

УДК 624.137.5.012.45:624.154

**К РАСЧЕТУ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**Ю.Ф. Суходоев**

к.т.н., доцент кафедры «Основы и фундаменты»  
sukhodoev@ukr.net

**И.А. Твардовский**

к.т.н., доцент кафедры «Строительная механика»  
igortvardovsky@gmail.com

**А.М. Чучмай**

alexsandrch14061983@gmail.com  
к.т.н., старший преподаватель кафедры «Строительная механика»

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**Аннотация.** Рассматривается расчетная схема воздействия на подпорную стену, состоящего из собственного веса грунта и давления воды, а также фиксированной сплошной равномерно распределенной нагрузки. Конструкция, воспринимающая указанные нагрузки, представляет собой угловую консольную подпорную стену, опирающуюся на сваи. Предложен расчет устойчивости подпорной стены против сдвига и несущей способности свай. Составлен алгоритм расчета подпорной стены с учетом переменного шага между сваями. Расчет свай выполняется с использованием схемы свайного фундамента по формулам внецентренного сжатия.

**Ключевые слова:** подпорная стена, слабые грунты, устойчивость, сваи, алгоритм, программа расчета.

УДК 624.137.5.012.45:624.154

**ДО РОЗРАХУНКУ ПІДПІРНОЇ СТІНИ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

**Ю.П. Суходоев**

к.т.н., доцент кафедры «Основы и фундаменты»  
sukhodoev@ukr.net

**І.О. Твардовський**

к.т.н., доцент кафедры «Будівельна механіка»  
igortvardovsky@gmail.com.

**Чучмай Олександр Михайлович**

к.т.н., старший викладач кафедри «Будівельна механіка»  
alexsandrch14061983@gmail.com

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

---

© Суходоев Ю.Ф., Твардовский И.А., Чучмай А.М., 2018

**Анотація.** Розглядається розрахункова схема впливу на підпірну стіну, що складається з власної ваги ґрунту і тиску води, а також фіксованої суцільний рівномірно розподіленого навантаження. Конструкція, яка сприймає зазначені навантаження, являє собою куткову консольну підпірну стіну, що спирається на палі. Запропоновано розрахунок стійкості положення підпірної стіни проти зсуву і несучої здатності палей. Складений алгоритм розрахунку підпірної стіни з урахуванням змінного кроку між палями. Розрахунок палей ведеться з використанням схеми пального фундаменту за формулами позацинтового стиснення.

**Ключові слова:** підпірна стіна, слабкі ґрунти, стійкість, палі, алгоритм, програма розрахунку.

UDC 624.137.5.012.45:624.154

### TO THE CALCULATION OF THE RETAINING WALL OF THE COMBINED TYPE USING THE SOFTWARE

**Yu. Sukhodoyev**

Ph.D., Associate Professor

of the Department of «Fundamentals and Foundations»

sukhodoev@ukr.net

**I. Tvardovsky**

Ph.D., Associate Professor of the Department of «Construction Mechanics»

igortvardovsky@gmail.com.

**O. Chuchmay**

Ph.D., senior lecturer of the Department of «Construction Mechanics»

alexandrch14061983@gmail.com

**Abstract.** The design scheme of the effects on the retaining wall consisting of the self-weight of the soil and the water pressure, as well as a fixed continuous uniformly distributed load, is considered. The construction that perceives these loads is an L-shape retaining wall supported by piles. The calculation of the stability of the position of the wall against shear and the bearing capacity of the piles is proposed. Eccentric compression formulas for the pile foundation scheme are applied to provide piles calculation.

**Keywords:** L-shape retaining wall, weak soils, stability, piles, algorithm, calculation program.

**Вступлення.** Основним в расчете подпорных стен является определение величины и направления, приложенного к ним давления. При расчетах по несущей способности (первая группа предельных состояний) выполняется проверка на устойчивость положения стены против сдвига и прочность грунтового основания.

**Постановка задачи.** Рассмотреть возможность использования при проектировании подпорных стен расчетной схемы с учетом применения свай, расположенных с переменным шагом между ними.

