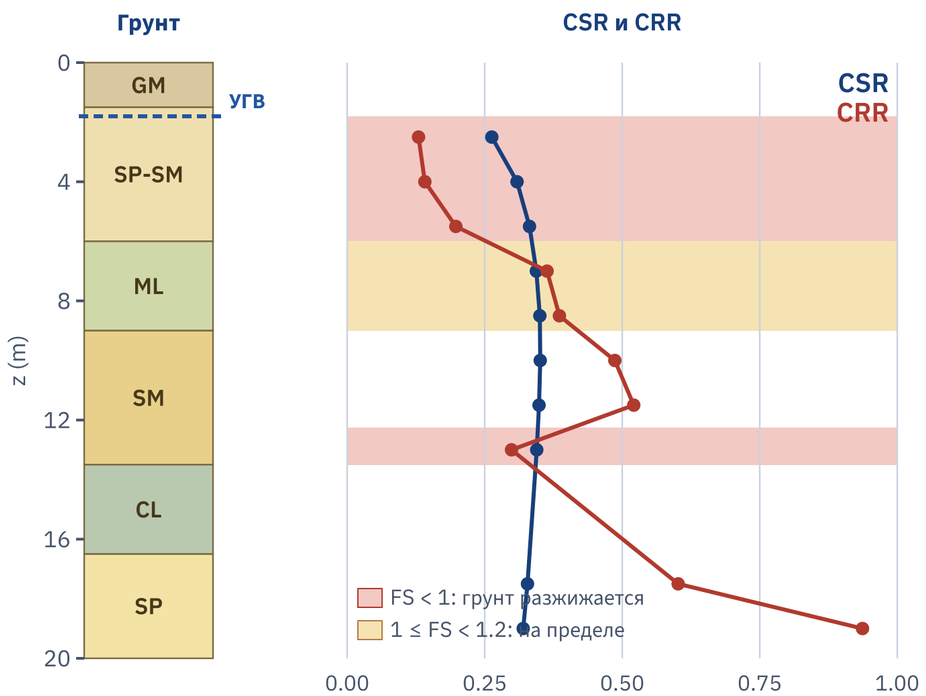
Презентация лекции по геотехнике · Разжижение грунтов

Оценка инициирования разжижения по SPT

Лекция: инициирование разжижения по SPT (Idriss–Boulanger); одна скважина и одна точка испытания решаются вручную от начала до конца, остальные точки — по таблицам.

Поправки · CSR · CRR · MSF · Kσ · FS и зоны · Можно решить вручную



Что мы изучим на этой лекции?

Оценка разжижения по напряжениям: сейсмическая нагрузка **CSR** сравнивается с сопротивлением грунта **CRR**; **FS = CRR / CSR**

Поправки от необработанного числа ударов SPT N_{30} к $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$: энергия, длина штанг, бытовое давление и содержание пылевато-глинистых частиц

CSR (r_d, σ_v/σ'_v), кривая CRR, **масштабирование по магнитуде** MSF и **коэффициент бытового давления** K_σ

Какие испытания **исключаются** из расчёта в результате отбраковки; как определяются зоны и толщина разжижаемого слоя

В одной скважине **одна точка испытания рассчитывается полностью вручную**, остальные — теми же шагами в таблице

ХОД ЛЕКЦИИ

Каждая тема излагается **в три шага**:

1 · **Теория**: формула и обоснование

2 · **Условие**: дано и требуется определить

3 · **Решение**: пошагово, с числами

Пример: скважина BH-1 (УГВ 1.80 m; 0–1.5 m — насыпной грунт, 1.5–6 m — рыхлый песок …); a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, отношение энергии молота 60%, $FS_{required}$ = 1.20.

Какое испытание оценивается?

ТЕОРИЯ

Испытание оценивается, если оно выполнено **ниже уровня грунтовых вод (УГВ)**, на глубине не более z_{max} (по умолчанию 20 m) и в грунте, **ведущем себя как песок**

Грунт с индексом пластичности PI ≥ PI_{lim} (по умолчанию 7) **ведёт себя как глина**; если PI не задан, на это указывает символ CL, CH, OL, OH или PT

Глиноподобный грунт при циклическом нагружении может **разупрочняться**, но не разжижается в том смысле, который здесь используется: его оценка относится к проверке циклического разупрочнения

Испытания, не вошедшие в оценку, остаются во всех таблицах **с указанием причин**. Последствия разжижения (осадка, боковое растекание, потеря несущей способности) выходят за рамки данной версии

Полное вертикальное напряжение, поровое давление и эффективное напряжение

ТЕОРИЯ

γ принимается выше УГВ; **γ_{sat}** — ниже; значения суммируются слой за слоем. Поровое давление от УГВ вниз **гидростатическое** (z_W — глубина УГВ в скважине)

Эффективное напряжение σ'_v используется как в CSR, так и в поправках на бытовое давление

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

Эффективное напряжение вычисляется только для испытаний ниже УГВ: выше УГВ u = 0, и такое испытание исключается.

