

## Помощь по работе с программой GIPRO – Расчет подпорных стен

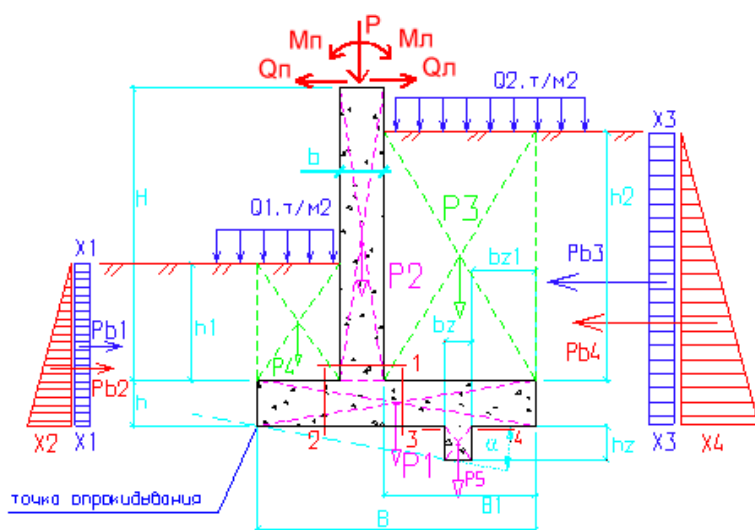
В текстовых полях с маркером **MIN** указываются значения, которые непосредственно используются в вычислениях. В случае запуска оптимизации командой «**Подобрать**» будут перебираться все комбинации, начиная от значений с маркером **MIN** до значений с маркером **MAX**. В результате оптимизации программа выберет самый экономичный вариант, т.е. вариант с наименьшим расходом бетона на конструкцию подпорной стены.

Чтобы исключить в подпорной стене зуб, нужно установить флажок ☒ **Авт. подбор зуба** и задать угол «**Альфа, градус**» равным нулю. Если значение больше нуля, то программа автоматически вычислит привязку зуба при заданной пользователем MAX допустимой высоте зуба и его толщине. Для расчета стены с заданным зубом флажок нужно убрать и задать размеры и привязку зуба. **Расчет стены с учетом зуба возможен только по справочнику А.П. Величина и В.Ш. Козлова.**

Коэффициенты трения приняты по таблице 75 пособия к СНиП 2.02.01-83, для скального грунта по п.6.8 справочного пособия к СНиП 2.09.03-85 и для гравийного и галечникового грунта по справочнику А.П. Величина и В.Ш. Козлова.

### Теория расчета

В программе заложена теория расчета подпорной стены согласно требований справочного пособия по проектированию подпорных стен и стен подвалов к СНиП 2.09.03-85



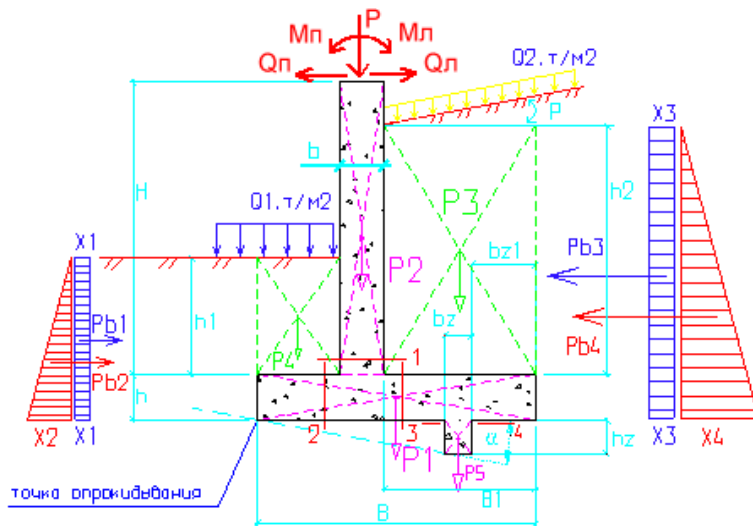


Рис.1 Случай с равномерно распределенной нагрузкой  $Q_2$  при сплошном расположенной по всей поверхности . При значении угла  $\rho > 0$  значение  $Q_2$  также задается проекцией на горизонтальную поверхность.