### Основные результаты.

1. Сдвигающая сила  $F_{sa}$  определяется по формуле

$$F_{sa} = F_{sa, \gamma} + F_{sa, q},$$

где  $F_{sa, \gamma}$  – сдвигающая сила от собственного веса грунта равная

$$F_{sa, \gamma} = P_{\gamma} \cdot \frac{h}{2};$$

$F_{sa, q}$  – сдвигающая сила от нагрузки, расположенной на поверхности призмы обрушения, равная

$$F_{sa, q} = P_q \cdot h.$$

2. Сумма моментов  $M_o$  всех вертикальных и горизонтальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы для уголко-вых стен (при  $\varepsilon \leq \theta_0$ ) определяется по формулам (рис. 1)

$$M_0 = F_{sa} \left[ h^* - \operatorname{tg}(\varepsilon + \varphi') \left( \frac{b}{2} - h^* \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \right) \right] + \\ + \frac{1}{12} \gamma_1' \cdot \gamma_f (b-t) \cdot [h(b-4t) + 6td],$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, принимается равным 1,2;

$h^*$  – расстояние от равнодействующей сдвигающей силы до низа подошвы стены

$$h^* = \frac{1}{F_{sa}} \cdot h \cdot \left[ \frac{1}{3} F_{sa, \gamma} + \frac{1}{2} \cdot F_{sa, q} \right].$$

3. Интенсивность горизонтального активного давления грунта от собственного веса  $P$  на глубине  $y$  следует определять по формуле

$$P_{\gamma} = \frac{y}{h} \left[ \gamma \cdot \gamma_f \cdot h \cdot \lambda - c \cdot (K_1 + K_2) \right],$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий сцепление грунта по плоскости скольжения призмы обрушения, наклоненной под углом  $\theta_0$  к вертикали;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий сцепление грунта по плоскости, наклоненной под углом  $\varepsilon$  к вертикали.

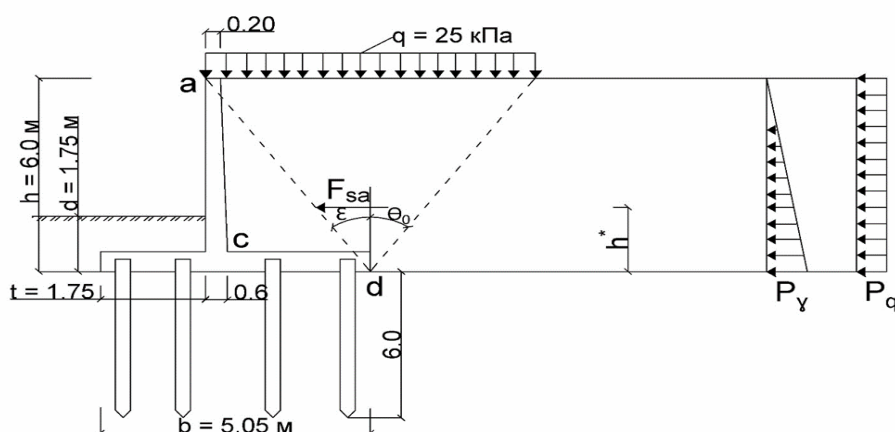


Рис. 1. Расчетная схема подпорной стены на сваях

$$K_1 = \frac{2\lambda \cdot \cos \theta_0 \cdot \cos \varepsilon}{\sin(\theta_0 + \varepsilon)};$$

$$K_2 = \frac{\lambda \cdot \sin(\theta_0 - \varepsilon) \cdot \cos(\theta_0 + \rho)}{\sin \theta_0 \cdot \cos(\rho - \varepsilon) \cdot \sin(\theta_0 + \varepsilon)} + \operatorname{tg} \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – угол наклона расчетной плоскости к вертикали;

$\rho$  – угол наклона поверхности засыпки к горизонту;

$\theta_0$  – угол наклона плоскости скольжения к вертикали;

$\lambda$  – коэффициент горизонтального давления грунта. При отсутствии сцепления грунта по стене  $K_2 = 0$ .

4. Коэффициент горизонтального давления грунта определяется по формуле

$$\lambda = \left[ \frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\cos \varepsilon} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \rho)}{\cos(\varepsilon + \delta) \cdot \cos(\varepsilon - \rho)}} \right) \right]^2,$$

где  $\delta$  – угол трения грунта на контакте с расчетной плоскостью (для гладкой  $\delta = 0$ , шероховатой  $\delta = 0,5\varphi$ ). Значения коэффициента  $\lambda$  приведены в приложении 2 из [3].