От N_{30} к N_{60}

ТЕОРИЯ

Необработанное число ударов N_{30} (последние 30 cm) приводится к стандартной штанге с **энергией 60%**: C_E = ER/60 (молот), C_B (диаметр скважины), C_S (пробоотборная труба)

C_R зависит от длины штанг: длина штанг = z + длина над поверхностью (здесь 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Длина стержня (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

ТЕОРИЯ

C_N приводит измерение к эффективному напряжению 1 atm (P_a = 101.3 kPa); поскольку показатель степени m зависит от самого результата, он находится **итерациями**; $C_N \leq 1.7$

Пылевато-глинистые частицы повышают песчаноподобное сопротивление: с помощью FC (в процентах; значение самого испытания, если оно измерено, иначе значение слоя) осуществляется переход к эквиваленту чистого песка

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

Сейсмическая нагрузка: CSR и r_d

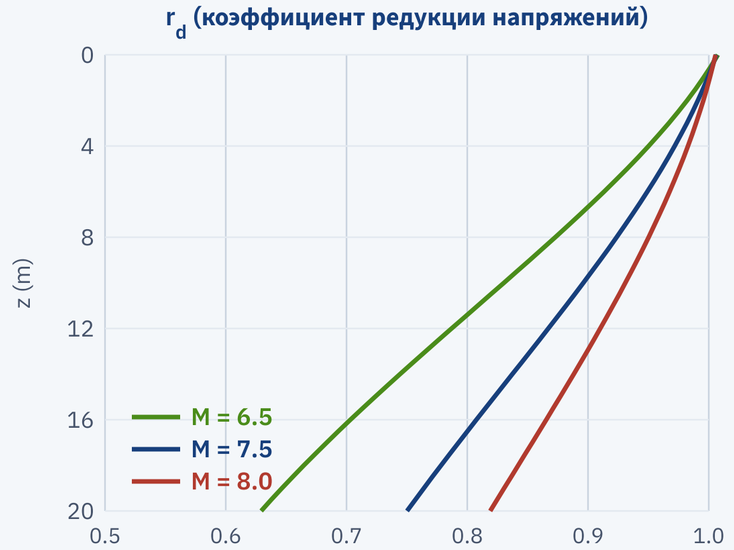
ТЕОРИЯ

CSR — отношение циклического касательного напряжения, создаваемого в грунте землетрясением, к эффективному напряжению; 0.65 отражает среднее напряжение, σ_V/σ'_V — влияние глубины

r_d (коэффициент редукции напряжений) уменьшается с глубиной и магнитудой; на поверхности он равен 1

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



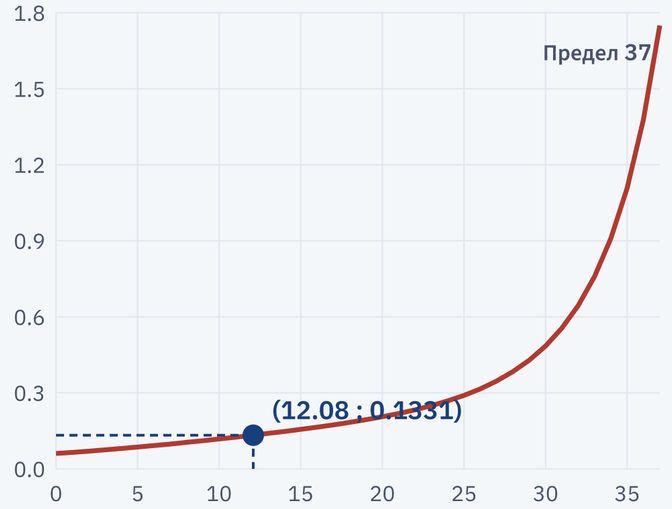
Сопротивление грунта: кривая CRR

ТЕОРИЯ

$CRR_{M=7.5;\ \sigma'=1}$ зависит только от $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$ (кривая Idriss–Boulanger); справедлива для M = 7.5 и σ'_V = 1 atm

Кривая используется вплоть до $\mathbf{(N_1)_{60cs} = 37}$; результат более плотного испытания оценивается на этом пределе, и выдаётся предупреждение

