

Руководство пользователя



GeoWall 5.5.1

Расчет ограждений котлованов

Дата редакции: 13.02.2015

ООО "ИнжПроектСтрой" оставляет за собой право на внесение изменений в данном документе без предварительного уведомления.

Никакая часть данного документа не может быть воспроизведена или передана в любой форме и любыми способами в каких-либо целях без письменного соглашения ООО "ИнжПроектСтрой"

© 2007 - 2015 ООО "ИнжПроектСтрой".
С сохранением всех прав

Содержание

1 Введение	5
2 Методы расчета	6
2.1 Расчет давления грунта	6
2.1.1 Учёт сейсмического воздействия	13
2.1.1.1 СП 14.13330.2011	14
2.1.1.2 СП Выводы	15
2.1.1.3 Справочное пособие	16
2.1.1.4 Справочное пособие Выводы	17
2.2 Расчет устойчивости грунта вокруг заглубленной части стены	17
2.3 Расчет продольных сил в анкерах	19
2.4 Решение задачи упругого изгиба стены	21
2.5 Расчет ограждения котлована на прочность	23
2.6 Эффективные характеристики сечений стены	24
2.7 Учёт воды	25
3 Обзор программы	27
3.1 Верхнее меню	27
3.1.1 Меню «Файл»	27
3.1.2 Меню «Расчет»	28
3.1.3 Меню «Результаты»	28
3.1.4 Меню «Сервис»	29
3.1.4.1 Раздел «Настройки»	29
<i>Вкладка Изображение</i>	29
<i>Вкладка Кнопки</i>	31
<i>Вкладка Отчет</i>	31
<i>Вкладка Расчёт</i>	32
<i>Вкладка Оформление</i>	33
3.1.5 Меню «Справка»	34
3.2 Панель инструментов	34
3.2.1 Группа Файл	34
3.2.2 Группа Расчёт	35
3.2.3 Группа Результаты расчета	35
3.3 Панель ввода информации	38
3.3.1 Вкладка «Геология»	38
3.3.1.1 Характеристики грунтов	38
3.3.1.2 Справочник свойств	40
3.3.1.3 Параметры расчета	41
3.3.2 Вкладка «Ограждение»	43
3.3.2.1 Параметры котлована	43
3.3.2.2 Параметры ограждения	44
<i>Окно «Стена в грунте»</i>	44
<i>Окно «Буровые сваи»</i>	46
<i>Окно «Jet сваи»</i>	48
<i>Окно «Шпунт»</i>	49
<i>Окно «Трубы»</i>	50

Окно «Девушавры»	50
"Другой" тип ограждения	51
3.3.2.3 Параметры пионерного котлована	52
3.3.3 Вкладка «Нагрузки»	52
3.3.4 Вкладка «Анкеры, распорки»	55
3.3.4.1 Расчет жесткости анкера	58
Справочник анкеров	59
3.3.4.2 Расчет жесткости распорки	60
Справочник распорок	60
3.3.5 Вкладка «Результаты»	61
3.3.5.1 Специальные случаи	62
3.4 Строка состояния	64
4 Модули	66
4.1 Расчёт устойчивости методом Кранца	66
4.2 Расчёт устойчивости методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения	68
4.3 Расчёт несущей способности анкеров	70
4.3.1 Обзор модуля	71
4.3.2 Использование блока анализа	72
4.3.3 Методики расчёта	72
4.3.3.1 Методика ЦНИИС МинТрансСтроя	73
4.3.3.2 Методика ФундаментПроекта МинМонтажСпецСтроя	74
4.3.3.3 Методика ВСН 506-88	74
4.3.3.4 Методика DIN 1054:2005	75
4.3.3.5 Методика расчета ТрансСтрой 023-2007	76
4.3.3.6 Методика Barley	77
4.4 Расчёт обвязочного пояса	78
5 Пример расчета 1	80
5.1 Создания расчетной схемы	80
5.2 Результаты расчетов	82
6 Пример расчета 2	86
6.1 Создания расчетной схемы	86
6.2 Результаты расчетов	89
7 Литература	94

Введение

Программа GeoWall предназначена для комплексного расчета ограждений котлованов на прочность и устойчивость. Программа позволяет выполнять расчеты с применением практически всех типов ограждающих конструкций: "стены в грунте", ограждений из буронабивных свай, шпунта, труб и двутавров.

Кроме того, впервые в отечественной практике появилась возможность расчета ограждения котлована из Jet свай (грунтоцементных свай), устроенных по технологии струйной цементации.

Программа позволяет рассчитывать ограждения котлованов, состоящих из отдельно стоящих, касательных или взаимно пересекающихся буровых или грунтоцементных свай.

Отличительной особенностью программы GeoWall является простота и удобство интерфейса, что способствует быстрой адаптации пользователя.

Возможности программы:

- Расчет ограждающей конструкции любого типа.
- Учет геологического строения грунтового массива и уровня грунтовых вод.
- Расчет активного, пассивного давления на ограждение и давления грунта в состоянии покоя.
- Расчет изгибающего момента, продольных и поперечных усилий в ограждении.
- Расчет горизонтального перемещения ограждающей конструкции.
- Расчет усилий в анкерах и распорных системах.
- Расчет на прочность ограждающей конструкции.
- Поэтапный расчет котлована.
- Расчет эффективных характеристик сечения (момент инерции, модуль упругости, площадь) для «стены в грунте», буровых свай и грунтоцементных свай.
- Справочник физико-механических характеристик грунтов.
- Справочник армирующих элементов – трубы, двутавры и арматурные каркасы.
- Справочник различных видов шпунтов.
- Сохранение и печать отчета с результатами расчетов, расчетной схемой и эпюрами.

Методы расчета

Программа GeoWall предназначена для расчетов на прочность гибких подпорных стен и для оценки устойчивости грунта вокруг заглубленной части стены.

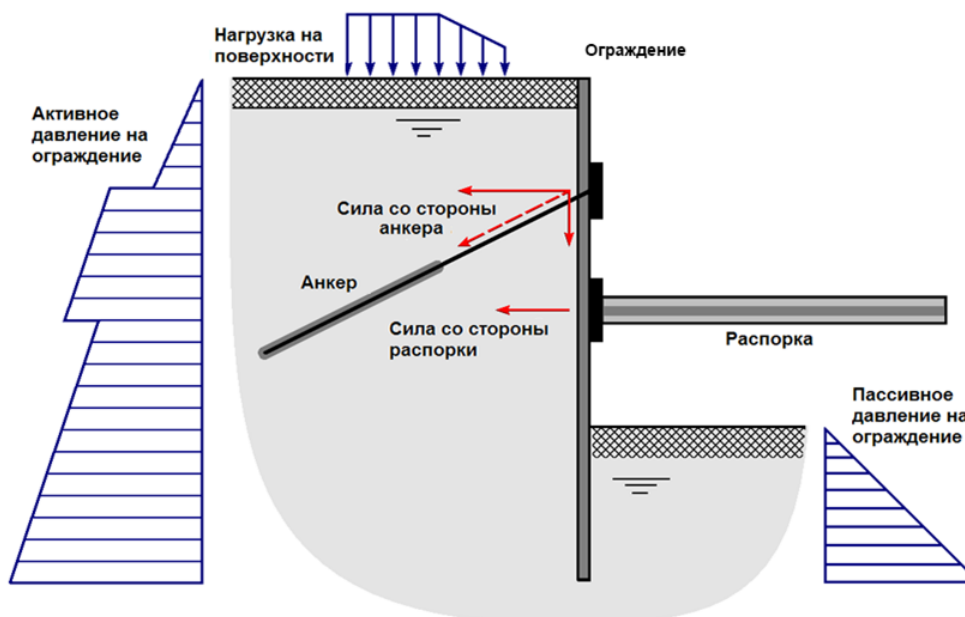


Рис. 1. Расчетная схема

Методика расчета на прочность ограждающей конструкции основана на численном решении задачи изгиба балки, защемленной одним концом в упругопластическом грунте и удерживаемой связями (анкеры, распорки).

Для моделирования упругого изгиба стены используется метод конечных элементов.

Для решения задачи выполняются следующие расчеты:

1. Расчет активного, пассивного давления на ограждение и давления грунта в состоянии покоя.
2. Расчет давления воды.
3. Решение методом конечных элементов задачи упругого изгиба стены под действием суммарного давления грунта и воды с двух сторон ограждения.
4. Расчет упругопластической реакции грунта.
5. Расчет устойчивости грунта вокруг заглубленной части стены (ограждения).
6. Расчет продольных сил в анкерах и распорках.
7. Расчет ограждения котлована на прочность.

1. Расчет давления грунта

Величина горизонтального давления грунта на гибкие подпорные стены зависит от угла наклона поверхности грунта к горизонту, его физико-механических свойств, сил трения на контакте «подпорная стена – грунтовый массив», а также от величины горизонтальных

перемещений конструкции.

Давление на ограждение определяется суммой эффективного давления, вызванного напряженно-деформированным состоянием скелета грунта, и порового давления воды.

В случае если котлован устраивают в неводонасыщенных грунтах, результирующее давление грунта на ограждение будет полностью определяться эффективным давлением.

Для описания бокового давления грунта на ограждение σ_x рассмотрим простейшую расчетную схему, представленную на рис.1.

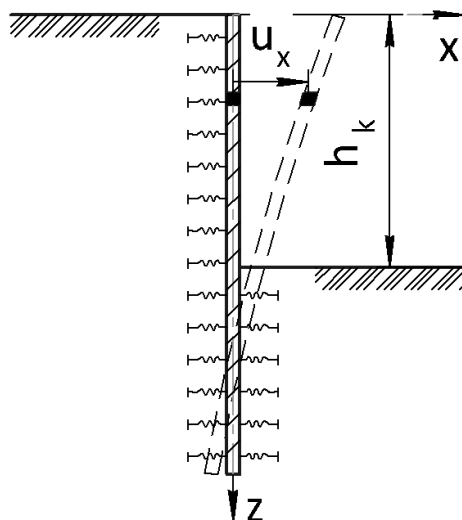


Рис. 1 Расчетная схема: xz – система координат, h_k – глубина котлована, u_x – горизонтальные перемещения ограждения

Давление грунта на неподвижную стену $u_x = 0$, называется **давлением в состоянии покоя** и определяется выражением:

$$\sigma_0(z) = \sigma_x(z, u_x) \Big|_{u_x=0} = \lambda_0 \gamma z, \quad (1)$$

где λ_0 - коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя;

γ - удельный вес грунта;

z - расстояние от поверхности грунта до рассматриваемой точки.

При значительных смещениях стены от грунта на глубине z реализуется **активное давление на ограждение** σ_a , которое соответствует минимальному значению давления.

Пассивное давление σ_p , реализуется при значительных смещениях стены на грунт и соответствует максимальному значению давления.

В случае отсутствия нагрузки на поверхности грунта, выражения для определения

активного и пассивного давлений имеют вид:

$$\sigma_a(z) = \lambda_a \gamma z - c \lambda_{ac}, \quad (2)$$

$$\sigma_p(z) = \lambda_p \gamma z + c \lambda_{pc}, \quad (3)$$

где

λ_a – коэффициент активного давления грунта,

λ_{ac} – коэффициент учета влияния связности грунта на активное давление,

λ_p – коэффициент пассивного давления грунта,

λ_{pc} – коэффициент учета влияния связности грунта на пассивное давление,

c – удельное сцепление грунта.

Активное и пассивное давление грунта на ограждение составляют предельные величины давлений, то есть, эффективное давление всегда находится в диапазоне:

$$\sigma_a(z) \leq \sigma_x(z, u_x) \leq \sigma_p(z) \quad (4)$$

Зависимость эффективного горизонтального давления грунта на удерживающую конструкцию в интервале $u_x \in (u_p, u_a)$ имеет сложный характер (Рис. 2) [3].

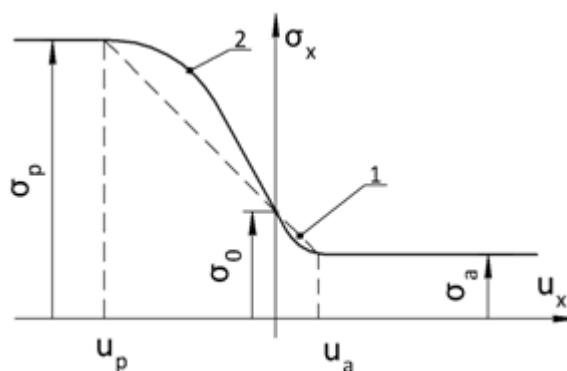


Рис. 2 График зависимости давления грунта на подпорную стену в зависимости от ее перемещения: 1 – фактическое давление, 2 – аппроксимация кусочно-линейной функцией

Функцию изменения величины давления σ_x на некоторой глубине z от перемещений можно представить следующим образом:

$$\sigma_x(u_x) = \begin{cases} \sigma_p, & u_x \leq u_p \\ f(u_x), & u_p < u_x < u_a \\ \sigma_a, & u_a \leq u_x \end{cases} \quad (5)$$

С некоторым допущением функцию $f(u_x)$ можно заменить линейной функцией (рис.2) [1]:

$$f(u_x) = \sigma_0 - ku_x, \tag{6}$$

где k – коэффициент жесткости грунта,

σ_0 – давление грунта в состоянии покоя.

В качестве коэффициента жесткости грунта можно использовать коэффициент постели грунта [2].

Результирующим давлением на ограждение является сумма эффективных давлений на ограждение с обеих сторон стены. Представим в виде двух графиков эффективное давление грунта на подпорную стену со стороны грунта (слева) и котлована (справа) в зависимости от горизонтального перемещения стены (рис.3а).

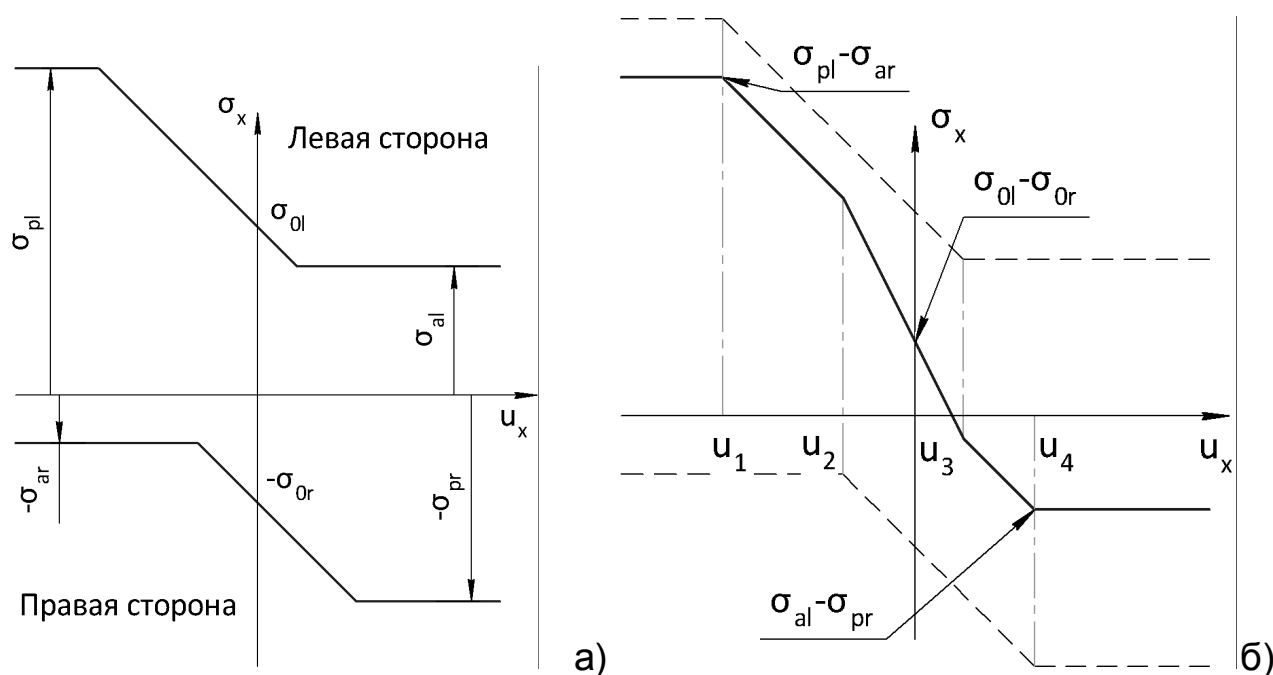


Рис. 3 График зависимости давления грунта на подпорную стену в зависимости от ее перемещения: а) эпюры эффективных давлений на ограждение слева и справа; б) эпюра результирующего давления на ограждение

Построим функцию $\sigma_x(z, u_x)$ в виде кусочно-заданной функции для любого значения z .

Для описания отдельных участков диаграммы будем использовать (1), (2), (3), (6), добавляя

индексы "l", "r" для слагаемых, относящихся к левой и правой стороне ограждения. В

случае, когда стена с обеих сторон окружена грунтовым массивом, $\sigma_x(z, u_x)$ примет вид:

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \sigma_p^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k), & u_x \leq u_1 \\ \sigma_0^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k) - u_x k^l, & u_1 < u_x < u_2 \\ \sigma_0^l(z) - \sigma_0^r(z - h_k) - u_x(k^l + k^r), & u_2 \leq u_x \leq u_3 \\ \sigma_a^l(z) - \sigma_0^r(z - h_k) - u_x k^r, & u_3 < u_x < u_4 \\ \sigma_a^l(z) - \sigma_p^r(z - h_k), & u_4 \leq u_x \end{cases}, \quad (7)$$

Если отдельно рассмотреть результирующее давление на ограждение до заделки ($z \leq h_k$), то выражение (7) примет вид:

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \sigma_p^l(z), & u_x \leq u_1 \\ \sigma_0^l(z) - k^l u_x, & u_1 < u_x < u_3 \\ \sigma_a^l(z), & u_3 \leq u_x \end{cases}, \quad (8)$$

Подставим выражения (1),(2),(3) в (7) и (8):

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \lambda_{pl}\gamma z + c\lambda_{pcl}, & u_x \leq u_1 \\ \lambda_{ol}\gamma z - k_l u_x, & u_1 < u_x < u_3 \\ \lambda_{al}\gamma z - c\lambda_{acl}, & u_3 \leq u_x \end{cases}, \quad (9)$$

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \lambda_p^l \gamma z - \lambda_a^r \gamma (z - h_k) + c\lambda_{pc}^l + c\lambda_{ac}^r, & u_x \leq u_1 \\ \lambda_0^l \gamma z - \lambda_a^r \gamma (z - h_k) + c\lambda_{ac}^r - u_x k^l, & u_1 < u_x < u_2 \\ \lambda_0^l \gamma z - \lambda_0^r \gamma (z - h_k) - u_x(k^l + k^r), & u_2 \leq u_x \leq u_3 \\ \lambda_a^l \gamma z - \lambda_0^r \gamma (z - h_k) - c\lambda_{ac}^l - u_x k^r, & u_3 < u_x < u_4 \\ \lambda_a^l \gamma z - \lambda_p^r \gamma (z - h_k) - c\lambda_{ac}^l - c\lambda_{pc}^r, & u_4 \leq u_x \end{cases}, \quad (10)$$

В программе имеется возможность задавать коэффициент бокового давления грунта вручную, или вычислять согласно теории Мюллера-Бреслау [1],[2],[8]. При допущении о горизонтальной поверхности засыпки и отсутствии наклонов граней конструкции к вертикали, коэффициент активного горизонтального давления принимает вид:

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi)\sin(\varphi)}{\cos(\delta)}}\right]^2}, \quad (11)$$

Коэффициент пассивного горизонтального давления принимает вид:

$$\lambda_p = \frac{\cos^2(\varphi)}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi)\sin(\varphi)}{\cos(\delta)}}\right]^2}, \quad (12)$$

В [9] приведен обзор существующих методов расчета коэффициента бокового давления грунта в состоянии покоя.

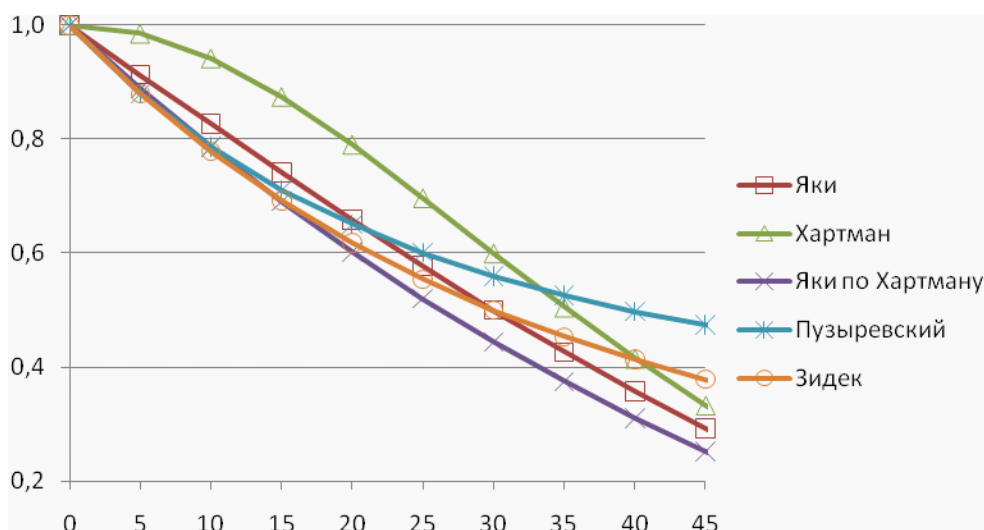


Рис. 4 Зависимость коэффициента давление грунта в состоянии покоя в зависимости от угла внутреннего трения

Из рис. 5 видно, что предложенные методы дают различные значения коэффициента λ_0 при одном и том же угле внутреннего трения φ . Согласно [3] наиболее обоснованный метод расчета коэффициента λ_0 был предложен Яки:

$$\lambda_0 = 1 - \sin(\varphi), \quad (13)$$

Для полного описания всех компонент, входящих в (10), необходимо определить λ_{pc} , λ_{ps} . Согласно [2] данные величины определяются следующими зависимостями:

$$\lambda_{ac} = \frac{1}{\operatorname{tg}(\varphi)} \cdot [1 - \lambda_a], \quad (14)$$

$$\lambda_{pc} = \frac{1}{\operatorname{tg}(\varphi)} \cdot [\lambda_p - 1], \quad (15)$$

Ниже рассмотрены частные случаи выражений для определения давления на ограждение.