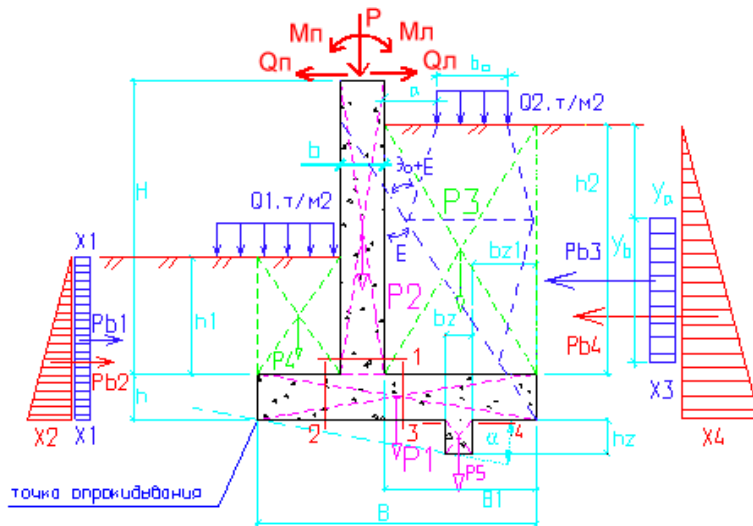


Рис.2 Случай с равномерно распределенной нагрузкой  $Q_2$  при фиксированном расположении на поверхности (движение вдоль стены)

### При наличии нагрузок в уровне верха стены (задавать расчетные значения):

- нагрузка  $P_v$  добавляется к силе  $P_2$
- момент  $M_l$  добавляется к  $M_y$  (удерживающий)
- момент  $M_l$  добавляется к  $M_l$  (слева направо)
- момент  $M_p$  добавляется к  $M_o$  (опрокидывающий)
- момент  $M_p$  добавляется к  $M_r$  (справа налево)
- сила  $Q_l$  добавляется с плечом  $(H+h)$  к  $M_y$  (удерживающий)
- сила  $Q_l$  добавляется с плечом  $(H+h)$  к  $M_l$  (слева направо)
- сила  $Q_p$  добавляется с плечом  $(H+h)$  к  $M_o$  (опрокидывающий)
- сила  $Q_p$  добавляется с плечом  $(H+h)$  к  $M_r$  (справа налево)
- сила  $Q_p$  добавляется к сдвигающей силе  $(P_{b3}+P_{b4}, F_{sa})$
- сила  $Q_l$  добавляется к удерживающей силе  $(P_{b1}+P_{b2}, F_{sr})$

Теоория (на 1.м.п. стены)

Сбор нагрузок:

$$P1 = B * h * 2.0 \text{ т/м}^3$$

$$P2 = b * H * 2.0 \text{ т/м}^3$$

$$P3 = B1 * h2 * Y'$$

$$P4 = (B - B1 - b) * h1 * Y'$$

(значение объемного веса железобетона 2.0 т/м<sup>3</sup> можно корректировать в меню ДОПОЛНИТЕЛЬНО)

$$\text{Вертикальная от Q1: } Pq1 = Q1 * (B - B1 - b)$$

Вертикальная от Q2:

$$Pq2 = B1 * Q2 \text{ (для рис.1)}$$

$$Pq2 = B1 * Qy1 \text{ (для рис.2), где}$$

$$Qy1 = Qy / (1 + \text{tg}(\Theta_0) * (h2 - a / \text{tg}(\Theta_0)) / b2), \text{ где}$$

$$Qy = Q2 / (1 + 2 * a / b0)$$

$$b2 = b0 + 2 * a$$

Qy – значение распределенной нагрузки на глубине a / tg(Θ<sub>0</sub>)

Qy1 – значение распределенной нагрузки на глубине h2

b2 – ширина приложения нагрузки Qy на глубине a / tg(Θ<sub>0</sub>)

$$b3 = b2 + \text{tg}(\Theta_0) * (h2 - a / \text{tg}(\Theta_0))$$

b3 – ширина приложения нагрузки Qy1 на глубине h2

при b3 > B1 принимаем b3 = B1

Расстояние от стены до начала участка приложения нагрузки Qy1: b4 = 0

При a / tg(Θ<sub>0</sub>) > h2 значение Qy1 = Q2 / (1 + 2 \* tg(Θ<sub>0</sub>) \* h2 / b0)

