Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

«Расчет подпорных стен»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ
по дисциплине
«Строительство и эксплуатация инженерных сооружений»

для направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги»

Владимир 2020

УДК 625.737(076)
ББК 39.311-06я73
В 54

Рецензент
Доктор технических наук, профессор
Владимирского государственного университета
Б.Г. Ким

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Расчет подпорных стен: методические указания к расчетно-графической работе/Владим. гос. ун-т; сост.: А.В. Вихрев. Владимир, 2020.31 с.

Содержат основные сведения о типах и конструкции подпорных стен. Рассматривают методы конструирования и рассчета массивных и тонокостенных подпорных стен используемых в качестве конструктивных элементов в различных объектах дорожного хозяйства.

Предназначены для направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» очной и заочной формы обучения.

Ил. 11. Библиогр.: 4 назв.

УДК 625.737(076)
ББК 39.311-06я73
В 54

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания разработаны в соответствии с программой учебной дисциплины "Строительство и эксплуатация инженерных сооружений" для студентов направления 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги», уровень высшего образования бакалавриат очной и заочой формы обучения, могут быть использовано студентами других специальностей при изучении вопросов расчета параметров подпоргых стен проектируемых для нужд дорожного хозяйства.

В методических указаниях изложены основные сведения о наиболее часто применяемых в дорожном строительстве России типах и конструкциях подпорных стен. Показаны методики проектирования расчета подпорных стен. Эти сведения дают возможность определить необходимые параметры подпорных стен возводимых при строительстве объектов дорожного хозяйства.

В методичских указаниях приведены основные термины и определения, позволяющие освоить терминологию строительства и эксплуатация инженерных сооружений, используемые специалистами дорожно-строительных и дорожно-эксплуатационных организаций. Издание призвано дать студентам методолгию проектирования подпорных стен.

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).

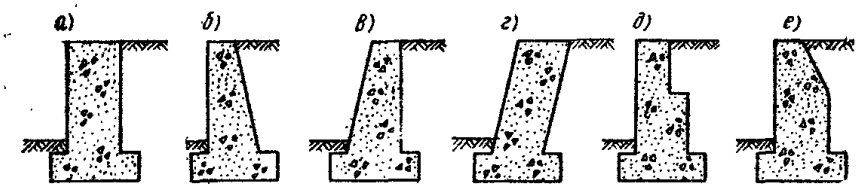

Рис. 1. Массивные подпорные стены:

а – 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.

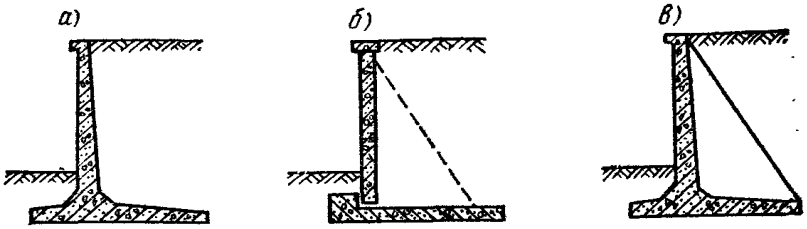

Рис. 2. Тонкостенные подпорные стены уголкового типа:
а – консольные; б – с анкерными тягами;
в – контрфорсные.

В массивных подпорных стенах 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.

Обычно, массивные подпорные стены более материалоемки и более трудоемки в возведении, чем тонкостенные, и могут применяться только 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.

Подпорные стены необходимо рассчитывать с учетом горизонтальных и вертикальных внешних нагрузок, расположенных на призме обрушения, включая нагрузки от транспорта, технологического оборудования, складируемого 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 одиночной четырехосной прицепной платформы общим весом 80 т, на колесном ходу.

1.1. ЦЕЛЬ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Выполнить необходимые расчеты и дать оценку возможности устройства подпорной стены с заданными параметрами, в случае необходимости, внести конструктивные изменения в проект.

РГР выполняется на основании вариантов заданий, выдаваемых каждому студенту.

1.2. СОСТАВ РАБОТЫ

Разделы расчетно-графической работы приведены в таблице (табл. 1).

Все необходимые данные для выполнения работы указаны в задании (приложения 1,2).

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

Таблица 1

Номер раздела	Наименование раздела работы
1	Приведение исходных параметров подпорной стены к расчетным характеристикам
2	Определение устойчивости подпорной стены против сдвига
3	Расчет устойчивости основания
4	Расчет устойчивости основания по деформациям

2. ПРИВЕДЕНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ К РАСЧЕТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Расчет подпорной стены производится по двум группам предельных состояний [3].

По первой группе предельных состояний 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 предельных состояний выполняют расчет:

– оснований по деформациям.

Все расчеты осуществляются на 1 погонный метр длины стены.

Расчеты производятся с учетом коэффициентов надежности для постоянных и временных нагрузок γ_f, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Постоянные нагрузки	Коэффициент γ_f
Собственный вес конструкции	1,1
Вес грунта в природном залегании	1,1
Вес уплотненного грунта засыпки	1,1
Вес 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-II	1,4

2.1. ПРИВЕДЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ К ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПОЛОСОВОЙ НАГРУЗКЕ.

