

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

Кафедра инженерной геологии,
оснований и фундаментов

**ФАКУЛЬТАТИВ
ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ
«Расчет и проектирование
гравитационного
опускного колодца»**

Методические указания
для организации самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство»
всех форм обучения

НОВОСИБИРСК 2019

Методические указания разработаны
канд. техн. наук, зав. кафедрой ИГОФ С.В. Линовским
и ст. преподавателем кафедры ИГОФ Т.А. Якушкиной

Утверждены учебно-методической комиссией
строительного факультета
13 июня 2019 г.

Рецензенты:

- В.С. Молчанов, канд. техн. наук, профессор
кафедры ИГОФ НГАСУ (Сибстрин);
- О.А. Коробова, д-р техн. наук, профессор
кафедры ИГОФ НГАСУ (Сибстрин)

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2019

ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве опускные колодцы имеют широкую сферу применения. Методом опускного колодца выполняются водозаборные сооружения, насосные станции, гаражи, вагоноопрокидыватели, установки непрерывной разливки стали, корпуса дробления горно-обогажительных комбинатов, фундаменты глубокого заложения (для мостов, доменных печей, больших прессов) и т.д. С развитием технического прогресса, появлением новых видов инженерных сооружений, освоением новых районов строительства сфера использования опускных колодцев постоянно расширяется.

При проектировании опускного колодца необходимо учитывать следующие факторы:

- особенности инженерно-геологических условий строительной площадки;
- назначение и конструктивные особенности опускного колодца;
- возможности строительных организаций, выполняющих строительные работы по сооружению и погружению опускного колодца.

В связи с разнообразием инженерно-геологических условий различных строительных площадок, целевым назначением и многообразием способов погружения опускных колодцев, различными техническими возможностями строительных организаций, отдельные этапы проектирования и устройства опускных колодцев выполняются со своими особенностями.

Методические указания разработаны для выполнения студентами расчетной работы применительно к гравитационным опускным монолитным железобетонным колодцам, используемым как самостоятельное инженерное сооружение (инженерное сооружение водопроводно-канализационных сетей) и не рассматривают детально вопросы конструирования и расчетов элементов опускного колодца по нормам проектирования железобетонных конструкций.

Расчетная работа оформляется расчетно-пояснительной запиской, содержащей задание, исходные данные, все необходимые расчеты с пояснениями (текстовые или в табличной форме), расчетные схемы с размерами, ссылки на используемую литературу.

Общая последовательность
выполнения расчетной работы:

1. Анализ инженерно-геологических условий строительной площадки.
2. Назначение конструкций ножевой части опускного колодца.
3. Расчет опускного колодца на погружение (назначение толщины стен опускного колодца).
4. Расчет опускного колодца на разрыв.
5. Расчет стен опускного колодца на изгиб в поперечных сечениях.
6. Расчет ножевой части стен опускного колодца.
7. Расчет подушки и днища опускного колодца.
8. Расчет опускного колодца на всплытие.

Все расчеты выполняются на нагрузки с соответствующим коэффициентом надежности [1, табл. 15.1], который учитывает возможные отклонения нагрузок в неблагоприятную сторону от нормативных значений и устанавливается в зависимости от рассматриваемого фактора.

1 АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

При оценке инженерно-геологических условий на основании имеющихся исходных данных должны быть освещены следующие вопросы:

1. Географическое положение площадки.

2. Геологическая характеристика площадки (расположение и глубина скважин, описание грунтов в порядке их залегания сверху вниз, мощность пластов и особенности их залегания, гидрогеологические условия).

По имеющимся физико-механическим свойствам грунтов следует в соответствии с нормами установить исчерпывающее описание каждого из пластов грунта площадки ([2] или сведения из курса «Механика грунтов»).

Для глинистых (связных) грунтов:

- уточнить наименование грунта по числу пластичности I_p ;
- уточнить наименование грунта по показателю текучести I_L ;
- определить степень водонасыщения по коэффициенту водонасыщения S_r ;
- проверить, могут ли они обладать свойствами просадочности и набухания при их замачивании (при предварительной оценке на просадочность в случае соответствия нормативных критериев следует сделать замечание о том, что результаты прямых испытаний не подтверждают наличие просадочных свойств);

– определить степень сжимаемости грунтов по модулю деформации E .

Для песчаных (несвязных) грунтов:

- определить плотность сложения грунта по коэффициенту пористости e ;
- определить степень водонасыщения по коэффициенту водонасыщения S_r ;
- определить степень сжимаемости грунта по модулю деформации E .