При a / tg(Θ<sub>0</sub>) > h2 значение b3 = B1 - (a - tg(Θ<sub>0</sub>) \* h2),

при B1 > a + 2 \* tg(Θ<sub>0</sub>) \* h2 + b0 принимаем b3 = 2 \* tg(Θ<sub>0</sub>) \* h2 + b0

При a / tg(Θ<sub>0</sub>) > h2 расстояние от стены до начала участка приложения нагрузки Qy1: b4 = a - tg(Θ<sub>0</sub>) \* h2

$$Pq2 = b3 * Qy1$$

При значении Ya > h2 + h принимаем Pq2 = 0

Полная вертикальная нагрузка :

$$P = P1 + P2 + P3 + P4 + Pq1 + Pq2 \text{ (для расчета по справочнику А.П. Величина и В.Ш. Козлова)}$$

Для расчета по справочному пособию полная вертикальная нагрузка вычисляется по формуле 21 :

$$F_v = F_{sd} \text{tg}(\Theta_0) + \gamma_f \gamma_f [h(b-t)/2 + td] + \eta \text{tg}(\Theta_0)^2 / 2, \quad (21)$$

Боковые нагрузки :

$$X1 = Q1 * V$$

$$Pb1 = (h + h1) * X1$$

$$X2 = (h + h1) * Y' * 1.15 * V$$

$$Pb2 = (h + h1) * X2 / 2$$

$$X3 = Q2 * V \text{ (для рис.1)}$$

$$X3 = Q2 / (1 + 2 * \text{tg}(\Theta_0) * Ya / b0) * V \text{ (для рис.2)}$$

$$Pb3 = X3 * (h+h2) \text{ (для рис.1)}$$

$$Pb3 = X3 * Yb \text{ (для рис.2)}$$

V – коэффициент бокового давления грунта, вычисляемый по формулам 4 и 98

При удельном сцеплении засыпки  $C > 0$  из значения  $X4$

вычитается произведение  $C * (K1 + K2)$ , при этом  $K2$  принимается равным нулю при заданной гладкой стене.

$K1$  и  $K2$  вычисляются по формулам 2 и 3.

$$X4 = (h+h2) * Y' * 1.15 * V$$

$$Pb4 = (h+h2) * X4/2$$

Момент слева направо и справа налево вычисляем относительно оси подошвы плитной части

$$Xc = Xc.t. = B/2$$

Момент от бокового давления грунта и полезной :

$$Ml = (h+h1)/3 * Pb2 + (h+h1)/2 * Pb1$$

Плюс момент от вертикальной от грунта и полезной:

$$Ml = Ml + (Xc - B1/2) * (P3 + Pq2) \text{ (для рис.1)}$$

$$Ml = Ml + (Xc - B1/2) * P3 + (Xc + b3/2 - B1 + b4) * Pq2 \text{ (для рис.2)}$$

Значение  $b3$  и  $b4$  смотри вычисление  $Pq2$

Плюс момент от  $P2$ :

$$Xp = Xc - B1 - b/2$$

Если  $Xp > 0$ , то  $Ml = Ml + Xp * P2$

Если  $Xp < 0$ , то  $Mr = |Xp| * P2$

$$Mr = Mr + (h+h2)/3 * Pb4 + (h+h2)/2 * Pb3 \text{ (для рис.1)}$$

$$Mr = Mr + (h+h2)/3 * Pb4 + (h+h2 - Ya - Yb/2) * Pb3 \text{ (для рис.2)}$$

Плюс момент от вертикальной от грунта и полезной:

$$Mr = Mr + [Xc - (B - B1 - b)/2] * (P4 + Pq1)$$

Напряжение под подошвой вычисляется согласно требований справочного пособия :

$$p_{\max}^{\min} = F_v (1 \pm 6e/b) / b; \quad (36)$$

$$p_{\max} = 2F_v / 3c_0, \quad (37)$$

где  $F_v$  - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость, определяемая по формулам (20) и (21);

$e$  - эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси, проходящей через

