

**Министерство образования Российской Федерации  
Владимирский государственный университет  
Кафедра автомобильных дорог**

# **Расчет подпорных стен**

**Методические указания к курсовой работе по дисциплине  
«Транспортные сооружения»**

Составители:  
ЩУКО С.А.  
ВИХРЕВ А.В.

УДК 624.1

Владимир 2002

Рецензент  
Кандидат технических наук  
Владимирского государственного университета  
Э.Ф.Семехин

Печатается по решению редакционного-издательского совета  
Владимирского государственного университета

**Расчет** подпорных стен: Метод. указания к курсовой работе по дисциплине "Транспортные сооружения" /Владими., гос. ун-т; Сост.:С.А.Щуко, А.В.Вихрев. Владимир, 2002. 24 с.

Содержат общие положения, основные расчеты, определения активного давления грунта, расчет устойчивости основания подпорной стены, расчет оснований по деформациям, определение усилий в элементах конструкций, пример расчета уголкового полдпорной стены консольного типа.

Предназначены для студентов специальности 002910 – Автомобильные дороги и аэродромы дневной и заочной формы обучения.

Табл. 3 ил. 10 библиогр.: три названия

УДК. 624.1

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Подпорные стены проектируются, как правило, на естественном основании и служат для поддержания откосов насыпей (низовые стены) и выемок (верховые стены) автомобильных дорог.

Подпорные стены в течение всего срока службы должны обеспечивать безопасность и бесперебойность нормального движения транспорта, а также простоту и наименьшую трудоемкость их содержания в процессе эксплуатации.

Подпорные стены по конструктивному решению подразделяются на массивные и тонкостенные рис (1,2).

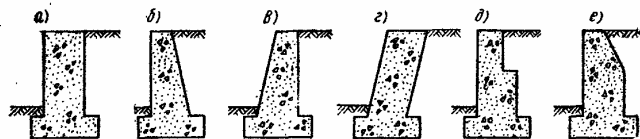


рис. 1 Массивные подпорные стены

*a*—с двумя вертикальными гранями; *б*—с вертикальной лицевой и наклонной тыльной гранью; *в*—с наклонной лицевой и вертикальной тыльной гранью; *г*—с двумя наклонными в сторону засыпки гранями; *д*—со ступенчатой тыльной гранью; *е*—с ломаной тыльной гранью

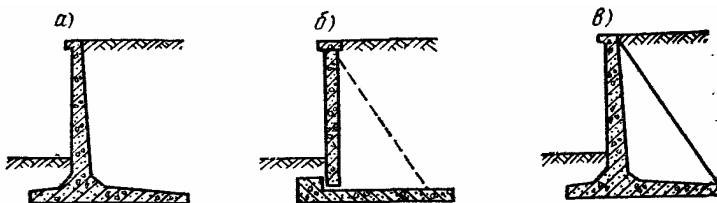


рис. 2 Тонкостенные подпорные стены уголкового типа

*a*—консольные; *б*—с анкерными тягами; *в*—контрфорсные

В массивных подпорных стенах их устойчивость на сдвиг при воздействии горизонтального давления грунта обеспечивается в основном собственным весом стены.

В тонкостенных подпорных стенах устойчивость обеспечивается собственным весом стены и весом грунта, вовлекаемого конструкцией стены в работу.

Как правило, массивные подпорные стены более материалоемки и более трудоемки в возведении, чем тонкостенные, и могут применяться при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Конструкции подпорных стен могут выполняться монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Массивные стены возводят из монолитного бетона, сборных бетонных блоков, бутобетона и каменной кладки на цементном растворе.

Тонкостенные консольные подпорные стены уголкового типа состоят из лицевых и фундаментных плит, жестко связанных между собой.

Конструкции подпорных стен могут выполняться монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Подпорные стены необходимо рассчитывать с учетом горизонтальных и вертикальных внешних нагрузок, расположенных на призме обрушения,

включая нагрузки от транспорта, технологического оборудования, складированного материала и т.д.

В качестве нормативной временной вертикальной нагрузки от подвижного транспорта при расчете подпорной стены принимается колесная нагрузка в виде НК-80 состоящая из одной машины на колесном ходу.

1.1 Цель работы - выполнить необходимые расчеты и дать оценку возможности устройства подпорных стен с заданными параметрами, в случае необходимости внести конструктивные изменения в проект. Произвести контрольный расчет на ЭВМ с помощью программного комплекса Road.

1.2 Состав работы. Предусмотрен для студентов специальности 2910 всех форм обучения (табл. 1). Все необходимые данные для выполнения работы выдаются в задании.

Таблица 1

№	Раздел	Трудоемкость выполнения
1.	определение устойчивости подпорной стены против сдвига.	30
2.	расчет устойчивости основания.	20
3.	расчет устойчивости основания по деформациям.	20
4.	определение усилий в элементах подпорной стены.	20
5.	проверка проведенных расчетов на ЭВМ	10

Приступая к работе, студент должен ясно представлять конкретный результат, теоретическую и практическую значимость принимаемых в работе решений.

По результатам проведенных в работе расчетов и принятых решений должна быть представлена пояснительная записка объемом 15-20 листов, а также в качестве приложения графический материал на листе формата А 2.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА

2.1 Расчет подпорных стен производится по двум группам предельных состояний:

По первой группе выполняют расчеты:

- устойчивости основания подпорной стены против сдвига;
- устойчивости основания под подошвой стены (для нескальных грунтов);
- прочности скального основания (для скальных грунтов);
- прочности элементов конструкций и узлов соединения.

По второй группе выполняют расчеты:

- оснований по деформациям;

- трещиностойкости элементов конструкций.

Все расчеты осуществляются на 1 погонный метр длины стены.

2.2 Расчеты производятся с учетом коэффициентов надежности для постоянных и временных нагрузок  $\gamma_f$ , которые приведены в таблице 2.

таблица 2.

ПОСТОЯННЫЕ НАГРУЗКИ	КОЭФФИЦИЕНТ $\gamma_f$
Собственный вес конструкции	1.1
Вес грунта в природном залегании	1.1
Вес уплотненного грунта засыпки	1.1
Вес дорожного покрытия проезжей части и тротуаров	1.5
ВРЕМЕННЫЕ НАГРУЗКИ	
От одиночной тяжелой нагрузки в виде НК-80	1.1
От колонн автомобилей в виде нагрузки А-П	1.4

В случае наличия на поверхности призмы обрушения подпорной стены фиксированной колесной нагрузки (НК - 80) ее интенсивность, в зависимости от расстояния между задней гранью стены и осью полосы, приводят к эквивалентной нагрузке, равномерно распределенной на сплошной полосе (полосовой нагрузке) в соответствии с таблицей 1. Приложения 6 СНИП 2.05.03.84 интенсивность нагрузки АК, в нашем случае А-П, принимается согласно норм

$g = 0,1 \text{ К}$ , т.е.  $0,6 \cdot 11 = 1,1 \text{ т/м}$ .