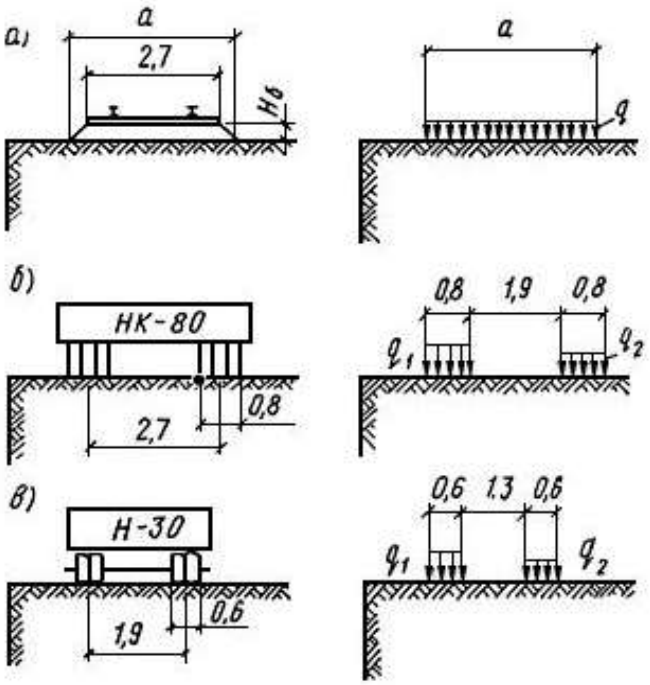

Рис.3. Схемы эквивалентных равномерно распределенных нагрузок от подвижного транспорта при движении его вдоль подпорной стены: а – от подвижного состава железных дорог по

схеме СК; б – от колесной нагрузки по схеме НК-80; в – от колонны автомобилей в виде нагрузки Н-30.

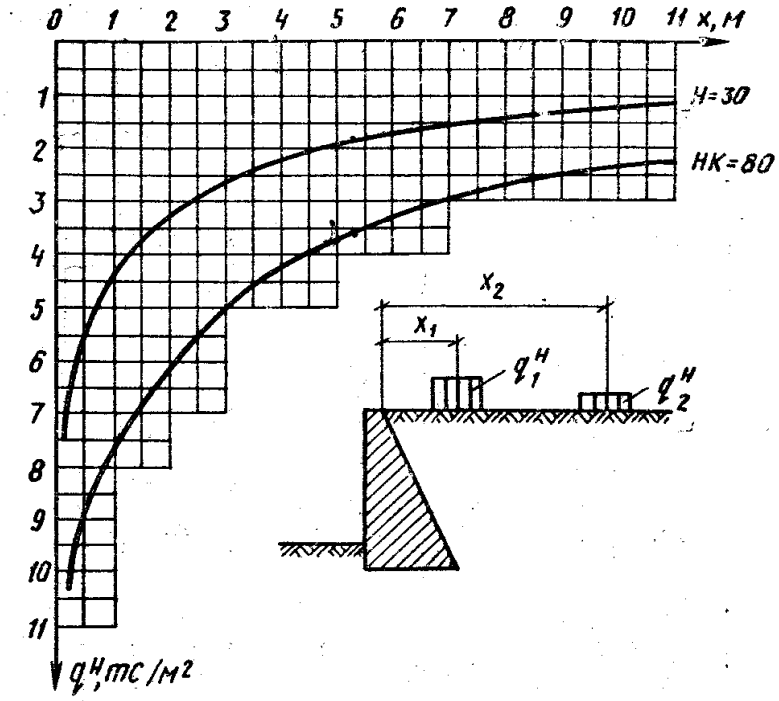

Рис. 4. График для определения интенсивности эквивалентной нормативной равномерно распределенной полосовой нагрузки от автодорожного транспорта при движении его вдоль подпорной стены.

2.2. ПРИВЕДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ К РАСЧЕТНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ

До выполнения основных расчетов необходимо привести нормативные характеристики грунтов основания ненарушенного сложения к расчетным характеристикам по первой и второй группам предельных состояний.

Нормативные значения характеристик грунтов основания ненарушенного сложения определяются, как правило, на основе непосредственного испытания грунтов, а при отсутствии таких данных их допускается принимать по СП 22.13330.2011 [2].

В дальнейших расчетах будут использованы следующий нормативные характеристики грунтов основания ненарушенного сложения:

γ – объемный вес грунта;

φ – угол внутреннего трения грунта;

c – величина сцепления грунта.

Расчетные характеристики для грунтов основания ненарушенного сложения определяются по формулам:

1я группа предельных состояний;	2я группа предельных состояний
$\gamma_I = 1{,}05\gamma$	$\gamma = 1{,}05\gamma$
$\varphi_I = \varphi / К_г$	$\varphi_{II} = \varphi$
$c_I = c/1{,}5$	$c_{II} = c$,

Где: $К_г$ – 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 - γ_I', φ_I' и c_I';

– для расчетов по второй группе предельных состояний - γ_{II}', φ_{II}' и c_{II}'.

Соотношения между характеристиками грунтов ненарушенного сложения и грунтов засыпки следующие:

$\gamma_I' = 0{,}95\ \gamma_I$;	$\gamma'_{II} = 0{,}95\ \gamma_{II}$;
$\varphi'_I = 0{,}9\ \varphi_I$;	$\varphi'_{II} = 0{,}9\ \varphi_{II}$;
$c'_I = 0{,}5\ c_I$;	$c'_{II} = 0{,}5\ c_{II}$,
но не более 0,7 тс/м^2;	но не более 1 тс/м^2

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА

В том случае, когда поверхность грунта засыпки ограничена плоскостью и на призме обрушения отсутствует внешняя нагрузка, горизонтальная $\sigma_г$ и вертикальная $\sigma_в$ составляющие интенсивности активного давления несвязного грунта на глубине *H* (рис. 5, *а*) определяются исходя из предположения об образовании прямолинейной поверхности скольжения в призме обрушения, по формулам:

$$\sigma_г = \gamma H \lambda_г; \qquad (1)$$

$$\sigma_в = \sigma_г \, tg\,(\varepsilon + \delta),$$

(2)

Где $\lambda_г$ - коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта;

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

(3)

φ – угол внутреннего трения грунта;

γ – объемный вес грунта;

ε – угол наклона задней грани стены к вертикали принимается со знаком «+», при отклонении грани от вертикали в сторону стены;

ρ – угол наклона поверхности грунта к горизонту принимается со знаком «+» при отклонении поверхности от горизонтального положения вверх;

δ – угол трения грунта на контакте со стеной; для стен с повышенной шероховатостью, например со ступенчатой задней гранью, принимается равным φ; для стен с задней гранью, специально обработанной для придания ей шероховатости – 0,5φ; в остальных случаях, а также для мелкозернистых водонасыщенных

песков и при наличии вибрационных нагрузок на поверхности засыпки принимается равным нулю.