центр тяжести подошвы стены, определяемый по формуле (30);  $3c_0$  - длина эпюры по подошве фундамента:

$$c_0 = 0,5b - e. \quad (38)$$

**Проверка на сдвиг влево (по заданному коэффициенту трения):**

Сдвигающая сила ( $Fsa$ ):

$$F_{sa} = (P_{b3} + P_{b4} + Q_{\pi}) \cdot \cos(a) - P \cdot \sin(a)$$

Удерживающая сила ( $F_{sr}$ ):

$$(P \cdot \cos(a) + (P_{b3} + P_{b4} + Q_{\pi} - Q_{\pi} - P_{b2}) \cdot \sin(a)) \cdot \text{коэф. трения} + P_{b2} \cdot \cos(a) + Q_{\pi} \cdot \cos(a)$$

$$F_{sr}/F_{sa} \geq 1.25 \text{ (при } a=0 \text{ градусов)}$$

$$F_{sr}/F_{sa} \geq 1.25 \text{ (при } a>0 \text{ градусов, наличие зуба)}$$

**Проверка на сдвиг по пособию к СНиП производится согласно требований пунктов 6.4...6.8**

Удерживающий момент (с полезной справа):

$$M_y = P_4 \cdot (B - B_1 - b)/2 + P_2 \cdot (B - B_1 - b/2) + P_1 \cdot B/2 + (P_3 + P_{q2}) \cdot (B - B_1/2) \text{ (для рис.1)}$$

$$M_y = P_4 \cdot (B - B_1 - b)/2 + P_2 \cdot (B - B_1 - b/2) + P_1 \cdot B/2 + (P_3) \cdot (B - B_1/2) + P_{q2} \cdot (B + b_3/2 - B_1 + b_4) \text{ (для рис.2)}$$

Значение  $b_3$  и  $b_4$  смотри вычисление  $P_{q2}$

Опрокидывающий момент (с полезной справа):

$$M_o = (h + h_2)/3 \cdot P_{b4} + (h + h_2)/2 \cdot P_{b3} \text{ (для рис.1)}$$

$$M_o = (h + h_2)/3 \cdot P_{b4} + (h + h_2 - Y_a - Y_b/2) \cdot P_{b3} \text{ (для рис.2)}$$

$$\text{Проверка на опрокидывание : } M_y/M_o \geq 1.5$$

Удерживающий момент (без полезной справа):

$$M_y = P_4 \cdot (B - B_1 - b)/2 + P_2 \cdot (B - B_1 - b/2) + P_1 \cdot B/2 + P_3 \cdot (B - B_1/2)$$

Опрокидывающий момент (без полезной справа):

$$M_o = (h + h_2)/3 \cdot P_{b4}$$

$$\text{Проверка на опрокидывание : } M_y/M_o \geq 1.5$$

Момент и сила в сечении 1-1 от грунта и полезной слева :

$$M = [3 \cdot X_1 + X_2 \cdot h_1/(h_1 + h)] \cdot h_1 \cdot h_1/6$$

$$Q = [2 \cdot X_1 + X_2 \cdot h_1/(h_1 + h)] \cdot h_1/2$$

Момент и сила в сечении 1-1 от грунта и полезной справа :

$$M = X_3 \cdot h_2 \cdot h_2/2 + (X_4 \cdot h_2/(h_2 + h)) \cdot h_2 \cdot h_2/6 \text{ (для рис.1)}$$

$$M = X_3 \cdot Y_c \cdot (h_2 - Y_a - Y_c/2) + (X_4 \cdot h_2/(h_2 + h)) \cdot h_2 \cdot h_2/6 \text{ (для рис.2),}$$

$$Q = X_3 \cdot h_2 + (X_4 \cdot h_2/(h_2 + h)) \cdot h_2/2 \text{ (для рис.1)}$$

$$Q = X_3 \cdot Y_c + (X_4 \cdot h_2/(h_2 + h)) \cdot h_2/2 \text{ (для рис.2),}$$

Где  $Y_c = Y_b$  (при  $Y_a + Y_b \leq h_2$ ) или  $Y_c = h_2 - Y_a$  (при  $Y_a + Y_b > h_2$ )  
(значения  $Y_a$  и  $Y_b$  вычисляются по формулам, приведенным в пункте 5.10)

Момент и сила в сечении 2-2 от грунта и полезной сверху:

$$M = [(P_4 + P_{q1}) \cdot (B - B_1 - b)]/2$$

$$Q = P_4 + P_{q1}$$

Момент и сила в сечении 3-3 от грунта и полезной сверху вычисляются по формулам 45-52 справочного пособия