Также возможно пользоваться графиком для определения интенсивности эквивалентной нагрузки (рис. 3).

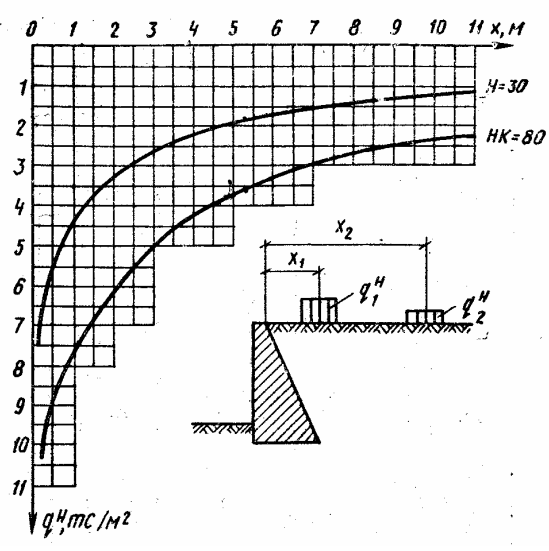


Рис. 3 График для определения интенсивности эквивалентной нормативной равномерно распределенной полосовой нагрузки от автодорожного транспорта при движении его вдоль подпорной стены

2.3. До выполнения основных расчетов необходимо привести (полученные в задании) нормативные характеристики грунтов ненарушенного сложения к расчетным характеристикам по первой и второй группе предельных состояний.

Нормативные значения характеристик грунтов ненарушенного сложения определяются, как правило, на основе непосредственного испытания грунтов, а при отсутствии таких данных их допускается принимать по СНИП 2.02.01-83 Нормативные характеристики грунтов ненарушенного сложения обозначаются:

- $\gamma$  - объемный вес грунта;
- $\phi$  - угол внутреннего трения грунта;
- $c$  - величина сцепления грунта.

Расчетные характеристики для грунтов ненарушенного сложения определяются по формулам:

1 группа предельных состояний                      2 группа предельных состояний

$\gamma_{II} = 1,05\gamma$ $\phi_{II} = \phi / K_{\Gamma}$ $c_{II} = c / 1,5$	$\gamma_{II} = 1,05\gamma$ $\phi_{II} = \phi$ $c_{II} = c$
---	--

Примечание:

Примечание:

Примечание:

где  $K_{\Gamma}$  - коэффициент надежности по грунту, принимается для песчаных грунтов 1,1, для глинистых - 1,15.

Значения характеристик уплотненных грунтов засыпки устанавливаются по характеристикам тех же грунтов ненарушенного сложения и обозначаются:

- для расчетов по первой группе предельных состояний -  $\gamma', \phi'$  и  $c'$ ;
- для расчетов по второй группе предельных состояний -  $\gamma_{II}', \phi_{II}'$  и  $c_{II}'$ .

Соотношение между характеристиками грунтов ненарушенного сложения и грунтов засыпки следующие:

$\gamma' = 0,95 \gamma$ ;	$\gamma'_{  } = 0,95 \gamma_{  }$ ;
$\varphi' = 0,9 \varphi$ ;	$\varphi'_{  } = 0,9 \varphi_{  }$ ;
$c' = 0,5 c$ ;	$c'_{  } = 0,5 c_{  }$ ,
но не более 0,7 тс/м <sup>2</sup> ;	но не более 1 тс/м <sup>2</sup> .

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА

3.1. В том случае, когда поверхность грунта ограничена плоскостью и на призме обрушения отсутствует внешняя нагрузка, горизонтальная  $\sigma_{\Gamma}$  и вертикальная  $\sigma_{\text{в}}$  составляющие интенсивности активного давления несвязного грунта на глубине  $H$  (рис. 4а) определяются, исходя из предположения об образовании прямолинейной поверхности скольжения в призме обрушения, по формулам:

$$\sigma_{\Gamma} = \gamma H \lambda_{\Gamma}; \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{в}} = \sigma_{\Gamma} \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta), \quad (2)$$

где  $\lambda_{\Gamma}$  - коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта;

$$\lambda_{\Gamma} = \left[ \frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\cos \varepsilon \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \rho)}{\cos(\varepsilon + \delta) \cos(\varepsilon - \rho)}} \right)} \right] X \quad (3)$$

$\varphi$  - угол внутреннего трения грунта;

$\gamma$  - объемный вес грунта;

$\varepsilon$  - угол наклона задней грани стены к вертикали, принимается со знаком "плюс" при отклонении от вертикали в сторону стены;

$\rho$  - угол наклона поверхности грунта к горизонту, принимается со знаком "плюс" при отклонении поверхности от горизонтального положения вверх;

$\delta$  - угол трения грунта на контакте со стеной; для стен с повышенной шероховатостью, например, со ступенчатой задней гранью, принимается равным  $\varphi$ ; для стен с задней гранью, специально обработанной для придания ей шероховатости - 0,5 $\varphi$ ; в остальных случаях, а также для мелкозернистых водонасыщенных песков и при наличии вибрационных нагрузок на поверхности засыпки принимается равным нулю.

При  $\varepsilon = \rho = \delta = 0$

$$\lambda_{\Gamma} = \operatorname{tg}(45^{\circ} - \varphi/2) \quad (4)$$

Значения коэффициента  $\lambda_{\Gamma}$  в зависимости от  $\varphi$ ,  $\varepsilon$ ,  $\rho$  и  $\delta$  приведены в прил. 3 [1].