При $\varepsilon = \rho = \delta = 0$

$$\lambda_г = tg\ (45^\circ - \varphi/2). \quad (4)$$

Значения коэффициента $\lambda_г$ в зависимости от φ, ε, ρ и δ приведены в прил. 3 [3].

Для связного грунта горизонтальная $\sigma'_г$ и вертикальная $\sigma'_в$ составляющие активного давления грунта на глубине *H* (рис. 5, *б*) определяются по формулам 5, 6:

$$\sigma'_г = \sigma_г - \sigma_{сг}, \quad (5)$$

$$\sigma'_в = \sigma'_г\ tg \quad (6)$$

где $\sigma c_г$ – интенсивность горизонтальных сил сцепления.

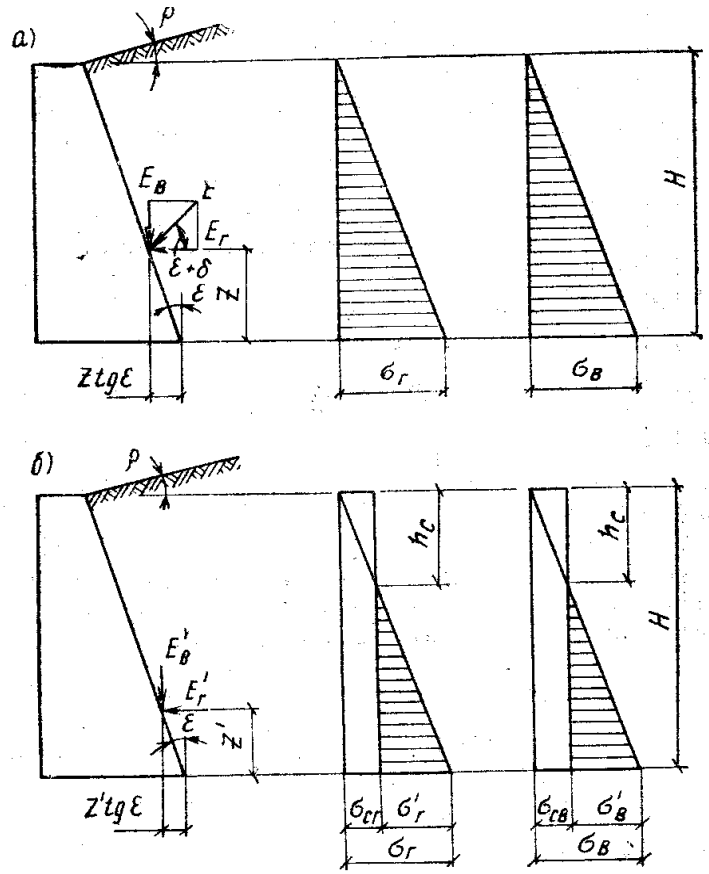

Рис. 5. Схема к определению активного давления грунта: а – несвязного; б – связного

$$\sigma c_г = ck. \qquad (7)$$

Значения коэффициентов k, в зависимости от φ, ε, ρ и δ, приведены в прил. 4 [3].

Горизонтальная $E_г$ ($E'_г$) и вертикальная $E_в$ ($E'_в$) составляющие активного давления грунта определяются по формулам:

для несвязного грунта (c = 0):

$$E_г = \frac{1}{2}\sigma_г H, \qquad (8)$$

$$E_в = \frac{1}{2}\sigma_в H; \qquad (9)$$

для связного грунта (c # 0):

$$E'_г = \frac{1}{2}\ \sigma'(H - hc), \qquad (10)$$

$$E'_в = \frac{1}{2}\ \sigma'(H - hc), \qquad (11)$$

Где: $hc = (\sigma_{сг}/\sigma_г)\ H.$ (12)

Точка приложения горизонтальной составляющей активного давления грунта (рис. 5) располагается от подошвы стены на расстоянии, равном:

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

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

При наличии на горизонтальной плоской поверхности засыпки сплошной равномерно распределенной нагрузки g (рис. 6 a) горизонтальная $\sigma g_г$ и вертикальная $\sigma g_в$ составляющие

интенсивности активного давления грунта от этой нагрузки на глубине H для связных и несвязных грунтов определяются по формулам:

$$\sigma g_г = g\lambda_г; \quad (15)$$

$$\sigma g_в = \sigma g_г \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta). \quad (16)$$

Горизонтальная $Eg_г$ и вертикальная $Eg_в$ составляющие активного давления грунта от нагрузки g определяются по формулам:

$$Eg_г = \sigma g_г H; \quad (17)$$

$$Eg_в = \sigma g_в H. \quad (18)$$

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

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

В случае наличия на поверхности засыпки фиксированной равномерно распределенной нагрузки g (рис. 6, *б*) горизонтальная и вертикальная составляющие активного давления грунта от этой нагрузки определяются по формулам:

$$Eg_г = \sigma g_г Hg, \quad (20)$$

$$Eg_в = \sigma g_в Hg, \quad (21)$$

$$Hg = H - a/(tg\varepsilon + tg\theta_0). \quad (22)$$

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

$$\theta_0 = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}. \quad (23)$$

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

$$Zg = \frac{1}{2} Hg. \quad (24)$$

При наличии на поверхности засыпки полосовой равномерно распределенной нагрузки *g* (рис. 6, *в*) горизонтальная и вертикальная составляющие активного давления грунта от этой нагрузки определяются по формулам (25 – 28):

$$Eg_г = \sigma g_г\, hg; \quad (25)$$

$$Eg_в = \sigma g_в\, hg, \quad (26)$$

Где: $hg = b/(tg_\varepsilon + tg\theta_0)$; (27)

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

3.7. При наличии на призме обрушения равномерно распределенной нагрузки интенсивности активного давления связного грунта σ′г и σ′в определяются по формулам:

$$\sigma'_г = \sigma_г + \sigma g_г - \sigma c_г; \quad (29)$$

$$\sigma'_в = \sigma_в + \sigma g_в - \sigma c_в. \quad (30)$$

Активное давление грунта для уголковых подпорных стен определяется исходя из условия образования за стеной клиновидной симмеричной (а при короткой задней консоли – несимметричной) призмы рушения.