2 НАЗНАЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ НОЖЕВОЙ ЧАСТИ ОПУСКНОГО КОЛОДЦА

Принципиальная схема опускного колодца показана на рис. 1.

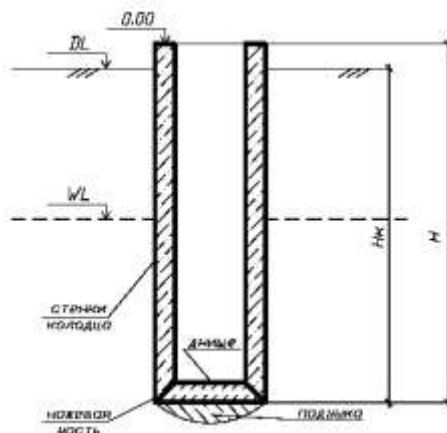


Рис. 1. Разрез опускного колодца

Выбор конструкции ножевой части зависит от метода погружения опускного колодца (с водоотливом или без водоотлива), толщины стен и глубины погружения опускного колодца, расчетного сопротивления прорезаемых грунтов. Конструкции ножевой части стен опускного колодца приведены на рис. 2.

Если опускной колодец погружается с водоотливом (или при отсутствии грунтовых вод), то используют конструкции ножевой части, приведенные на рис. 2а, б. В этом случае подушка не устраивается, а днище опускного колодца устраивается «насухо».

Если опускной колодец погружается без водоотлива (при наличии уровня грунтовых вод), то используются конструкции, изображенные на рис. 2в, г. В данном случае перед устройством днища опускного колодца необходимо выполнить водозащитную подушку методом подводного бетонирования, а после удаления воды из внутренней полости опускного колодца – днище.

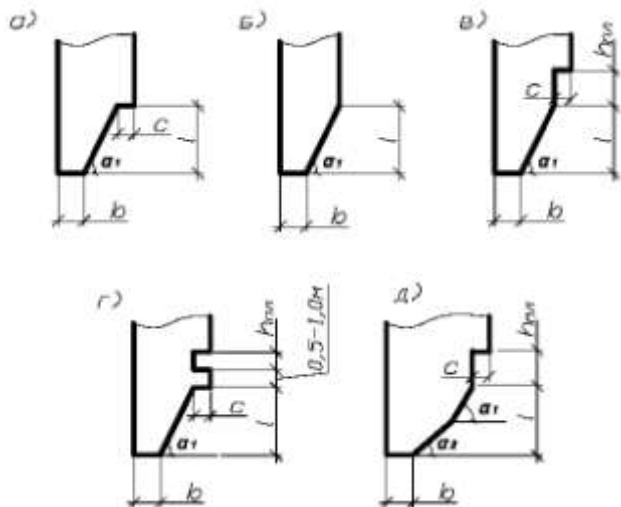


Рис. 2. Схемы поперечного сечения ножа
опускных колодцев

Для всех вышеперечисленных случаев, если толщина стен опускаемого колодца превышает 1,0 м, скошенную часть выполняют двугранной (рис. 2д).

Параметры ножевой части:

b – ширина банкетки, м;

l – высота скошенной части, м;

$h_{пл}$ – толщина плиты дна, м (рис. 2в–д);

c – размер полки для опоры дна, принимается в пределах (0,2 – 0,4) м;

α_1, α_2 – угол наклона внутренней поверхности ножевой части к горизонтали.

Размер b назначается в зависимости от характеристик прорезаемого грунта (R – расчетное сопротивление грунта, принимается по [3, прил. Б]):

если $R \leq 150$ кПа, то $b = 0,6$ м;

если $R \geq 300$ кПа, то $b = 0,1$ м.

Для промежуточных значений R , b определяют интерполяцией.

Угол наклона α_1 тоже зависит от R :

если $R \leq 100$ кПа, то $\alpha_1 = 35^\circ$;

если $R \geq 300$ кПа, то $\alpha_1 = 70^\circ$.

Для промежуточных значений R , α_1 определяют интерполяцией.

Угол наклона α_2 (см. рис. 2д) назначают в интервале от 30 до 45° .

Если опускной колодец прорезает несколько инженерно-геологических элементов (ИГЭ), то при назначении параметров b и α_1 следует ориентироваться на ИГЭ с максимальной прорезаемой толщиной.

Размер l зависит от толщины подушки (если погружение планируется без водоотлива) или толщины днища (если погружение с водоотливом). Толщина подушки (днища) определяется расчетом (по результатам расчета выполняется корректировка ножевой части).