5. Угол наклона плоскости скольжения к вертикали  $\theta_0$  определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{\cos \rho - \eta \cos \varphi}{\sin \rho - \eta \sin \varphi},$$

где 
$$\eta = \frac{\cos(\varepsilon - \rho)}{\sqrt{\lambda} \cdot \cos \varepsilon}.$$

6. При горизонтальной поверхности засыпки  $\rho = 0$ , при вертикальной стене  $\varepsilon = 0$  и при отсутствии трения и сцепления со стеной  $\delta = 0$ ,  $K_2 = 0$ , коэффициент бокового давления грунта  $\lambda$ , коэффициент интенсивности сил сцепления  $K_1$  и угол наклона плоскости скольжения  $\theta_0$  определяются по формулам

$$\begin{cases} \lambda = \operatorname{tg}^2 \theta_0; \\ K_1 = 2\sqrt{\lambda}; \\ \theta_0 = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}. \end{cases}$$

При  $\rho = 0$ ,  $\delta \neq 0$ ,  $\varepsilon \neq 0$  значение угла наклона плоскости скольжения к вертикали  $\theta_0$  определяется из условия

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{\cos \varphi - \sqrt{\lambda}}{\sin \varphi}.$$

7. Интенсивность дополнительного горизонтального давления грунта, обусловленного наличием грунтовых вод  $P_w$ , кПа, на расстоянии  $y_w$  от верхнего уровня грунтовых вод (рис. 2) определяется по формуле

$$P_w = y_w \cdot \gamma_f \cdot \left( 10 - \lambda \cdot \gamma + \frac{16,5\lambda}{1+e} \right),$$

где  $e$  – пористость грунта;

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке принимается равным 1,1.

8. Интенсивность горизонтального давления грунта от равномерно распределенной нагрузки  $q$  (при ее сплошном и фиксированном расположении) на поверхности призмы обрушения следует определять по формуле

$$P_q = q \cdot \gamma_f \cdot \lambda.$$

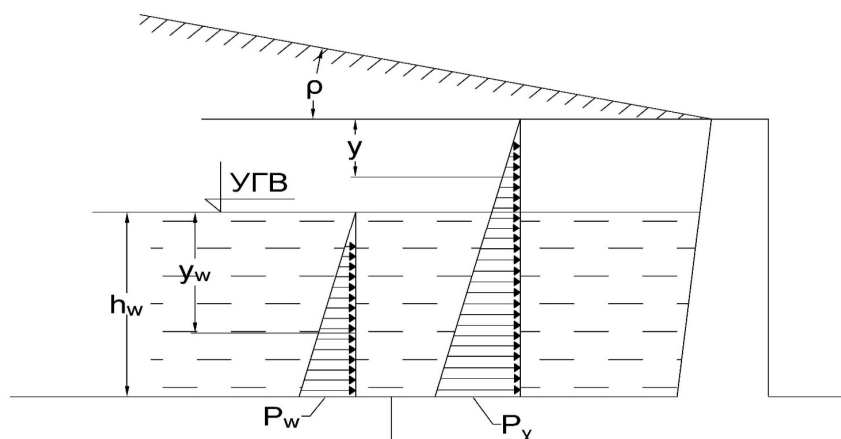


Рис. 2. Схема давления грунта на подпорную стену от собственного веса и давления воды

### **Расчет подпорных стен с учетом сейсмических воздействий**

1. Подпорные стены в районах с сейсмичностью 7 и более баллов должны проектироваться с учетом существующих требований [4; 5].

2. Интенсивность горизонтального давления грунта от собственного веса и от равномерно распределенной нагрузки  $q$ , расположенной на поверхности призмы обрушения, следует определять по формулам, приведенным выше, при этом коэффициент горизонтального давления грунта при сейсмическом воздействии  $\lambda^*$  следует определять по формулам

$$\lambda^* = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon - \omega) \cdot \cos(\varepsilon + \delta)}{\cos \omega \cdot \cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \delta + \omega) \cdot (1 + \sqrt{z})^2},$$

$$z = \frac{\sin(\varphi - \rho - \omega) \cdot \sin(\varphi + \delta)}{\cos(\varepsilon + \delta + \omega) \cdot \cos(\varepsilon - \rho)},$$

где  $\omega$  – угол отклонения от вертикали равнодействующей веса грунта и временной нагрузки с учетом сейсмического воздействия определяется по формуле

$$\omega = \arctg(A \cdot K_1).$$

При расчете подпорных стен произведение  $A \cdot K_1$  следует принимать равным 0,04; 0,08 и 0,16 при расчетной сейсмичности соответственно 7, 8 и 9 баллов [4].