В случае образования симметричной призмы обрушения активное давление грунта принимается действующим на наклонную плоскость, проведенную под углом θ_0 к вертикали.

Вес грунта в контуре призмы обрушения прибавляется к весу стены.

Расчет уголковых подпорных стен производится так же, как и массивных, принимая $\varepsilon = \theta_0 = 45° - \varphi/2$ и $\delta = \varphi$.

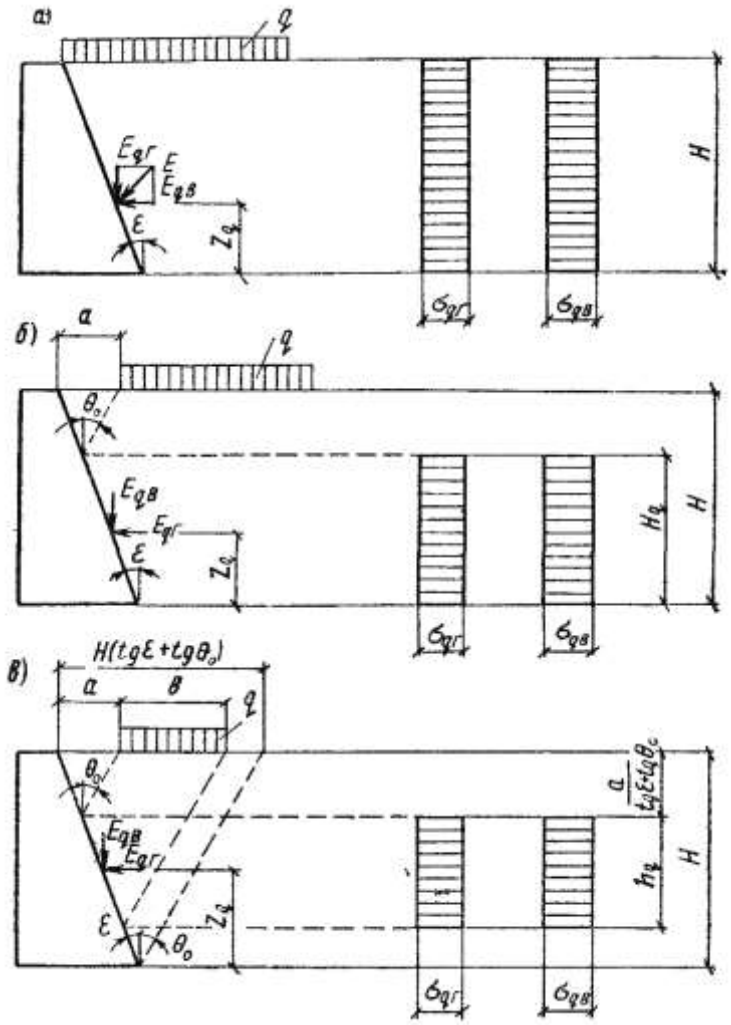

Рис. 6. Схема к определению активного давления грунта от равномерно распределенной нагрузки:

а – при сплошной нагрузке, б – при фиксированной нагрузке, в – при полосовой нагрузке.

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).

Устойчивость подпорной стены против сдвига при нескальных грунтах (рис. 7) определяется по формуле

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

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

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

1,2 – коэффициент надежности против сдвига.

Сдвигающая сила определяется по формуле (32), а удерживающая по формуле (33).

$$T_{сд} = E_{г} + Eq_{г}, \qquad (32)$$

$$T_{уд} = N\text{tg}(\varphi_{I} - \beta) + Bc_{I} + E_{п}, \qquad (33)$$

Где: N – сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость.

$$N = \Sigma P_i = G_{ст} + \Sigma G_{гр} + E_{в} + Eg_{в} \qquad (34)$$

Где: $E_{г}$ – горизонтальная составляющая активного давления грунта;

$Eq_{г}$ – горизонтальная составляющая давления грунта от нагрузки;

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

B – ширина подошвы стены;

$Eq_{в}$ – вертикальная составляющая давления грунта от нагрузки;

$E_{п}$ – пассивное давление грунта;

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

β – угол наклона поверхности скольжения к горизонту.