В случае свободной от нагрузки поверхности горизонтальная σ_{ah} и вертикальная σ_{av} составляющие активного давления для несвязного грунта на глубине z (рис. 5) определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_{ah} &= \lambda_a \gamma z, \\ \sigma_{av} &= \sigma_{ah} \operatorname{tg} \delta,\end{aligned}$$

δ – угол трения грунта на контакте со стеной;

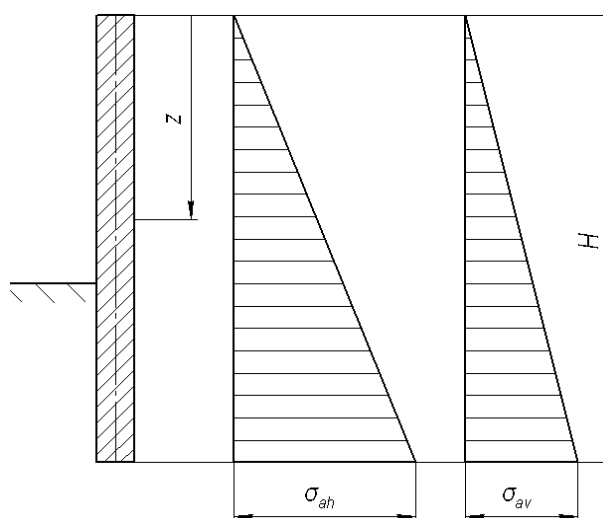


Рис. 5. Горизонтальная и вертикальная составляющие активного давления несвязанного грунта

Горизонтальная σ_{ah} и вертикальная σ_{av} составляющие активного давления грунта для связного грунта на глубине z (рис. 6) определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma'_{ah} &= \sigma_{ah} - \sigma_{ch}, \\ \sigma'_{av} &= \sigma'_{ah} \operatorname{tg} \delta,\end{aligned}$$

где σ_{ch} – давление связности;

$$\sigma_{ch} = c \lambda_{ac}$$

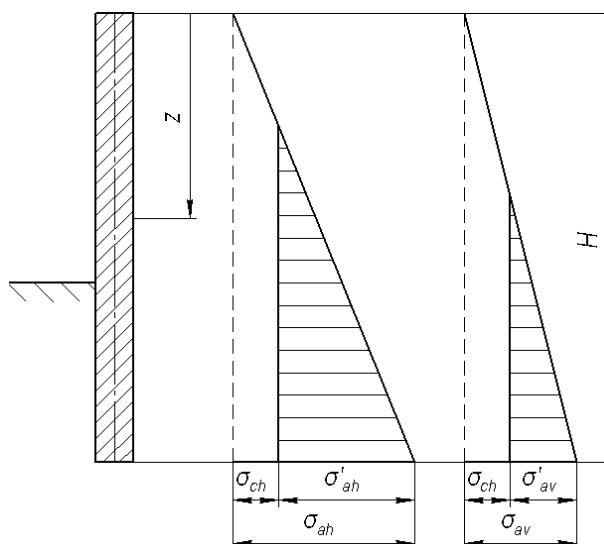


Рис. 6. Составляющие активного давления связного грунта

При равномерно распределенной нагрузке на поверхности q горизонтальная σ_{ph} и вертикальная σ_{pv} составляющие пассивного давления на глубине z от поверхности определяются по формулам:

$$\sigma_{ph} = (q + \gamma z) \lambda_{ph} + c \frac{\lambda_{ph} - 1}{\tan \varphi}$$

$$\sigma_{pv} = \sigma_{pk} \tan \delta$$

Можно показать, что для случая абсолютно гладкой стены ($\delta=0$), выражения для активного и пассивного горизонтального давления принимают вид:

$$\sigma_{ah} = (q + \gamma z) \tan^2(45^\circ - \varphi/2) - 2c \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$$

$$\sigma_{ph} = (q + \gamma z) \tan^2(45^\circ + \varphi/2) + 2c \cdot \tan(45^\circ + \varphi/2)$$

Учёт сейсмического воздействия

Если сейсмичность площадки строительства превышает 6 баллов, то необходимо учитывать сейсмическое воздействие в расчёте. В программе GeoWall заложено две методики учёта сейсмического воздействия из следующих источников:

- 1) СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
- 2) СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ к СНиП Проектирование подпорных стен и стен подвалов.

СП 14.13330.2011

8.2 Расчетные сейсмические воздействия.

8.2.8 Активное q_c и пассивное q_c^* давление несвязного грунта на подпорные стены, плотины, подземные части других гидротехнических сооружений с учетом сейсмического воздействия следует определять по формулам:

$$\left. \begin{aligned} q_c &= \rho_c g H \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \varepsilon)}{\cos \theta \cos(\theta + \delta + \varepsilon) (1 + \sqrt{z})^2}; \\ q_c^* &= \rho_c g H \frac{\cos^2(\varphi + \theta - \varepsilon)}{\cos \theta \cos(\theta - \delta - \varepsilon) (1 - \sqrt{z^*})^2}, \end{aligned} \right\}$$

где

$$z = \frac{\sin(\varphi - \alpha - \varepsilon) \sin(\varphi + \delta)}{\cos(\theta - \alpha) \cos(\theta + \delta + \varepsilon)}; \quad z^* = \frac{\sin(\varphi + \alpha - \varepsilon) \sin(\varphi + \delta)}{\cos(\theta - \alpha) \cos(\theta - \delta - \varepsilon)}$$

При горизонтальном направлении сейсмического воздействия

$$\rho_c g = \frac{\rho g}{\cos \varepsilon}$$

При наклонном направлении сейсмического воздействия:

$$\rho_c g = \rho g \frac{1 - 0,5AK_1}{\cos \varepsilon}; \quad \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{0,87AK_1}{1 - 0,5AK_1}$$

где ρ - плотность грунта;

H - глубина рассматриваемой точки грани стены ниже поверхности грунта;

θ - угол наклона грани стены к вертикали;

α - угол наклона поверхности грунта к горизонту;

φ - угол внутреннего трения грунта;

δ - угол трения грунта по стене;

$\varepsilon = \operatorname{arctg} AK_1$ - угол отклонения от вертикали равнодействующей плотности грунта ρ и

сейсмической силы $\rho g AK_1$;

g - ускорение силы тяжести.

K_1 - коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по таблице 5;

A - коэффициент, значение которого следует принимать равным 0,1; 0,2; 0,4 для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно;

Таблица 5 - Коэффициенты K_1 , учитывающие допускаемые повреждения зданий и сооружений

Тип здания или сооружения	Значения K_1
1 Здания и сооружения, в конструкциях которых повреждения или неупругие деформации не допускаются	1

2 Здания и сооружения, в конструкциях которых могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования, возводимые:	
из деревянных конструкции	0,15
со стальным каркасом без вертикальных диафрагм или связей	0,25
то же, с диафрагмами или связями	0,22
из железобетонных крупнопанельных или монолитных конструкций	0,25
из железобетонных объемно-блочных и панельно-блочных конструкций	0,3
с железобетонным каркасом без вертикальных диафрагм или связей	0,35
то же, с заполнением из кирпичной или каменной кладки	0,4
то же, с диафрагмами или связями	0,3
из кирпичной или каменной кладки	0,4
3 Здания и сооружения, в конструкциях которых могут быть допущены значительные остаточные деформации, трещины, повреждения отдельных элементов, их смещения, временно приостанавливающие нормальную эксплуатацию при наличии мероприятий, обеспечивающих безопасность людей	0,12
Примечание - Отнесение зданий и сооружений к 1 и 3 типам проводится заказчиком по представлению генпроектировщика.	

СП Выводы

Учитывая допущения расчётной схемы можно упростить выражение для определения коэффициентов бокового давления.

$$\left. \begin{aligned} q_c &= \rho_c g H \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos(\delta + \varepsilon)(1 + \sqrt{z})^2}; \\ q_c^* &= \rho_c g H \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos(\delta + \varepsilon)(1 - \sqrt{z^*})^2}, \end{aligned} \right\}$$

где:

$$z = \frac{\sin(\varphi - \varepsilon) \sin(\varphi + \delta)}{\cos(\delta + \varepsilon)}; \quad z^* = \frac{\sin(\varphi - \varepsilon) \sin(\varphi + \delta)}{\cos(\delta + \varepsilon)}$$

Полагая горизонтальным направление сейсмического воздействия:

$$\rho_c g = \frac{\rho g}{\cos \varepsilon}$$

окончательно получим:

$$\sigma_a(z) = \lambda_a \gamma z - c \lambda_{ac},$$

$$\sigma_p(z) = \lambda_p \gamma z + c \lambda_{pc},$$

где

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos(\varepsilon)\cos(\delta + \varepsilon) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \varepsilon)\sin(\varphi + \delta)}{\cos(\delta + \varepsilon)}} \right)^2}, \quad (16)$$

$$\lambda_p = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos(\varepsilon)\cos(\delta + \varepsilon) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \varepsilon)\sin(\varphi + \delta)}{\cos(\delta + \varepsilon)}} \right)^2}, \quad (17)$$

Справочное пособие

п. 8. РАСЧЕТ ПОДПОРНЫХ СТЕН И СТЕН ПОДВАЛОВ С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.

8.1. Подпорные стены и стены подвалов в районах с сейсмичностью 7 и более баллов должны проектироваться с учетом требований главы СНиП II-7-81 "Строительство в сейсмических районах".

8.2. Интенсивность горизонтального давления грунта от собственного веса и от равномерно распределенной нагрузки q , расположенной на поверхности призмы обрушения, следует определять по формулам разд. 5, при этом коэффициент горизонтального давления грунта при сейсмическом воздействии λ^* следует определять по формулам:

$$\lambda^* = \cos^2(\varphi - \varepsilon - \omega) \cos(\varepsilon + \delta) / \cos \omega \cos^2 \varepsilon \cos(\varepsilon + \delta + \omega) (1 + \sqrt{z})^2; \quad (98)$$

$$z = \sin(\varphi - \rho - \omega) \sin(\varphi + \delta) / \cos(\varepsilon + \delta + \omega) \cos(\varepsilon - \rho), \quad (99)$$

где ω - угол отклонения от вертикали равнодействующей веса грунта и временной нагрузки с учетом сейсмического воздействия по формуле

$$\omega = \operatorname{arctg}(AK_I). \quad (100)$$

ε - угол наклона расчетной плоскости к вертикали;

ρ - то же, поверхности засыпки к горизонту;

δ - угол трения грунта на контакте с расчетной плоскостью (для гладкой стены $\delta = 0$, шероховатой $\delta = 0,5\varphi$, ступенчатой $\delta = \varphi$).

φ - угол внутреннего трения грунта.

При расчете подпорных стен и стен подвалов произведение AK_I следует принимать равным 0,04, 0,08 и 0,16 при расчетной сейсмичности соответственно 7, 8 и 9 баллов.

8.3. Пассивное сопротивление грунта с учетом сейсмического воздействия E^* , определяется по формуле

$$E_r^* = (1 - AK_1)E_r \quad (101)$$

где E_r - пассивное сопротивление грунта без учета сейсмического воздействия.

Справочное пособие Выводы

Приведём запись из ПОСОБИЯ к обозначениям данного руководства.

$$\lambda_{\text{сейсм} \alpha} = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon) \cdot \cos(\delta)}{\cos(\varepsilon) \cos(\delta + \varepsilon) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \varepsilon) \sin(\varphi + \delta)}{\cos(\delta + \varepsilon)}} \right)^2}, \quad (18)$$

$$\lambda_{\text{сейсм} p} = (1 - AK_1) \lambda_p, \quad (19)$$

2. Расчет устойчивости грунта вокруг заглубленной части стены

При расчете давления грунта на гибкое ограждение приняты следующие допущения.

1) Допускается, что в предельном состоянии на ограждение действует давление, обусловленное сдвигом неустойчивых призм.

2) На абсолютно жесткие неподвижные подпорные стены действует давление грунта, равное давлению в ненарушенном массиве (давлению грунта в состоянии покоя).

3) Допускается, что грунт, залегающий вокруг заглубленной части стены, можно считать неподвижным при определении его горизонтальной реакции на смещения стены.

Предельное суммарное (с двух сторон) локальное давление грунта в некоторой точке заглубленной части стены по величине будет равно разности пассивного давления грунта с той стороны, куда направлено смещение стены, и активного давления грунта с противоположной стороны:

$$\sigma_{lim}^L = \sigma_a^R - \sigma_p^L, \quad (1)$$

$$\sigma_{lim}^R = \sigma_p^R - \sigma_a^L, \quad (2)$$

Величина упругой горизонтальной реакции грунта в некоторой точке заглубленной части стены, равная сумме сил, действующих слева и справа, может быть найдена с помощью модели Винклера: $\sigma_{eh} = k u_h$

Величина горизонтальной реакции грунта в некоторой точке заглублённой части стены равна сумме реакций грунта с разных сторон (формула (7) из главы ["Расчёт давления грунта"](#))

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \sigma_p^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k), & u_x \leq u_1 \\ \sigma_0^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k) - u_x k^l, & u_1 < u_x < u_2 \\ \sigma_0^l(z) - \sigma_0^r(z - h_k) - u_x(k^l + k^r), & u_2 \leq u_x \leq u_3 \\ \sigma_a^l(z) - \sigma_0^r(z - h_k) - u_x k^r, & u_3 < u_x < u_4 \\ \sigma_a^l(z) - \sigma_p^r(z - h_k), & u_4 \leq u_x \end{cases}$$

где σ_x – суммарная реакция грунта на горизонтальное смещение стены u_h ,

Горизонтальная винклеровская реакция грунта с двух сторон должна удовлетворять условию

$$\sigma_{lim}^L \leq \sigma_x^{sum} \leq \sigma_{lim}^R.$$

График зависимости приведен на рис. 7.

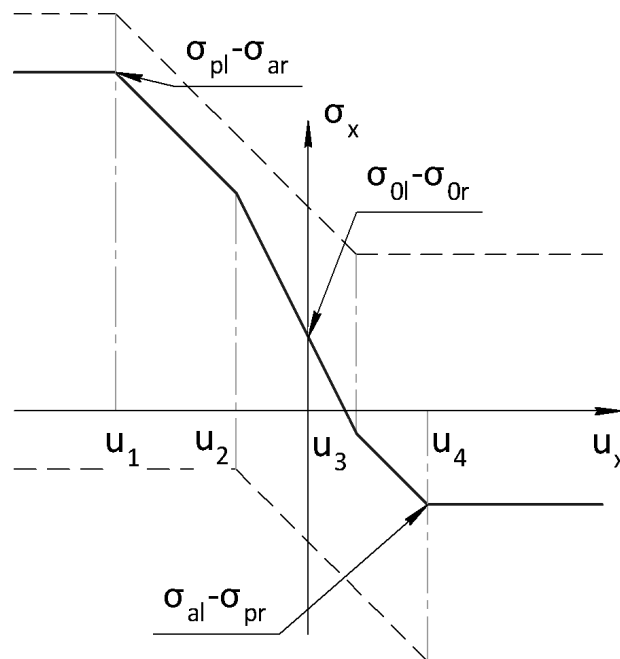


Рис. 7. Зависимость реакции грунта от горизонтального смещения стены

Там, где условие не выполняется, грунт находится в предельном состоянии и дает реакцию на смещение стены, равную σ_{lim}^L или σ_{lim}^R .

Вертикальная реакция грунта на заглубленную часть стены также определяется моделью Винклера:

$$\sigma_{ev} = k u_v,$$

где σ_{ev} – вертикальная реакция грунта;

k' – коэффициент постели;

u_v – вертикальное смещение стены.

Устойчивость грунта вокруг заглубления стены оценивается с помощью следующего

критерия:

4) Заделка ограждения теряет устойчивость, когда реакция грунта с каждой стороны заглубления достигает предельного значения по всей длине заделки.

При достижении реакцией грунта своего предельного значения хотя бы с одной стороны заглубления стены (σ_{lim}^L или σ_{lim}^R) возникнет пластический шарнир, что приведёт к потере устойчивости ограждения котлована.

Коэффициент использования заделки K :

5) Грунт вокруг заглубления неустойчив при $K = 100\%$, K меняется от 0% до 100%, где 100% - потеря устойчивости заделки, 0% - максимально возможное устойчивое состояние,

$$K = \max(K^-, K^+),$$

$$K^- = \frac{1}{N^-} \sum_i^{N^-} \frac{(\sigma_0^{sum} - \sigma_x^{sum})}{(\sigma_0^{sum} - \sigma_{lim}^L)},$$

$$K^+ = \frac{1}{N^+} \sum_i^{N^+} \frac{(\sigma_x^{sum} - \sigma_0^{sum})}{(\sigma_{lim}^R - \sigma_0^{sum})},$$

где $\sigma_0^{sum} = \sigma_0^L + \sigma_0^R$ - суммарное бытовое давление

Индекс "плюс" отвечает за часть заглубления, которая смещается в сторону котлована, индекс "минус" отвечает за ту часть заглубления, которая смещается в направлении борта котлована.

3. Расчет продольных сил в анкерах

Метод расчета усилий в анкерах учитывает предварительные натяжения и поэтапные смещения подпорной стены при экскавации котлована с учетом этапов устройства ярусов анкеров.

Анкер рассматривается как упругая связь, реакция которой пропорциональна смещению анкера. Считается, что анкера связаны с ограждением обвязочным поясом.

В качестве деформативной характеристики анкера принята его жесткость c , которая связывает величину продольной силы в анкере P со смещением U анкера, к которому приложена эта сила:

$$c = \frac{P}{u}.$$

Непрерывная экскавация котлована в рамках модели заменена на дискретную, при этом дискретизация откопки котлована связана с моментами времени (и соответствующими глубинами) устройства ярусов анкеров.

В процессе экскавации гибкая стена деформируется, при этом смещения стены зависят от глубины котлована.

Продольное усилие в анкере обусловлено смещением анкера, которое возникает после разработки грунта следующего этапа или предварительным натяжением анкера.

Таким образом, для учета этапов экскавации котлована на напряженное и деформированное состояние заанкеренной гибкой стены необходимо учитывать только перемещения анкера в точке крепления к обвязочному поясу.

Построим модель реакции анкера, устроенного после первого этапа экскавации котлована.

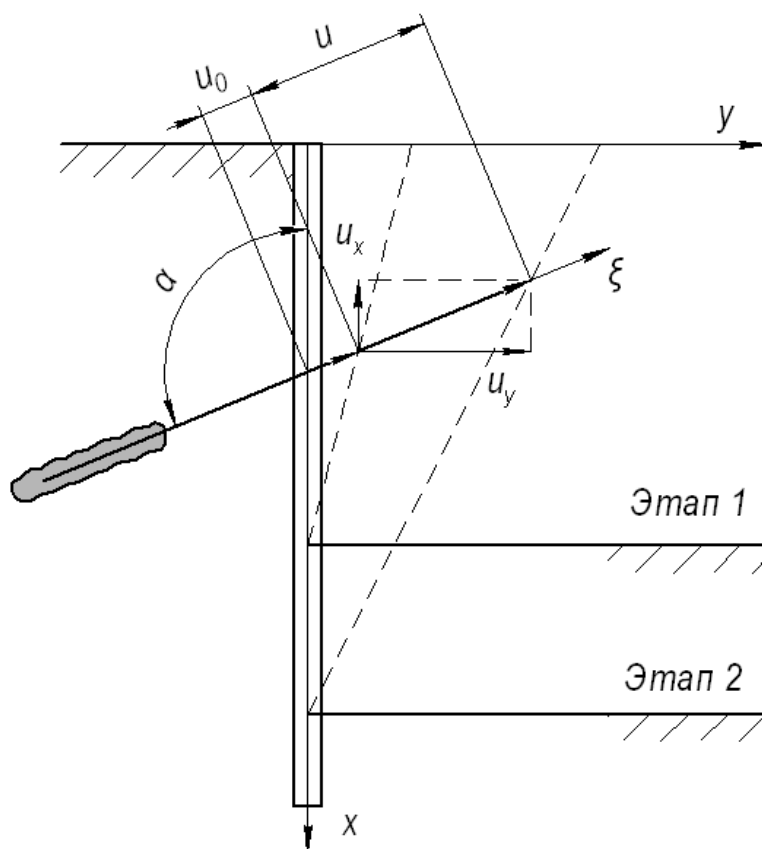


Рис. 8. Расчетная схема определения продольной силы в анкере

Точка крепления будущего анкера (анкер еще не устроен) после первого этапа экскавации котлована получила перемещение u_0 (рис. 8). Далее устраивается анкер, и деформации стенки после экскавации второго этапа приводит к смещению анкера на величину u .

Тогда с учетом предварительного натяжения анкера на величину P_0 продольная сила в анкере P будет равна:

$$P_{\xi} = -P_0 - c(U_{\xi} - u_{0\xi}),$$

где U_{ξ} - проекция конечного перемещения на ось ξ ;

$u_{0\xi}$ – проекция перемещения точки крепления анкера до его устройства.

Выразим проекцию перемещения U_ξ через проекции U_x и U_y :

$$U_\xi = U_x \cos \alpha + U_y \sin \alpha,$$

Аналогично записываем соотношение для начального перемещения

$$u_{0\xi} = u_{0x} \cos \alpha + u_{0y} \sin \alpha.$$

Найдем проекции силы P на оси x и y :

$$P_x = P_\xi \cos \alpha = -P_o \cos \alpha - c(U_x \cos^2 \alpha + U_y \sin \alpha \cos \alpha - u_{0x} \cos^2 \alpha - u_{0y} \sin \alpha \cos \alpha),$$

$$P_y = P_\xi \sin \alpha = -P_o \cos \alpha - c(U_x \cos \alpha \sin \alpha + U_y \sin^2 \alpha - u_{0x} \cos \alpha \sin \alpha - u_{0y} \sin^2 \alpha).$$

4. Решение задачи упругого изгиба стены

Задача изгиба решается численно методом конечных элементов с использованием вариационной постановки Лагранжа с учетом гипотезы плоских сечений. Учитывается только продольная компонента деформаций и напряжений.

Вариационная постановка задачи формулируется следующим образом. Найти перемещения v , доставляющие минимум функционалу

$$J(v) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma(v) \cdot \varepsilon(v) dx + \frac{1}{2} \int_{\tilde{s}_c} C_n w^2 dS_c + \frac{1}{2} \int_{\tilde{s}_\tau} C_\tau u_\tau^2 dS_c - \int_{\tilde{s}_p} P \cdot v dx$$

C_n – коэффициент постели основания Винклера;

C_τ – жесткость грунта на сдвиг;

v – перемещения.

Совместим ось Ox с осью балки, а ось Oy – с направлением прогиба.

Деформация балки с учетом принятых допущений равна

$$\varepsilon = \varepsilon_x i i,$$

где i – орт координатной оси Ox .

Прогиб балки равен

$$w = v j$$

(j – орт координатной оси Oy), перемещение вдоль оси Ox равно

$$u = v i.$$

Продольная деформация будет складываться из деформации сжатия (растяжения)

$$\varepsilon_x(u) = \frac{du}{dx}$$

и деформации от изгиба

$$\varepsilon_x(w) = -y \frac{d^2w}{dx^2}$$

Напряжения и деформации связаны законом Гука

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

Изгиб ограждения моделируется как изгиб упругой балки сечением, приходящимся на один шаг ограждения.

В программе реализован конечный элемент с 6-ю степенями свободы.

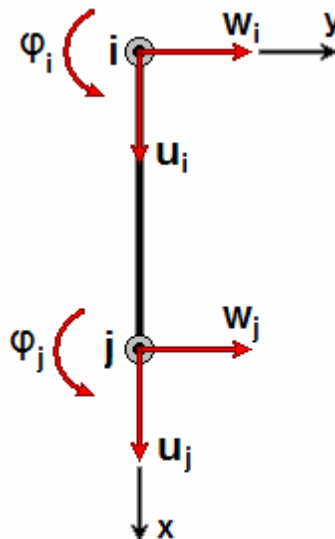


Рис. 9. Балочный конечный элемент с 6-ю степенями свободы

Конечный элемент аппроксимирует:

Прогиб балки кубической функцией вида:

$$w(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3$$

Углы поворота функцией:

$$\varphi(x) = \frac{dw}{dx} = a_2 + 2a_3x + 3a_4x^2$$

Кривизну балки линейной функцией

$$K = \frac{d^2w}{dx^2} = 2a_3 + 6a_4x$$

Продольные перемещения – линейной функцией

$$u(x) = ax + b = u_i \left(1 - \frac{x}{L}\right) + u_j \frac{x}{L}$$

Продольная деформация в элементе равна

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} = \left[\frac{-1}{L}, \frac{1}{L} \right] \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = [N] \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix}$$

$$[N] = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$$

5. Расчет ограждения котлована на прочность

В программе GeoWall реализовано вычисление эффективных характеристик и расчет на прочность ограждений типа «стена в грунте», буровые сваи и Jet сваи.

Приняты следующие допущения:

- Учитывается только продольная компонента тензора деформаций и напряжений;
- Бетон (грунтоцемент) может разрушаться только растягивающими напряжениями;
- Предполагается выполнение гипотезы плоских сечений по всей высоте ограждения.

С учетом принятых допущений напряжения в произвольном сечении стены могут быть найдены с помощью статических уравнений равновесия для внешних сил, приложенных к части стены шириной в один шаг свай и расположенной над расчетным сечением.

На верхнюю часть стены в общем случае действует давление грунта, вес стены, реакции анкеров и распорок. Действие всех этих сил можно привести к главному моменту M_0^e и главному вектору R^e относительно произвольного центра приведения O , за который удобно принять точку расчетного сечения на оси ограждения.

Со стороны отброшенной части стены на верхнюю часть будут действовать продольные силы в армирующем элементе и бетоне, которые также приведем к главному вектору R^{bs} , приложенному в центре приведения O , и главному моменту M_0^{bs} .