3.1. Высота подпорных стен, выполненных из бетона, бутобетона или каменной кладки, при расчетной сейсмичности площадки 8 баллов не

должна превышать 12 м, а при расчетной сейсмичности 9 баллов не должна превышать 10 м. Высота железобетонных подпорных стен не ограничивается.

3.2. При расположении оснований смежных секций подпорной стены в разных уровнях перепад от одной отметки основания до другой должен производиться уступами с отношением высоты к длине уступа не более, чем 1:2.

3.3. При сооружении подпорных стен из вертикальных сборных элементов по верху стены следует предусматривать монолитный железобетонный пояс на всю длину секции.

3.4. Подпорные стены следует разделять сквозными вертикальными швами на секции длиной не более 15 м с учетом размещения каждой секции на однородных грунтах [1; 2; 3].

#### *Определение давлений под подошвой подпорной стены*

1. Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость для угловых подпорных стен (при  $\varepsilon \leq \theta_0$ )

$$F_v = F_{sa} \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon + \varphi') + \gamma' \cdot \gamma_f \left( \frac{1}{2} h(b-t) + td \right) + \frac{1}{2} \cdot \gamma_f \cdot b^2 \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, принимается равным 1,2.

2. Краевые давления на грунт под подошвой подпорной стены  $p_{\min}^{\max}$ , при эксцентриситете  $e$  приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы определяются по формуле

$$p_{\min}^{\max} = \frac{F_v}{b} \left( 1 \pm \frac{6e}{b} \right),$$

где  $F_v$  – сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость;

$e$  – эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы подпорной стены определяемый по формуле

$$e = \frac{M_0}{F_v},$$

где  $M_0$  – сумма моментов определяется для угловых подпорных стен (при  $e \leq \theta_0$ )

$$M_0 = F_{sa} \left[ h^* - \operatorname{tg}(\varepsilon + \varphi') \cdot \left( \frac{b}{2} - h^* \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \right) \right] + \frac{1}{12} \gamma' \gamma_f (b-t) [h(b-4t) + 6td].$$

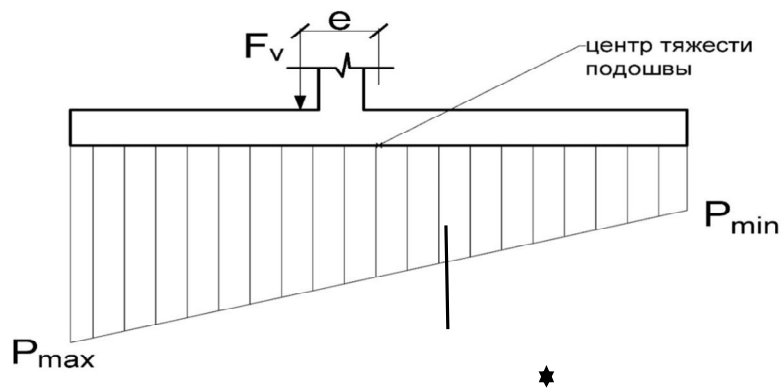


Рис. 3. Схема для определения напряжений под подошвой подпорной стенки

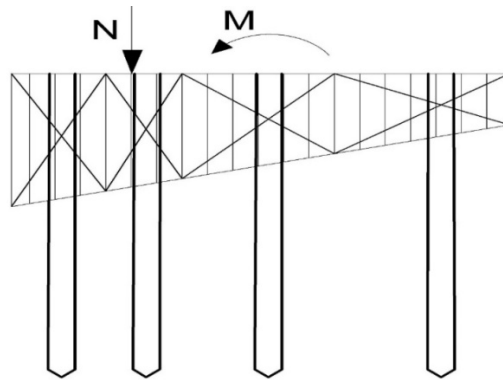


Рис. 4. Схема несимметричного расположения рядов свай при разбивке трапецевидной эпюры напряжений под фундаментной плитой

Порядок проектирования:

1. Задается число рядов свай, затем эпюру напряжений под фундаментной плитой делим на равновеликие по площади трапеции.