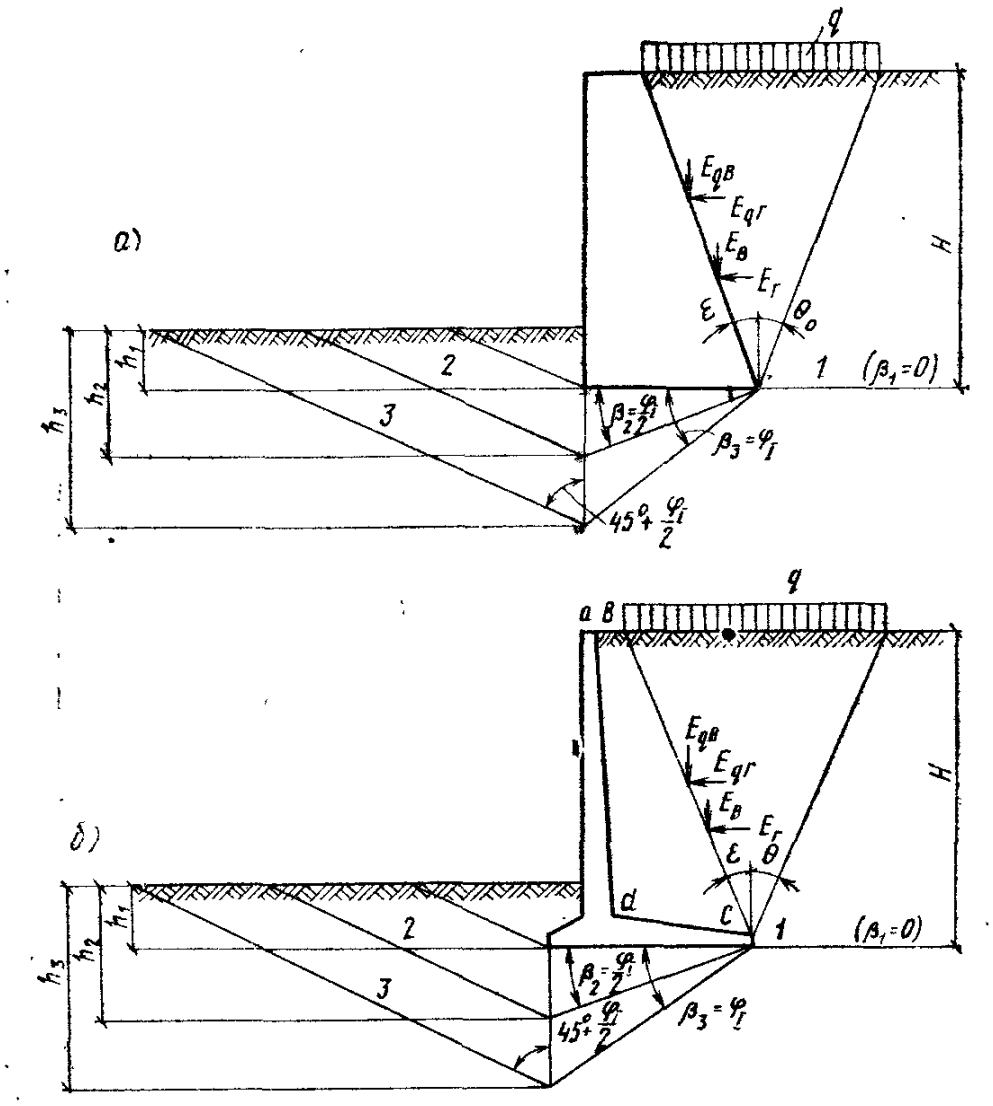

Рис. 7. Схема к расчету устойчивости подпорных стен против сдвига при горизонтальной подошве:
а – для массивных стен; б – для тонкостенных, уголкового типа;
1 – первый случай; 2 – второй случай; 3 – третий случай.

Собственный вес стены определяется путем разбивки ее сечения на простые геометрические фигуры, с последующим определением их объема и веса. Объемный вес цементобетона при этом принимается равным 2,4 т·м^3.

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 разделе 3.

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

Расчет устойчивости подпорной стены с горизонтальной подошвой против сдвига производится для трех значений угла β: β = 0 – плоский сдвиг по подошве стены; β = 0,5 φ_I и β = φ_I – глубинный сдвиг по линиям скольжения (см. рис 6.).

При сдвиге по подошве стены (β = 0) характеристики грунта φ_I и c_I по контакту подошва – грунт в формуле (33) определяются по п. 2.3, но принимаются не более 30° для φ_I и не более 0,5 тс/м для c_I.

В случае глубинного сдвига угол внутреннего трения φ_I и удельное сцепление c_I принимаются как для грунта ненарушенного сложения.

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

Пассивное давление грунта определяется по формуле

$$E_п = \lambda п\ 1/2\ \gamma h, \qquad (35)$$

Где: $\lambda_п$ – коэффициент пассивного давления грунта вычисляется по фомуле:

$$\lambda_п = tg(45^\circ + \varphi_I/2). \qquad (36)$$

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 СТЕНЫ

Расчет устойчивости основания под подошвой стены (рис. 8) определяется из условия:

$$N \leq \Phi / K_н, \qquad (37)$$

Где: N – сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость;

Ф – несущая способность грунта, выраженная вертикальной силой;

$K_н$ – коэффициент надежности устанавливается в зависимости от ответственности сооружения и других параметров; принимается не менее 1,2.

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

$$\Phi = B(A_| B_| \gamma_| + B_| h\gamma'_| + D_| c_|), \qquad (38)$$

Где: $\overline{B}$ – приведенная ширина фундамента, вычисляемая по формуле:

$$B = B - 2e, \qquad (39)$$

Где: B – ширина подошвы фундамента;

e – эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил

$$e = M/N = (\Sigma P_i\, l_i + \Sigma T_i\, z_i) / \Sigma P_i \qquad (40)$$

Где: $\Sigma P_i\ l_i$ – сумма моментов всех вертикальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы;

$\Sigma T_i\ z_i$ – сумма моментов всех горизонтальных сил относительно той же оси;

ΣP_i – сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость определяется (34).

$A_|$, $B_|$, $D_|$ – безразмерные коэффициенты определяются по формулам:

$$A_| = \lambda_\gamma\, i_\gamma\, n_\gamma,\ B_| = \lambda_q\, i_q\, n_q,\ D_| = \lambda_c\, i_c\, n_c. \qquad (41)$$

Где: λ_γ, λ_q, λ_c – коэффициенты несущей способности грунта определяются по табл. 3.