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF и K_σ

ТЕОРИЯ

Масштабирование по магнитуде **MSF**: CRR относится к M = 7.5; для других магнитуд оно учитывает разницу в числе циклов. При M < 7.5 MSF > 1

Коэффициент **K_σ** учёта давления вышележащих слоёв: CRR относится к 1 atm; с ростом σ'_v отношение сопротивления уменьшается. $K_\sigma \le 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \le 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\frac{\sigma'_v}{P_a} \le 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \le 0.3$$

FS = CRR / CSR; зона и толщина

ТЕОРИЯ

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1: **инициируется разжижение**; 1 ≤ FS < $FS_{required}$ (1.20): **на границе допустимого**; требуемое значение — входной параметр, принимаемый по техническим требованиям проекта

Каждое оцениваемое испытание представляет свой слой: до **середины** расстояния до вышележащего и нижележащего испытаний; на границе слоя и на УГВ интервал заканчивается

Если соседние интервалы дают один и тот же результат, они объединяются в одну **зону**; **разжижаемая толщина** скважины равна сумме зон с FS < 1

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Условие

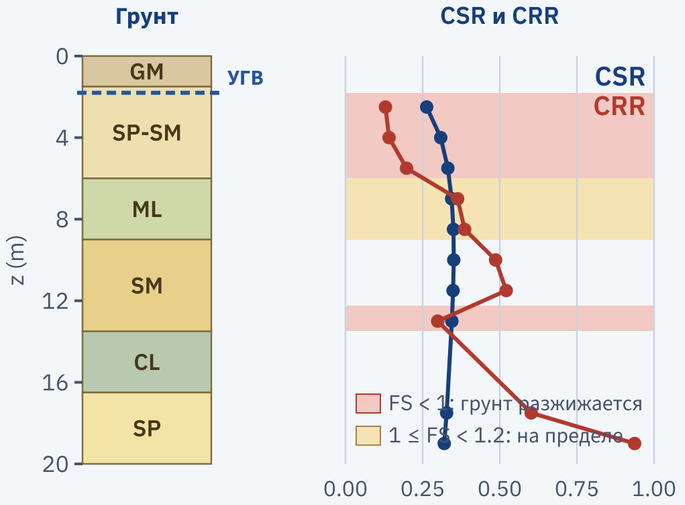
ПРИМЕР

Дано

Скважина BH-1	**УГВ $z_w = 1.80$ m; 0–1.5 m насыпной грунт (GM): $\gamma = 18.5$; 1.5–6 m рыхлый песок (SP-SM): $\gamma = 18.0$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³, FC = 8 %**
Испытание	**на глубине $z = 4.0$ m: $N_{30} = 10$ (ниже УГВ)**
Землетрясение и оборудование	**$a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$; ER = 60% ($C_E = C_B = C_S = 1$), длина штанг = $z + 1.5$ m; $FS_{req} = 1.20$**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Напряжения, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (итерацией), **CSR**, **CRR** и **FS**.



Решение (1/5)

РЕШЕНИЕ

1 Полное вертикальное напряжение (по слоям; УГВ 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \text{kPa}$$

2 Поровое давление и эффективное напряжение

$$u = \gamma_w (z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \text{kPa}$$

Испытание выполнено на **2.20 m** ниже УГВ: σ_V = 76.05, u = 21.58, **σ'_V = 54.47 kPa**. Это точка, в которой наблюдается наименьший FS скважины (рисунок на странице условия).

Решение (2/5)

РЕШЕНИЕ

3 Поправка на длину штанг и N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 Увеличение содержания пылевато-глинистых частиц

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 Поправка на давление вышележащих слоёв: так как C_N зависит от $(N_1)_{60cs}$, требуется итерация (σ'_v = 54.47 kPa)

Итерация	n (входная величина)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

Сходится за 8 итераций: **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

Решение (3/5)

РЕШЕНИЕ

6 Коэффициент редукции напряжений r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 Циклическое отношение напряжений

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max} r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

Землетрясение на этой глубине создаёт циклическое касательное напряжение, равное **30.9**% эффективного напряжения (CSR = 0.3087).

Решение (4/5)

РЕШЕНИЕ

8 Базовое сопротивление при M = 7.5 и σ′ = 1 atm ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 Коэффициенты магнитуды и бытового давления

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996\ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0619**: произведение этих трёх чисел даёт CRR (следующий слайд).