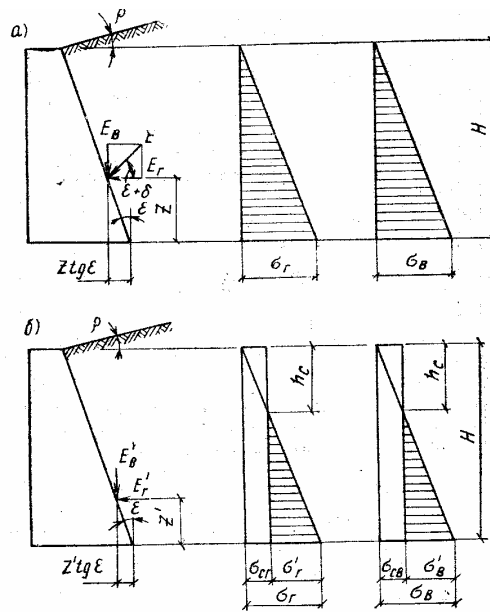


рис. 4 Схема к определению активного давления грунта  
а — несвязного; б — связного

3.2. Для связного грунта горизонтальная  $\sigma'_r$  и вертикальная  $\sigma'_v$  составляющие активного давления грунта на глубине  $H$  (рис. 4б) определяется по формулам

$$(5) \quad \sigma'_r = \sigma_r - \sigma_{cr} \quad (6)$$

$$\sigma'_v = \sigma'_r \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta)$$

где  $\sigma_{cr}$  - интенсивность горизонтальных сил сцепления,

$$\sigma_{cr} = ck \quad (7)$$

Значения коэффициентов  $k$  в зависимости от  $\varphi$ ,  $\varepsilon$ ,  $\rho$  и  $\delta$  приведены в прил. 4 [1].

3.3. Горизонтальная  $E_r$  ( $E'_r$ ) и вертикальная  $E_v$  ( $E'_v$ ) составляющая активного давления грунта определяется по формулам:

для несвязного грунта ( $c=0$ ):

$$E_r = \frac{1}{2} \sigma_r H; \quad (8)$$

$$E_v = \frac{1}{2} \sigma_v H, \quad (9)$$

для связного грунта ( $c \neq 0$ )



$$E'_r = \frac{1}{2} \sigma'(H - h_c); \quad (10)$$

$$E'_v = \frac{1}{2} \sigma'(H - h_c), \quad (11)$$

где  $h_c = (\sigma_{cr}/\sigma_r) H$  (12)

Точка приложения горизонтальной составляющей активного давления грунта (рис 4) располагается от подошвы стены на расстоянии, равном:

для несвязных грунтов:  $z = \frac{1}{3} H,$  (13)

для связных грунтов:  $z' = \frac{1}{3} (H - h_c).$  (14)

3.4. При наличии на горизонтальной плоской поверхности засыпки сплошной равномерно распределенной нагрузки  $g$  (рис. 5 а) горизонтальная  $\sigma_{gr}$  и вертикальная  $\sigma_{gv}$  составляющие интенсивности активного давления грунта от этой нагрузки на глубине  $H$  для связных и несвязных грунтов определяются по формулам:

$$\sigma_{gr} = g\lambda_r; \quad (15)$$

$$\sigma_{gv} = \sigma_{gr} \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta). \quad (16)$$

Горизонтальная  $E_{gr}$  и вертикальная  $E_{gv}$  составляющие активного давления грунта от нагрузки  $g$  определяются по формулам:

$$E_{gr} = \sigma_{gr} H; \quad (17)$$

$$E_{gv} = \sigma_{gv} H. \quad (18)$$

Точка приложения горизонтальной составляющей активного давления грунта располагается от подошвы стены на расстоянии, равном:

$$Z_g = \frac{1}{2} H \quad (19)$$

3.5. В случае наличия на поверхности засыпки фиксированной равномерно распределенной нагрузки  $g$  (рис.5, б) горизонтальная и вертикальная составляющие активного давления грунта от этой нагрузки определяются по формулам:

$$E_{gr} = \sigma_{gr} H_g; \quad (20)$$

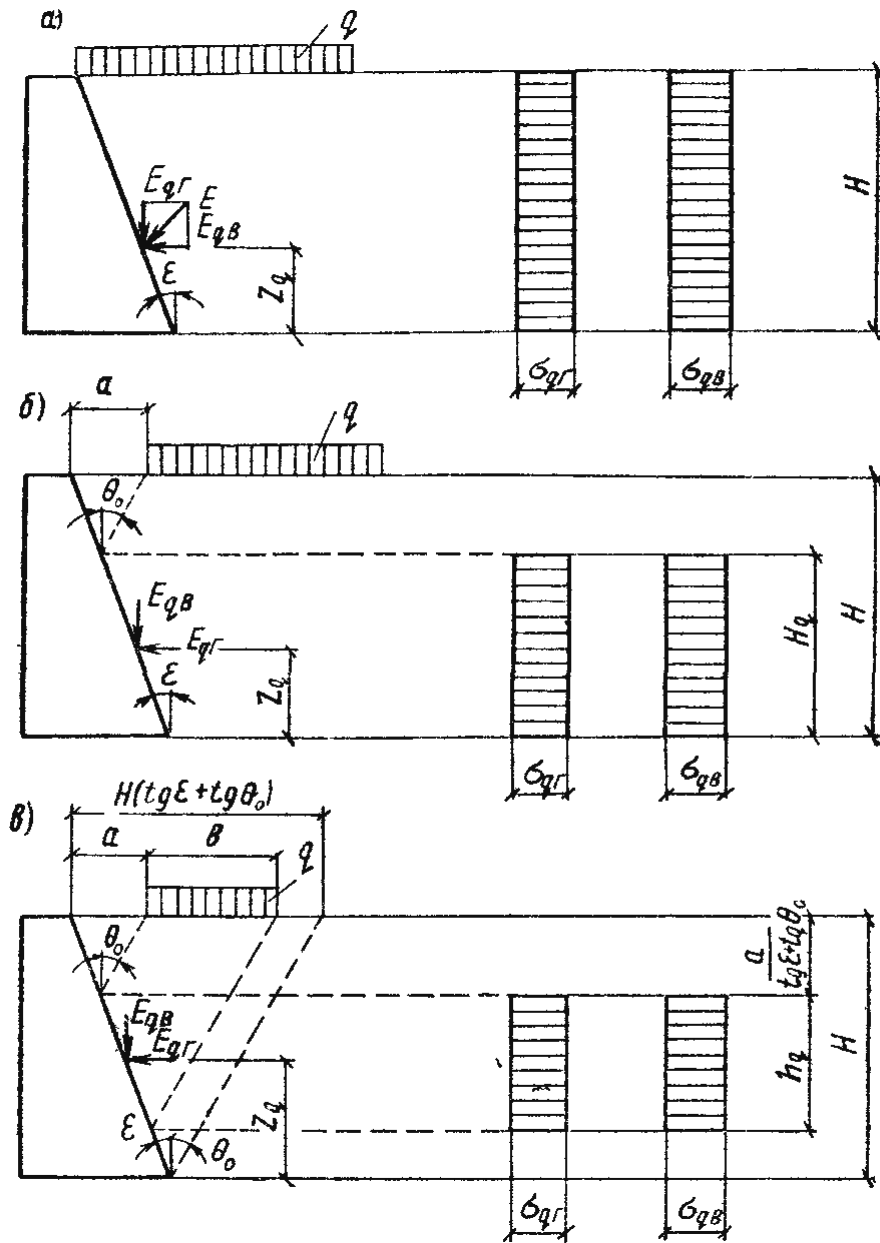
$$E_{gv} = \sigma_{gv} H_g, \quad (21)$$