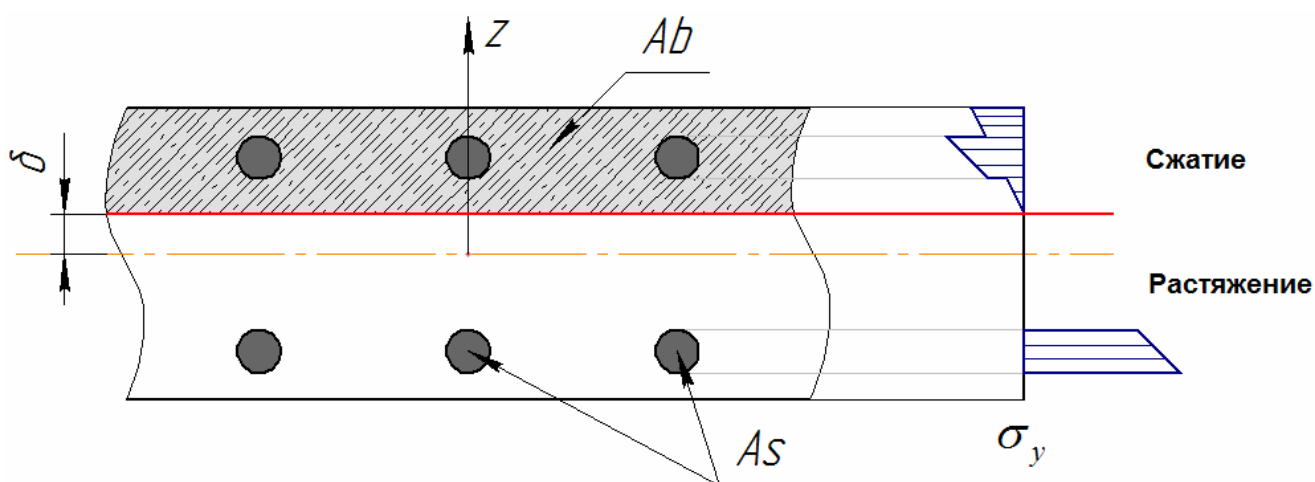


Рис. 6. Поперечное сечение ограждения
(As – армирующий элемент, Ab – бетон).

Направим ось Oy по оси ограждения. Уравнения равновесия запишем в виде:

$$R_y^{bs} + R_y^e = 0,$$

$$M_o^{bs} + M_o^e = 0.$$

Для получения замкнутой системы уравнений воспользуемся:

- соотношениями Коши, согласно которым

$$p_{by} = -\sigma_y, \quad p_{sy} = -\sigma_y,$$

p_{by}, p_{sy} – проекции сил на ось Oy , действующих в расчетном сечении,

σ_y – продольная компонента тензора напряжений;

- гипотезой плоских сечений, при использовании которой

$$\varepsilon_y(z) = \frac{\delta + z}{\rho}$$

где δ – координата положения нейтральной линии,

ρ – радиус кривизны нейтральной линии (рис. 6).

- и законом Гука, связывающего продольную деформацию изгиба с продольными напряжениями:

$$\sigma_y = E \varepsilon_y$$

Подстановка соотношений в уравнение равновесия, получим:

$$\int_A E \left(\frac{\delta + z}{\rho} \right) dA = R_y^e$$

Аналогично преобразуем уравнение моментов

$$\int_A E \left(\frac{\delta + z}{\rho} \right) z dA = M_o^e$$

Решая систему из двух уравнений, находим положение и кривизну нейтральной линии.

После этого, возвращаясь к предыдущим уравнениям, находим распределение напряжений в рассчитываемом сечении ограждения.

Данная расчетная модель может быть реализована для любого типа ограждения с любыми параметрами армирования.

6. Эффективные характеристики сечений стены

С помощью расчетов, описанных в предыдущем разделе, рассчитываются эффективные характеристики для каждого сечения стены, так как нагрузки (изгибающий момент и продольная сила) переменны по высоте ограждения. Отсюда положение нейтральной линии и, соответственно, зона сжатия бетона для каждого сечения различны.

Данные характеристики используются при решении задачи изгиба упругой балки с

переменными характеристиками.

В расчетах необходимо учесть факт разрушения сечения. Поэтому, вычислять интеграл будем не по области первоначального неразрушенного сечения A^* , а по оставшейся, неразрушенной области сечения A .

$$\int_{A^*} E y^2 dA^* = \int_A E y^2 dA$$

$$\int_A E y^2 dA = E_3 \int_A y^2 dA = E_3 J_3$$

вводится в рассмотрение эффективный статический момент инерции

$$J_3 = \int_A y^2 dA$$

и эффективное значение продольного модуля упругости

$$E_3 = \frac{\int_A E y^2 dA}{J_3} = \frac{E_b J_b + E_s J_s}{J_3}$$

Эффективный момент инерции меньше фактического в том случае, когда часть сечения не сопротивляется изгибу вследствие разрушения.

Эффективная площадь сечения вводится из условия равенства продольной силы для фактических и эффективных характеристик при одной и той же продольной деформации ε :

$$\int_A E \varepsilon dA = E_3 \varepsilon A_3$$

Из последнего равенства

$$A_3 = \frac{\int E dA}{E_3}$$

В программе GeoWall эффективные характеристики сечения используются при расчете ограждений из буровых и Jet свай и «стены в грунте».

7. Учёт воды

Уравнения нахождения бытового, активного, пассивного давлений ([глава "Расчёт давления грунта"](#) формулы (1), (2), (3)):

$$\sigma_0(z) = \lambda_0 \gamma z, \quad (1)$$

$$\sigma_a(z) = \lambda_a \gamma z - c \lambda_{ac}, \quad (2)$$

$$\sigma_p(z) = \lambda_p \gamma z + c \lambda_{pc}. \quad (3)$$

В программе два способа учёта грунтовых вод.

1. Связанная вода

Для грунтов, в которых присутствует связанная вода, удельный вес считается равным удельному весу при полном водонасыщении, т.е. для z , попадающих в грунтовые воды,

$$\sigma_0(z) = \lambda_0 \gamma_{sat} z, \quad (4)$$

$$\sigma_a(z) = \lambda_a \gamma_{sat} z - c \lambda_{ac}, \quad (5)$$

$$\sigma_p(z) = \lambda_p \gamma_{sat} z + c \lambda_{pc}. \quad (6)$$

2. Свободная вода

Свободная вода учитывается следующим образом:

1) Опорные давления на глубине нахождения грунтовых вод считаются с учётом того, что удельный вес грунта равен удельному весу взвешенного грунта, т.е.

$$\sigma_0(z) = \lambda_0 \gamma_{sb} z, \quad (7)$$

$$\sigma_a(z) = \lambda_a \gamma_{sb} z - c \lambda_{ac}, \quad (8)$$

$$\sigma_p(z) = \lambda_p \gamma_{sb} z + c \lambda_{pc}, \quad (9)$$

где $\gamma_{sb} = \gamma_{sat} - \gamma_w$.

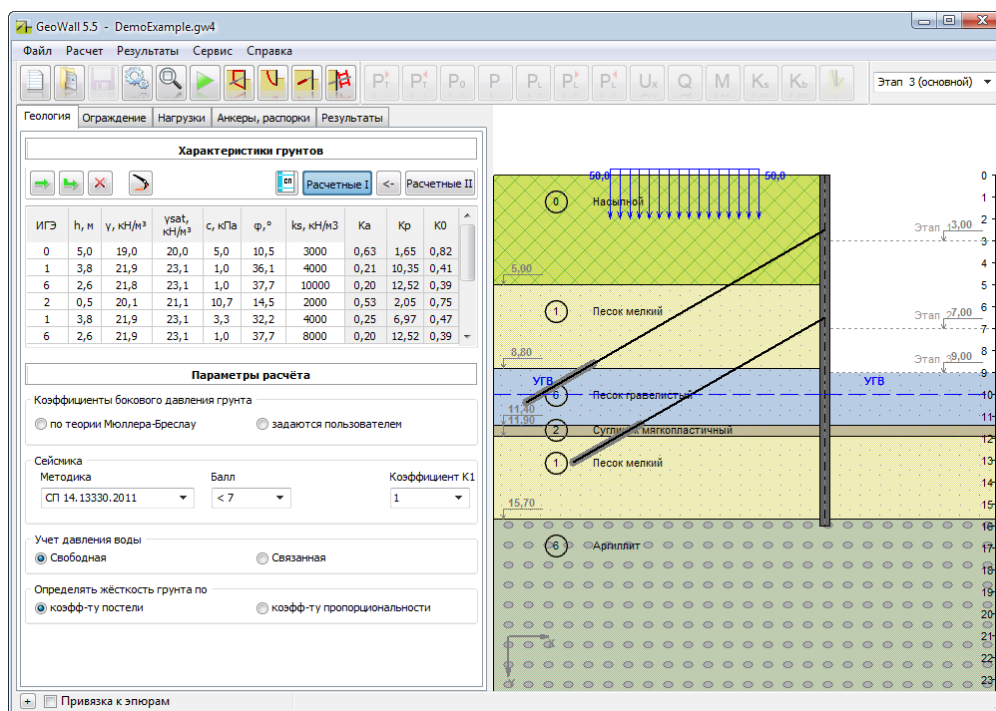
2) Вес воды прикладывается к ограждению как распределённая нагрузка. т.е.

$$\sigma_x(z, u_x) = \sigma_0(z) - k u_x + \gamma_w (z - h_w),$$

где h_w - уровень грунтовых вод и $z \geq h_w$.

Обзор программы

Окно программы выглядит следующим образом:



Окно программы состоит из следующих элементов:

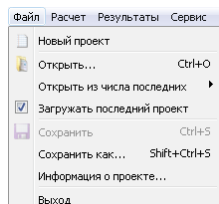
- Верхнее меню
- Панель инструментов
- Панель ввода информации
- Графическое поле (панель вывода информации)
- Строка состояния

1. Верхнее меню

Состоит из следующих пунктов:

Файл Расчет Результаты Сервис Справка

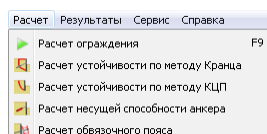
Меню «Файл»



<i>Новый проект...</i>	Ctrl + N	создаёт новый проект расчета
<i>Открыть...</i>	Ctrl + O	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним
<i>Открыть из числа последних</i>		открывает список трёх последних проектов, над которыми велась работа, для быстрого доступа к ним
<i>Загружать последний проект</i>		активация данного пункта приводит к автоматической загрузке последнего проекта при старте программы
<i>Сохранить</i>	Ctrl + S	сохраняет текущий проект
<i>Сохранить как...</i>	Ctrl + Shift + S	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем
<i>Информация о проекте...</i>		открывает окно с информацией о текущем проекте
<i>Выход</i>		закрывает программу

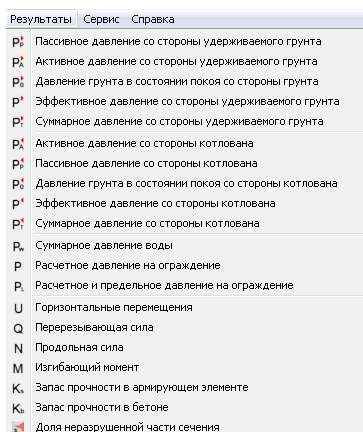
Меню «Расчет»

Позволяет произвести следующие расчеты:



Пункты меню имеют аналогичный функционал, что и панель инструментов [Расчет](#).

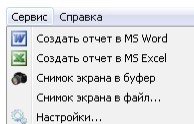
Меню «Результаты»



Позволяет графически отображать различные результаты расчета в виде графиков.

Пункты меню имеют аналогичный функционал, что и панель инструментов [Результаты расчета](#).

Меню «Сервис»

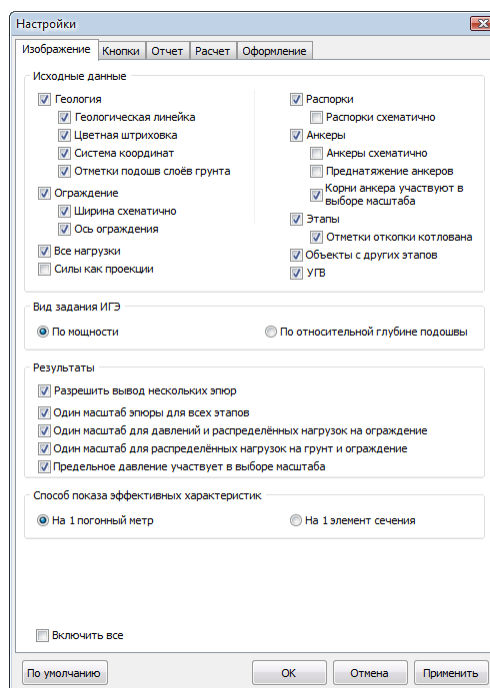


Создать отчет в MS Word	Создать текстовый отчет по проведенным расчётам в рамках данного проекта
Создать отчет в MS Excel	Создать отчет по проведенным расчётам в виде электронной таблицы Excel
Снимок экрана в буфер	Сделать снимок экрана и сохранить в буфер обмена Windows
Снимок экрана в файл...	Сделать снимок экрана и сохранить в файл изображения
Настройки...	Содержит окно настроек программы

Раздел «Настройки»

Вкладка Изображение

[Вкладка Изображение](#) – позволяет выбрать объекты для вывода в графическом поле.



Геология	отобразить/скрыть геологию
Геологическая линейка	отобразить/скрыть геологическую линейку
Цветная штриховка	показывать или нет цветную штриховку ИГЭ

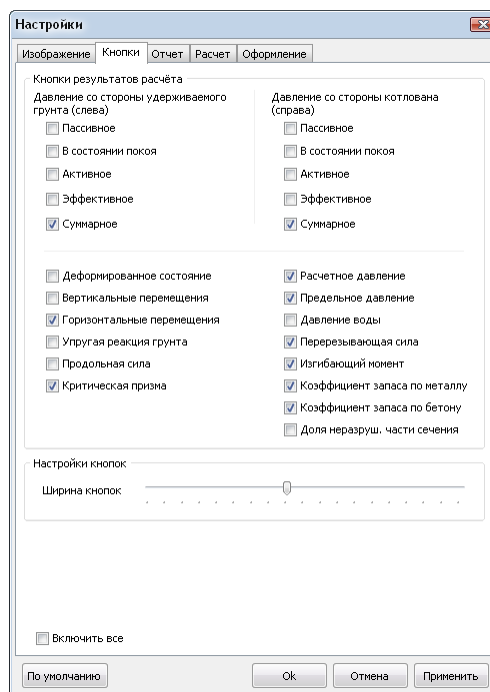
<i>Система координат</i>	отобразить/скрыть систему координат
<i>Отметки подошв слоёв грунта</i>	отобразить/скрыть отметки подошв слоёв грунта
<i>Ограждение</i>	отобразить/скрыть конструкцию ограждения котлована
<i>Ширина схематично</i>	если включена эта опция, то ограждение имеет фиксированную ширину. В противном случае программа пытается графически отобразить ширину ограждения согласно его фактическим геометрическим размерам
<i>Ось ограждения</i>	отобразить/скрыть ось ограждения
<i>Все нагрузки</i>	отобразить/скрыть все нагрузки
<i>Силы как проекции</i>	если включена эта опция, то каждая сосредоточенная сила, действующая на ограждения, будет показываться как проекции на оси X и Y, в противном случае - как одна сила
<i>Распорки</i>	отобразить/скрыть распорки
<i>Распорки схематично</i>	если включена эта опция, то распорки будут отображаться без учета фактического значения их толщины
<i>Анкеры</i>	отобразить/скрыть анкеры
<i>Анкеры схематично</i>	если включена эта опция, то анкеры будут отображаться без учета фактического значения свободной длины и длины корня
<i>Преднатяжение анкеров</i>	отобразить/скрыть преднатяжение анкеров
<i>Корни анкера участвуют в выборе масштаба</i>	если включена эта опция, то отображаемая схема будет отмасштабирована таким образом, чтобы анкера отображались полностью
<i>Этапы</i>	отобразить/скрыть этапы устройства котлована
<i>Отметки откопки котлована</i>	отобразить/скрыть отметки откопки котлована на этапах
<i>Объекты с других этапов</i>	отобразить/скрыть элементы схемы с других этапов
<i>УГВ</i>	отобразить/скрыть уровень грунтовых вод
<i>Вид задания ИГЭ</i>	опция определяет способ задания геометрии слоёв - по мощности слоя или по относительной глубине подошвы слоя (от поверхности земли)
<i>Разрешить вывод нескольких эпюр</i>	если включена эта опция, можно будет выводить несколько эпюр (масштабироваться величины с одинаковыми единицами измерения будут одинаково)
<i>Один масштаб эпюры для всех этапов</i>	если включена эта опция, эпюры одной величины для разных этапов будут иметь одинаковый масштаб
<i>Один масштаб для давлений и распределённых нагрузок на ограждение</i>	если включена эта опция, то давления и распределённые нагрузки на ограждение будут отображаться в одинаковом

	масштабе
<i>Один масштаб для распределённых нагрузок на грунт и ограждение</i>	если включена эта опция, то распределённые нагрузки на грунт и на ограждение будут отображаться в одинаковом масштабе
<i>Предельные давления участвуют в выборе масштаба</i>	если включена эта опция, то предельные давления будут влиять на выбор масштаба давлений
<i>Способ показа эффективных характеристик</i>	опция определяет к чему будут приводиться эффективные характеристики ограждения

Флаг "Включить все" позволяет установить/снять флаги выделения со всех пунктов настройки одновременно.

Вкладка Кнопки

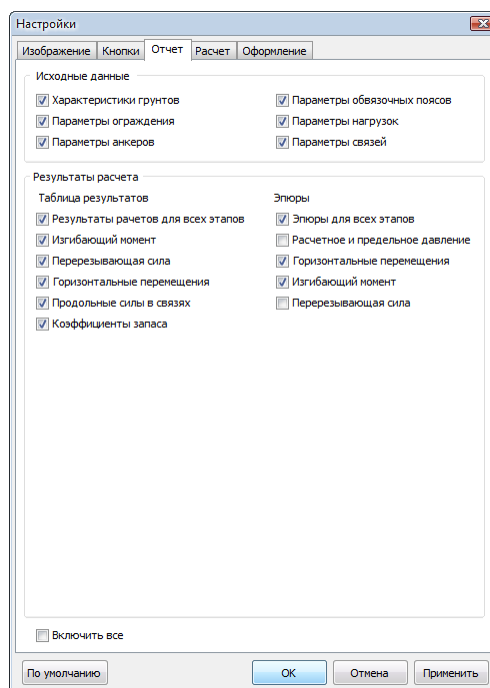
Вкладка Кнопки – управляет отображением кнопок в [панели инструментов](#).



Вкладка Отчет

Вкладка Отчет – управляет содержимым отчета.

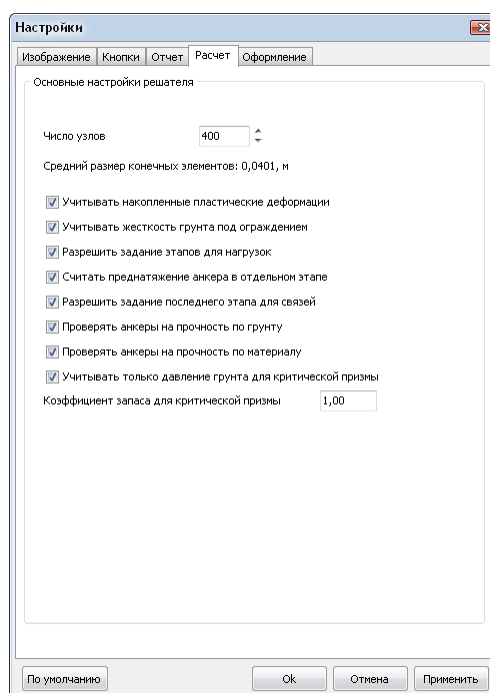
Флаги этой вкладки позволяют выбрать пункты, которые будут добавлены в отчет MS Word:



Вкладка Расчёт

Вкладка Расчёт – управляет параметрами расчёта.

Опции на этой вкладке позволяют настроить решатель.



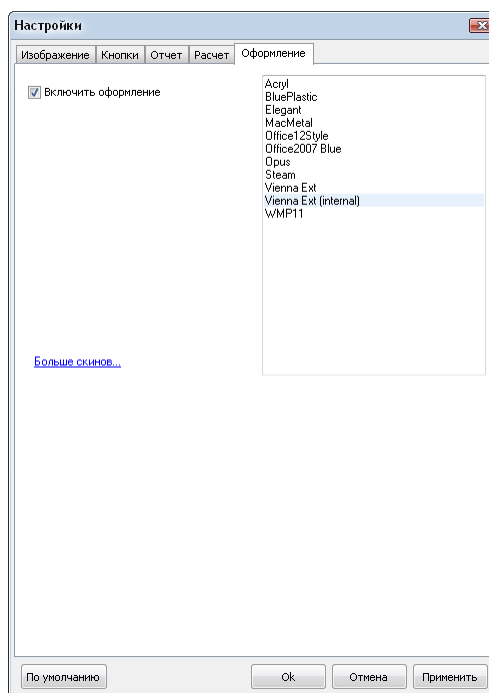
На вкладке имеется возможность задать число конечных элементов, для основного расчета изгиба ограждения

<i>Учитывать накопленные пластические деформации</i>	если опция включена, то программа будет учитывать накопленные пластические деформации в грунте
<i>Учитывать жесткость грунта под ограждением</i>	если опция включена, то при расчёте будет учтена жесткость грунта под ограждением (в массив жесткости в самый нижний элемент добавится коэффициент постели, умноженный на площадь подошвы ограждения)
<i>Разрешить задание этапов для нагрузок</i>	если опция включена, то появляется возможность задать этап начала работы и этап конца работы нагрузки
<i>Считать преднатяжение анкера в отдельном этапе</i>	если опция включена, то будет добавлен подэтап до этапа включения анкера в работу, в котором исходные данные будут с предыдущего этапа, а жесткости у анкера не будет, только преднатяжение
<i>Разрешить задание последнего этапа для связей</i>	если опция включена, то появляется возможность задать этап, после которого связь перестаёт работать
<i>Проверять анкера на прочность по грунту</i>	если опция включена, то после расчёта на вкладке "Результаты" будет выведен коэффициент запаса по грунту
<i>Проверять анкера на прочность по материалу</i>	если опция включена, то после расчёта на вкладке "Результаты" будет выведен коэффициент запаса по материалу
<i>Учитывать только давление грунта для критической призмы</i>	если включена эта опция, то для определения критической призмы используются исключительно активное давление слева и пассивное давление справа, если выключена - то учтутся также распорки/анкеры.
<i>Коэффициент запаса для критической призмы</i>	коэффициент запаса, для определения удерживающей силы, по эпюре которой определяется критическая призма

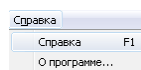
Вкладка Оформление

Вкладка Оформление – управляет параметрами оформления программы.

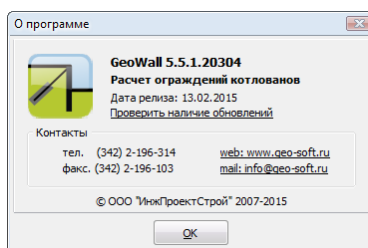
Опции на этой вкладке позволяют включить/выключить стили оформления, а также выбрать стиль оформления.



Меню «Справка»



<i>Справка</i>	открывает руководство пользователя (горячая клавиша - F1)
<i>О программе...</i>	выводит форму с информацией о версии программы и контактные данные разработчика



Форма "О программе" позволяет проверить наличие новых версий программы на сайте разработчика. Для обновления программы Вам необходимо будет связаться с разработчиком.






2. Панель инструментов



На панели инструментов расположены кнопки, сгруппированные по функциональному назначению.






Группа Файл

Содержит в себе набор инструментов для управления файлом проекта и настройкой программы.

	<i>Новый проект</i>	создает новый проект
	<i>Открыть проект</i>	открывает ранее созданный проект.
	<i>Сохранить проект</i>	сохраняет текущий проект
	<i>Настройки</i>	открывает окно настроек программы
	<i>Полноэкранный режим</i>	выводит графическое поле в полноэкранном режиме, скрывает панель ввода информации .

Группа Расчёт

Содержит в себе инструменты расчета.

	<i>Расчёт ограждения</i>	Запускает основной расчет программы и выводит результаты на вкладке Результаты.
	<i>Расчёт устойчивости методом Кранца</i>	Метод Кранца необходим для расчета устойчивости ограждения. В методе предполагается, что установка анкеров может спровоцировать призму сдвига большую, чем активная призма Кулона. Метод доступен при наличии только одного яруса анкерных систем.
	<i>Расчёт устойчивости по методу КЦПС</i>	Метод позволяет провести расчет устойчивости ограждения, предполагая, что грунт будет перемещаться по круглоцилиндрической поверхности.
	<i>Расчёт несущей способности анкера</i>	Модуль позволяет провести расчет несущей способности анкеров согласно методикам: МинТрансСтрой, ВСН 506-88, ФундаментПроект, DIN 1054:2005.
	<i>Расчёт обвязочного пояса</i>	Расчет на прочность обвязочного пояса для восприятия нагрузок от анкеров и распорных систем.