Первоначально, по условиям бетонирования, задаемся минимальным размером $l = 1,0$ м.

Размер $h_{пл}$ определяется после расчета днища (с. 31 настоящих методических указаний).

На данном этапе задаем $h_{пл} = (0,04 - 0,03)d_{вн}$, где $d_{вн}$ – внутренний минимальный размер (для прямоугольных опускных колодцев – ширина, для круглых – диаметр) сечения колодца, м.

3 РАСЧЕТ ОПУСКНОГО КОЛОДЦА НА ПОГРУЖЕНИЕ (НАЗНАЧЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕН ОПУСКНОГО КОЛОДЦА)

Толщина стен монолитного железобетонного опускного колодца назначается из условия создания необходимого веса для преодоления сил трения, возникающих при погружении.

При высоте опускного колодца H_k до 10 м, толщина стен назначается постоянной (не менее $0,25$ м).

При H_k свыше 10 м толщина стен назначается переменной (уменьшение снизу вверх). Ширина уступа составляет $(0,2 - 0,5)$ м.

Высота уступа (яруса бетонирования) зависит от характеристики применяемого кранового оборудования, размера опалубочных щитов, размещения междуэтажных перекрытий.

При выполнении данной расчетной работы рекомендуется первый уступ назначить на высоте 1–2 м от верха ножевой части, а последующие уступы совместить с междуэтажными перекрытиями (в зависимости от высоты этажа или устроить через 3–5 м).

После назначения толщины стен колодца и размеров ножевой части необходимо выполнить расчет на погружение (определить коэффициент погружения $K_{погр}$) по формуле

$$K_{погр} = \frac{G_{см} - B}{T}, \quad (1)$$

где $G_{см}$ – собственный вес стен опускаемого колодца, кН;

B – выталкивающее действие воды, кН:

$$B = \gamma_w \cdot h_w \cdot A, \quad (2)$$

здесь γ_w – удельный вес воды, кН/м³;

h_w – расчетное превышение уровня грунтовых вод над основанием днища колодца (рис. 3), м;

A – площадь поперечного сечения колодца, м².

Если опускаемый колодец погружают с водоотливом (или грунтовые воды отсутствуют), то $B = 0$;

T – сила трения грунта по боковой поверхности стен опускаемого колодца при погружении, кН:

$$T = \gamma_c \cdot u \cdot \sum f_i \cdot h_i, \quad (3)$$

где γ_c – коэффициент условия работы, принимаемый равным 0,7;

u – наружный периметр стен опускаемого колодца, м;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания по боковой поверхности стен опускаемого колодца, кПа, принимаемое по [4, табл. 7.3];

h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью стен опускаемого колодца, м.

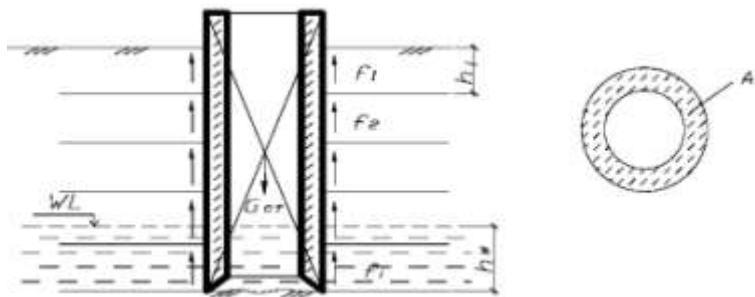


Рис. 3. Схема к расчету опускного колодца на погружение

Коэффициент погружения $K_{погр}$ должен находиться в пределах $1,15 \leq K_{погр} \leq 2,0$.

Если $K_{погр} < 1,15$, то необходимо увеличить вес стен (увеличить толщину стен) или предусмотреть дополнительные мероприятия при погружении опускного колодца (использование тиксотропной «рубашки» для снижения сил трения по боковой поверхности стен опускного колодца, дополнительной пригрузки).

Если $K_{погр} > 2,0$, то необходимо, по возможности, уменьшить вес стен опускного колодца (уменьшить толщину стен).

4 РАСЧЕТ ОПУСКНОГО КОЛОДЦА НА РАЗРЫВ

В практике расчет на разрыв выполняется, как правило, для опускных колодцев с глубиной погружения более 15 м. В данной расчетной работе расчет рекомендуется выполнять при любой глубине погружения опускного колодца, когда колодец находится на проектной отметке, но подушка (если требуется) и днище еще не выполнены. Вертикально направленные растягивающие усилия в стенах опускного колодца могут возникнуть в случае его зависания в результате защемления верхней части колодца грунтом. Тогда нижняя часть опускного колодца, лишенная возможности опирания на грунт (грунт под ножевой ча-

стью разработан), будет стремиться под действием собственного веса оторваться от верхней.