где  $H_g = H - a/(\operatorname{tg}\varepsilon + \operatorname{tg}\theta_0)$  (22)

Угол наклона плоскости обрушения (сползания) к вертикали определяется по формуле:

$$\theta_0 = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$$

(23)



**Рис. 5 Схема к определению активного давления грунта от равномерно распределенной нагрузки**

а — при сплошной нагрузке, б — при фиксированной нагрузке,  
в — при полосовой нагрузке

Точка приложения горизонтальной составляющей давления грунта в этом случае располагается на расстоянии равном:

$$Z_g = \frac{1}{2} H_g. \quad (24)$$

3.6. При наличии на поверхности засыпки полосовой равномерно распределенной нагрузки  $g$  (рис.5 в) горизонтальная и вертикальная составляющая активного давления грунта от этой нагрузки определяются по формулам:

$$E_{gr} = \sigma_{gr} h_g; \quad (25)$$

$$E_{gv} = \sigma_{gv} h_g, \quad (26)$$

где  $h_g = b/(\text{tg}\varepsilon + \text{tg}\theta_0).$  (27)

$$z_g = H - \left( \frac{a + 0,5b}{\text{tg}\varepsilon + \Theta_0} \right). \quad (28)$$

3.7. При наличии на призме обрушения равномерно распределенной нагрузки интенсивности активного давления связного грунта  $\sigma'_r$  и  $\sigma'_v$  определяются по формулам:

$$\sigma'_r = \sigma_r + \sigma_{gr} - \sigma_{cr}; \quad (29)$$

$$\sigma'_v = \sigma_v + \sigma_{gv} - \sigma_{cv}. \quad (30)$$

3.8. Активное давление грунта для уголкового подпорных стен определяется, исходя из условия образования за стеной клиновидной симметричной (а при короткой задней консоли - не симметричной) призмы обрушения.

В случае образования симметричной призмы обрушения активное давление грунта принимается действующим на наклонную плоскость, проведенную под углом  $\theta_0$  к вертикали.

Вес грунта в контуре призмы обрушения прибавляется к весу стены.

Расчет уголкового подпорных стен производится так же, как и массивных, принимая

$$\varepsilon = \theta_0 = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \text{ и } \delta = \varphi.$$

#### 4. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНЫ ПРОТИВ СДВИГА

Расчет устойчивости положения подпорной стены против сдвига осуществляется по подошве стены (плоский сдвиг) и по ломаным поверхностям (глубинный сдвиг).

4.1. Устойчивость подпорной стены против сдвига при нескальных грунтах (рис. 6) определяется по формуле

$$\frac{T_{уд}}{T_{сд}} \geq M_{cg} \quad \text{при} \quad M_{cg} = 1,2 \quad (31)$$

где  $T_{сд}$  - сдвигающая сила, равная сумме проекций всех сдвигающих сил, действующих на стену, на горизонтальную плоскость;

$T_{уд}$  - удерживающая сила, равна сумме проекций всех удерживающих сил на ту же плоскость;

1,2 - коэффициент надежности против сдвига.

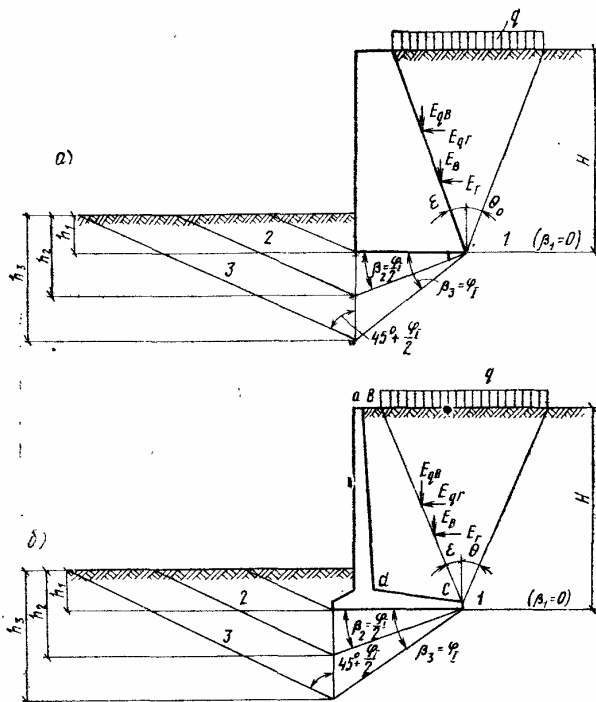


Рис. 6 Схема к расчету устойчивости подпорных стен против сдвига при горизонтальной подошве

а — для массивных стен; б — для тонкостенных, толкового типа;

1 — первый случай; 2 — второй случай; 3 — третий случай

4.2. Сдвигающая сила определяется по формуле 32, а удерживающая по формуле 33.

$$T_{сд} = E_r + E_{qr} \quad (32)$$

$$T_{уд} = N \operatorname{tg}(\varphi_1 - \beta) + Bc_1 + E_{п}, \quad (33)$$

где  $N$  - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость.

$$N = \sum P_i = G_{ст} + \sum G_{гр} + E_{в} + E_{гв} \quad (34)$$

$E_{г}$  - горизонтальная составляющая активного давления грунта;

$E_{гг}$  - горизонтальная составляющая давления грунта от нагрузки ;

$E_{в}$  - вертикальная составляющая активного давления грунта;

$E_{гв}$  - вертикальная составляющая давления грунта от нагрузки;

$G_{ст}$  - собственный вес стены;  $G_{гр}$  - собственный вес грунта вне призмы обрушения (в контуре  $abcd$ ) и над передней консолью у угловых подпорных стен);

$B$  - ширина подошвы стены;

$E_{п}$  - пассивное давление грунта;

$\beta$  - угол наклона поверхности скольжения к горизонту.

Собственный вес стены определяется путем разбивки ее сечения на простые геометрические фигуры, с последующим определением их объема и веса. Объемный вес бетона при этом принимается 2,4 т/с.