* Примечание: Конкретный набор доступных расчетных модулей зависит от доступных лицензий в Вашей организации. В случае отсутствия лицензии значок соответствующего модуля будет окрашен серым цветом.

Группа Результаты расчета

Позволяет отображать результаты расчета в виде графиков.

Красная стрелка в правом верхнем углу кнопки обозначает направление действия (давление слева/справа).


















Различные эпюры горизонтального давления со стороны удерживаемого грунта на левую грань ограждения:

	<i>Пассивное давление слева</i>	реализуется при смещении стены влево
	<i>Давление в состоянии покоя слева</i>	реализуется при отсутствии горизонтальных смещений стены
	<i>Активное давление слева</i>	реализуется при смещении стены вправо
	<i>Эффективное давление слева</i>	давление грунта с учетом взвешивающего действия воды
	<i>Суммарное давление слева</i>	давление грунта с учетом гидростатического давления воды

Различные эпюры горизонтального давления со стороны котлована на правую грань ограждения:

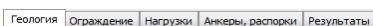
	<i>Суммарное давление справа</i>	давление грунта с учетом гидростатического давления воды
	<i>Эффективное давление справа</i>	давление грунта с учетом взвешивающего действия воды
	<i>Активное давление справа</i>	реализуется при значительном смещении стены влево
	<i>Давление в состоянии покоя справа</i>	реализуется при отсутствии горизонтальных перемещений
	<i>Пассивное давление справа</i>	реализуется при значительном смещении стены вправо

Остальные эпюры, а также элементы управления на панели инструментов:

 P_w	<i>Давление воды на котлован</i>	эпюра суммарного (с двух сторон) давления воды на ограждение
 P	<i>Расчетное давление на ограждение</i>	эпюра расчетного давления на ограждение
 P_L	<i>Предельное давление на ограждение</i>	эпюра предельного давления на ограждение (при нажатии на эту кнопку автоматически включается эпюра расчетного давления на ограждения, предельных давлений слева и справа)
 P_L^s	<i>Предельное давление слева</i>	эпюра предельного давления на ограждение слева (наименьшее возможное значение расчётного давления)
 P_L^d	<i>Предельное давление справа</i>	эпюра предельного давления на ограждение (наибольшее возможное значение расчётного давления)
 R_s	<i>Упругая реакция грунта</i>	эпюра допредельного сопротивления грунта перемещениям
 U_x	<i>Горизонтальные перемещения</i>	эпюра горизонтального перемещения ограждения
 U_y	<i>Вертикальные перемещения</i>	эпюра вертикального перемещения ограждения
 U	<i>Суммарные перемещения</i>	эпюра суммарного перемещения ограждения
 V	<i>Деформированное состояние ограждения</i>	эпюра, показывающая деформированное состояние ограждения
 Q	<i>Перерезывающая сила</i>	эпюра перерезывающей силы в ограждении
 N	<i>Продольная сила</i>	эпюра продольной силы в ограждении
 M	<i>Изгибающий момент</i>	эпюра изгибающего момента в ограждении
 K_s	<i>Запас прочности в армирующем элементе</i>	эпюра коэффициента запаса прочности в армирующем элементе по длине ограждения
 K_b	<i>Запас прочности в бетоне</i>	эпюра коэффициента запаса прочности в бетоне по длине ограждения
 S	<i>Доля неразрушенной части сечения</i>	эпюра доли неразрушенной части сечения ограждения котлована
 V_c	<i>Критическая призма</i>	активная призма слева и пассивная призма справа, которые уравнивают друг друга с помощью Коэффициента запаса критической призмы из Настройки, расчёт
	<i>окно выбора этапа</i>	этап, на котором необходимо построить эпюру по результатам расчета

3. Панель ввода информации

Панель ввода информации выглядит следующим образом:



Вкладка «Геология»

На вкладке Геология вводятся физико-механические характеристики грунтов и наиболее важные параметры расчета.

Характеристики грунтов

ИГЭ	h, м	γ , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	c , кПа	ϕ , °	k_s , кН/м ³	Ka	Kp	K0
0	5,0	19,0	20,0	5,0	10,5	3000	0,63	1,65	0,82
1	3,8	21,9	23,1	1,0	36,1	4000	0,21	10,35	0,41
6	2,6	21,8	23,1	1,0	37,7	10000	0,20	12,52	0,39
2	0,5	20,1	21,1	10,7	14,5	2000	0,53	2,05	0,75
1	3,8	21,9	23,1	3,3	32,2	4000	0,25	6,97	0,47
6	2,6	21,9	23,1	1,0	37,7	8000	0,20	12,52	0,39

Параметры расчёта

Коэффициенты бокового давления грунта
 по теории Мюллера-Бреслау задаются пользователем

Сейсмика
 Методика: СП 14.13330.2011 Балл: < 7 Коэффициент K1: 1

Учет давления воды
 Свободная Связанная

Определять жёсткость грунта по
 коэфф-ту постели коэфф-ту пропорциональности

Характеристики грунтов

Следует обратить особое внимание на заполнение таблицы "Характеристики грунтов", так как они являются определяющими при расчете ограждения котлована.

Характеристики грунтов

ИГЭ	h, м	γ , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	c , кПа	ϕ , °	k_s , кН/м ³	Ka	Kp	K0
0	5.0	17.3	18.2	7.5	11.5	3000	0.61	1.74	0.80
1	3.8	19.9	21.0	1.5	41.5	4000	0.17	21.14	0.34
6	2.6	19.9	21.0	1.5	41.5	10000	0.17	21.14	0.34
2	0.5	18.3	19.2	16.0	16.0	2000	0.50	2.22	0.72
1	3.8	19.9	21.0	5.0	37.0	4000	0.20	11.48	0.40
6	2.6	19.9	21.0	1.5	41.5	8000	0.17	21.14	0.34

Следующие кнопки позволяют редактировать таблицу геологии:

	вставить строку над активной строкой
	добавить строку в конец таблицы
	удалить строку
	выбор перебором штриховки для выделенного слоя грунта
	позволяет вызвать справочник характеристик грунтов основанный на СП 22.13330.2011

Таблица геологии включает в себя следующие поля:

<i>ИГЭ</i>	Название инженерно геологического элемента в соответствие с геологическими изысканиями. Поле не является уникальным
<i>h, м</i>	мощность слоя
<i>γ, кН/м³</i>	удельный вес грунта в естественном состоянии
<i>γ_{sat}, кН/м³</i>	удельный вес грунта при полном водонасыщении
<i>c, кПа</i>	удельное сцепление
<i>φ, °</i>	угол внутреннего трения
<i>k_s, кН/м³</i>	коэффициент постели
<i>k_{prop}, кН/м⁴</i>	коэффициент пропорциональности
<i>K_a</i>	коэффициент активного давления грунта
<i>K_p</i>	коэффициент пассивного давления грунта
<i>K₀</i>	коэффициент давления грунта в состоянии покоя


Примечание: в таблице геологии задаётся или коэффициент постели, или коэффициент пропорциональности (в зависимости от того, как определяется жёсткость грунта).

В таблицу физико-механических характеристик грунтов можно независимо вводить как расчетные значения по первой группе предельных состояний (по несущей способности), так и по второй (по деформациям). Переключение режима осуществляется соответствующими кнопками Расчетные I / Расчетные II.



В случае выбора Расчетные II к имена полей таблицы дополняются индексом 2 (например, g2, gsat2, c2, fi2)

Расчет выполняется в соответствие с выбранной группой предельного состояния.

В программе есть возможность автоматического пресчёта характеристик грунтов из одной группы предельного состояния в другую , в соответствие с коэффициентами надежности по грунту, указанными ниже.

Согласно [1](СП 22.13330.2011) п. 5.2.2:

Все расчеты основания должны производиться на расчетные значения нагрузок, которые определяют как произведение нормативных нагрузок на коэффициент надежности по нагрузке, устанавливаемый в зависимости от группы предельного состояния:

по первой группе предельных состояний (по несущей способности) - по СП

20.13330.2011 [10], за исключением оговоренных в настоящем СП;

по второй группе предельных состояний (по деформациям) - равный единице.

Учитывая [10] (СП 20.13330.2011 Таблица 7.1) используется следующая таблица коэффициента надежности по весу грунта.

<i>Параметр</i>	<i>Расчетные I</i>	<i>Расчетные II</i>
Вес грунта (на строительной площадке)	1,15	1

Согласно [1](СП 22.13330.2011 п. 5.3.15):

Все расчеты оснований должны выполняться с использованием расчетных значений характеристик грунтов, определяемых как отношение нормативного значения данной характеристики, к коэффициенту надежности по грунту.

Учитывая [1] (СП 22.13330.2011 п 5.3.18. Итоговая таблица коэффициентов надежности по грунту принимает вид:

<i>Параметр</i>	<i>Расчетные I</i>	<i>Расчетные II</i>
Удельное сцепление	1,5	1
Угол внутреннего трения песчаных грунтов	1,1	1
Угол внутреннего трения глинистых грунтов	1,15	1

Следует отметить, что приведенные коэффициенты можно использовать в случае, если нормативные значения соответствующих характеристик грунтов принимаются согласно [1](СП 22.13330,2011 Приложение Б.)

Справочник свойств

В случае, когда данные о геологических изысканиях не полные или отсутствуют, можно воспользоваться справочником характеристик грунта, основанным на приложениях к СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

Стоит отметить, что очень часто в отчетах по инженерно-геологическим изысканиям отсутствуют данные по коэффициентам постели. В связи с этим рекомендуется сначала воспользоваться справочником и задать все свойства грунтов, включая и коэффициент постели, а потом ввести в таблицу точные данные из отчета.

Кроме того, справочник позволяет задавать названия грунтов, по которым программа автоматически определяет тип штриховки.

ИГЭ	Тип грунта
0	Насыпной
1	Песок мелкий
6	Песок гравелистый
2	Суглинок мягкопластичный
1	Песок мелкий
6	Аргиллит

Происхождение и возраст грунта
Глинистые нелёссовые грунты четвертичных отложений, аллювиальные, делювиальные, оз.

Состояние грунта
 Воздух (16,1 %) | Коэф. пористости, e | 0,85
 Вода (29,9 %) | Пористость, n | 0,459
 Част. грунта (54,1 %) | Коэф. водонасыщения, Sr | 0,65
 Влажность, w | 0,204
 Показатель текучести, Il | 0,63

Ед. измер. весовых характеристик: кН/м³ | Автовычисления весовых хар-к

В окне Справочника грунтов необходимо сначала выбрать тип грунта путем нажатия мышкой на соответствующее поле таблицы и из выпадающего меню выбрать необходимый тип грунта.

Далее надо выбрать происхождение грунта.

Затем следует задать в соответствующих полях коэффициент пористости и степень влажности, либо воспользоваться кнопками расположенными рядом с этими полями.

После этого можно нажать на кнопки с изображениями калькулятора и программа автоматически рассчитает и заполнит оставшиеся данные.

При необходимости некоторые данные можно заполнить вручную, а последующие данные вычислить автоматически.

Кроме того, в случае полного отсутствия данных, включая коэффициент пористости и коэффициент водонасыщения, имеется возможность принять усредненные значения характеристик путем нажатия кнопки Вычислить.

Примечание: коэффициент пористости и пористость взаимосвязаны, коэффициент водонасыщения и влажность - тоже (перевычисление требует величину удельного веса частиц).

Параметры расчёта

Кроме того на этой вкладке можно изменить параметры расчёта:

Параметры расчёта

Коэффициенты бокового давления грунта
 по теории Мюллера-Бреслау задаются пользователем

Сейсмика
 Методика: СП 14.13330.2011 Балл: < 7 Коэффициент K1: 1,00

Учет давления воды
 Свободная Связанная

Определять жёсткость грунта по
 коэфф-ту постели коэфф-ту пропорциональности

Выбор метода расчета коэффициентов бокового давления грунта:

- по теории Мюллера-Бреслау:

Это вариант расширенного метода расчета давления грунта по Кулону. Формулы для определения коэффициентов бокового давления приведены в [теоретической части](#).

- задаются пользователем:

При выборе пункта «задаются пользователем» коэффициенты бокового давления грунта задаются вручную.

Учет сейсмического воздействия:

- Балл сейсмичности:

Позволяет пользователю моделировать учет сейсмического воздействия на ограждение. В случае выбора (<7) сейсмичность не учитывается. С методикой расчёта можно ознакомиться в начале руководства в [теоретической части](#).

Учёт сейсмического воздействия возможен только для методики Мюллера-Бреслау.

Если хотя бы для одного грунта задана отличная методика, например «задаются пользователем», то сейсмическое воздействие учитываться не будет.

- Коэффициент K1:

Позволяет задать коэффициент K1 - коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений. Может определяться таблицей 5 из [СП 14.13330.2011](#).

Учет давления воды:

- Свободная

Этот вариант предполагает взвешивание грунта и дополнительное давление от воды.

- Связанная

Этот вариант предполагает увеличение удельного веса грунта до удельного веса грунта в водонасыщенном состоянии.

Подробнее об учёте воды можно прочитать в [теоретической части](#).

Определение жесткости грунта по

- коэффициенту постели:

Используемый коэффициент постели в узле будет равен коэффициенту постели грунта, указанному в таблице.

- коэффициенту пропорциональности:

Используемый коэффициент постели в узле будет равен $K_s = K_{prop} z$, где z - глубина, на которой расположен узел.

Вкладка «Ограждение»

На вкладке Ограждение вводятся данные о глубине котлована, длине ограждения и параметры сечения ограждения.


Параметры котлована

<i>Глубина котлована</i>	глубина котлована задается от поверхности земли.
<i>Длина ограждения</i>	длина проектируемого ограждения.
<i>Глубина заделки</i>	параметр вычисляется автоматически и показывает значение глубины заделки ограждения.
<i>Контакт с грунтом</i>	параметр, отвечающий за передачу продольного усилия на ограждение, изменяется в диапазоне от 0,0 до 1,0 (в долях от угла внутреннего трения грунта).

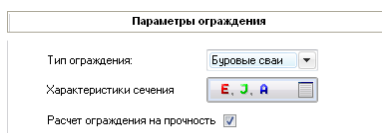
При нажатии правой кнопки мыши на поле ввода появится всплывающее окно с рекомендуемыми значениями параметра Контакт с грунтом в соответствии с [1]СП 22.13330.2010, п.9.16, Таблица 9.1:




<i>Материал конструкции</i>	<i>Технология устройства и особые условия</i>	<i>k</i>
<i>Бетон, железобетон</i>	Монолитные гравитационные стены и гибкие стены, бетонизируемые насухо	0,67
	Монолитные гибкие стены, бетонизируемые под глинистым раствором в грунтах естественной влажности. Сборные гравитационные стены	0,50
	Монолитные гибкие стены, бетонизируемые под глинистым раствором в водонасыщенных грунтах. Сборные гибкие стены, устраиваемые под глинистым раствором в любых грунтах	0,33
<i>Металл, дерево</i>	В мелких и пылеватых водонасыщенных песках	0
	В прочих грунтах	0,33
<i>Любой</i>	При наличии вибрационных нагрузок на основание	0

Для ограждения из Jet свай рекомендуется принимать значение Kontakта с грунтом равным 1,0.

Контекстное меню кроме того, можно вызвать, нажав левой клавишей мыши на  справа от поля ввода.

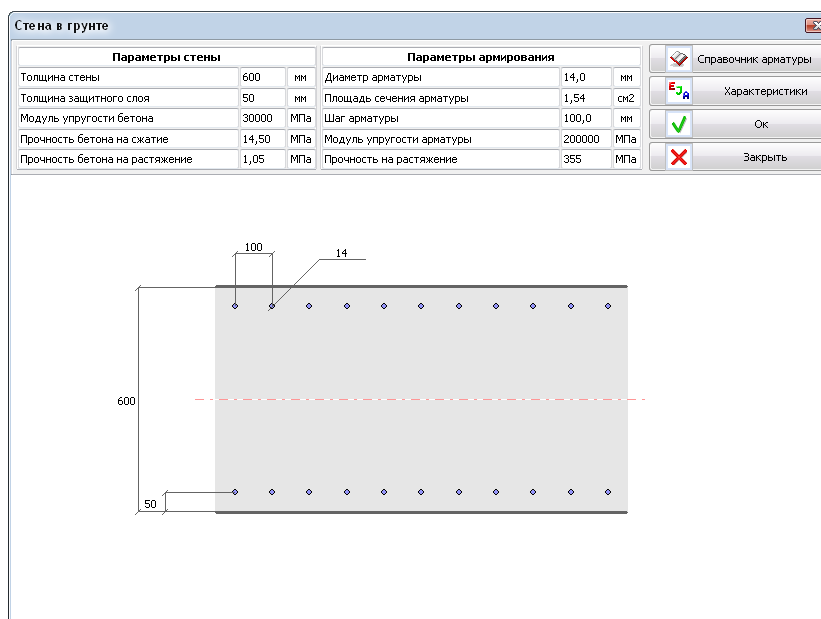
Параметры ограждения



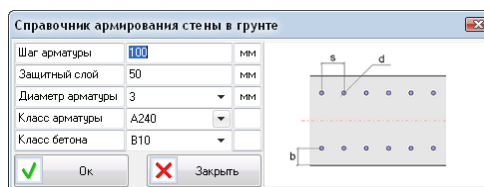
	<i>Тип ограждения</i>	– позволяет выбрать тип используемого ограждения котлована: «Стена в грунте», Буровые сваи, Jet сваи, Шпунт, Трубы, Двухтавры, Другое...
	<i>Характеристики сечения</i>	– открывает окно для ввода геометрических и прочностных характеристик выбранного типа ограждения, а также для расчета эффективных характеристик сечения.
	<i>Расчет ограждения на прочность</i>	– этот флажок позволяет активизировать расчет ограждения на прочность с учетом разрушения бетона. В случае если необходимо вычислить только моменты и внутренние усилия в ограждении рекомендуется для ускорения процесса расчета выключать опцию.

Окно «Стена в грунте»

Окно позволяет ввести геометрические и прочностные параметры ограждения «Стена в грунте» для выполнения дальнейшего расчета.



Для облегчения задания параметров арматуры и бетона можно воспользоваться Справочником.

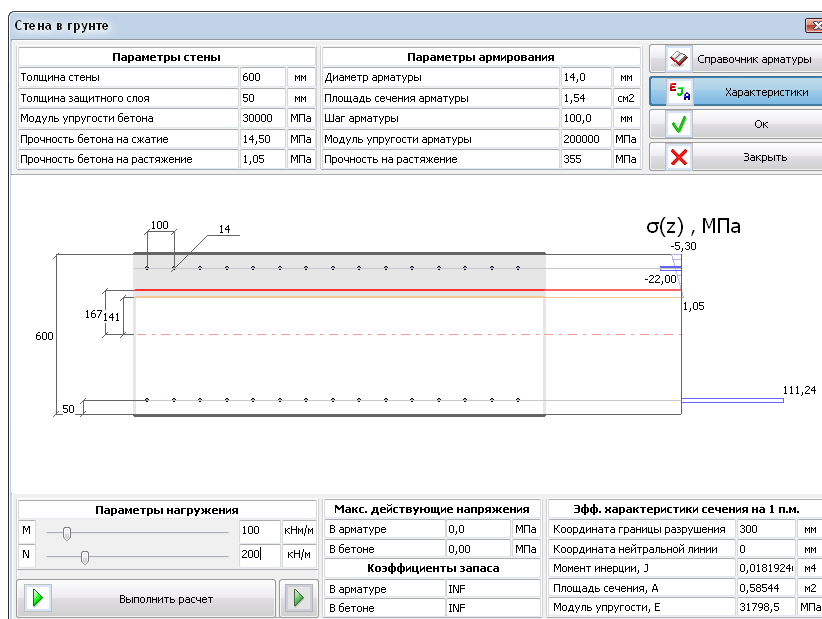


Справочник – содержит справочник по арматуре (классы: A240, A300, A400, A500, B500, A-I, A-II, A-III, A-IV, A-V, Aт-VI, Вр-I) и бетону (B10, B15, B20, B25, B30, B35, B40, B45, B50, B55, B60).

Характеристики – открывает панель для расчета эффективных характеристик сечения (момент инерции, площадь сечения, модуль упругости), напряжений и коэффициентов запаса от параметров стены и параметров нагружения.

Для предварительной проверки прочности сечения ограждения необходимо выполнить следующие действия:

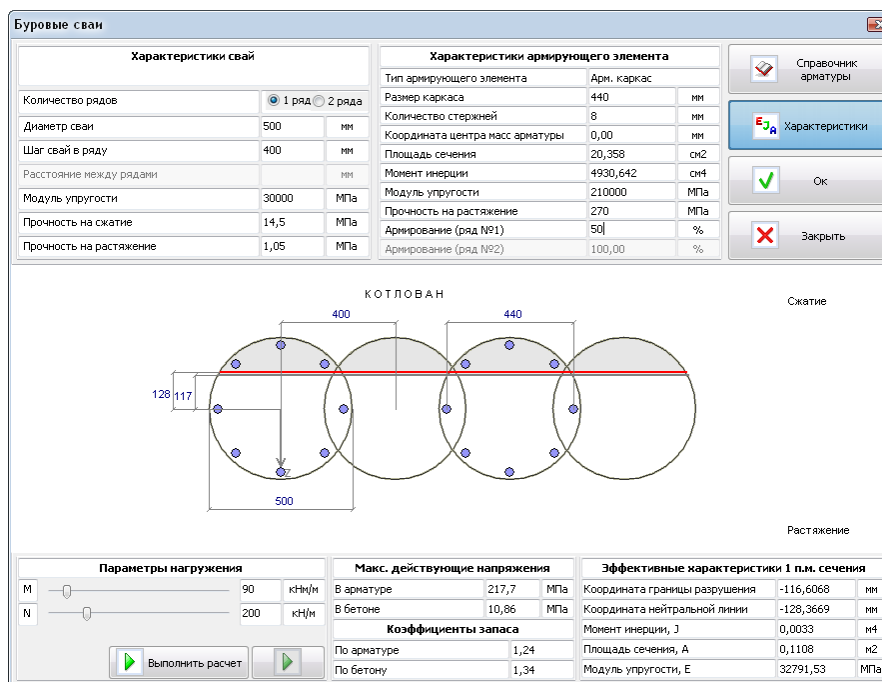
1. В разделе "**Параметры нагружения**" задать момент и продольную силу;
2. Нажать кнопку **Выполнить расчет**;
3. Проанализировать полученные эффективные характеристики сечения, напряжения в бетоне и арматуре и коэффициенты запаса, а также эпюру напряжений.



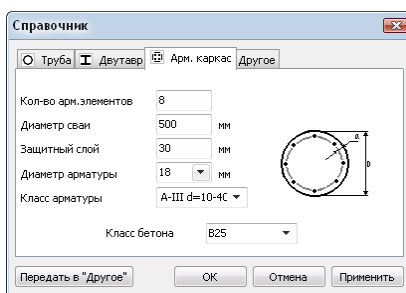
Окно «Буровые сваи»

Окно позволяет задать геометрические и прочностные параметры ограждения из буровых свай (бурунабивных свай, свай CFA, бурунъекционных свай и т.д.).

В том числе имеется возможность выполнять расчет двухрядного ограждения из свай.

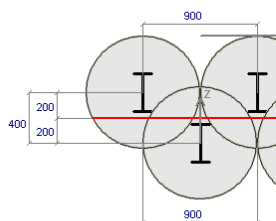


Для облегчения задания параметров армирующего элемента можно воспользоваться Справочником, который содержит базу данных по трубам, двутаврам и арматуре. Также можно задать класс бетона.

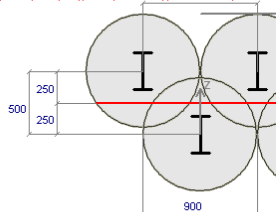


В данном модуле также можно выполнить расчет эффективных характеристик сечения ограждения, произвести анализ чувствительности параметров ограждения от момента и продольной силы, а также рассчитать, напряжения, действующие в сечении и коэффициенты запаса.

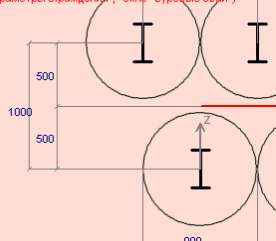
В модуле Буровых свай в случае двухрядного ограждения в графическом поле может отображаться информация о некорректности задания буровых свай.