Решение (5/5)

РЕШЕНИЕ

10 Сопротивление и коэффициент запаса

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1: в этом испытании разжижение **возникает**. Испытание представляет интервал 3.25 – 4.75 m (середины расстояний до вышележащего испытания на 2.5 m и до нижележащего на 5.5 m). Те же десять шагов повторяются для каждого испытания.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Скважина BH-1	**13 SPT:** $z = 1.0$ **–** 19.0 **m; УГВ** 1.80 **m;** $z_{max} = 20$ **m;** $PI_{lim} = 7$
Слои	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML** $PI = 5$ **(6–9), SM (9–13.5), CL** $PI = 18$ **(13.5–16.5), SP (16.5–20)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для каждого испытания — решение **оценивается / не оценивается** и обоснование.

Решение

РЕШЕНИЕ

z (m)	N_{30}	Грунт	PI	УГВ?	Подобен глине?	Вывод
1.0	9	GM	–	**выше**	–	**не оценивается**: выше УГВ
2.5	7	SP-SM	–	ниже	нет	оценивается
4.0	10	SP-SM	–	ниже	нет	оценивается
5.5	16	SP-SM	–	ниже	нет	оценивается
7.0	21	ML	5	ниже	нет	оценивается
8.5	22	ML	5	ниже	нет	оценивается
10.0	27	SM	–	ниже	нет	оценивается
11.5	29	SM	–	ниже	нет	оценивается
13.0	25	SM	–	ниже	нет	оценивается
14.5	13	CL	18	ниже	да	**не оценивается**: глиноподобный грунт (PI ≥ 7)
16.0	15	CL	18	ниже	да	**не оценивается**: глиноподобный грунт (PI ≥ 7)
17.5	40	SP	–	ниже	нет	оценивается
19.0	44	SP	–	ниже	нет	оценивается

3 из 13 испытаний исключаются: на глубине 1.0 m (выше УГВ) и на глубинах 14.5 и 16.0 m (CL, PI = 18 ≥ 7). Слой ML (PI = 5 < 7) не считается глинистым, поэтому испытания на глубинах 7.0 и 8.5 m **оцениваются** (FC = 62 %). Исключённые испытания по-прежнему приводятся в таблицах.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Скважина	**BH-1 и параметры из примера 1; десять шагов одинаковы в каждом тесте**
Правило зон	**каждое испытание действует в своём слое до средней точки между соседними испытаниями; останавливается на границе слоя и на УГВ**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Таблица всех испытаний; **зоны разжижения**, **мощность разжижающегося слоя** и наименьший FS.

Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

z (m)	N_{30}	Грунт	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	Состояние
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*выше УГВ*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	Разжижается
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**Разжижается**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	Разжижается
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	На пределе
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	На пределе
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	Безопасно
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	Безопасно
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	Разжижается
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*глинистого типа (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*глинистого типа (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	Безопасно
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	Безопасно

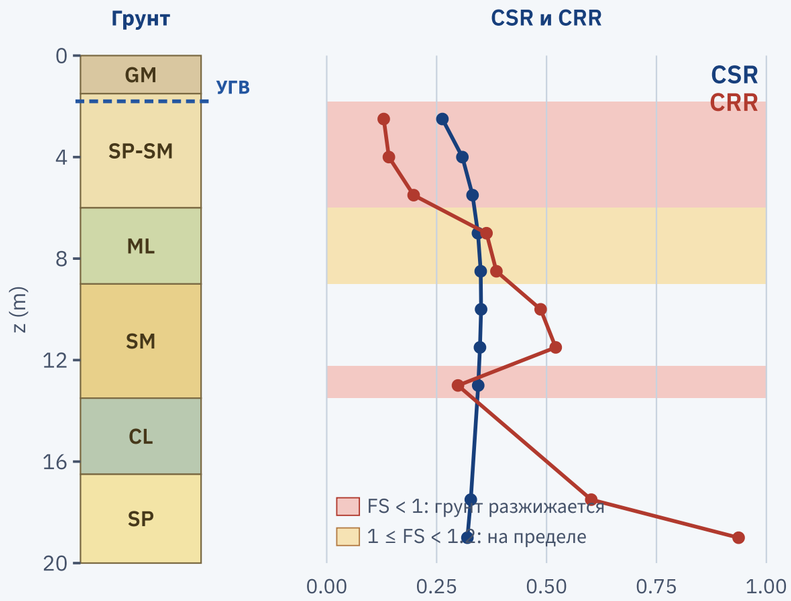
Наименьшее FS = 0.458 (z = 4.0 m). Зоны разжижения: **1.80 – 6.00 m** и **12.25 – 13.50 m**; в пограничном состоянии: 6.00 – 9.00 m. Мощность разжижающегося слоя = 5.45 m. Строка 4.0 m — Пример 1, решаемый вручную.