Значения горизонтальной и вертикальной составляющих активного давления грунта и давления грунта от внешней нагрузки зависят от типа подпорной стены, характеристик грунта и вида внешней нагрузки и определяются по методике указанной в главе 3.

Коэффициент надежности по нагрузке для объемного веса грунта в угловых подпорных стенах в пределах всего грунта засыпки принимается одинаковым.

4.3. Расчет устойчивости подпорной стены с горизонтальной подошвой против сдвига производится для трех значений угла  $\beta$ :  $\beta = 0$  - плоский сдвиг по подошве стены;  $\beta = 0,5$ ;  $\varphi_1$  и  $\beta = \varphi_1$  - глубинный сдвиг по линиям скольжениям (рис 6.).

4.4. При сдвиге по подошве стены ( $\beta = 0$ ) характеристики грунта  $\varphi_1$  и  $c_1$  по контакту подошва – грунт в формуле (33) определяются по п 2.3., но принимаются не более  $30^\circ$  для  $\varphi_1$  и не более 0,5 тс/м... для  $c_1$ .

В случае глубинного сдвига угол внутреннего трения  $\varphi_1$  и удельное сцепление  $c_1$  принимается как для грунта ненарушенного сложения.

4.5. При глубинном сдвиге для стен с горизонтальной подошвой, в случае когда  $\beta = 0,5$   $\varphi_1$  в формуле (34) необходимо дополнительно учесть вес грунта под подошвой стены в пределах скольжения с коэффициентом надежности по нагрузке 0,9.

4.6. Пассивное давление грунта определяется по формуле (35).

$$E_{п} = 1/2 \lambda_{п} h. \quad (35)$$

где  $\lambda_{п}$  - коэффициент пассивного давления грунта, принимается по формуле (36)

$$\lambda_{п} = \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi_1/2) \quad (36)$$

В случае сдвига по подошве принимается  $\lambda_{п} = 1$

Пассивный отпор грунта учитывается до глубины расположения линии пересечения грани подошвы стены с предлагаемой плоскостью скольжения.

Коэффициент надежности по нагрузке для грунта при определении пассивного давления грунта принимается равным 0.9 при плоском и глубинном сдвиге.

## 5. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЕЫ

5.1. Расчет устойчивости основания под подошвой стены (рис 7.) определяется из условия (37).

$$N \leq \Phi / K_n \quad (37)$$

где  $N$  - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость;

$\Phi$  - несущая способность грунта, выраженная вертикальной силой;

$K_n$  - коэффициент надежности, устанавливается в зависимости от ответственности сооружения и других параметров; принимается не менее 1.2.

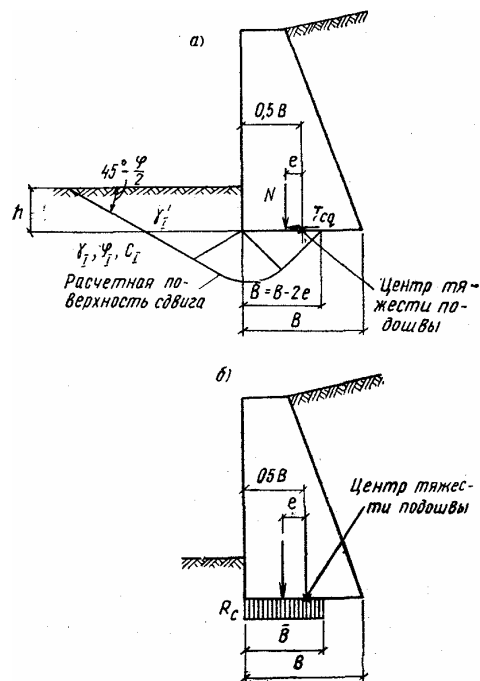


Рис. 7 Схема к расчету несущей способности основания

а — для нескального основания;

б — для скального основания

5.2. Несущая способность основания под подошвой стены на 1м ее длины определяется из условия

$$\Phi = B(A_l B_l \gamma_l + B_l h \gamma'_l + D_l c_l) \quad (38)$$

где:  $B$  - приведенная ширина фундамента, вычисляемая по формуле

$$B = B_0 - 2e;$$

$B_0$  - ширина подошвы фундамента;

$e$  - эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил

$$e = M/N = (\sum P_i l_i + \sum T_i z_i) / \sum P_i \quad (39)$$

где  $\sum P_i l_i$  - сумма моментов всех вертикальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы;

$\sum T_i z_i$  - сумма моментов всех горизонтальных сил относительно той же оси;

$\sum P_i$  - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость, определяется по формуле (34);

$A_l, B_l, D_l$  - безразмерные коэффициенты определяются по формулам (40);

$$\begin{aligned} A_l &= \lambda_\gamma i_\gamma n_\gamma \\ B_l &= \lambda_q i_q n_q \\ D_l &= \lambda_c i_c n_c \end{aligned} \quad (40)$$

где  $\lambda_\gamma, \lambda_q, \lambda_c$  - коэффициенты несущей способности грунта, определяются по табл 3;

табл. 3

$tq \varphi_l$	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$\lambda_c$	9	10,5	12	14	16	19	23
$\lambda_q$	2,9	3,7	4,7	6	8	10	12
$\lambda_\gamma$	0,6	0,9	1,2	1,8	2,7	3,8	5

Продолжение табл. 3

$tq \varphi_l$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
$\lambda_c$	27	32	48	45	53	64	77	92
$\lambda_q$	16	20	27	33	40	53	70	84
$\lambda_\gamma$	7	10	14	20	27	36	50	70

$i_\gamma, i_q, i_c$  - коэффициенты влияния угла наклона нагрузки, зависящие от соотношения горизонтальной и вертикальной составляющих суммарной нагрузки; вычисляются по формулам 41.

$$\left. \begin{aligned}
 i_\gamma &= \left( 1 - \frac{T_{сд}}{N + Bc_1 \cdot \text{ctg } \varphi_1} \right)^3 \\
 i_q &= \left( 1 - 0.7 \frac{T_{сд}}{N + Bc_1 \cdot \text{ctg } \varphi} \right)^3
 \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{\lambda_q - 1}$$

$N$ ,  $n_\gamma$  и  $n_c$  - коэффициенты влияния формы подошвы фундамента, в расчетах принимаются равными 1.

$H$  - меньшая в плоскости сдвига глубина заложения подошвы.