Внимание! Сваи при пересечении образуют пустоты!
(подробнее - см. руководство пользователя
п. 3.3.2.2 "Параметры ограждения", "Окно "Буровые сваи")



Внимание! Сваи при пересечении образуют пустоты!
(подробнее - см. руководство пользователя
п. 3.3.2.2 "Параметры ограждения", "Окно "Буровые сваи")



В модели, с помощью которой рассчитывается граница разрушения бетона, предполагается, что сваи первого и второго ряда пересекаются так, что между ними не

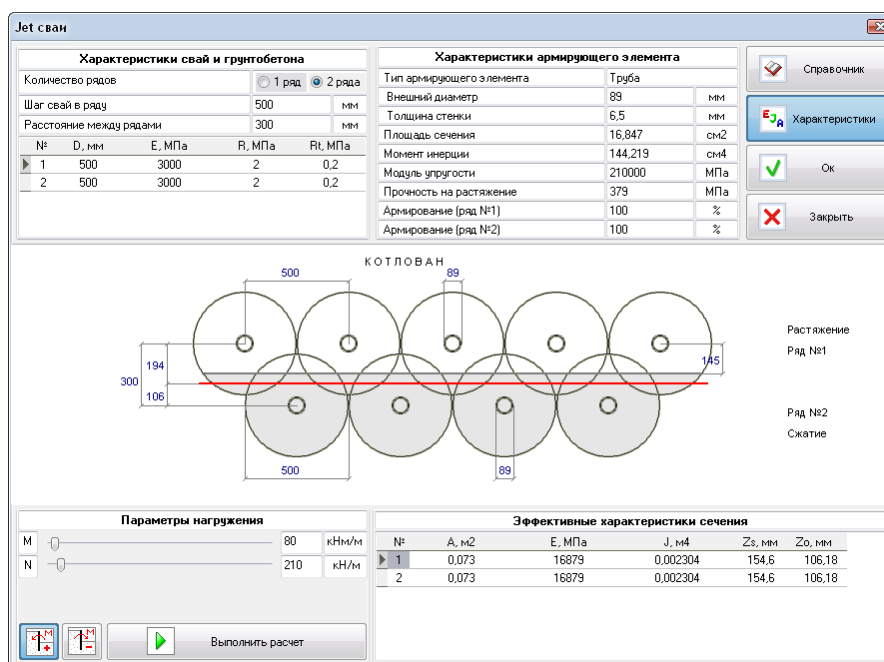
образуется пустот (считается, что бетон полностью заполняет область, ограниченную "верхней" границей свай первого ряда и "нижней" границей свай второго ряда).

Если сваи пересекаются корректно, то в графическом поле никаких предупреждений не показывается (первый скриншот). Если сваи пересекаются некорректно, то показывается предупреждение (второй скриншот). Если же сваи даже не касаются, то помимо предупреждения фон графического поля заполняется красным цветом (третий скриншот).

Мы не рекомендуем пользоваться данным расчётом, если сваи заданы не корректно.

Окно «Jet сваи»

Окно позволяет задать геометрические и прочностные параметры ограждения из Jet свай (грунтоцементных свай).



Модуль Jet сваи отличается от модуля Буровые сваи тем, что позволяет задавать диаметр, модуль деформации и прочность материала сваи для каждого слоя грунта.

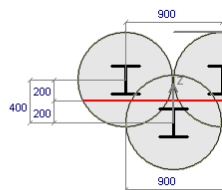
Эта опция необходима, т.к. диаметр и прочность грунтоцементных свай зависит от типа грунтов.

Для облегчения задания параметров армирующего элемента можно воспользоваться справочником, аналогичным справочнику для Буровых свай.

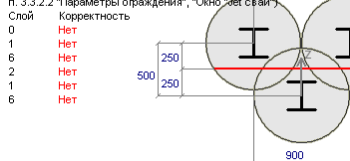
Имеется также возможность произвести проверочный расчет для разных комбинаций момента и продольной силы.

В модуле Jet в случае двухрядного ограждения в графическом поле отображается таблица

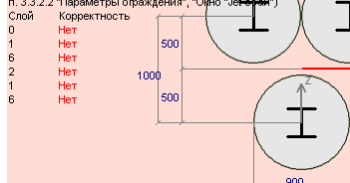
корректности задания слоёв.



Корректность задания слоёв
(сваи пересекаются без пустот,
подробнее - см. руководство пользователя
п. 3.3.2.2 "Параметры ограждения", "Окно «Лет сваи»")



Корректность задания слоёв
(сваи пересекаются без пустот,
подробнее - см. руководство пользователя
п. 3.3.2.2 "Параметры ограждения", "Окно «Лет сваи»")



В модели, с помощью которой рассчитывается граница разрушения бетона, предполагается, что сваи первого и второго ряда пересекаются так, что между ними не образуется пустот (считается, что бетон полностью заполняет область, ограниченную "верхней" границей свай первого ряда и "нижней" границей свай второго ряда).

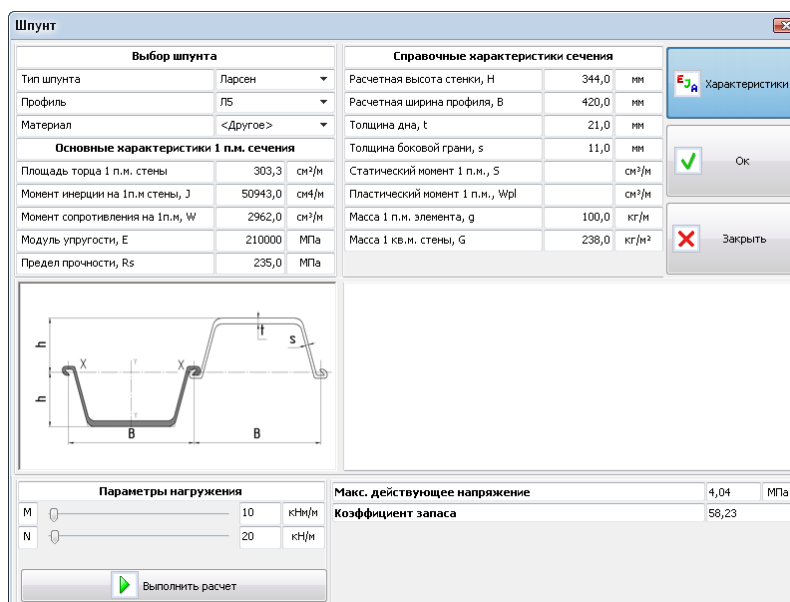
В таблице корректности указывается, пересекаются ли ряды свай так, чтобы при пересечении не было пустот. Если сваи в текущем слое даже не касаются, то графическое поле будет заполнено красным цветом (как на скриншоте выше).

Мы не рекомендуем пользоваться данным расчётом, если есть некорректно заданные слои.

Окно «Шпунт»

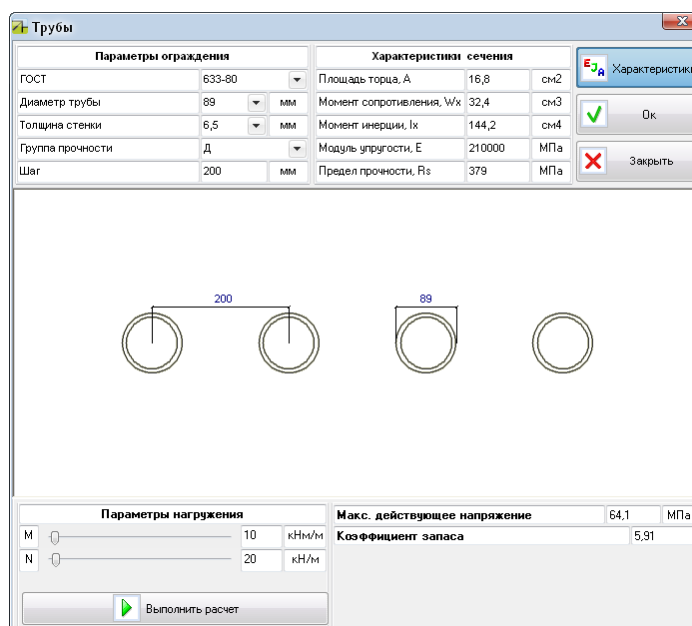
Окно позволяет задать геометрические и прочностные параметры шпунтового ограждения.

Программа содержит справочник шпунтов Ларсен, ПШС, Arcelor, VL и ПВХ.



Окно «Трубы»

Окно позволяет задать геометрические и прочностные параметры ограждения из труб. Встроенный справочник труб позволяет задать трубу согласно различным ГОСТам.



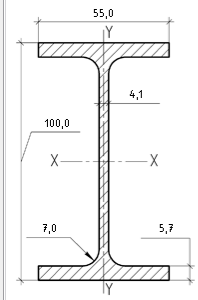
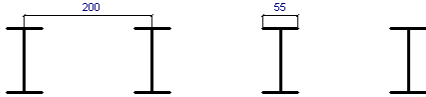
Имеется также возможность произвести проверочный расчет для разных комбинаций момента и продольной силы.

Окно «Двутавры»

Окно позволяет задать геометрические и прочностные параметры ограждения из двутавров. Имеется встроенный справочник двутавров.

Двутавр

Параметры ограждения		Основные характеристики сечения		Справочные характеристики	
Стандарт	ГОСТ 26020-83	Площадь сечения, A	10,3 см ²	Масса 1 м. длины	8,1 кг/м
Тип	Нормальные	Момент инерции, Ix	171,0 см ⁴	Момент инерции, Iy	15,9 см ⁴
Профиль	10Б1	Момент сопротивления, Wx	34,2 см ³	Момент сопротивления, Wy	5,8 см ³
Сталь	C235	Модуль упругости, E	210000 МПа		
Шаг	200 мм	Предел прочности, Rs	235 МПа		

Параметры нагружения		Макс. действующее напряжение	
M	10 кНм/м	62,36	МПа
N	20 кН/м	Кoeffициент запаса	3,77

Выполнить расчет

Имеется также возможность произвести проверочный расчет для разных комбинаций момента и продольной силы.

"Другой" тип ограждения

В случае расчета ограждения котлована, отсутствующего в списке Тип ограждения, например, ограждение из шпунтов другого профиля, можно выбрать пункт Другое... и задать пользовательские геометрические и прочностные характеристики сечения:

Параметры ограждения

Тип ограждения: Другое...

Характеристики сечения: E, J, A

Расчет ограждения на прочность

Название:

Шаг ограждения, b: м



Площадь сечения, A: м²

Момент сопротивления, W: м³

Момент инерции, J: м⁴

Модуль упругости, E: МПа

Предел прочности, Rs: МПа

Пользователь может внести данные о текущем ограждении в Базу Данных, нажав на . Для выбора ограждения из Базы Данных необходимо нажать на  и выбрать нужное ограждение.

База данных сечений


№	Наименование	Шаг, м	Площадь сечения, м ²	Момент сопр., м ³	Момент инерции, м ⁴	Модуль упругости, МПа	Предел прочности, МПа
1	Arcelor Z 12 (S 240 GP)	1	0,01257	0,0012	0,0001814	210000	240
2	Arcelor AU 23 (S 320 GP)	1	0,01734	0,00227	0,000507	210000	320

OK Отмена

Параметры пионерного котлована

В программе есть возможность моделирования пионерного котлована:

Параметры пионерного котлована



Глубина м

Угол наклона откоса °

Отступ м

Вкладка «Нагрузки»

Раздел *Расчетные нагрузки на грунт* позволяет задать информацию о распределенных нагрузках для задания нагрузок от близлежащих зданий и техники.

Геология Ограждение Нагрузки Анкеры, распорки Результаты

Расчетные нагрузки на грунт

№	Вкл	Этапы		Отступ, м	Ширина, м	Заглуб, м	qA, кПа	qB, кПа
		Вкл	Выкл					
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	3	3	6,8	2	50	50
2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	-1	6,8	9	20	20

<i>№</i>	номер по порядку
<i>Вкл</i>	если выключить этот флажок, то нагрузка в расчёте учитываться не будет
<i>Этапы работы Вкл</i>	начальный этап работы нагрузки
<i>Этапы работы Выкл</i>	последний этап работы нагрузки
<i>Отступ, м</i>	расстояние от края нагрузки до борта котлована (положительное число - нагрузка слева от ограждения, отрицательное число - нагрузка справа от ограждения)
<i>Ширина, м</i>	ширина нагрузки
<i>Заглуб, м</i>	глубина приложения нагрузки
<i>qA, кПа</i>	интенсивность нагрузки слева
<i>qB, кПа</i>	интенсивность нагрузки справа

Раздел *Расчетные нагрузки на ограждение* позволяет задавать сосредоточенные силы и моменты на ограждение.

№	Вкл	Этапы		y, м	Fx, кН	Fy, кН	M, кНм	Шаг, м
		Вкл	Выкл					
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	4	-10	10	0	2
2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	7	0	0	-12	1

<i>№</i>	номер по порядку
<i>Вкл</i>	если выключить этот флажок, то нагрузка в расчёте учитываться не будет
<i>Этапы работы Вкл</i>	начальный этап работы нагрузки
<i>Этапы работы Выкл</i>	последний этап работы нагрузки
<i>y, м</i>	координата приложения нагрузки
<i>Fx, кН</i>	проекция сосредоточенной силы на ось X
<i>Fy, кН</i>	проекция сосредоточенной силы на ось Y
<i>M, кНм</i>	сосредоточенный момент
<i>Шаг, м</i>	шаг приложения сосредоточенной нагрузки

Раздел *Расчетные распределённые нагрузки на ограждение* позволяет задавать распределённые силы на ограждение.

Расчетные распределённые нагрузки на ограждение								
№	Вкл	Этапы		y1, м	y2, м	q1, кПа	q2, кПа	Оползневое
		Вкл	Выкл					
1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	5	0	100	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	3	8	10	-100	-100	<input type="checkbox"/>

<i>№</i>	номер по порядку
<i>Вкл</i>	если выключить этот флажок, то нагрузка в расчёте учитываться не будет
<i>Этапы работы Вкл</i>	начальный этап работы нагрузки
<i>Этапы работы Выкл</i>	последний этап работы нагрузки
<i>y1, м</i>	координата начала линии приложения нагрузки
<i>y2, м</i>	координата конца линии приложения нагрузки
<i>q1, кПа</i>	интенсивность нагрузки в начале линии приложения нагрузки
<i>q2, кПа</i>	интенсивность нагрузки в конце линии приложения нагрузки
<i>Оползневое</i>	флаг, отмечающий нагрузки, которые ограничивают активное давление (см. Примечание 3)

Примечание 1.

Важно отметить, что в программе задаются Расчетные нагрузки, то есть величины нагрузок должны в себе учитывать коэффициенты надежности по нагрузке.

Примечание 2.

Возможность задания этапов работы нагрузки включается в настройках. Если возможность задания этапов работы нагрузки выключена, то нагрузки действуют в течении всех этапов, начиная с 1 этапа.

Если в поле с номером начального этапа указан 0, это означает, что нагрузка начинает работать с 0 этапа (этапа, когда ограждения ещё не было), если не указано ничего - то с 1 этапа.

Если в поле с номером конечного этапа указан 0 или ничего не указано, то конечным

этапом приложения нагрузки является последний этап.

Примечание 3.

С помощью флага "Оползневое" можно задать оползневое давление, действующее на ограждение. Оно будет представлять собой сумму всех "оползневых" нагрузок. Оползневое давление корректирует активное давление (если активное давление в каком-либо узле меньше оползневого давления, то активное давление станет равным оползневому давлению).

Вкладка «Анкеры, распорки»

На вкладке Этапы задается количество этапов разработки котлована, параметры анкеров и распорок, а также бермы.

Геология | Ограждение | Нагрузки | Анкеры, распорки | Результаты

Анкеры

Вкл	Этапы	h, м	Угол, гр	Шаг, м	Ls, м	Lk, м	C, кН/мм	F, кН	Fs, кН	Fm, кН
Вкл	Векл									
<input checked="" type="checkbox"/>	3	0	2,5	30	1	12,2	3,5	29	100	251,3
<input checked="" type="checkbox"/>	5	0	6,5	30	1	9,7	3,5	36,4	100	229,7

Распорная система

Вкл	Этапы	h, м	Угол, гр	Шаг, м	L, м	C, кН/мм	Fm, кН
Вкл	Векл						
<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	2	0	1	10	24,5

Этапы разработки котлована

Расстояние от дна до связи: 0,5 м

Этап	Глубина, м	УВ слева, м	УВ справа, м
1	3	10	10
2	3	10	10
3	7	10	10
4	7	10	10
5	9	10	10

Расчёт 0 этапа Уровень водоупора: 100

Бермы

Этап	Верх бермы, м	Отступ, м	Ширина откоса, м	Высота откоса, м	Вкл
2	3	4	4	4	<input checked="" type="checkbox"/>
4	7	2	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>

В разделе Анкеры задаются параметры грунтовых анкеров.


<i>Вкл</i>	если выключить этот флажок, то анкер в расчёте учитываться не будет
<i>Этапы Вкл</i>	этап, начиная с которого анкер учитывается в расчёте (см. примечание),
<i>Этапы Выкл</i>	этап выключения - этап, после которого анкер перестаёт работать (0 - никогда не выключится)
<i>h, м</i>	глубина установки
<i>Угол, гр</i>	угол наклона анкера к горизонтали
<i>Шаг, м</i>	шаг анкера
<i>Ls, м</i>	длина тяги анкера
<i>Lk, м</i>	длина корня анкера
<i>C, кН/мм</i>	жёсткость анкера
<i>F, кН</i>	усилие натяжения анкера
<i>Fs, кН</i>	несущая способность анкера по грунту
<i>Fm, кН</i>	несущая способность анкера по материалу

Важно выбрать корректный этап начала работы анкера.

Например, если анкер устанавливается на глубине 5,5 м, то для его установки необходимо на Этапе 1 выкопать котлован до глубины примерно 6,0 м и на Этапе 2 установить анкер.

То есть в таблице Анкеры необходимо установить для первого анкера Этап 2. Это включит анкер в расчет начиная с Этапа 2.


Если включена опция "Считать преднатяжение анкера в отдельном этапе", то в указанном этапе у анкера появляется жёсткость, а преднатяжение у анкера появляется раньше - в специальном "промежуточном" этапе с исходными данными предыдущего этапа. В рассматриваемом примере это будет значить, что жёсткость анкера начнёт действовать с 2 этапа, а преднатяжение - с этапа, который добавится между 1 и 2 этапом и является копией 1 этапа.

Нажатие на кнопку  позволяет вынести корни анкеров за критическую призму (расчёт должен быть проведён).

В разделе Распорная система задаются параметры распорок.

<i>Вкл</i>	если выключить этот флажок, то распорка в расчёте учитываться не будет
<i>Этапы Вкл</i>	этап, начиная с которого распорка учитывается в расчёте
<i>Этапы Выкл</i>	этап выключения - этап, после которого связь перестает работать (0 - никогда не выключится)
<i>h, м</i>	глубина установки
<i>Угол, гр</i>	угол наклона распорки к горизонтали
<i>Шаг, м</i>	шаг распорки
<i>L, м</i>	длина распорки
<i>C, кН/мм</i>	жесткость распорки
<i>Fm, кН</i>	несущая способность распорки по материалу

В разделе Этапы разработки котлована задается глубина этапов разработки котлована.

Программа может автоматически заполнить глубины этапов в соответствии с расставленными анкерами или распорками. Для этого в поле Расстояние от дна котлована до связи необходимо указать глубину от устья скважины анкера до дна, минимально необходимую для устройства анкера буровой установкой (0,1-0,5 м), и нажать кнопку .

В полях УВ слева, УВ справа и Уровень водоупора вводятся данные по грунтовым водам. Значения вводятся без знака «минус».

Флажок "Расчёт 0 этапа" позволяет включить в результаты нулевой этап (без откопки).

В разделе Бермы задаются параметры берм.

<i>Этап</i>	этап, начиная с которого берма учитывается в расчёте
<i>Верх бермы, м</i>	глубина, на которой начинается берма (см. примечание).
<i>Отступ, м</i>	расстояние от ограждения до откоса
<i>Ширина откоса, м</i>	ширина откоса бермы
<i>Высота откоса, м</i>	высота откоса бермы
<i>Вкл</i>	если выключить этот флажок, то берма в расчёте учитываться не будет

Примечание: если глубина верха бермы меньше, чем глубина котлована на данном

этапе, то верхом бермы будет глубина котлована.

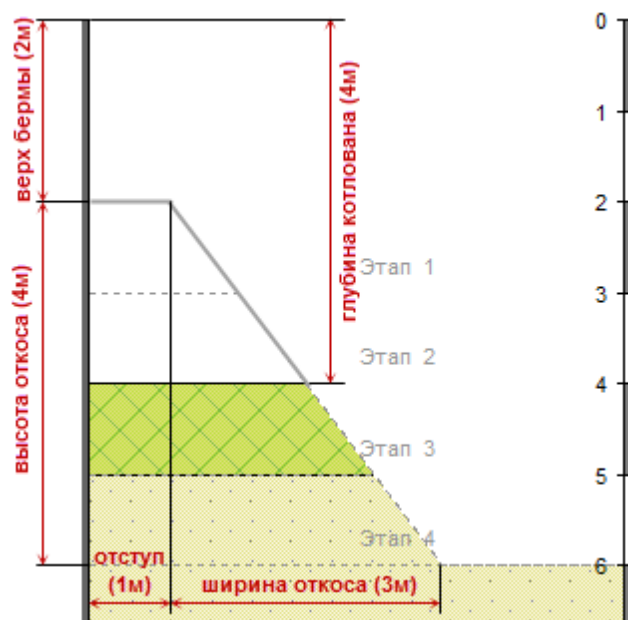
Для примера рассмотрим берму:

Этапы разработки котлована			
Этап	Глубина, м	УВ слева, м	УВ справа, м
1	3	10	10
2	4	10	10
3	5	10	10
4	6	10	10
5	9	10	10

Расчёт 0 этапа Уровень водоупора: 100

Бермы					
Этап	Верх бермы, м	Отступ, м	Ширина откоса, м	Высота откоса, м	Вкл
1	2	1	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>

На этапе 2 она будет выглядеть следующим образом:



Расчет жесткости анкера

По опытным данным жесткость анкера находится в пределах от 10 до 50 кН/мм. Жесткость анкера, а также несущую способность по материалу, можно вычислить, нажав в разделе Анкеры кнопку Расчет жесткости анкеров . Соответственно, в таблицу задаются параметры необходимые для определения жесткости и несущей способности по материалу анкера - площадь сечения, модуль упругости, длина тяги и предел прочности материала. Вычисленные жесткость и несущая способность по материалу автоматически записываются в раздел Анкеры. Свойства анкеров можно импортировать из справочника анкеров, который открывается нажатием на кнопку "Справочник".

Этап	Свободная длина тяги, м	Площадь сечения, мм ²	Модуль упругости тяги, МПа	Жёсткость, кН/мм	Rs, МПа	Fm, кН
3	12,2	1685	210000	29	379	639
5	9,7	1685	210000	36,4	379	639

Справочник анкеров

В справочнике анкеров можно выбрать анкер из трубчатых, прядевых и стержневых. Характеристики выбранного анкера будут внесены в таблицу анкеров на форме "Расчет жёсткости анкеров" и в разделе "Анкеры" на главной форме.

Справочник анкеров

Трубчатые **Прядевые** Стержневые

Тип: Винтовые анкерные штанги "Атлант"

Название: 57x10,0

Внешний диаметр тяги, мм: 57

Внутренний диаметр тяги, мм: 37

Длина анкера, м: 9,71

Эфф. модуль упругости, МПа: 210 000

Эфф. предел прочности, МПа: 580

Площадь сечения, мм²: 1 269

Жёсткость, кН/мм: 27,4

Нес. способность по материалу, кН: 736

Временное сопротивление, МПа:

Пред. нагрузка на разрыв, кН:

Учитывать коррозию (BS EN 14199:2005)

Тип грунта: Агрессивный природный грунт

Требуемый срок службы (лет): 75

Толщина потерянного слоя, мм: 2,5

web: www.anker-system.ru

Все OK Отмена

Справочник анкеров

Трубчатые **Прядевые** Стержневые

Тип: Прядевые анкера ССТ

Диаметр пряди, мм: 15,2

Ном. площадь сечения пряди, мм²: 139

Количество прядей: 3

Длина анкера, м: 9,71

Эфф. модуль упругости, МПа: 195 000

Эфф. предел прочности, МПа: 1450

Площадь сечения, мм²: 417

Жёсткость, кН/мм: 8,4

Нес. способность по материалу, кН: 605


Временное сопротивление, МПа: 1 670,0

Пред. нагрузка на разрыв, кН: 696,4

web: www.anker-system.ru

Все OK Отмена

Расчет жесткости распорки

Жесткость распорки, а также несущую способность по материалу, можно вычислить, нажав в разделе Распорная система кнопку Расчет жесткости распорок . Соответственно, в таблицу задаются параметры необходимые для определения жесткости и несущей способности по материалу распорной системы. Вычисленные жесткость и несущая способность по материалу автоматически записываются в раздел Распорная система. Свойства распорок можно импортировать из справочника распорок, который открывается нажатием на кнопку "Справочник".