Практикой возведения опускных колодцев установлено, что расчетное сечение $I-I$, где возникают растягивающие усилия, находится на глубине $0,35H$ (рис. 4).

Вертикальные растягивающие усилия в сечении $I-I$ (воспринимает продольная арматура) определяются по формуле

$$\sigma_{I-I} = \frac{G_{cm,h2} - B}{A_s} \leq R_s, \quad (4)$$

где $G_{cm,h2}$ – вес стен колодца (на высоту h_2), кН;

B – взвешивающее действие воды, кН;

A_s – площадь сечения арматуры, м^2 ;

R_s – расчетное сопротивление арматуры, кПа.

Из условия (4) можно определить площадь поперечного сечения продольной арматуры, необходимой для восприятия растягивающего усилия σ_{I-I} :

$$A_s = \frac{G_{cm,h2} - B}{R_s}. \quad (5)$$

Для армирования рекомендуется применять арматуру класса А400 с расчетным сопротивлением арматуры на растяжение $R_s = 365 \text{ МПа}$.

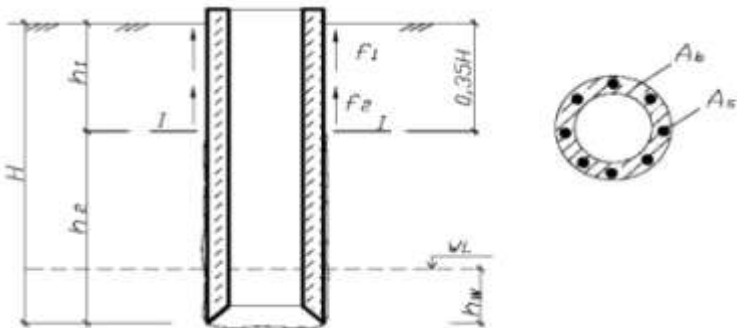


Рис. 4. Схема к расчету опускного колодца на разрыв

5 РАСЧЕТ СТЕН ОПУСКНОГО КОЛОДЦА НА ИЗГИБ В ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ

Расчет стен опускного колодца на изгиб в горизонтальной плоскости выполняется для наиболее невыгодного случая, когда колодец погружен до проектной отметки, но подушка (если требуется) и днище еще не выполнены.

Расчетная нагрузка на стены колодца (рис. 5) включает в себя активное давление грунта (с учетом пригрузки на поверхность грунта рядом со стенами опускного колодца и наклона пластов грунта), гидростатическое давление грунтовых вод, дополнительное давление грунта, вызванное перекосом колодца при его опускании.

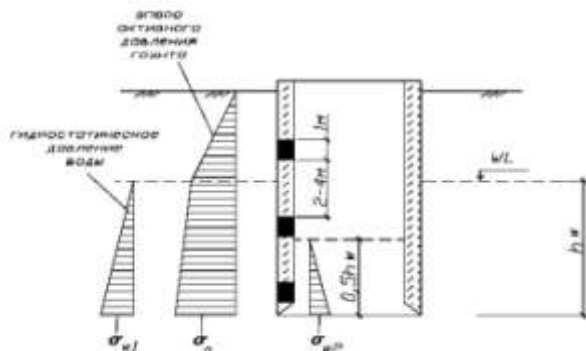


Рис. 5. Схема к расчету стен опускного колодца на изгиб в горизонтальной плоскости

Активное давление грунта, кПа, на стены опускного колодца определяется по формулам

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_I \cdot \sqrt{\lambda_a}; \quad (6)$$

$$\sigma_v = (\gamma_I \cdot h + q); \quad (7)$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I}{2} \right), \quad (8)$$

где σ_v – вертикальное давление грунта, кПа;

λ_a – коэффициент активного давления грунта;
 c_I – удельная сила сцепления грунта, кПа;
 γ_I – удельный вес грунта, кН/м³;
 h – толщина рассматриваемого слоя грунта, м;
 q – пригрузка на поверхность грунта вблизи стен опускного колодца, кПа;
 φ_I – угол внутреннего трения грунта рассматриваемого слоя, град.

В данной расчетной работе величину пригрузки q , которая может возникнуть в связи с расположением вблизи стен опускного колодца механизмов, транспорта, складированием материалов и т.п., следует принимать в виде равномерно-распределенной нагрузки интенсивностью 20–30 кПа.