Момент и сила в сечении 4-4 от сдвигающего усилия:

$$M = (Pb_3 + Pb_4) * h_z / 2$$

$$Q = Pb_3 + pb_4$$

**P.S. Теория расчета стены на сдвиг с учетом зуба взята из книги «Справочник проектировщика инженерных сооружений» под редакцией А.П. Величкина и В.Ш. Козлова**

Согласно требований СП 22.13330.2011 программа позволяет при наличии в пределах сжимаемой толщи основания на глубине  $z$  от подошвы подпорной стены слоя грунта меньшей прочности, чем прочность грунта вышележащих слоев выполнить проверку:

$$\sigma_z = (\sigma_{zp} - \sigma_{zy}) + \sigma_{zg} \leq R_z, \quad (5.9)$$

Для этого в таблице слоев необходимо задать данные по грунтам с указанием  $R$  слоев. В случае однородного основания задайте один слой при этом достаточно указать только его  $R$ ,  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$ . Значения  $\gamma$ ,  $\phi$  и  $c$  задаются только в первой строке таблицы, в последующих строках они не указываются.

#### **Коэффициенты армирования :**

**Сдвиг** – проверка на сдвиг стены.

**Отрыв** – проверка отрыва подошвы стены.

**$N_u$**  – проверка основания по 1 группе ПС (несущая способность).

**Опрокидывание** – проверка на опрокидывание.

**$G_{max}'$**  – проверка основания по 2 группе ПС ( $G_{max}' \leq 1.2 * R_{gr}$ ).

**$G_{cp}'$**  – проверка основания по 2 группе ПС ( $G_{cp}' \leq R_{gr}$ ).

**$Q_{стенка}$**  – проверка на необходимость установки поперечной арматуры по расчету в вертикальной части стены.

**$Q_{плита}$**  – проверка на необходимость установки поперечной арматуры по расчету в плитной части стены.

**$Q_{зуб}$**  – проверка на необходимость установки поперечной арматуры по расчету в зубе стены.

**$N$**  – внецентренное сжатие от  $P_v$ .

**$M_b$**  – восприятие момента бетонным сечением без учета продольной арматуры.

**$M_a$**  – восприятие момента бетонным сечением с учетом продольной арматуры.

**$A_{срс}$**  – раскрытие трещин.

При  $P_v < 0$  (растяжение) коэффициент  $M_a$  и  $M_b$  вычисляется также с учетом работы сечения на растяжение (внецентренное растяжение).

#### **Чтение результатов армирования :**

При расчете армирования программа выдает варианты армирования для каждого диаметра арматуры. Если вы задали фиксированный шаг арматуры, например 200 мм :

d	S1	IIIar	S2	IIIar
6	нат			
7	расч			
8	етно			
9	го			
10	усил		0	200
12	ия		5	%
14			5	200
16			5	200
18			5	200
20			5	200
22			5	200
25			5	200
28			5	200
32			5	200
36			5	200
40			5	200

Из таблицы видно, при заданной нагрузке и заданном шаге 200 мм рабочая арматура сетки S2 диаметром 10мм не проходит, 12мм проходит по расчету, но не проходит по проценту армирования, начиная с 14мм проходит любая арматура до 40мм. Если вы зададите шаг арматуры 0мм (т.е. программа выдает MAX допустимый шаг для каждого диаметра арматуры), то получите следующий результат:

d	S1	IIIar	S2	IIIar
6	нат			
7	расч			
8	етно			
9	го			
10	усил		6	%
12	ия		4	%
14			4	300
16			4	300
18			4	300
20			4	300
22			4	300
25			4	300
28			4	300
32			4	300
36			4	300
40			4	300

Из таблицы видно, что при заданной нагрузке и заданном шаге 0мм рабочая арматура сетки S2 диаметром 10мм может быть установлена в количестве 6шт, 12мм в количестве 4шт, но этого не достаточно по заданному MIN проценту армирования. Начиная с 14мм шаг не более 300мм. Шаг подбирается с учетом конструктивных требований и заданного процента армирования. Из двух таблиц видно, что экономически выгодно ставить арматуру с шагом 300мм диаметром 14мм.