Этап	L, м	A, мм ²	E, МПа	C, кН/мм	Rs, МПа	Fm, кН	Симметрия
1	10	1166	210000	24,5	255	297	

Справочник распорок






В справочнике распорок можно выбрать распорку из трубчатых и железобетонных. Характеристики выбранной распорки будут внесены в таблицу распорок на форме "Расчет жесткости распорок" и в разделе "Распорная система" на главной форме.

Вкладка «Результаты»

На вкладке Результаты расчета выводятся результаты для каждого этапа устройства ограждения.

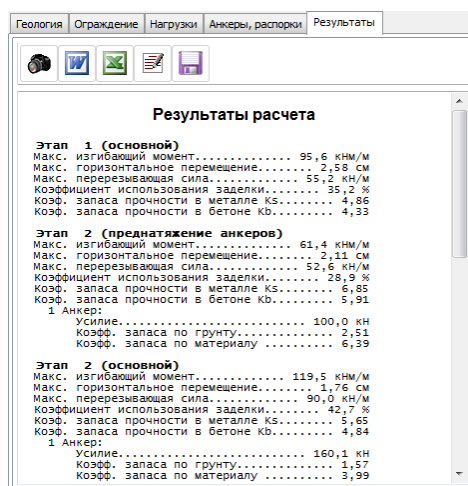


На вкладке расположены следующие кнопки:

	<i>Снимок экрана</i>	сохраняет изображение графического поля в буфер обмена.
	<i>Сохранить отчет MS Word</i>	создание подробного отчета в программе Microsoft Word для дальнейшего редактирования.
	<i>Сохранить отчет MS Excel</i>	выводит результаты расчетов в таблицу в формате MS Excel.
	<i>Добавить исходные данные</i>	добавляет в окно с результатами исходные данные по расчету.
	<i>Сохранить в файл краткий отчет по расчету</i>	сохраняет краткий отчет по расчету в файл в формате RTF.

Для графического отображения эпюр достаточно нажать одну из кнопок на [Панели инструментов](#)

Окно результатов расчета выглядит следующим образом



Раздел главного меню Результаты содержит полный список эпюр, которые программа может отобразить.

Для выбора этапа, на котором необходимо построить эпюру, необходимо воспользоваться окном выбора этапа .

При отображении эпюр коэффициентов запаса, если значение коэффициента превышает в 4 раза минимальное значение, то на этом участке эпюра отображается прямой линией. На самом деле эпюра на этих участках должна выходить за пределы рисунка.

Специальные случаи

В окне результатов расчёта могут быть показаны сообщения:

1. **ОПОРНЫЕ ДАВЛЕНИЯ БЫЛИ СКОРРЕКТИРОВАНЫ!**

Далее может быть одно или несколько сообщений:

Pa -> Pp	Активное давление в некоторых узлах было больше, чем пассивное, поэтому в этих узлах активное давление приняли равным пассивному давлению. С точки зрения модели - грунт всегда находится в пластике.
P0 -> Pp	Бытовое давление в некоторых узлах было больше, чем пассивное, поэтому в этих узлах бытовое давление приняли равным пассивному давлению. С точки зрения модели - грунт даже при нулевых перемещениях ограждения находится в пластике.
P0 -> Pa	Бытовое давление в некоторых узлах было меньше, чем активное, поэтому в этих узлах бытовое давление приняли равным активному давлению. С точки зрения модели - грунт даже при нулевых перемещениях ограждения находится в пластике.

Модель предполагает, что $P_a \leq P_0 \leq P_p$ и при несоблюдении этого условия пытается скорректировать давления, чтобы условие выполнялось.

Возможные причины нарушения данного условия:

1. Нагрузка. Так как к активному и пассивному давлению нагрузка добавляется на разной глубине, то возможна ситуация когда активное или бытовое давление будет больше пассивного.

2. Нагрузка, появляющаяся на 0 этапе, или пионерный котлован (он появляется ДО установки ограждения) - влияет на бытовое давление СПРАВА, а на пассивное справа нет. Таким образом бытовое давление может оказаться больше пассивного.

2. ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТА В ЗАДЕЛКЕ!

Это сообщение означает, что во всех узлах заделки расчётное давление достигло предельного давления и грунт перешёл в пластику. Таким образом, заделка больше не держит ограждение! В таком случае, ограждение может оказаться устойчивым только если оно удерживается анкерами или распорками.

3. РАСЧЁТ БЫЛ ОСТАНОВЛЕН!

Это сообщение означает, что во время расчёта произошла ошибка, из-за которой расчёт не был доведён до конца. В качестве результатов этапа показаны результаты на последней проведённой итерации, что, конечно же, не является решением задачи на этапе.

4. НЕ НАЙДЕНО РЕШЕНИЕ С ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТЬЮ!

Это сообщение означает, что программа не смогла за предоставленное ей количество итераций добиться того, чтобы невязка по силам была меньше требуемого значения.

5. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БОЛЬШЕ ДЛИНЫ ОГРАЖДЕНИЯ!

Это сообщение означает, что максимальные перемещения на данном этапе превысили длину ограждения, что может означать неустойчивость ограждения.

6. БЕТОН В ОГРАЖДЕНИИ ПОЛНОСТЬЮ РАЗРУШИЛСЯ!

Это сообщение означает, что весь бетон в одном из элементов ограждения разрушился.


7. РАСЧЁТ БЫЛ ОСТАНОВЛЕН ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ!

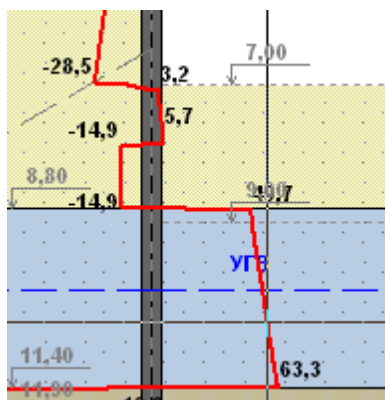
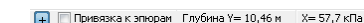
Это сообщение означает, что пользователь прервал расчёт, нажав на кнопку .

4. Строка состояния

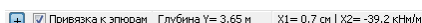
Строка состояния выглядит следующим образом:

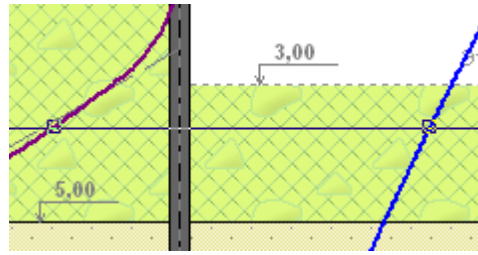


Нажатие на  позволит включить режим, при котором в строке состояния показывается величина эпюры, на которую указывает курсор.



Выбор флажка "Привязка к эпюрам" включит режим, при котором для выбранной глубины будет показана величина эпюры (эпюр, если их несколько).





Модули

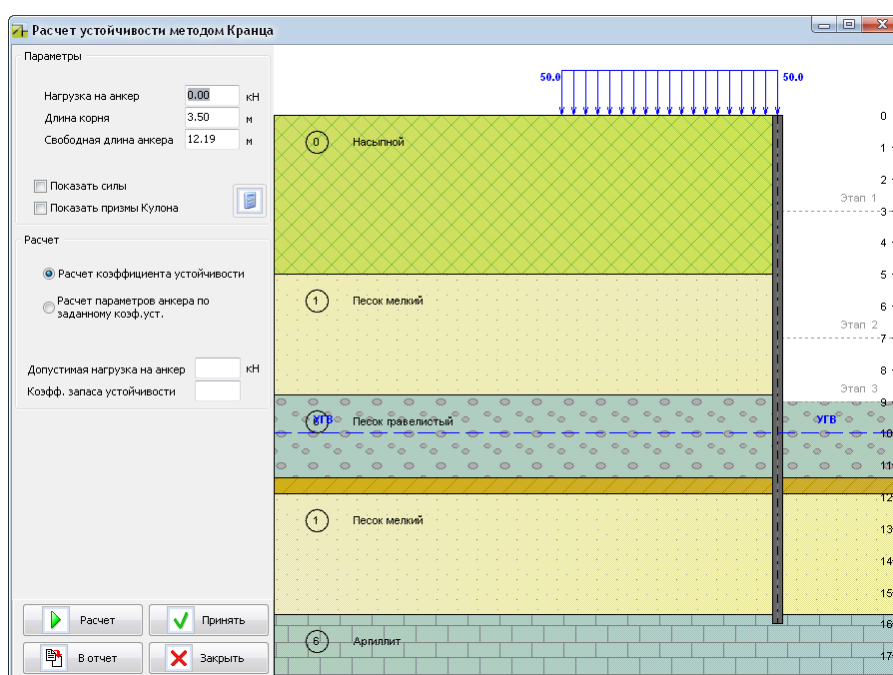
В программе GeoWall могут использоваться следующие расчётные модули:

1. Kranz - расчёт устойчивости методом Кранца.
2. Stab - расчёт устойчивости методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.
3. Anchor - расчёт несущей способности анкеров.
4. Beam - расчёт обвязочного пояса.

1. Расчёт устойчивости методом Кранца

Данный модуль предназначен для расчёта устойчивости системы "стена-грунт-анкер" методом Кранца.

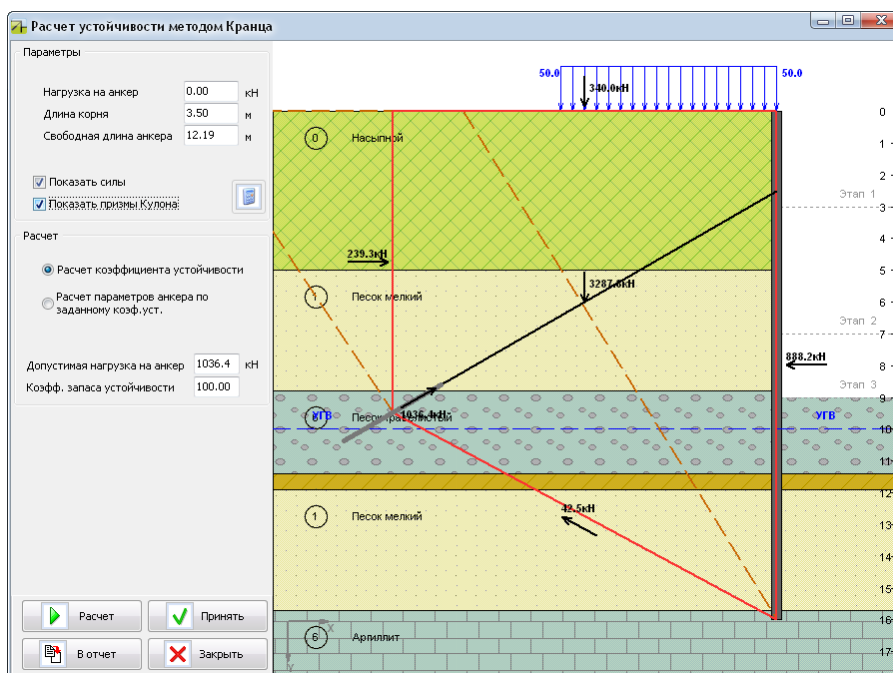
Окно модуля выглядит следующим образом:



Модуль позволяет провести два вида расчёта:

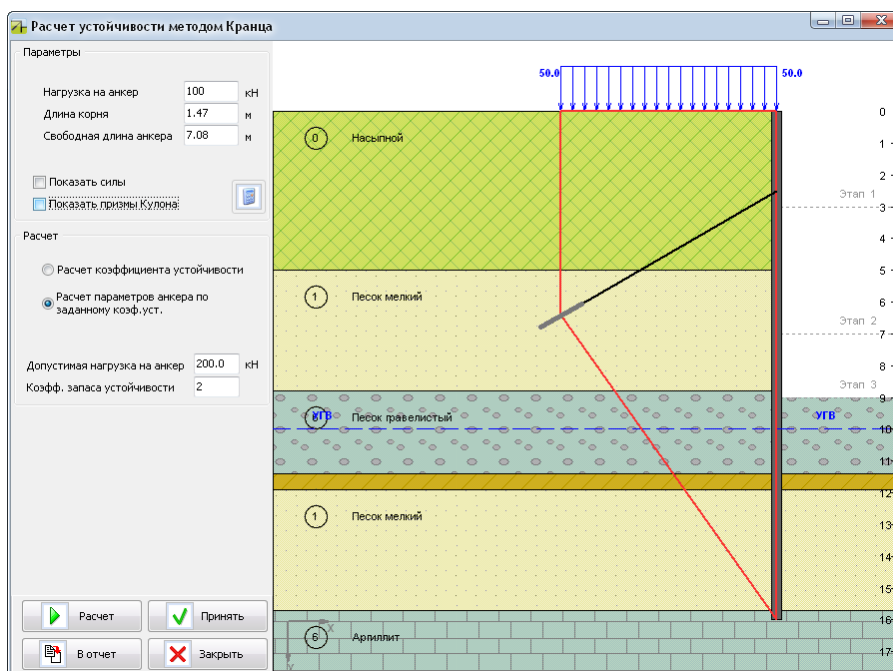
1. Расчёт коэффициента устойчивости.

Задав нагрузку на анкер, длину корня и свободную длину анкера (эти данные можно передать из GeoWall), можно вычислить допустимую нагрузку на анкер и коэффициент устойчивости.



2. Расчёт параметров анкера по заданному коэффициенту устойчивости.

Задав нагрузку на анкер и коэффициент запаса устойчивости, можно вычислить длину корня, свободную длину анкера и допустимую нагрузку на анкер.



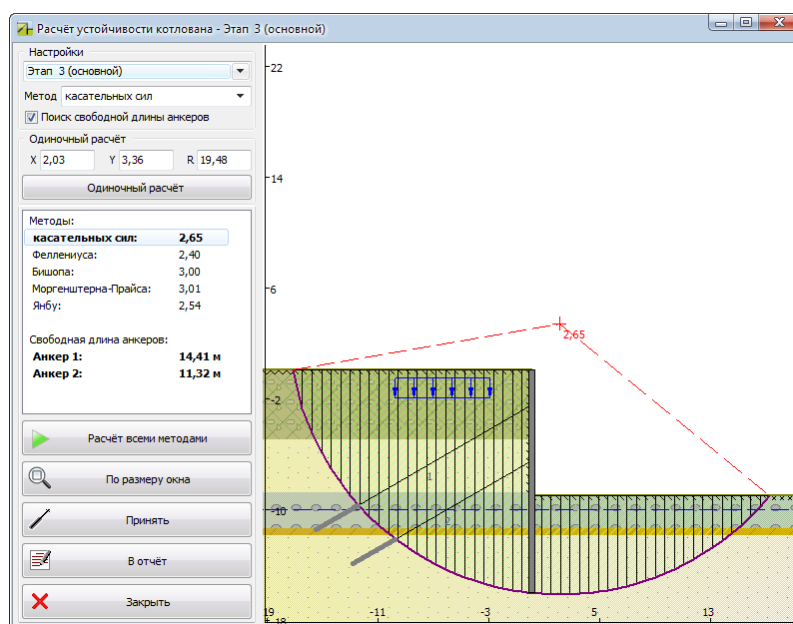
Кнопки:

<input type="checkbox"/>	<i>Показать силы</i>	данная опция отвечает за отображение сил, действующих на призму
<input type="checkbox"/>	<i>Показать призмы Кулона</i>	данная опция отвечает за отображение призм Кулона
	<i>Передать из GeoWall</i>	переносит нагрузку на анкер, длину корня и свободную длину анкера из GeoWall
	<i>Расчет</i>	выполняет выбранный расчет
	<i>Принять</i>	переносит параметры анкеров в GeoWall
	<i>В отчет</i>	переносит результаты расчета в отчет
	<i>Заккрыть</i>	закрывает данное окно

2. Расчёт устойчивости методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения

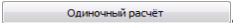
Данный модуль предназначен для расчёта устойчивости склона методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Окно модуля выглядит следующим образом:

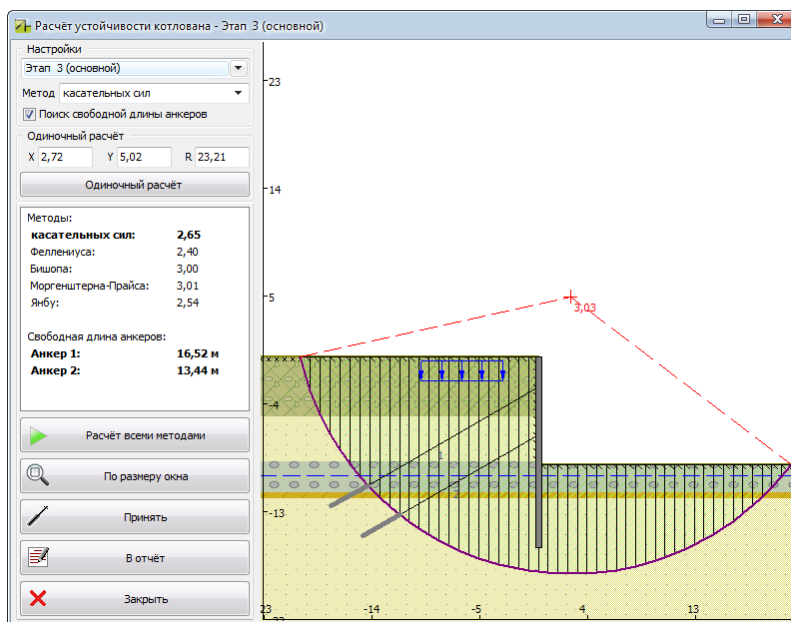


Модуль позволяет провести следующие расчёты:

1. Нахождение коэффициента устойчивости круглоцилиндрической призмы.

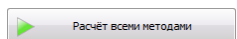
Для этого необходимо задать координаты центра окружности, радиус (можно задать с помощью левой кнопки мыши) и нажать на кнопку .

При этом кроме коэффициента запаса устойчивости программа также найдёт свободные длины анкеров (если включен флажок "Поиск свободной длины анкеров").



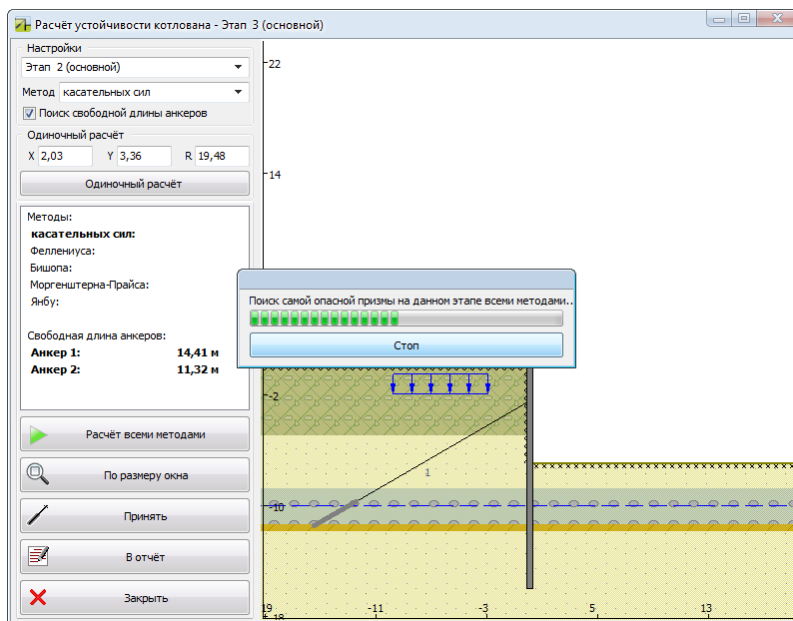
2. Нахождение наиболее опасной призмы на текущем этапе всеми методами.

Для выполнения этого расчёта необходимо выбрать этап и нажать на кнопку



Программа найдёт самую опасную призму на выбранном этапе для каждого метода, покажет коэффициенты устойчивости, а так же найдёт свободные длины анкеров, лежащие вне найденных призм скольжения (если включен флажок "Поиск свободной длины анкеров").

При открытии модуля Stab программа автоматически ищет самую опасную призму всеми методами на последнем этапе.



Кнопки:

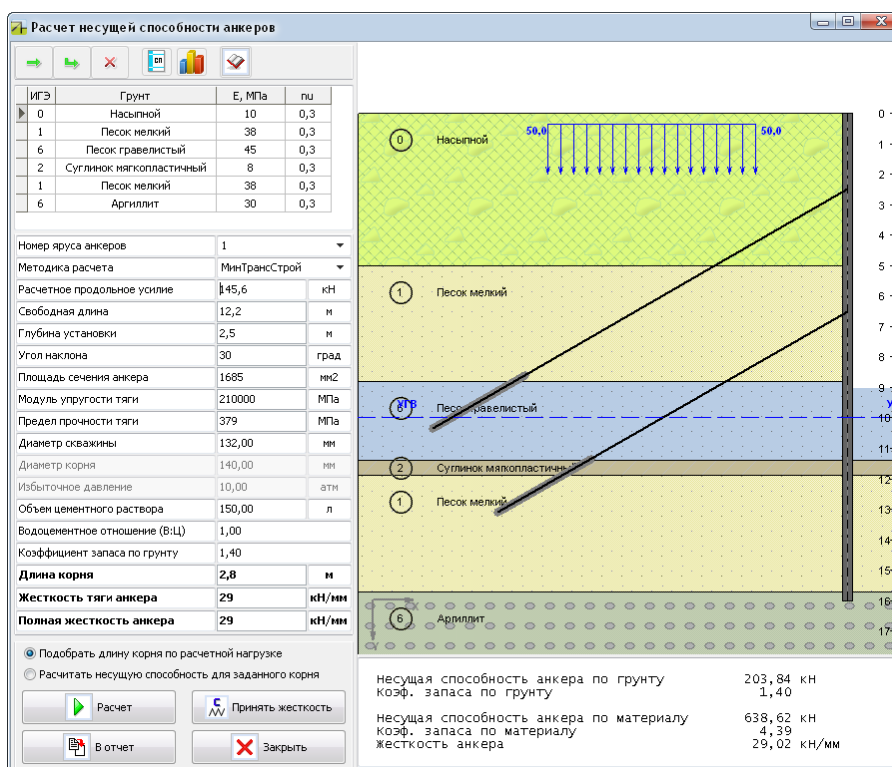
	выполнить расчёт коэффициента устойчивости круглоцилиндрической призмы, центр и радиус которой заданы в полях ввода раздела "Одиночный расчёт"
	выполнить поиск самой опасной призмы на текущем этапе всеми возможными методами
	выровнять расчётную схему по размерам окна
	перенести данные о свободной длине анкеров в основную программу
	добавить данные в отчёт
	заккрыть модуль Stab

3. Расчёт несущей способности анкеров

Данный модуль предназначен для расчёта несущей способности анкеров.

Обзор модуля

Окно модуля выглядит следующим образом:



Модуль позволяет провести два вида расчёта:

1. Подбор длины корня по расчетной нагрузке.

Для этого необходимо задать параметры анкера (в зависимости от выбранной методики разные), а также расчётное продольное усилие.





2. Расчет несущей способности для заданного корня.

Для этого, как и в предыдущем случае, необходимо задать параметры анкера (в том числе - длину корня анкера), а также расчётное продольное усилие.