Гидростатическое давление воды на стенки опускного колодца (см. рис. 5) определяется по формулам

$$\sigma_{w1} = \gamma_w \cdot h_w, \quad (9)$$

$$\sigma_{w2} = 0,5 \cdot \sigma_{w1}, \quad (10)$$

где γ_w – удельный вес воды, кН/м³;

h_w – толщина слоя воды, м.

Для расчета выделяют горизонтальными сечениями отдельные участки стен опускного колодца высотой 1 м.

Первый расчетный участок выделяют непосредственно над ножевой частью стены (см. рис. 5). Условно считают, что этот участок воспринимает также всю нагрузку, действующую по высоте ножевой части. Нагрузку определяют на 1 пог. м горизонтальной проекции выделенного расчетного участка.

Количество последующих расчетных сечений зависит от высоты стен колодца и их конструкции. При высоте стен опускного колодца до 6 м ограничиваются одним расчетным сечением, расположенным непосредственно над ножевой частью.

При высоте стен опускного колодца более 6 м и при их переменной по высоте толщине, стены колодца делят по высоте на отдельные участки через 2–4 м. Если толщина стен опускного колодца переменна по высоте, то границы расчетных участков совмещают с уступами.

Общее распределенное давление на 1 пог. м горизонтальной проекции σ_0 в пределах расчетного участка определяется по формуле

$$\sigma_0 = E_a + E_{w1} - E_{w2}, \quad (11)$$

где E_a – равнодействующая активного давления грунта на стены опускного колодца, кН;

E_{w1} , E_{w2} – равнодействующие давления воды на стены опускного колодца, кН.

В данной работе при постоянной толщине стен допускается принять только два расчетных сечения высотой 1 м:

- сечение 1 непосредственно над ножевой частью стены опускного колодца;
- сечение 2 на глубине $\approx 0,5 H$.

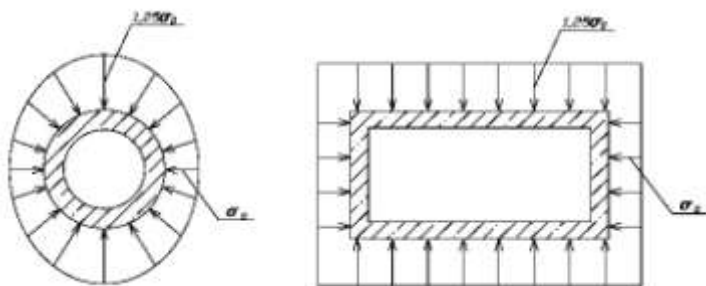


Рис. 6. Схема к расчету стен опускного колодца на изгиб в поперечном сечении

При переменной толщине стен по высоте, второе сечение необходимо совместить с началом первого уступа. Выделенные расчетные участки стены рассчитываются методами строительной механики как замкнутая рама, воспринимающая равномерно-распределенную нагрузку (рис. 6). В реальных условиях погружения опускного колодца давление по периметру расчетных сечений может оказаться неравномерным за счет дополнительных нагрузок (наклон пластов грунтов, неполная однородность грунта в пределах одного слоя, крен колодца и т.д.). Для учета дополнительных нагрузок при определении давления на стены

опускного колодца вводится коэффициент неравномерности (на определенных участках расчетной схемы давление завышают). Коэффициент неравномерности K_n для круглых в плане опускных колодцев равен 1,25; для прямоугольных – 1,15.

После определения давления на стены опускного колодца в поперечном сечении методами строительной механики вычисляются значения внутренних усилий. По найденным значениям расчетных внутренних усилий подбирается поперечная арматура.

Для круглых в плане опускных колодцев изгибающие моменты и соответствующие им нормальные силы в сечениях $a-a$ и $b-b$ (рис. 7) определяются по [5, формулы (6.22)–(6.25)]:

– сечение $a-a$

$$N_a = \sigma_o \cdot r_{\text{вн}} \cdot (1 - 0,7854(K_n - 1)), \quad (12)$$

$$M_a = -0,1488 \cdot \sigma_o \cdot r_{\text{вн}}^2 (K_n - 1); \quad (13)$$

– сечение $b-b$

$$N_b = \sigma \cdot r_{\text{вн}} \cdot (1 + 0,5(K_n - 1)), \quad (14)$$

$$M_b = 0,1366 \cdot \sigma \cdot r_{\text{вн}}^2 (K_n - 1), \quad (15)$$

где $r_{\text{вн}}$ – внутренний радиус опускного колодца, м;

$$\sigma = K_n \cdot \sigma_o, \text{ кПа}. \quad (16)$$

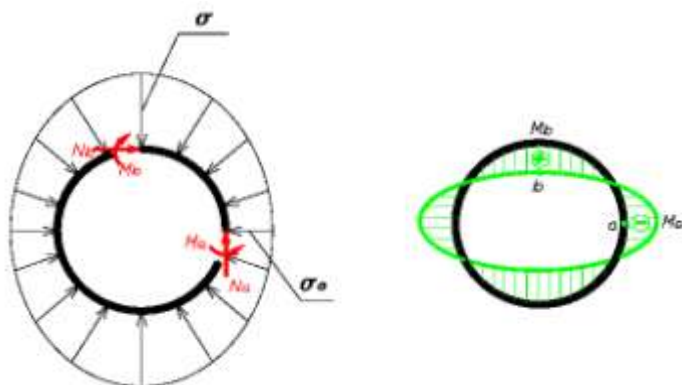


Рис. 7. Распределение давлений грунта и эпюра изгибающих моментов

Пример расчета

Выполнить расчет стен опускного колодца на изгиб в поперечном сечении. Размеры опускного колодца, инженерно-геологический разрез и физико-механические свойства грунтов приведены на рис. 8.

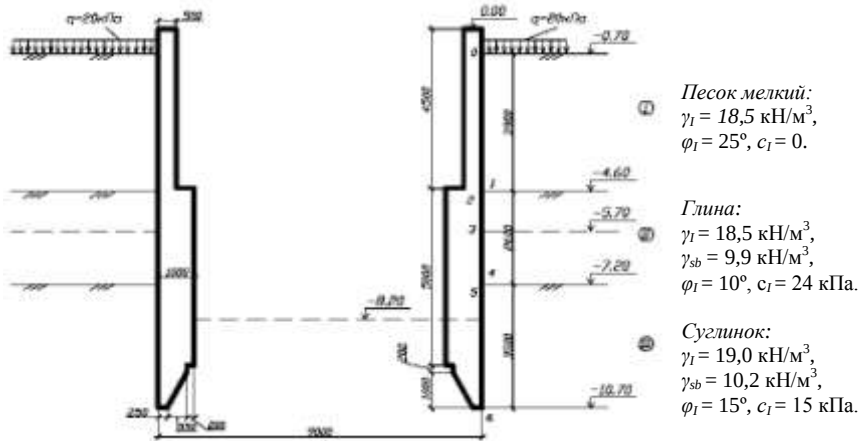


Рис. 8. К примеру расчета опускного колодца

РАСЧЕТ

1. Выделяем характерные грузовые участки по высоте стен опускного колодца, в пределах которых необходимо определить активное давление грунта (см. рис. 8). Границами таких участков являются:

- т. 0 – уровень планировки грунта;
- т. 1 – кровля I слоя грунта (чуть выше границы);
- т. 2 – кровля I слоя грунта (чуть ниже границы);
- т. 3 – уровень грунтовых вод;
- т. 4 – кровля II слоя грунта (чуть выше границы);
- т. 5 – кровля II слоя грунта (чуть ниже границы);
- т. 6 – на отметке $-10,70 \text{ м}$.

2. В выделенных точках определяем величины вертикальных напряжений по формуле (7):

$$\text{т. 0} - \sigma_{v0} = q = 20 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 1} - \sigma_{v1} = \sigma_{v0} + \gamma_I^{1zp} \cdot h_{0-1} = 20 + 18,5 \cdot 3,9 = 92,15 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 2} - \sigma_{v2} = \sigma_{v1} = 92,15 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 3} - \sigma_{v3} = \sigma_{v2} + \gamma_I^{2zp} \cdot h_{2-3} = 92,15 + 19,0 \cdot 1,1 = 113,05 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 4} - \sigma_{v4} = \sigma_{v3} + \gamma_{sb}^{2zp} \cdot h_{3-4} = 113,05 + 9,9 \cdot 1,5 = 127,9 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 5} - \sigma_{v5} = \sigma_{v4} = 127,9 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 6} - \sigma_{v6} = \sigma_{v5} + \gamma_{sb}^{3zp} \cdot h_{5-6} = 127,9 + 10,2 \cdot 3,5 = 163,6 \text{ кПа}.$$