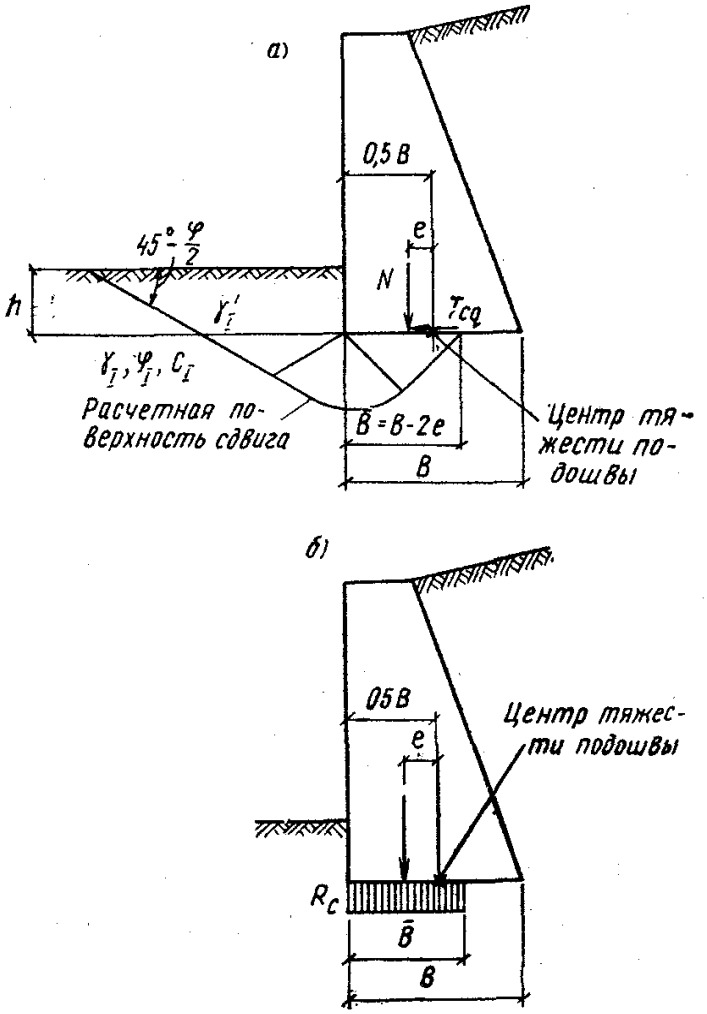

Рис. 8. Схема к расчету несущей способности основания:
а – для нескального основания; б – для скального основания

Таблица 3

$tg\varphi_I$	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
λ_c	9	10,5	12	14	16	19	23
λ_q	2,9	3,7	4,7	6	8	10	12
λ_γ	0,6	0,9	1,2	1,8	2,7	3,8	5
$tg\ \varphi_I$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
λ_c	27	32	48	45	53	64	77
λ_q	16	20	27	33	40	53	70
λ_γ	7	10	14	20	27	36	50

i_γ, i_g, i_c – коэффициенты влияния угла наклона нагрузки, зависящие от соотношения горизонтальной и вертикальной составляющих суммарной нагрузки, вычисляют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} i_\gamma &= \left(1 - \frac{T_{сд}}{N + Bc_I \operatorname{ctg}\varphi_I}\right)^3 \\ i_q &= \left(1 - 0{,}7\frac{T_{сд}}{N + Bc_I \operatorname{ctg}\varphi}\right)^3 \end{aligned}\right\} \qquad (42)$$

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

Где: N, n_g 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

Расчет оснований по деформациям считается удовлетворенным, если среднее давление на грунт $P_{ср}$ (рис. 9) под

подошвой не превышает расчетного давления на основание R, а краевое давление P_{max} не превышает 1,2 R (43, 44).

$$P_{ср} < R, \qquad (43)$$

$$P_{max} < 1{,}2\ R. \qquad (44)$$

В том случае когда эксцентриситет приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы $E < B/6$, краевые давления грунта под подошвой стены определяются по формуле:

$$P_{\substack{max \\ min}} = N/F\ (1 \pm 6\ e/B). \qquad (45)$$

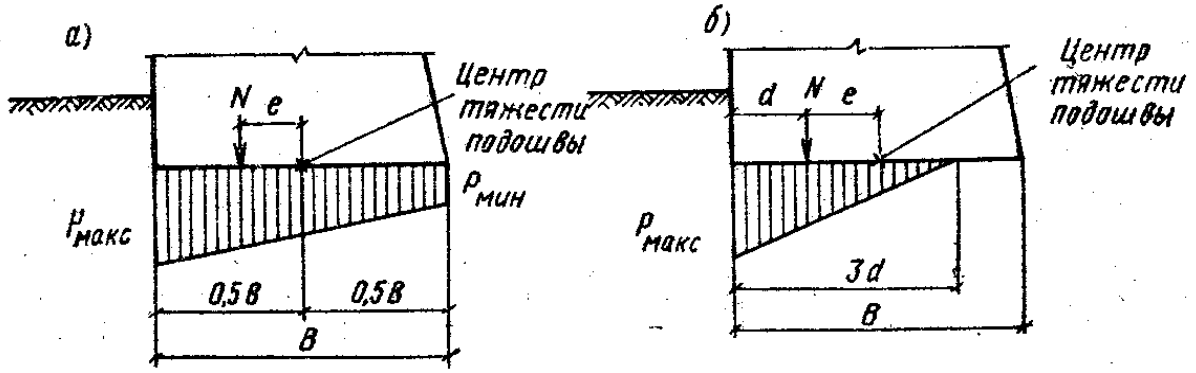

Рис. 9. Схема к определению давлений под подошвой стены: а – при малых эксцентриситетах (е < В/6); б – при больших эксцентриситетах (эпюра данного вида не допускается)

При больших значениях эксцентриситетов давление под подошвой стены вычисляется по формуле

$$Pmax = 2N/3d, \qquad (46)$$

Где: $d = 0{,}5b - e.$
(47)

7. ПРИМЕР РАСЧЕТА УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ КОНСОЛЬНОГО ТИПА

Дано: уголковая подпорная стенка (рис. 10). Высота подпора грунта 4,5 м, глубина заложения подошвы фундамента 1,5 м.