Кнопки над таблицей геологии:

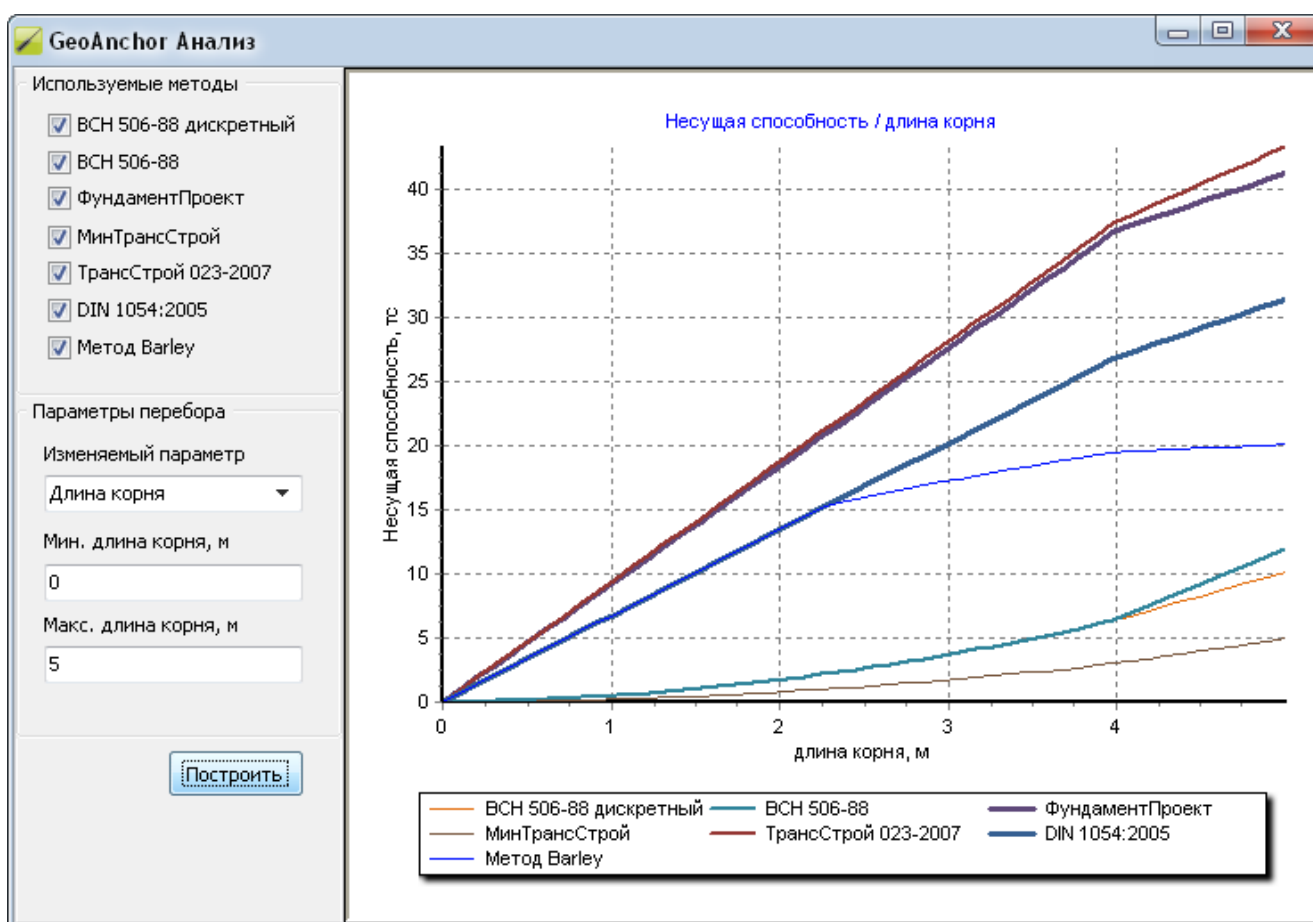
	вставить строку над активной строкой
	добавить строку в конец таблицы
	удалить строку
	позволяет вызвать справочник характеристик грунтов основанный на СП 22.13330.2011
	позволяет вызвать окно анализа
	открывает справочник характеристик анкеров

Кнопки внизу окна:

	<i>Расчет</i>	выполняет выбранный расчет
	<i>Принять жесткость</i>	передает значение полной жесткости анкеров в GeoWall
	<i>В отчет</i>	переносит результаты расчета в отчет
	<i>Заккрыть</i>	закрывает данное окно

Использование блока анализа

Используя средства появившегося окна, можно построить графики зависимости несущей способности анкера от длины или диаметра корня для выбранных методик.



Примечание: в случае невозможности выполнения расчета вследствие некорректности или отсутствия необходимых исходных данных. выдается соответствующее предупреждение.

Методики расчёта

Программа позволяет выполнить расчёт по следующим методикам: ЦНИИС МинТрансСтроя, ФундаментПроекта, ВСН 506-88, DIN 1054:2005, ТрансСтрой 023-2007, Barley.

Методика ЦНИИС МинТрансСтроя

Расчёт несущей способности анкера выполняется по формуле [1]:

$$F_d = m \pi D^k l^k \left\{ \gamma h_k \left[\left(\frac{1 + \chi}{2} + \frac{1 - \chi}{2} \cos 2\alpha \right) \operatorname{tg} \varphi + \frac{1 - \chi}{2} \sin 2\alpha \right] + c \right\}$$

где

$m = 0,8$ – коэффициент неоднородности грунта,

γ_{cp} – средний удельный вес грунта, рассчитанный по высоте над центром корня,

c – сцепление грунта,

χ – коэффициент бокового давления грунта,

$$\chi = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

φ – угол внутреннего трения грунта,

h_k – глубина заложения центра заделки,

l^k – длина корня,

D^k – диаметр корня.

В глинистых грунтах, мелком и пылеватом песках диаметр корня определяется следующим образом:

$$D^k = d_{скв} + 2 \text{ мм}$$

В песках средней крупности:

$$D^k = d_{скв} + 10 \text{ мм}$$

В гравии диаметр корня D_i^k следует определять по формуле:

$$D^k = \sqrt{\frac{V(1.27 + 0.126\nu)}{l_k(1 + n\nu)} + d_{скв}^2}$$

где

V – объём закачиваемого раствора в скважину

ν – безразмерный коэффициент, равный удельному весу цемента

n – весовое водоцементное отношение нагнетаемого раствора

При подборе длины корня в гравии максимальный диаметр корня анкера ограничен двумя диаметрами скважины ($D_{\max}^k \leq 2d_{скв}$).

Примечание: в случае нахождения корня анкера в неоднородном грунте итоговая несущая способность определяется суммированием по участкам корня, находящимся в однородных слоях грунта.

Методика ФундаментПроекта МинМонтажСпецСтроя

Несущая способность грунтового анкера определяется по формуле [2]:

$$F_d = km_p \pi d_b l_b p_b \operatorname{tg} \varphi$$

где

$k = 0,6$ – коэффициент однородности грунта,

m_p – коэффициент, учитывающий напряжённое состояние окружающего грунта в зависимости от давления при инъецировании (для песков 0,5, для глин различной консистенции 0,4-0,2),

d_b – диаметр скважины,

l_b – длина заделки,

p_b – величина избыточного давления в зоне заделки при инъецировании,

φ – угол внутреннего трения грунта.

Примечание: в случае нахождения корня анкера в неоднородном грунте итоговая несущая способность определяется суммированием по участкам корня, находящимся в однородных слоях грунта.

Методика ВСН 506-88

Несущая способность анкера по грунту определяется по формуле [3]:

$$F_d = \pi D_k l_k (1 + \sin Y_I) (\sigma_{од} \operatorname{tg} Y_I + c_I) K_p \gamma_c$$

где

D_k – диаметр заделки (корня) анкера;

Y_I и c_I – расчетные средневзвешенные значения по длине корня анкера: угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта соответственно;

$\bar{\sigma}_{од}$ – усреднённое по боковой поверхности корня природное напряжение грунта, определяемое по формуле;

K_p – коэффициент, зависящий от отношения диаметра скважины D_c к диаметру корня D_k , природного напряжения, прочностных и деформационных характеристик грунта, находящегося в зоне корня анкера, определяемый по формуле;

γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый для песчаных грунтов равным 0,72, для пылевато-глинистых – 0,64.

Величину $\bar{\sigma}_{од}$ определяют по формуле:

$$\sigma_{од} = 0,5(\gamma_I h_k + g) \left(\xi_0 + \sqrt{\cos^2 \alpha + \xi_0^2 \sin^2 \alpha} \right)$$

где

γ_I – средневзвешенное значение по глубине h_k удельного веса грунта с учетом взвешивающего действия воды;

h_k – глубина заложения центра корня анкера от поверхности грунта;

ξ_0 – коэффициент бокового давления грунта в природном состоянии (покоя), принимаемый для песков и супесей равным $\xi_0 = 0,43$; для суглинков $\xi_0 = 0,55$; для глин $\xi_0 = 0,72$;

g – приведённая к равномерно-распределённой в уровне центра корня нагрузка на поверхности и от соседних фундаментов зданий;

α – угол наклона анкера к горизонту.

Величину K_p определяют по формуле

$$K_p = \left\{ \left[1,01 - (D_c / D_k)^2 \right] / \left[1,01 - A_1^2 / (1 + A_1^2) \right] \right\}^\theta$$

где

$$A_1 = E_0 / (1 + \nu_0) (\sigma_{\text{ср}} + c_I \text{ctg} \gamma_I) \sin \gamma_I$$

$$\theta = \sin \gamma_I / (1 + \sin \gamma_I)$$

E_0, ν_0 – средневзвешенные значения по длине корня модуля деформации грунта и коэффициента Пуассона соответственно.

Методика DIN 1054:2005

Несущую способность самозабуриваемого анкера по грунту определяется по формуле [4]:

$$F = \sum q_{sk,i} A_{s,i}$$

где

q_{sk} – характерное значение поверхностного трения в слое i ,

$A_{s,i}$ – площадь боковой поверхности корня в слое i :

$$A_{s,i} = \pi D^k l_i^k$$

где

D^k – диаметр корня анкера,

l_i^k – длина участка в слое i .

В таблице 1 приведены расчётные значения сопротивлений грунта по боковой поверхности корня анкера.

Таблица 1.

Тип грунта	Сопротивление по боковой поверхности, q_{sk} , кПа
Средний и крупный гравий	200
Песок, гравелистый песок	150
Супесь, суглинок, глина	100

Методика расчета ТрансСтрой 023-2007

Несущую способность анкера по грунту определяется по формуле [5]:

$$F_d = \pi D l_k q_{sk}$$

где

$$D = d_{скв} k_d$$

$d_{скв}$ – диаметр скважины,

k_d – коэффициент увеличения диаметра корня анкера,

q_{sk} – предельное сопротивление грунта по боковой поверхности тела инъекции анкера.

Рекомендуемые значения коэффициента увеличения диаметра корня анкера приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Тип грунта	Коэффициент
Гравий	2,0
Песок	1,5
Супесь, суглинок	1,4
Глина	1,3
Скальный грунт	1,0

В таблице 2 приведены величины предельного сопротивления грунта по боковой поверхности тела инъекции анкера.

Таблица 2.

Тип грунта	Сопротивление по боковой поверхности, q_{sk} , кПа
Скальный грунт	250
Гравелистый грунт	200
Песок, гравелистый песок	150
Супесь, суглинок, глина	100

Примечание: в случае нахождения корня анкера в неоднородном грунте итоговая несущая способность определяется суммированием по участкам корня, находящимся в однородных слоях грунта.

Методика Barley

Авторы ряда работ отмечают нелинейную зависимость несущей способности от длины корня анкера. В работе [6] A.D. Barley предложена методика, использующая понятие КПД, в соответствии с которой:

$$F_d = \pi D_k L_k \tau_{ult} f_{eff}$$

где

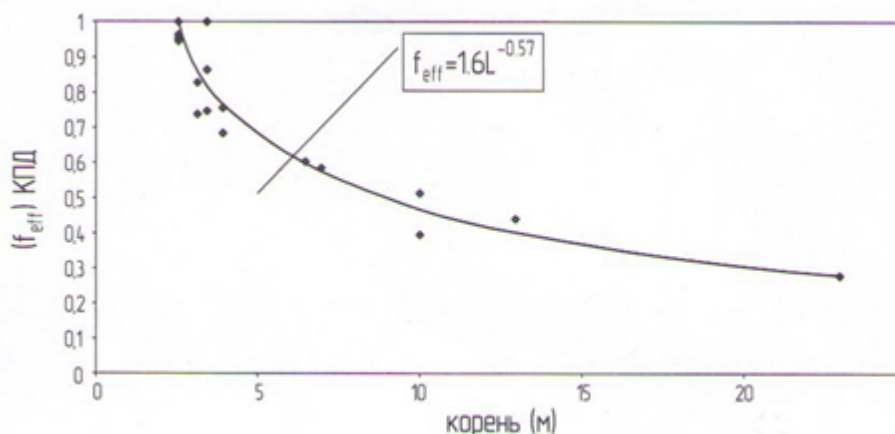
D_k - диаметр корня анкера,

L_k - длина корня анкера,

τ_{ult} - предельное напряжение сцепления по боковой поверхности короткого корня анкера,

f_{eff} - коэффициент эффективности, зависящий от длины корня. В результате обработки опытных данных был предложен следующий вид аппроксимации f_{eff} :

$$f_{eff} = 1.6L^{-0.57}$$



В качестве величин τ_{ult} в реализации используются значения коэффициентов q_{sk} методики DIN 1054:2005.

В таблице 1 приведены используемые значения предельного напряжения сцепления по

боковой поверхности корня анкера.

Таблица 1.

Тип грунта	Сопротивление по боковой поверхности, τ_{ult} , кПа
Средний и крупный гравий	200
Песок, гравелистый песок	150
Супесь, суглинок, глина	100

Примечание: в случае нахождения корня анкера в неоднородном грунте итоговая несущая способность определяется суммированием по участкам корня, находящимся в однородных слоях грунта. Методику рекомендуется использовать для случая расположения корня анкера в однородном грунте.

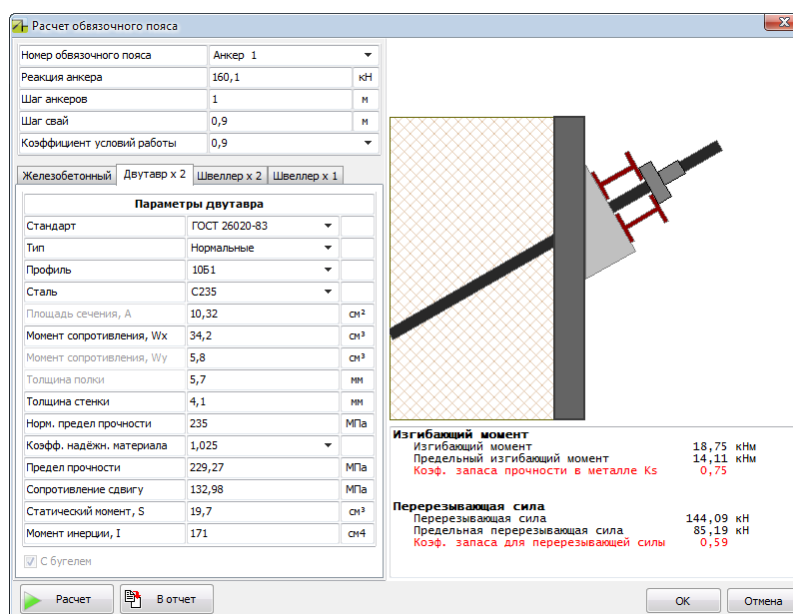
4. Расчёт обвязочного пояса

Данный модуль предназначен для расчёта обвязочного пояса на прочность.

Обвязочный пояс может быть следующих видов:



1. Железобетонный.
2. Состоящий из двух двутавров.
3. Состоящий из двух швеллеров.
4. Состоящий из одного швеллера.

Окно модуля выглядит следующим образом:



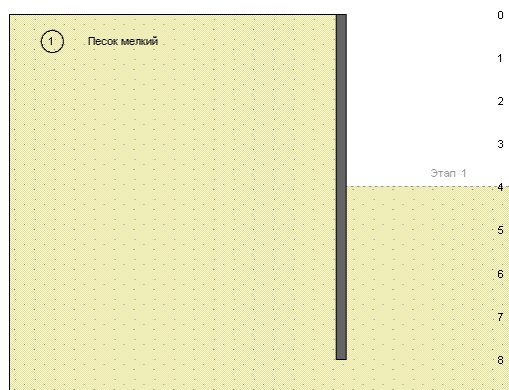
По результатам расчёта выводится действующее значение изгибающего момента, его предельное значение, а также коэффициент запаса. Такие же величины выводятся и для перерезывающей силы (если это предполагается расчётом).

Кнопки:


	<i>Расчет</i>	выполняет выбранный расчет
	<i>В отчет</i>	переносит результаты расчета в отчет

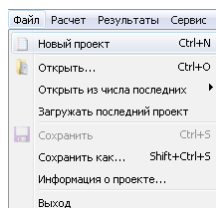
Пример расчета 1


Рассмотрим расчёт консольного ограждения, устроенного в неводонасыщенных песках. В качестве ограждения принимаем Шпунт Л5. Глубина котлована 4м. Длина ограждения - 8м. Расчётная схема ограждения приведена ниже:



1. Создания расчетной схемы

Для начала работы необходимо закрыть ранее открытый проект и начать новый, нажав на кнопку Новый проект . Аналогичную команду можно вызвать из верхнего меню




После окончания работы Вам необходимо нажать кнопку Сохранить проект .

Будьте внимательны, если Вы закроете программу без сохранения внесенных изменений, то Вы потеряете результаты Вашей работы.

Далее необходимо задать свойства грунтов на вкладке Геология.

Геология										
Ограждение										
Нагрузки										
Анкеры, распорки										
Результаты										
Характеристики грунтов										
ИГЭ	h, м	γ_2 , кН/м ³	γ_{sat2} , кН/м ³	c2, кПа	φ_2 , °	ks, кН/м ³	Ka	Kp	K0	
1	20,0	18,7	19,9	4,0	36,0	4000	0,26	3,85	0,41	

Для удобства можно воспользоваться встроенным Справочником свойств грунтов . Зададим Песок мелкий с удельным весом частиц 25,5 кН/м³.

Далее на вкладке Ограждение заполняются параметры ограждения котлована: глубина котлована, длина свай.

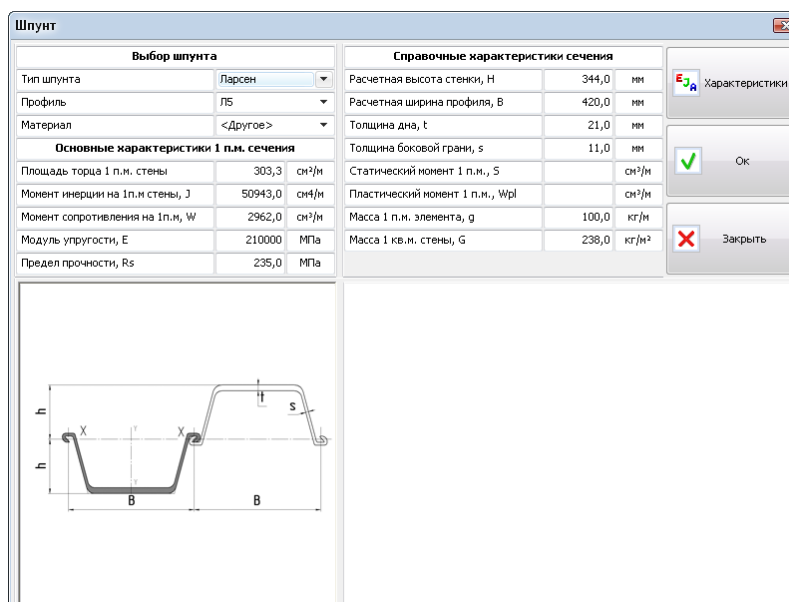
Обратите внимание - после изменения коэффициента контакта с грунтом, коэффициенты бокового давления грунта K_a и K_p на вкладке Геология пересчитаются.

ИГЭ	h, м	γ_2 , кН/м³	γ_{sat2} , кН/м³	c_2 , кПа	ϕ_2 , °	k_s , кН/м³	K_a	K_p	K_0
1	20,0	18,7	19,9	4,0	36,0	4000	0,24	5,92	0,41

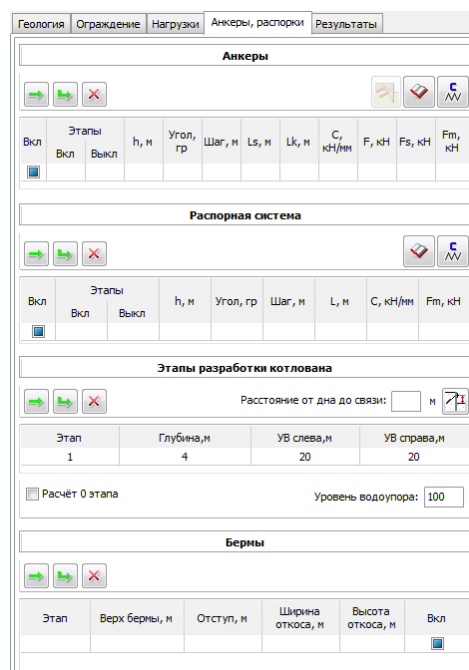
После этого выбирается Тип ограждения и задаются параметры сечения путем нажатия на кнопку Характеристики сечения

Для выполнения расчета на прочность ограждения необходимо активировать опцию Расчет на прочность .

В окне необходимо ввести геометрические и прочностные параметры ограждения. В нашем случае, необходимо будет выбрать тип и профиль Шпунта.



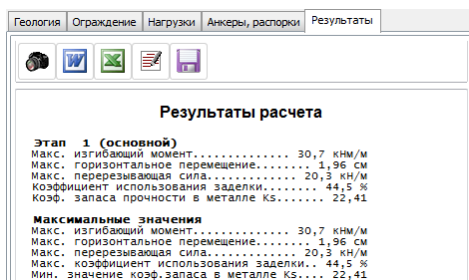
На вкладке Этапы необходимо задать УГВ на этапах разработки котлована. Зададим 20 м слева и справа, предполагая, что расчёт происходит в неводонасыщенных песках. Уровень водоупора зададим 100.



После ввода всех данных необходимо нажать кнопку Выполнить расчет .

2. Результаты расчетов

Результаты расчета для каждого этапа выработки котлована отображаются на вкладке Результаты, а также в виде эпюр в графическом поле.