3. В выделенных точках определяем величины активного давления грунта по формулам (6), (8):

$$\text{т. 0} - \lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{1zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{25}{2} \right) = 0,41,$$

$$\sigma_{a0} = \sigma_{v0} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_I^{1zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = 20 \cdot 0,41 - 0 = 8,2 \text{ кПа};$$

$$\text{т. 1} - \lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{1zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{25}{2} \right) = 0,41,$$

$$\sigma_{a1} = \sigma_{v1} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_I^{1zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = 92,15 \cdot 0,41 - 0 = 37,8 \text{ кПа};$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{2zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{10}{2} \right) = 0,7,$$

$$\begin{aligned} \text{т. 2} - \sigma_{a2} &= \sigma_{v2} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_I^{2zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = \\ &= 92,15 \cdot 0,7 - 2 \cdot 24 \cdot \sqrt{0,7} = 24,35 \text{ кПа}; \end{aligned}$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{2zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{10}{2} \right) = 0,7,$$

$$\begin{aligned} \text{т. 3} - \sigma_{a3} &= \sigma_{v3} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_I^{2zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = \\ &= 113,05 \cdot 0,7 - 2 \cdot 24 \cdot \sqrt{0,7} = 39,0 \text{ кПа}; \end{aligned}$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{2zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{10}{2} \right) = 0,7,$$

$$\begin{aligned} \text{т. 4} - \quad \sigma_{a4} &= \sigma_{v4} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_i^{2zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = \\ &= 127,9 \cdot 0,7 - 2 \cdot 24 \cdot \sqrt{0,7} = 49,4 \text{ кПа}; \end{aligned}$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{3zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{15}{2} \right) = 0,6,$$

$$\begin{aligned} \text{т. 5} - \quad \sigma_{a5} &= \sigma_{v5} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_i^{3zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = \\ &= 127,9 \cdot 0,6 - 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0,6} = 52,4 \text{ кПа}; \end{aligned}$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I^{3zp}}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{15}{2} \right) = 0,6,$$

$$\begin{aligned} \text{т. 6} - \quad \sigma_{a6} &= \sigma_{v6} \cdot \lambda_a - 2 \cdot c_i^{3zp} \cdot \sqrt{\lambda_a} = \\ &= 163,6 \cdot 0,6 - 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0,6} = 73,4 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

4. Определяем гидростатическое давление воды на стены опускного колодца по формулам (9), (10):

$$\text{т. 3} - \quad \sigma_{w1} = \gamma_w \cdot h_w = 0;$$

$$\begin{aligned} \text{т. 6} - \quad \sigma_{w1} &= \gamma_w \cdot h_w = 10 \cdot 5,0 = 50 \text{ кПа}, \\ \sigma_{w2} &= 0,5 \cdot \sigma_{w1} = 0,5 \cdot 50 = 25 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

5. По полученным данным строим эпюры активного давления грунта и гидростатического давления воды (рис. 9).

6. Назначаем расчетные сечения по высоте стен опускного колодца согласно рекомендациям на с. 10–13 настоящих методических указаний. Второй участок назначаем на глубине $\approx 0,5 H_k$: $10,7/2 = 5,35$ м. Так как стены переменного сечения, то границу второго участка совмещаем с началом уступа (см. рис. 9).

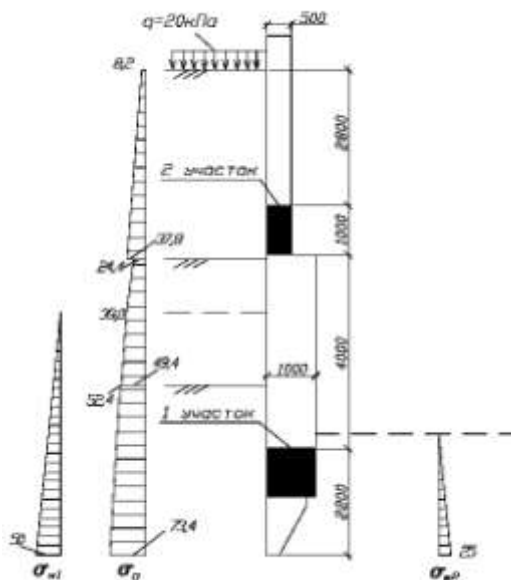


Рис. 9. Эпюры давлений на стены опускного колодца

7. Определяем общие давления на расчетные участки.

При определении равнодействующих активного давления грунта и гидростатического давления воды необходимо учитывать только участок эпюры, действующий на расчетное сечение (рис. 10, 11, учитываемые участки эпюр выделены синим цветом). Для удобства вычислений трапециевидальные эпюры представляются комбинацией простых фигур: прямоугольника и треугольника. Величина равнодействующей равна объему соответствующей эпюры.