На поверхности призмы обрушения расположена равномерно распределенная нагрузка интенсивностью q = 3 тс/м^2.

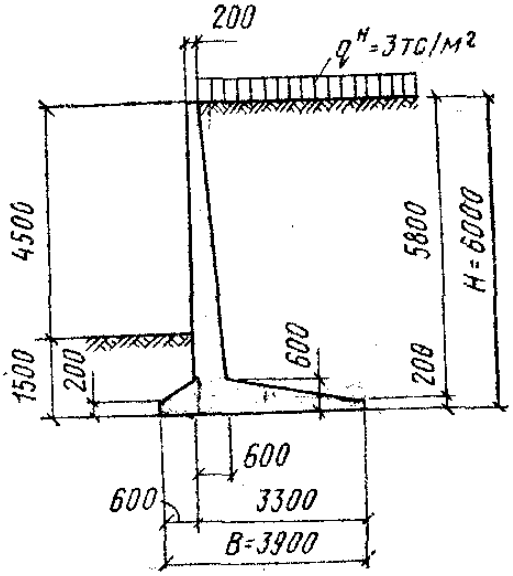

Рис. 10. Общий вид уголковой консольной подпорной стены

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

грунт засыпки

γ'_{I} = 1,7 тс/м^3; γ'_{II} = 1,7 тс/м^3;

φ'_{I} = 26°; φ'_{II} = 27°;

c'_{I} = 0; c'_{II} = 0.

грунт основания

γ_{I} = 1,8 тс/м^3; γ_{II} = 1,8 тс/м^3;

$\varphi_{|} = 29°$; $\varphi_{||} = 30°$;

$c_{|} = 0$; $c_{||} = 0$.

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

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

$k_н = 0,9$ и $\gamma'_{|} = 1,7$ тс/м^3;

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

Общий вес грунта

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

Собственный вес стены с коэффициентом надежности по нагрузке

$$k_н = 0,9 \text{ и } \gamma н = 2,5 \text{ тс/м}^3;$$

$$G_{ст} = P20,9 + P30,9 = 5,4 \cdot 0,9 + 4,2 \cdot 0,9 = 8,64 \text{ тс}.$$

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

$$\lambda_г = 0,39 \ (\delta = \varphi'_{|} = 26°; \quad \varepsilon = \theta_0 = 32°; \quad \rho = 0).$$

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

$$\sigma_г = 1,7 \cdot 1,1 \cdot 6 \cdot 0,39 = 4,38 \text{ тс/м}^2;$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Расчет устойчивости подпорной стены против сдвига производим для трех значений угла β (β1 = 0; β2 = 0,5φ|; β3 = φ|).

1-й случай (β = 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 λп = 1, при коэффициенте надежности по нагрузке kн = 0,9:

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

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

$$N = 8{,}64 + 16{,}28 + 21{,}03 + 13{,}44 = 59{,}39 \text{ тс}.$$

Удерживающую силу Tуд определяем по формуле (33) при φ|′′:

$$T_{уд} = 59{,}39 \text{ tg } (29^\circ - 0^\circ) + 1{,}72 = 33{,}52 \text{ тс}.$$

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 ($\beta_2 = 0{,}5$ φ| = 14°30′)

$$T_{сд} = 21{,}54 \text{ тс}.$$

Коэффициент пассивного давления λп определяют по формуле (36):

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

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

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

Сумму проекций всех расчетных сил на вертикальную плоскость определяем по формуле (34) с учетом грунта в контуре “*def*” с коэффициентом надежности по нагрузке $k_н$ = 0,9 и γ_I = 1,8 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 φ_I = 29°:

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

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 ($\beta_3 = \varphi_I$ = 29°)

$$T_{сд} = 21{,}54 \text{ тс; } \lambda п = 2{,}88;$$

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

$$T_{уд} = Eп = 31 \text{ тс.}$$

Проверяем выполнение условия (31):

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

Устойчивость стены против сдвига обеспечена.

Расчет устойчивости основания (см. рис. 11)

Расчет ведем по первой группе предельных состояний.

Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость ΣPi = 58 тс.

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

$\Sigma P_i L_i = P_1\ 1{,}7 + P_2\ 1{,}13 + P_3\ 0{,}1 + P_4\ 0 - E_в\ 0{,}98 - Eg_в\ 0{,}5 = 1{,}08 \cdot$

$\cdot 1{,}7 + 4{,}86 \cdot 1{,}13 + 3{,}78 \cdot 0{,}1 - 21{,}03 \cdot 0{,}98 - 13{,}44 \cdot 0{,}5 = -19{,}61$ тс · м.

Сумма моментов всех горизонтальных сил относительно той же оси

$\Sigma T_i z_i = E_г 2 + Eq_г 3 = 13{,}44 \cdot 2 + 8{,}4 \cdot 3 = 51{,}48$ тс·м.