## 6. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

6.1. Расчет оснований по деформациям считается удовлетворенным, если среднее давление на грунт  $P_{ср}$  (рис.8) под подошвой не превышает расчетного давления на основания  $R$ , а краевое давление  $P_{макс}$  не превышает  $1,2 R$  (42, 43).

$$P_{ср} < R \quad (42)$$

$$P_{макс} < 1,2 R \quad (43)$$

6.2. В том случае когда эксцентриситет приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы  $e < B/6$  крайние давления грунта под подошвой стены определяются по формуле

$$P_{макс} = N/F (1 \pm 6e/B) \quad (44)$$

мин

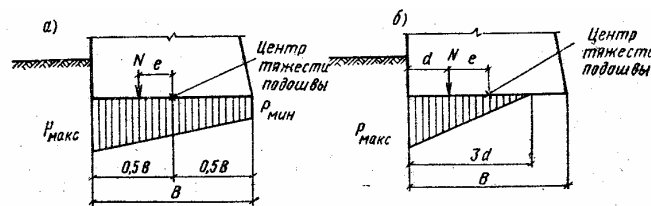


рис. 8 Схема к определению давлений под подошвой стены

а—при малых эксцентриситетах ( $e < B/6$ );

б—при больших эксцентриситетах (эпюра данного вида не допускается)

6.3. При больших значениях эксцентриситетов давление под подошвой стены вычисляется по формуле (45)

$$P_{макс} = 2N/3d \quad (45)$$

где  $d = 0,5 b - e$ .



## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ

Определение усилий в элементах подпорной стены производится в соответствии с расчетными схемами 14,15,16 [1].

По результатам проведенных расчетов строятся эпюры с указанием всех полученных численных значений.

Если в ходе проведенных вычислений хотя бы один из пунктов расчетов не удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям необходимо запроектировать конструктивные мероприятия [1] позволяющие с наименьшими затратами увеличить устойчивость подпорной стены.

Правильность принятых мероприятий проверяется повторным расчетом или при помощи программного комплекс Road на ЭВМ.

## 7. ПРИМЕР РАСЧЕТА УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ КОНСОЛЬНОГО ТИПА

Дано: уголковая подпорная стенка (рис. 9). Высота подпора грунта 4,5 м, глубина заложения подошвы фундамента 1,5 м.

На поверхности призмы обрушения расположена равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $q = 3 \text{ тс/м}$ .

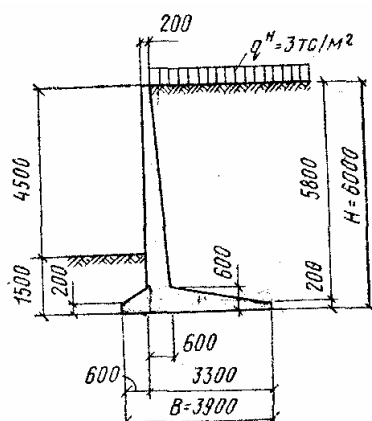


Рис. 9 Общий вид уголковой консольной подпорной стены

Основание и грунт засыпки - пески пылеватые со следующими расчетными характеристиками.

грунт засыпки

$$\gamma_I = 1,7 \text{ тс/м}^3;$$

$$\phi'_I = 26^\circ;$$

$$c'_I = 0;$$

$$\gamma_{II} = 1,7 \text{ тс/м}^3;$$

$$\phi'_{II} = 27^\circ;$$

$$c'_{II} = 0$$

грунт основания

$$\gamma = 1,8 \text{ тс/м}^3;$$

$$\phi_I = 29^\circ;$$

$$\gamma_{II} = 1,8 \text{ тс/м}^3;$$

$$\phi_{II} = 30^\circ;$$

$$c_{\perp} = 0$$

$$c_{\parallel} = 0.$$

Требуется подобрать размеры монолитной железобетонной подпорной стены, определить усилия в ее элементах.

### 7.1. Расчет устойчивости стены против сдвига (рис. 10)

Угол наклона плоскости обрушения определяем по формуле (23), град.

$$\theta = 45 - \frac{26}{2} = 32.$$

Вес грунта в контуре "abc" с коэффициентом надежности по нагрузке  $k_n = 0,9$  и  $\gamma_1 = 1,7 \text{ тс/м}^3$

$$p_1 \cdot 1,1 = 13,8 \cdot 1,1 = 15,2 \text{ тс.}$$

Общий вес грунта

$$G_{\text{гр}} = 1,08 + 15,2 = 16,28 \text{ тс.}$$

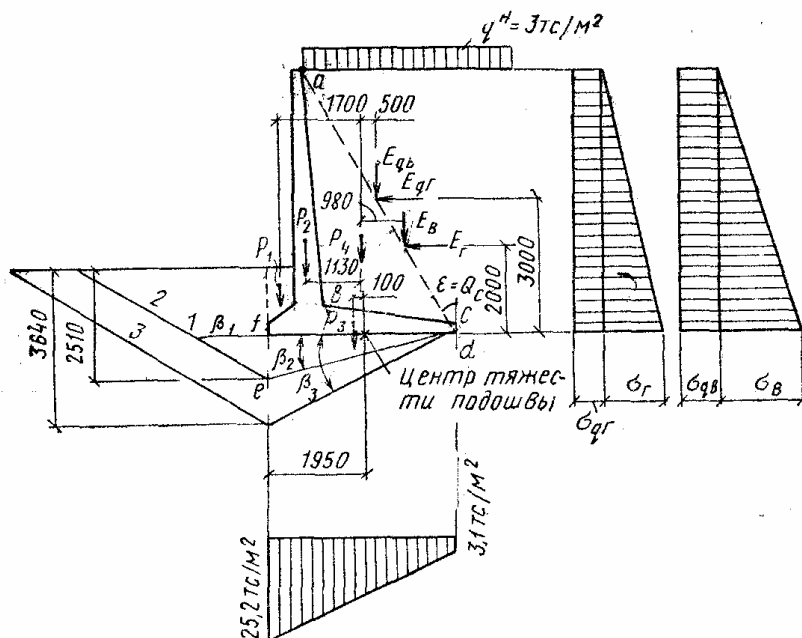


Рис. 10 Расчетная схема к определению общей устойчивости стены

1— первый случай сдвига; 2— второй случай сдвига;  
3 — третий случай сдвига

Собственный вес стены с коэффициентом надежности по нагрузке  $k_n = 0,9$  и  $\gamma_n = 2,5 \text{ тс/м}^3$

$$G_{\text{ст}} = P_2 \cdot 0,9 + P_3 \cdot 0,9 = 5,4 \cdot 0,9 + 4,2 \cdot 0,9 = 8,64 \text{ тс.}$$

Коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта определяем по табл. 10 прил. 3 [1]:

$$\lambda_r = 0,39(\delta = \varphi'_l = 26^\circ; \quad \varepsilon = \theta_0 = 32^\circ; \quad \rho = 0).$$

Горизонтальную и вертикальную составляющие интенсивности активного давления грунта на глубине 6 м с коэффициентом надежности по нагрузке  $k_n = 1,1$  определяем по формулам (1) и (2).

$$\sigma_r = 0,39 \cdot 1,1 \cdot 6 \cdot 0,39 = 4,38 \text{ тс/м}^2;$$

$$\sigma_v = 4,38 \text{ tg}(32^\circ + 26^\circ) = 7,01 \text{ тс/м}^2.$$

Горизонтальную и вертикальную составляющие активного давления грунта определяем по формулам (8) и (9)

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot 4,38 \cdot 6 = 13,14 \text{ тс};$$

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot 7,01 \cdot 6 = 21,03 \text{ тс}.$$

Горизонтальную и вертикальную составляющие активного давления грунта от равномерно распределенной нагрузки, расположенной на поверхности призмы обрушения с коэффициентом надежности по нагрузке  $k_n = 1,2$ , определяем по формулам (15) и (16)

$$\sigma_{qr} = 3 \cdot 1,2 \cdot 0,39 = 1,4 \text{ тс/м}^2;$$

$$\sigma_{qv} = 1,4 \text{ tg}(32^\circ + 26^\circ) = 2,24 \text{ тс/м}^2.$$

Горизонтальную и вертикальную составляющие активного давления грунта от нагрузки  $q$  определяем по формулам (17) и (18)

$$E_{qr} = 1,4 \cdot 6 = 8,4 \text{ тс};$$

$$E_{qv} = 2,24 \cdot 6 = 13,44 \text{ тс}.$$

Расчет устойчивости подпорной стены против сдвига производим для трех значений угла  $\beta$ : ( $\beta_1 = 0$ ;  $\beta_2 = 0,5\varphi$ ;  $\beta_3 = \varphi$ ).

1 - й случай ( $\beta = 0$ )

Сдвигающую силу определяем по формуле (32)

$$T_{сд} = 13,14 + 8,4 = 21,54 \text{ тс}.$$

Пассивное давление грунта определяем по формуле (35) при  $\lambda_n = 1$  при коэффициенте надежности по нагрузке  $k_n = 0,9$

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot 1,7 \cdot 0,9 \cdot 1,5^2 \cdot 1 = 1,72 \text{ тс},$$

Сумму проекций всех расчетных сил на вертикальную плоскость определяем по формуле (34)

$$N = 8,64 + 16,28 + 21,03 + 13,44 = 58 \text{ тс}.$$

Удерживающую силу  $T_{уд}$  определяем по формуле (33) при  $\varphi''$

$$T_{уд} = 58 \text{ tg}(29^\circ - 0^\circ) + 1,72 = 33,52 \text{ тс}.$$

Проверяем условие по формуле (31)

$$\frac{T_{уд}}{T_{сд}} = \frac{33,52}{21,54} = 1,56 > 1,2 \text{ (условие выполнено)}.$$

2 - й случай ( $\beta_2 = 0,5 \cdot \varphi = 14^\circ 30'$ )

$$T_{сд} = 21,54 \text{ тс}$$

Коэффициент пассивного давления  $\lambda_n$  определяют по формуле (36)

$$\lambda_n + \text{tg}^2(45^\circ + 14^\circ 30') = 2,88.$$

Пассивное давление определяем по формуле (35) с коэффициентом надежности по нагрузке  $k_n = 0,9$

$$E_p = \frac{1}{2} 1,8 \cdot 0,9 \cdot 2,51^2 \cdot 2,88 = 14,7 \text{ тс.}$$

Сумму проекций всех расчетных сил на вертикальную плоскость определяем по формуле (34) с учетом грунта в контуре "def" с коэффициентом надежности по нагрузке  $k_n = 0,9$  и  $\gamma = 1,8 \text{ тс/м}^3$ :

$$\Sigma P_i = 58 + 1,01 \cdot 3,9 \cdot 0,5 \cdot 1,8 \cdot 0,9 \cdot 1 = 61,2 \text{ тс.}$$

Удерживающую силу определяем по формуле (33) при  $\varphi_1 = 29^\circ$ :

$$T_{уд} = 61,2 \text{ tg}(29^\circ - 14^\circ 30') + 14,7 = 30,55 \text{ тс.}$$

Проверяем выполнение условия по формуле (31):

$$\frac{T_{уд}}{T_{сд}} = \frac{30,55}{21,54} = 1,42 > 1,2 \text{ (условие удовлетворено).}$$

3 - й случай ( $\beta_3 = \varphi_1 = 29^\circ$ )

$$T_{сд} = 21,54 \text{ тс;}$$

$$\lambda_n = 2,88;$$

$$E_p = \frac{1}{2} 1,8 \cdot 0,9 \cdot 3,64 \cdot 2,88 = 31 \text{ тс;}$$

$$T_{уд} = E_p = 31 \text{ тс.}$$

Проверяем выполнение условия (31)

$$\frac{T_{уд}}{T_{сд}} = 1,43 > 1,2 \text{ (условие удовлетворено).}$$

Устойчивость стены против сдвига обеспечена.

## 7.2 Расчет устойчивости основания (рис. 10)

Расчет ведем по первой группе предельных состояний.

Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость  $\Sigma P_i = 58 \text{ тс.}$

Сумма проекций всех вертикальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы

$$\begin{aligned} \Sigma P_i L_i &= P_1 1,7 + P_2 1,13 + P_3 0,1 + P_4 0 - E_b 0,98 - E_{gb} 0,5 = \\ &= 1,08 \cdot 1,7 + 4,86 \cdot 1,13 + 3,78 \cdot 0,1 - 21,03 \cdot 0,98 - 13,44 \cdot 0,5 = -19,61 \text{ тс} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Сумма моментов всех горизонтальных сил относительно той же оси

$$\Sigma T_i z_i = E_r 2 + E_{qr} 3 = 13,44 \cdot 2 + 8,4 \cdot 3 = 51,48 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Величину эксцентриситета приложения равнодействующей всех сил определяем по формуле (39)

$$e = \frac{-19,61 + 51,48}{58} = 0,57 \text{ м.}$$

Приведенная ширина подошвы

$$\bar{e} = B - 2e = 3,9 - 2 \cdot 0,57 = 2,76 \text{ м.}$$

Коэффициенты несущей способности грунта при  $\text{tg } \varphi_1 = \text{tg } 29^\circ = 0,55$  и  $c_1 = 0$  по табл. 3 [1]

$$\lambda_\gamma = 7; \quad \lambda_q = 16.$$

Коэффициенты влияния угла наклона нагрузки по формулам (41)