2. Центр тяжести каждой трапеции будет указывать положение рядов свай [11].

Таким образом найдено разбиение стороны трапеции точками вида (3) на  $n$  равновеликих трапеций.



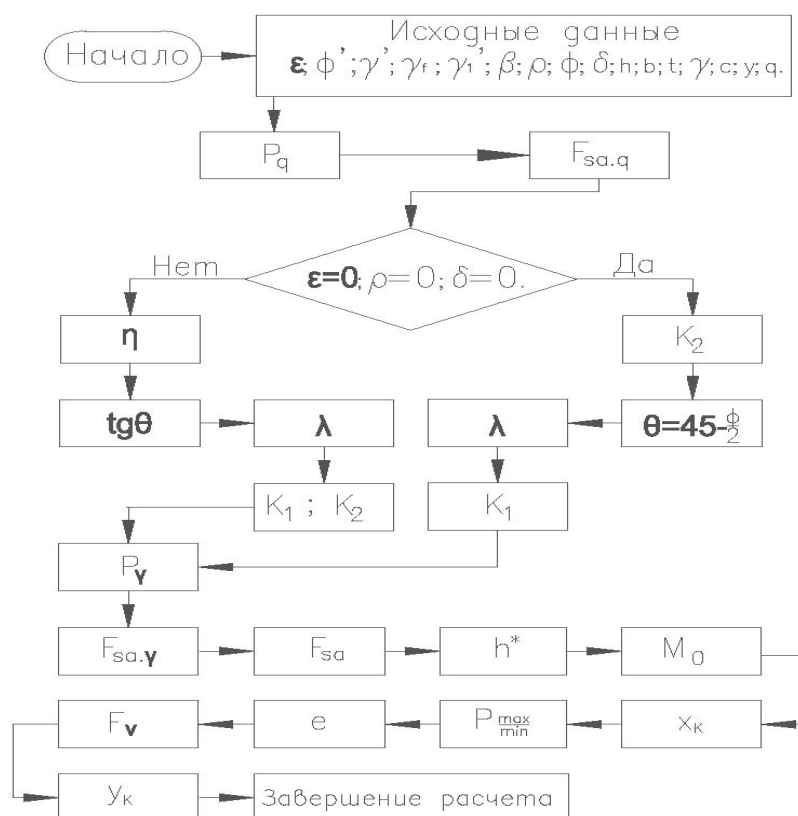


Рис. 5. Блок-схема алгоритма определения расположения свай под фундаментной плитой подпорной стенки для восприятия внецентренно приложенной нагрузки

**Заключение.** При расчетах подпорных стен по несущей способности, воспринимающих значительные нагрузки, в сложных геологических условиях, целесообразно применение свай. При этом располагать сваи в плане необходимо с учетом момента, действующего на подпорную стену с использованием метода равных по площади частей эпюры давления на основание.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1985. – 479 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1980. – 151 с.

3. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. – М., 1986.
4. СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. – М., 1989.
5. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. Справочн. пособие к СНиП 2.09.03-85. – М.: Стройиздат, 1985. – 479 с.
6. ДБН В.1.2-2-2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Минстрой Украины. – К., 2006. – 80 с.
7. ДБН В.1.1-12-2006. Строительство в сейсмических районах Украины. – К., 2006.
8. ДБН В.2.1-10-2009. Основы та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
9. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна № 1. Основы та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
10. Алексеев С.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.И. Алексеев, П.С. Алексеев. – СПб., 2014. – 332с.
11. Суходоев Ю.Ф. Особенности проектирования подпорной стены комбинированного типа / М.П. Дубровский, Ю.Ф. Суходоев, А.А. Стехун. // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса, 2017. – Вип. 3(52). – С. 184-193.
12. Олбрайт К. Моделирование с помощью Microsoft Excel и VBA: разработка систем поддержки принятия решений: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 672 с.
13. Гарбер Г.З. Основы программирования на Visual Basic и VBA в Excel 2007. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2018

#### Рецензенты:

доктор технічних наук, професор, директор Науково-дослідного інституту фундаментальних та прикладних досліджень Одеського національного морського університету **К.В. Єгупов**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Морські і річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Н.Н. Хонелія**