φ' (phi)	°	10,00



Дренированный

Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 195, 229, 249
Strength		
c'_{ref}	kN/m²	15,00
φ' (phi)	°	17,00

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Комплексный анализ

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Принципы расчетов консолидации

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

3. Анализ в *эффективных* напряжениях

Undrained A

Нестабилизированное

C’ φ’
(КД трехосные)
Контроль расчетного Cu по измеренному

Куст (строительный)

Консолидация

«C_w φ_w»
прочность меняется во времени автоматически

время консолидации

Стабилизированное

C’ φ’

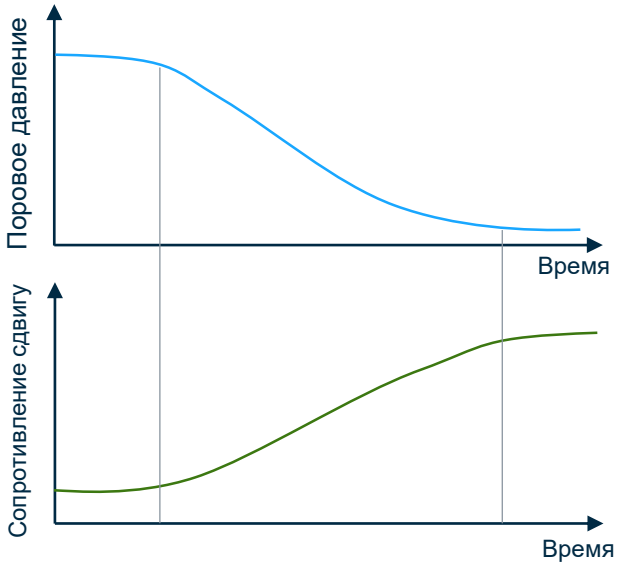
Куст
(эксплуатационный)
S_0 конечная осадка

Нестабилизированное

Cu (НН трехосные)

поверочный расчет (Undrained B)

Консервативная оценка



Стабилизированное

C’ φ’
(медленный срез)

поверочный расчет

При использовании трехосных и срезовых испытаний (или по корреляционным зависимостям)

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

Выводы

1. Учет слабых грунтов в расчетах — сложная геотехническая задача.
2. Показатель текучести может быть использован как комплексный критерий предварительного отнесения грунтов к категории слабых.
3. PLAXIS предлагает как очень простые, так и очень сложные модели, однако есть и хорошие средние модели (SS и SSC).
4. Для слабых грунтов следует различать нестабилизированное и стабилизированное состояния. Первое определяется недренированным сопротивлением сдвигу Cu, а второе — эффективной прочностью c’ φ’.
5. Разработчики PLAXIS предусмотрели несколько вариантов учета состояния слабого грунта, что дает возможность геотехнику выполнить всесторонний анализ с получением надежных результатов.
6. Использование условного недренированного поведения следует рассматривать как временный вариант решения и отказываться от него при любой возможности.
7. Стадийность возведения — наиболее дешевый вариант строительства, реализовать который можно при использовании универсального типа Undrained A.

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

НИП-ИНФОРМАТИКА

PLAXIS CONNECT Edition

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ

Федоренко
Евгений Владимирович
+7 (812) 321-00-55, *253
eugeniy.fedorenko@nipinfor.ru
plaxis.ru

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated

Bentley

PLAXIS

инструмент для решения геотехнических задач любой сложности

 © 2020 Bentley Systems, Incorporated