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{21,54}{58}\right)^3 = 0,25;$$

$$i_q = \left(1 - 0,7 \frac{21,54}{58}\right)^3 = 0,4 \text{ тс.}$$

Безразмерные коэффициенты определяются по формулам (40)

$$A_1 = 7 \cdot 0,25 \cdot 1 = 1,75;$$

$$B_1 = 16 \cdot 0,4 \cdot 1 = 6,4.$$

Несущая способность основания по формуле (38)

$$\Phi = 2,76(1,75 \cdot 2,76 \cdot 1,8 + 6,4 \cdot 1,5 \cdot 1,7 + 0) = 74 \text{ тс.}$$

Проверяем условие (53)

$$N = 58 \text{ тс} \leq \frac{\Phi}{\text{ж}} = \frac{74}{1,2} = 61,5 \text{ тс (условие удовлетворено)}$$

Устойчивость подпорной стены обеспечена.

### 7.3 Расчет основания по деформациям (рис. 10)

Расчет ведем по второй группе предельных состояний с коэффициентами надежности по нагрузке, равными единице, и с характеристиками грунта основания  $\varphi_{||} = 27^\circ$ ;  $\gamma_{||} = 1,8 \text{ тс/м}^3$  и грунта засыпки  $\varphi'_{||} = 27^\circ$ ;  $\gamma'_{||} = 1,7 \text{ тс/м}^3$ .

Расчетное давление на основание определяем по формуле (17) главы СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» прил. 24.

$$R = \frac{m_1 \cdot m_2}{k} (A \cdot b \cdot \gamma_{||} + B \cdot h_{||} \cdot \gamma'_{||} + D \cdot c'_{||} - \gamma'_{||} \cdot h_c).$$

По табл. 16 главы СНиП 2.05.03-84 при  $\varphi_{||} = 30^\circ$

$$A = 1,15; \quad B = 5,59; \quad D = 7,95.$$

Остальные характеристики:  $k_n = 1,0$ ;  $m_1 = 1,0$ ;  $m_2 = 1,0$ ;  $h_0 = 0$ ;

$h_{||} = 1,5 \text{ м}$ ;  $b = 4,2 \text{ м}$ .

$$R = \frac{1,2 \cdot 1}{1} (1,15 \cdot 3,9 \cdot 1,8 + 5,59 \cdot 1,5 \cdot 1,7 + 7,95 \cdot 0 - 0) = 27 \text{ тс/м}^2$$

Коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта определяем по табл. 10 прил. 3 [1].

$\lambda_r = 0,38$  ( $\delta = \varphi'_{||} = 27^\circ$ ;  $\varepsilon = \theta_0 = 31^\circ 30'$ ;  $\rho = 0$ ).

Угол наклона плоскости обрушения

$$\theta_0 = 45^\circ - \frac{27^\circ}{2} = 31^\circ 30'.$$

Горизонтальные и вертикальные составляющие интенсивности активного давления грунта от веса грунта и от равномерно распределенной нагрузки, расположенной на призме обрушения, определяем соответственно по формулам (1), (2) и (15), (16)

$$\sigma_r = 1,7 \cdot 6 \cdot 0,38 = 3,88 \text{ тс/м}^2;$$

$$\sigma_v = 3,88 \text{ tg}(31^\circ 30' + 27^\circ) = 6,4 \text{ тс/м}^2;$$

$$\sigma_{qr} = 3 \cdot 0,38 = 1,14 \text{ тс/м}^2;$$

$$\sigma_{qv} = 1,14 \text{ tg}(31^\circ 30' + 27^\circ) = 1,88 \text{ тс/м}^2.$$

Горизонтальные и вертикальные составляющие активного давления грунта:

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot 3,88 \cdot 6 = 11,62 \text{ тс};$$

$$E_b = \frac{1}{2} \cdot 6,4 \cdot 6 = 19,2 \text{ тс};$$

$$E_{qr} = 1,14 \cdot 6 = 6,84 \text{ тс};$$

$$E_{qb} = 1,88 \cdot 6 = 11,28 \text{ тс}.$$

Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость определяем по формуле (34)

$$N = 9,6 + 14,6 + 19,2 + 11,28 = 55,04 \text{ тс}$$

Сумма проекций всех вертикальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы,

$$\Sigma P_i l_i = P_1 1,7 + P_2 1,13 + P_3 0,1 + p_4 0 - E_b 0,98 - E_{qb} 0,5 =$$

$$= 1,1 \cdot 1,7 + 5,1 \cdot 1,13 + 4,0 \cdot 0,1 + 0 - 19,2 \cdot 0,98 - 11,2 \cdot 0,5 = -15,99 \text{ т} \cdot \text{м}$$

Сумма моментов всех горизонтальных сил, относительно той же оси

$$\Sigma T_i z_i = E_r 2 + \dot{E}_{qr} 3 = 11,62 \cdot 2 + 6,84 \cdot 3 = 43,76 \text{ тт} \cdot \text{м}$$

Величину эксцентриситета приложения равнодействующей всех сил определяем по формуле (39)

$$e = \frac{27,77}{55,04} = 0,505 \text{ м}.$$

Краевые давления на грунт под подошвой стены определяем по формуле (44)

$$P_{\frac{\text{макс}}{\text{мин}}} = \frac{55,04}{3,9 \cdot 1} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot 0,505}{3,9} \right)$$

$$P_{\text{макс}} = 25,2 \text{ ттс/}^2 < 1,2 R = 1,2 \cdot 2,7 = 32,5 \text{ тс/м}^2.$$

$$P_{\text{мин}} = 3,1 \text{ тс/м}^2 > 0.$$

Среднее давление на грунт

$$R_{\text{ср}} = \frac{55,04}{3,9} = 14,1 \text{ тс/м}^2 < R = 27 \text{ тс/м}^2.$$

Расчет основания по деформациям удовлетворен.

На основании проведенных расчетов рассматриваемая подпорная стена удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

## Литература

1. СНиП 2.02.03-84, Мосты и трубы. Нормы проектирования, Госстрой СССР, М, 1985.
2. СНИП 2.02.01-83, Основания зданий и сооружений, Госстрой СССР, М, 1986.
3. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства, М Стройиздат, 1984.