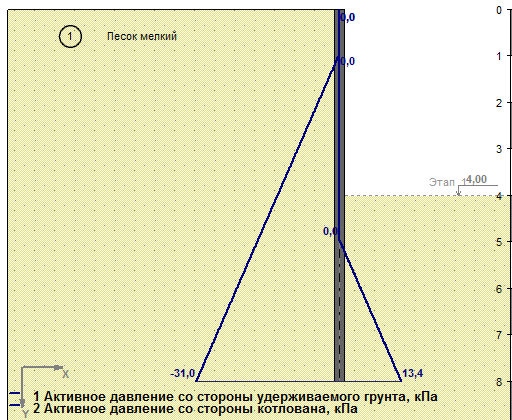


Результаты расчета в текстовом виде

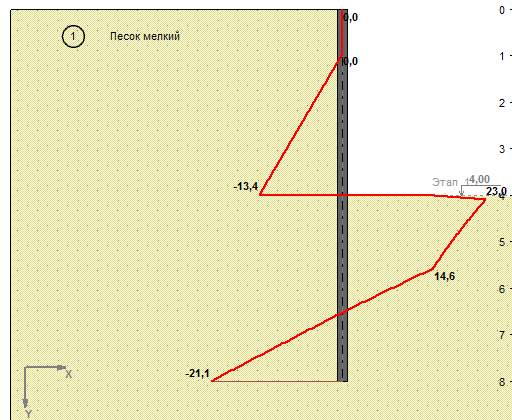
Несколько эпюр (см. легенду)



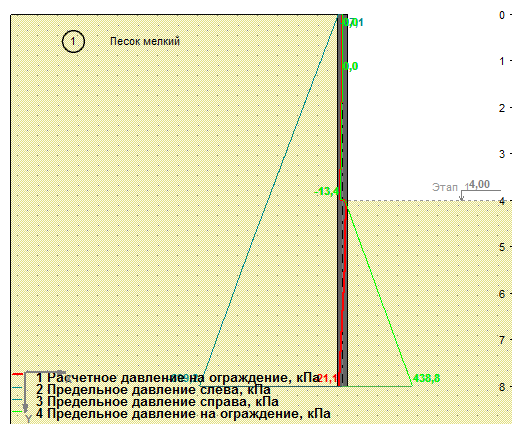
Несколько эпюр (см. легенду)



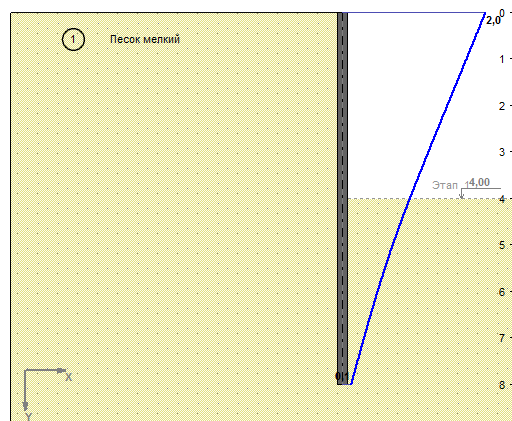
Расчетное давление на ограждение, кПа



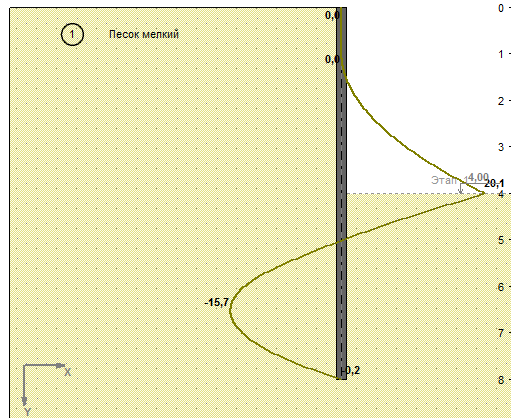
Несколько эпюр (см. легенду)



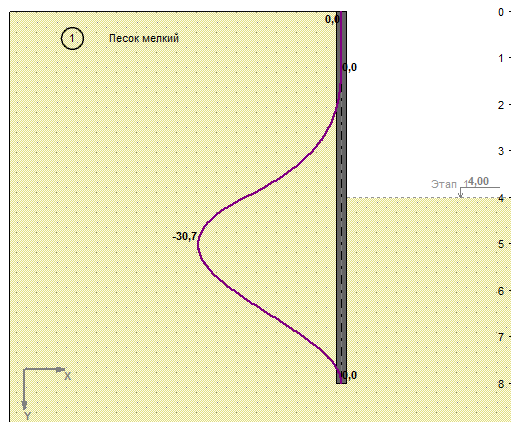
Горизонтальные перемещения, см



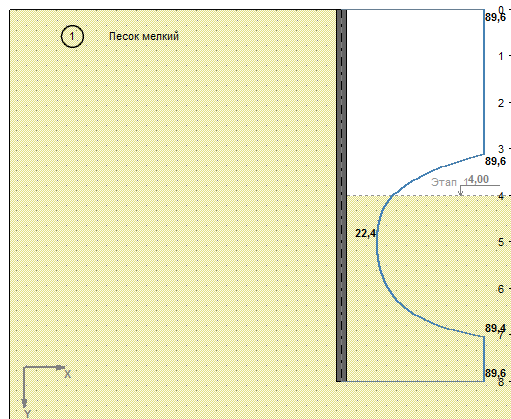
Перерезывающая сила, кН/м



Изгибающий момент, кНм/м

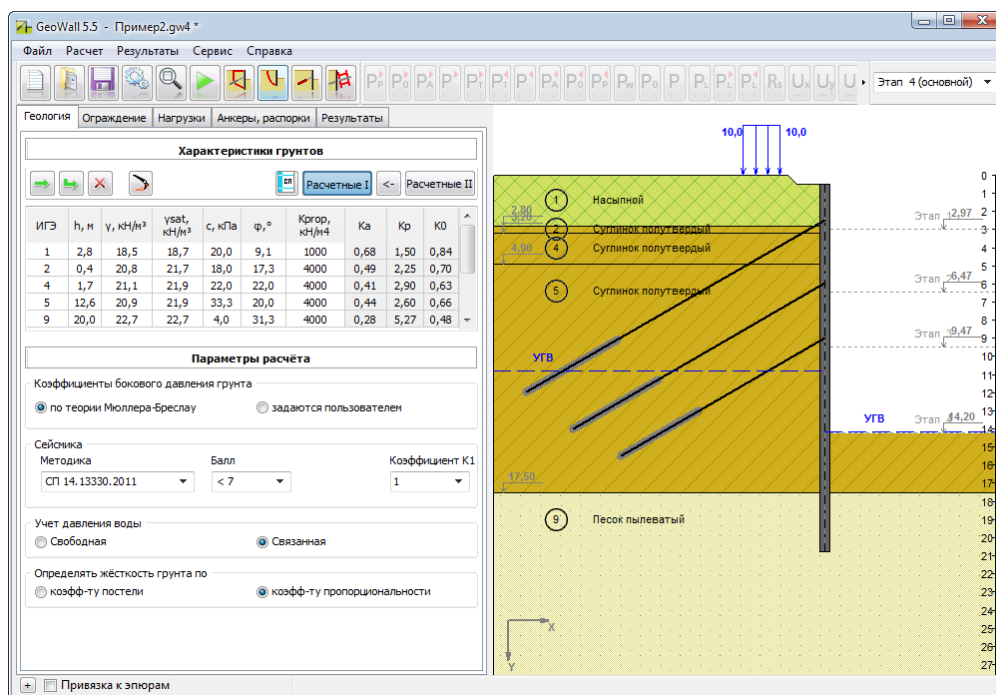


Запас прочности в армирующем элементе




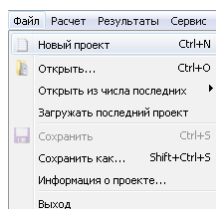
Пример расчета 2


Рассмотрим расчёт заанкеренного ограждения, устроенного преимущественно в суглинках. В качестве ограждения принимаем стену в грунте. Глубина котлована 14.2м. Длина ограждения - 20.3м. Расчётная схема ограждения приведена ниже:





1. Создания расчетной схемы

Для начала работы необходимо закрыть ранее открытый проект и начать новый, нажав на кнопку Новый проект . Аналогичную команду можно вызвать из верхнего меню



После окончания работы Вам необходимо нажать кнопку Сохранить проект .

Будьте внимательны, если Вы закроете программу без сохранения внесенных изменений, то Вы потеряете результаты Вашей работы.

Далее необходимо задать свойства грунтов на вкладке Геология. Для задания имён грунтов можно воспользоваться встроенным Справочником свойств грунтов , а соответствующие штриховки ИГЭ можно выбрать с помощью кнопки .

Геология Ограждение Нагрузки Анкеры, распорки Результаты

Характеристики грунтов

Расчетные I | Расчетные II

ИГЭ	h, м	γ , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	c , кПа	ϕ , °	К _{гор} , кН/м ⁴	Ка	Кр	К0
1	2,8	18,5	18,7	20,0	9,1	1000	0,73	1,38	0,84
2	0,4	20,8	21,7	18,0	17,3	4000	0,54	1,85	0,70
4	1,7	21,1	21,9	22,0	22,0	4000	0,45	2,20	0,63
5	12,6	20,9	21,9	33,3	20,0	4000	0,49	2,04	0,66
9	20,0	22,7	22,7	4,0	31,3	4000	0,32	3,16	0,48

Параметры расчёта

Кoeffициенты бокового давления грунта
 по теории Мюллера-Бреслау задаются пользователем

Сейсмика
 Методика: СП 14.13330.2011 | Балл: < 7 | Кoeffициент K1: 1

Учет давления воды
 Свободная Связанная

Определять жёсткость грунта по
 коэф-ту постели коэф-ту пропорциональности

Далее на вкладке Ограждение заполняются параметры ограждения котлована: глубина котлована, длина свай.

Введём глубину котлована 14.2 м, а длину ограждения зададим таким образом, чтобы заделка была 6.6 м.

Геология Ограждение Нагрузки Анкеры, распорки Результаты

Параметры котлована

Глубина котлована: 14,2 м
 Длина ограждения: 20,8 м
 Глубина заделки: 6,6 м
 Контакт с грунтом: 0,5

Обратите внимание - после изменения коэффициента контакта с грунтом, коэффициенты бокового давления грунта Ка и Кр на вкладке Геология пересчитаются.

Геология Ограждение Нагрузки Анкеры, распорки Результаты

Характеристики грунтов

Расчетные I | Расчетные II

ИГЭ	h, м	γ , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	c , кПа	ϕ , °	К _{гор} , кН/м ⁴	Ка	Кр	К0
1	2,8	18,5	18,7	20,0	9,1	1000	0,68	1,50	0,84
2	0,4	20,8	21,7	18,0	17,3	4000	0,49	2,25	0,70
4	1,7	21,1	21,9	22,0	22,0	4000	0,41	2,90	0,63
5	12,6	20,9	21,9	33,3	20,0	4000	0,44	2,60	0,66
9	20,0	22,7	22,7	4,0	31,3	4000	0,28	5,27	0,48


Параметры расчёта

Кoeffициенты бокового давления грунта
 по теории Мюллера-Бреслау задаются пользователем

Сейсмика
 Методика: СП 14.13330.2011 | Балл: < 7 | Кoeffициент K1: 1

Учет давления воды
 Свободная Связанная

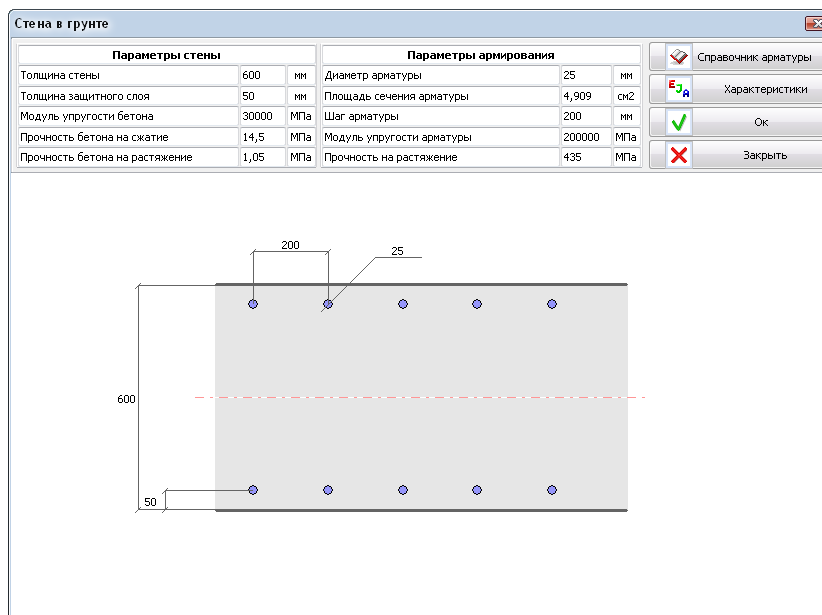
Определять жёсткость грунта по
 коэф-ту постели коэф-ту пропорциональности

После этого выбирается Тип ограждения и задаются параметры сечения путем нажатия на кнопку Характеристики сечения .

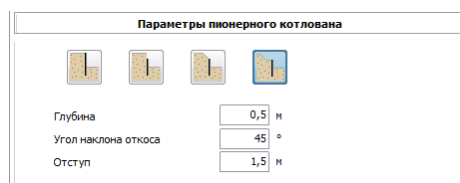
Для выполнения расчета на прочность ограждения необходимо активировать опцию

Расчет на прочность .

В окне необходимо ввести геометрические и прочностные параметры ограждения. В нашем случае, необходимо будет задать свойства Стены в грунте.



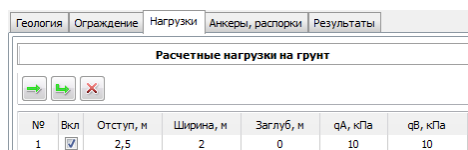
В разделе Параметры пионерного котлована необходимо задать пионерный котлован.



Обратите внимание - после изменения пионерного котлована изменится длина ограждения, а глубина заделки останется прежней.



На вкладке Нагрузки необходимо задать нагрузку на грунт.



На вкладке Этапы необходимо задать этапы разработки котлована. Также на этой вкладке

зададим анкера.

Геология | Ограждение | Нагрузки | Анкеры, распорки | Результаты

Анкеры

Вкл	Этапы		h, м	Угол, гр	Шаг, м	Ls, м	Lk, м	C, кН/мм	F, кН	Fs, кН	Fm, кН
	Вкл	Выкл									
<input checked="" type="checkbox"/>	2	0	2,47	30	3	13,2	5,8	10,3	400	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	3	0	5,97	30	3	10,6	5,4	12,8	400	0	0

Распорная система

Вкл	Этапы		h, м	Угол, гр	Шаг, м	L, м	C, кН/мм	Fm, кН
	Вкл	Выкл						
<input type="checkbox"/>								

Этапы разработки котлована


Расстояние от дна до связи: 0,5 м

Этап	Глубина, м	УВ слева, м	УВ справа, м
1	2,97	10,8	14,15
2	6,47	10,8	14,15
3	9,47	10,8	14,15
4	14,2	10,8	14,15

Расчёт 0 этапа
 Уровень водоупора: 50

Бермы

Этап	Верх бермы, м	Отступ, м	Ширина откоса, м	Высота откоса, м	Вкл
					<input type="checkbox"/>

После ввода всех данных необходимо нажать кнопку Выполнить расчет .

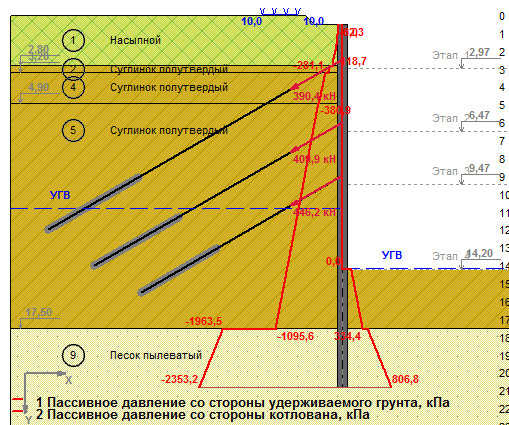
2. Результаты расчетов

Результаты расчета для каждого этапа выработки котлована отображаются на вкладке Результаты, а также в виде эпюр в графическом поле.

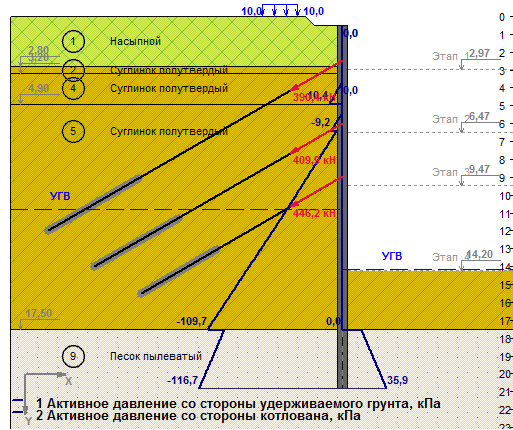
Результаты расчета	
Этап 1 (основной)	
Макс. изгибающий момент.....	60,5 кН/м
Макс. горизонтальное перемещение.....	0,35 см
Макс. перерезывающая сила.....	34,7 кН/м
Коэффициент использования заделки.....	12,5 %
Коэф. запаса прочности в металле Ks.....	86,43
Коэф. запаса прочности в бетоне Kb.....	16,01
Этап 2 (преднапряжение анкеров)	
Макс. изгибающий момент.....	71,7 кН/м
Макс. горизонтальное перемещение.....	0,13 см
Макс. перерезывающая сила.....	81,1 кН/м
Коэффициент использования заделки.....	12,8 %
Коэф. запаса прочности в металле Ks.....	65,58
Коэф. запаса прочности в бетоне Kb.....	12,35
1 Анкер:	
Усилие.....	400,0 кН
Этап 2 (основной)	
Макс. изгибающий момент.....	97,9 кН/м
Макс. горизонтальное перемещение.....	0,18 см
Макс. перерезывающая сила.....	85,7 кН/м
Коэффициент использования заделки.....	25,5 %
Коэф. запаса прочности в металле Ks.....	5,97
Коэф. запаса прочности в бетоне Kb.....	4,15
1 Анкер:	
Усилие.....	408,0 кН
Этап 3 (преднапряжение анкеров)	
Макс. изгибающий момент.....	74,7 кН/м
Макс. горизонтальное перемещение.....	0,11 см
Макс. перерезывающая сила.....	84,0 кН/м
Коэффициент использования заделки.....	23,5 %
Коэф. запаса прочности в металле Ks.....	62,76
Коэф. запаса прочности в бетоне Kb.....	11,83
1 Анкер:	
Усилие.....	404,3 кН
2 Анкер:	
Усилие.....	400,0 кН
Этап 3 (основной)	
Макс. изгибающий момент.....	84,1 кН/м
Макс. горизонтальное перемещение.....	0,23 см
Макс. перерезывающая сила.....	81,8 кН/м
Коэффициент использования заделки.....	37,7 %
Коэф. запаса прочности в металле Ks.....	7,85
Коэф. запаса прочности в бетоне Kb.....	4,27
1 Анкер:	
Усилие.....	401,6 кН
2 Анкер:	
Усилие.....	408,2 кН
Этап 4 (преднапряжение анкеров)	
Макс. изгибающий момент.....	78,8 кН/м
Макс. горизонтальное перемещение.....	0,17 см
Макс. перерезывающая сила.....	90,1 кН/м
Коэффициент использования заделки.....	35,7 %
Коэф. запаса прочности в металле Ks.....	7,85
Коэф. запаса прочности в бетоне Kb.....	5,09
1 Анкер:	
Усилие.....	403,5 кН
2 Анкер:	
Усилие.....	404,4 кН
3 Анкер:	
Усилие.....	400,0 кН

Результаты расчета в текстовом виде

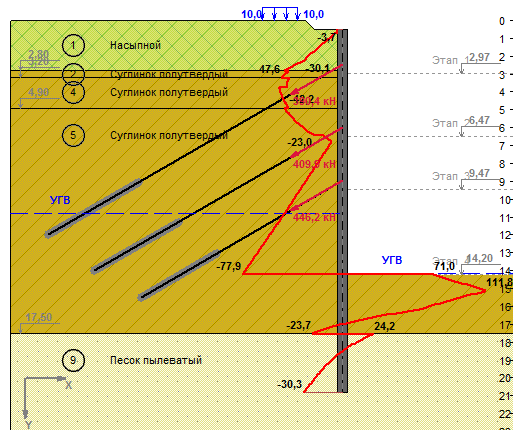
Несколько эпюр (см. легенду)



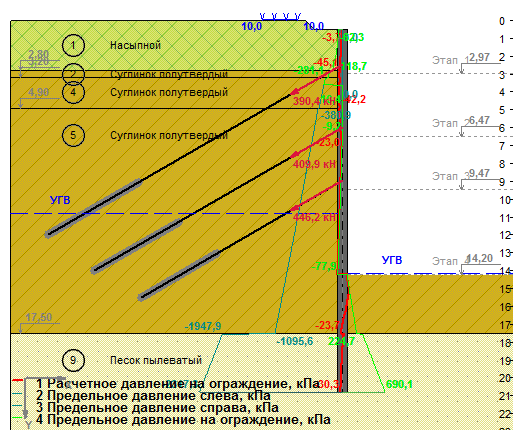
Несколько эпюр (см. легенду)

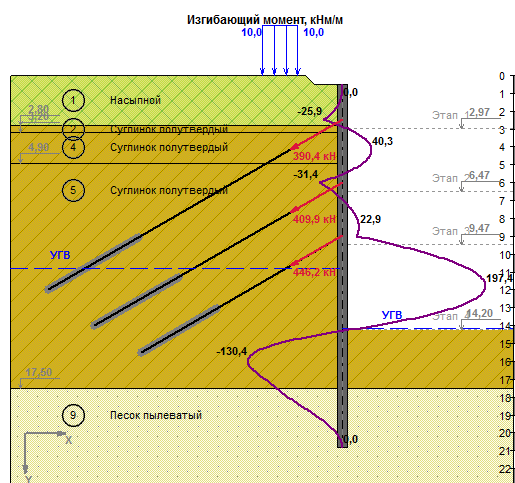
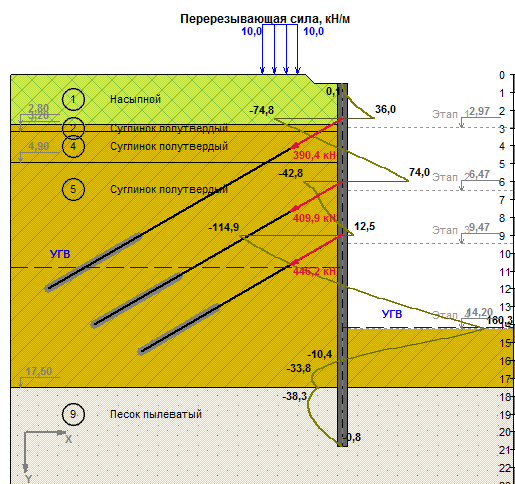
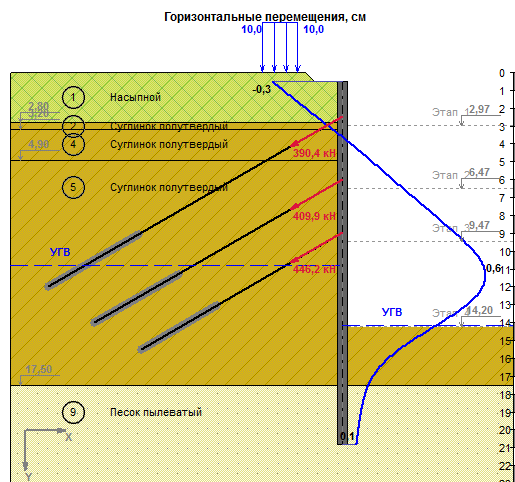


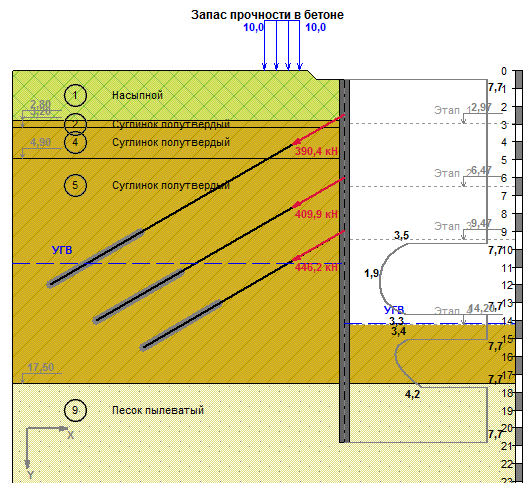
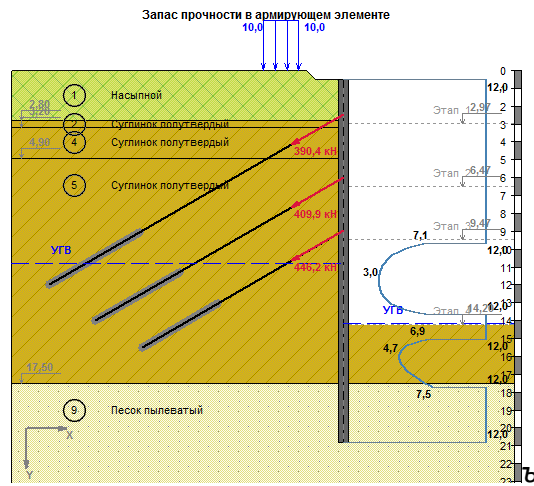
Расчетное давление на ограждение, кПа



Несколько эпюр (см. легенду)







Литература

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
2. Основания фундаменты и подземные сооружения/М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.; под. общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с., ил. – (Справочник проектировщика).
3. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.
4. СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения.
5. ВСН 167-70 Технические указания по проектированию подпорных стен для транспортного строительства.
6. РД 31.31.55-93 Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений.
7. Справочное пособие к СНиП Проектирование подпорных стен и стен подвалов. (К СНиП 2.09.03-85 «Сооружения промышленных предприятий»).
8. Chang-Yu Ou. Deep Excavation. Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan.
9. Богомолов А.Н., Калиновский С.А., Бабаханов, Б.С., Шиян С.И., Шолудько С.Л. О назначении расчетной величины коэффициента бокового давления грунта в предельного состоянии // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства. Материалы международной конференции, Пермь, 2011.
10. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
11. Малинин А.Г., Малинин П.А., Чернопазов С.А. Методика расчета ограждающих конструкций, устроенных с применением струйной геотехнологии // Пермские строительные ведомости.
12. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов, 2007.
13. СП 14,13330,2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная версия СНиП II-7-81*.
14. Справочное пособие к СНиП проектирование подпорных стен и стен подвалов.