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

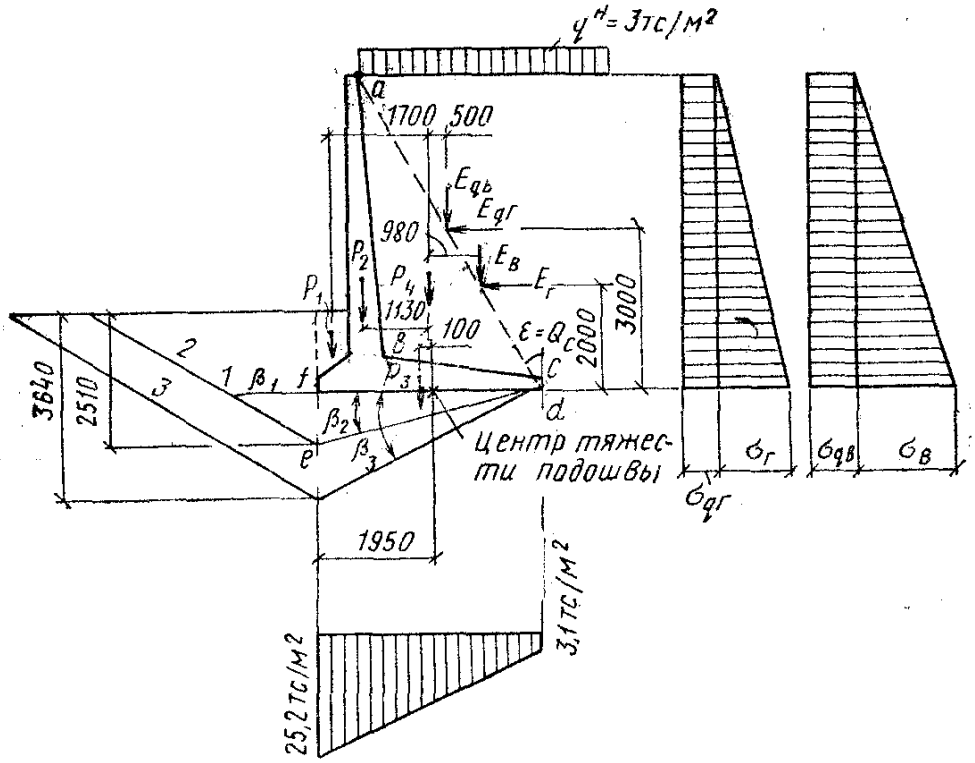

Рис. 11. Расчетная схема к определению общей устойчивости стены: 1– первый случай сдвига; 2– второй случай сдвига; 3 – тртий случай сдвига

$$e = \frac{-19{,}61 + 51{,}48}{58} = 0{,}55 \text{ м.}$$

Приведенная ширина подошвы

$$\bar{e} = B - 2e = 3{,}9 - 2 \cdot 0{,}55 = 2{,}78 \text{ м.}$$

Коэффициенты несущей способности грунта при $\operatorname{tg} \varphi_I = \operatorname{tg} 29^\circ = 0{,}55$ и

$c_I = 0$ по табл. 3 [3]:

$$\lambda\gamma = 7; \quad \lambda q = 16.$$

Коэффициенты влияния угла наклона нагрузки по формулам (42):

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

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

Безразмерные коэффициенты определяются по формулам (41):

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

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

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 (37):

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

Устойчивость подпорной стены обеспечена.

Расчет основания по деформациям (см. рис. 11)

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

Расчетное давление на основание определяем по формуле (17) СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», прил. 24.

$$R = \frac{m_1 m_2}{k}(Ab\ \gamma_{II} + B\ h_{II}\ \gamma'_{II} + D\ c'_{II} - \gamma'_{II}\ hc).$$

По СП 35.13330.2011 при $\varphi_{II} = 30°$

$A = 1{,}15$; $B = 5{,}59$; $D = 7{,}95$.

Остальные характеристики: $k_н = 1{,}0$; $m_1 = 1{,}0$; $m_2 = 1{,}0$; $h_0 = 0$; $h_п = 1{,}5$ м; $b = 4{,}2$ м.

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

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

$\lambda_г = 0{,}38$ ($\delta = \varphi'_{II} = 27°$; $\varepsilon = \theta_0 = 31°30'$; $\rho = 0$).

Угол наклона плоскости обрушения

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

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)

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

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

$$\sigma q_г = 3 \cdot 0{,}38 = 1{,}44 \text{ тс/ м}^2;$$

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

Горизонтальные и вертикальные составляющие активного давления грунта:

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

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

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

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

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

$$N = 9{,}6 + 14{,}6 + 19{,}2 + 11{,}28 = 54{,}68 \text{ тс}.$$

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

$$\Sigma P_i L_i = P11{,}7 + P21{,}13 + P30{,}1 + P40 - E_в 0{,}98 - Eq_в 0{,}5 =$$

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

Сумма моментов всех горизонтальных сил, относительно той же оси

$$\Sigma T_i z_i = E_{г2} + Eq_{г3} = 11{,}62 \cdot 2 = 6{,}84 \cdot 3 = 43{,}76 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

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 (45):

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

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

$$Pmin = 3{,}1\ \text{тс/ м}^2 > 0.$$

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.

Рекомендательый библиографический список:

1. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* М.: Минрегион России, 2012. – 112 с.
2. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.М.: Минрегион Росии, 2012. – 166 с.
3. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 186 с.
4. Емельянов Л. М. Расчет подпорных сооружений: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1987. м^2 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….
3

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНЯ…….....4
   1.1. ЦЕЛЬ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ……5
   1.2. СОСТАВ РАБОТЫ……6
2. ПРИВЕДЕНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ К РАСЧЕТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИК…….....6
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА……..9
4. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНЫ ПРОТИВ СДВИГА……15
5. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ……..18
6. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ…….20
7. ПРИМЕР РАСЧЕТА УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ КОНСОЛЬНОГО ТИПА……...22
8. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ….29

РАСЧЕТ ПОДПОРНЫХ СТЕН

Методические указания к расчетно-графической работе
по дисциплине "Строительство и эксплуатация инженерных сооружений"

Составители:

ВИХРЕВ Александр Владимирович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой доцент А.В. Вихрев

Редактор
Корректор
Компьютерный набор и верстка А.В. Вихрев

.Подписано в печать
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 100 экз.
Заказ
Владимирский государственный университет.
Подразделение оперативной полиграфии
Владимирского государственного университета.
Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии:
600000, Владимир, ул. Горького, 87.

Владимирский государственный университет

Владимир 2020