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

1 Каждое испытание представляет свой интервал; соседние интервалы с одинаковым результатом объединяются

Зона	Диапазон (m)	Толщина (m)	Испытания	Диапазон FS
Разжижаемый слой 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
На пределе	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
Разжижаемый слой 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
Итого разжижено		**5.45**		



Пример: испытание на глубине 4.0 m представляет интервал 3.25 – 4.75 m; испытание на 2.5 m охватывает 1.80 – 3.25 m (ограничено УГВ), испытание на 5.5 m — 4.75 – 6.00 m (ограничено границей слоя): в сумме **4.20 m**. Разжижаемая мощность по скважине составляет 5.45 m.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Базовый случай	**BH-1:** $a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$, **УГВ** 1.80 **m, ER = 60%**
Переменные	**только один за раз:** $a_{max} = 0.25g$ **/** $0.45g$**;** $M = 6.5$ **/** 8.0**; УГВ** 3.0 **m /** 1.0 **m; ER 45% / 80%**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Наименьший FS и **мощность разжижающегося слоя** для BH-1; ручная проверка MSF для точки испытания на глубине 4.0 m.

Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

Состояние	Изменение	Наименьший FS	z (m)	Мощность разжижающегося слоя (m)	На пределе (m)
Подошва	a_{max} 0.35g; M 7.5; УГВ 1.8; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} уменьшается	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} увеличивается	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
Магнитуда уменьшается	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
Магнитуда увеличивается	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
УГВ понижается	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
УГВ повышается	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
Энергия уменьшается	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
Энергия возрастает	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max} — наиболее влияющий входной параметр: при 0.25g толщина разжижающегося слоя составляет 4.20 m, при 0.45g — 8.45 m. Влияние **энергии молота** неожиданно велико: при ER 45 % значение N_{60} уменьшается, и толщина разжижающегося слоя возрастает до 15.20 m. Поэтому важно **знать** измеренное отношение энергии.

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

1 Коэффициент масштабирования по магнитуде для M = 6.5 и M = 8.0 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 В том же испытании (4.0 m) FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

Меньшая магнитуда означает меньшее число циклов: MSF растёт, и FS изменяется с 0.458 до **0.510**; при M = 8.0 FS равен 0.436. И r_d, и MSF зависят от магнитуды; оба действуют в одном направлении.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Скважины	**BH-1 (УГВ 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m); те же параметры**
Сечение	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Наименьший FS каждой скважины, мощности **разжижающихся** и **пограничных** слоёв; сводка по проекту.

Решение

РЕШЕНИЕ

Скважина	УГВ (m)	Испытание	Отсеянные	Наименьший FS	z (m)	Зоны разжижения (m)	Толщина (m)	На пределе (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

Во всех трёх скважинах из трёх разжижение возникает. Наименьший FS = 0.458 (BH-1, 4.0 m); наибольшая мощность разжижающегося грунта — в BH-1 (5.45 m). Из 39 испытаний оценено 27, исключено 12 (выше УГВ или глинистого типа).

Если задана линия разреза, цветовая полоса линейно интерполируется между скважинами; серая область — грунт, не учитываемый при оценке.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Резюме

Главное

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), C_N определяется итерациями

Пример (BH-1, 4.0 m): σ'_v 54.47 kPa; N_{60} 8.50; C_N 1.378; $(N_1)_{60cs}$ 12.08; CSR 0.3087; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

Отбор: испытания выше УГВ, ниже z_{max} и глиноподобные (PI ≥ 7) в расчёт не включаются; **зона**: испытания распространяются до соседних средних точек

Чувствительность: a_{max} и измеренная энергия молота — исходные данные, сильнее всего меняющие результат; последствия разжижения рассчитываются отдельно

Список литературы

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

ПРИМЕЧАНИЕ

Все числовые примеры получены с помощью собственного расчётного ядра модуля; модуль даёт те же значения. Начальный проект модуля — эти три скважины (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

GeoTerva

Геотехнические расчёты онлайн

От теории к практике

Введите в GeoTerva свои скважины, результаты SPT, УГВ и параметры землетрясения; модуль выдаёт поправки для каждого испытания, CSR, CRR, FS, зоны, толщину разжижающегося слоя и разрез с цветными полосами, а также пошаговое решение и отчёт.

Открыть модуль →

Страница теории →

Открыть на телефоне

Для пробных модулей регистрация не требуется.