Рассмотрим первый расчетный участок (над ножевой частью, см. рис. 10).

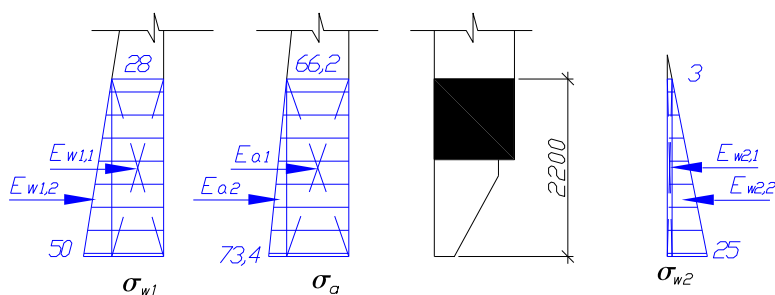


Рис. 10. Эпюры давлений и равнодействующие, действующие на первый расчетный участок

$$E_{a1} = 66,2 \cdot 2,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 145,6 \text{ кН},$$

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \cdot 7,2 \cdot 2,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 7,9 \text{ кН};$$

$$E_{w1,1} = 28,0 \cdot 2,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 61,6 \text{ кН},$$

$$E_{w1,2} = \frac{1}{2} \cdot 22,0 \cdot 2,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 24,2 \text{ кН},$$

$$E_{w2,1} = 3,0 \cdot 2,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 6,6 \text{ кН},$$

$$E_{w1,2} = \frac{1}{2} \cdot 22,0 \cdot 2,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 24,2 \text{ кН};$$

$$\sigma_0 = E_{a1} + E_{a2} + E_{w1,1} + E_{w1,2} - E_{w2,1} - E_{w2,1} = 208,5 \text{ кН}.$$

Далее, от полученных общих давлений σ_0 , действующих на первый расчетный участок, определяем внутренние усилия в сечениях $a-a$, $b-b$ (см. рис. 7) по формулам (12)–(15).

Рассмотрим второй расчетный участок (рис. 11).

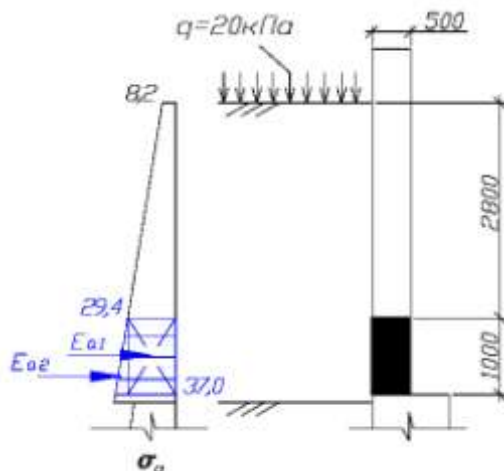


Рис. 11. Эпюры давлений и равнодействующие, действующие на второй расчетный участок

$$E_{a1} = 29,4 \cdot 1,0 \cdot 1 \text{ пог. м} = 29,4 \text{ кН},$$

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \cdot 7,6 \cdot 1,0 \cdot 1 \text{ пог. м} = 3,8 \text{ кН}.$$

$$\sigma_0 = E_{a1} + E_{a2} = 33,2 \text{ кН}.$$

От полученных общих давлений σ_0 , действующих на второй расчетный участок, определяем внутренние усилия в сечениях $a-a$, $b-b$ (см. рис. 7) по формулам (12)–(15).

6 РАСЧЕТ НОЖЕВОЙ ЧАСТИ СТЕН ОПУСКНОГО КОЛОДЦА

Ножевая часть стен является ответственным режущим конструктивным элементом опускного колодца, воспринимающим нагрузки в процессе опускания и значительные горизонтальные усилия.

В силу специфических условий работы ножевую часть стен опускного колодца рассчитывают применительно к трем строительным случаям на 1 пог. м длины периметра колодца.

Первый строительный случай: на поверхность грунта (в выемке) установлена головная секция (рис. 12).

Ножевую часть рассчитывают на действие вертикальных и горизонтальных составляющих реактивного давления грунта (P_{zp} , кН):

$$P_{zp} = \frac{P_{cm}}{b + 0,5 \cdot c}, \quad (17)$$

$$P_{cm} = H_{zc} \cdot t \cdot \gamma_{жс/б}; \quad (18)$$

$$V_1 = b \cdot P_{zp}; \quad (19)$$

$$V_2 = \frac{1}{2} \cdot c \cdot P_{zp}, \quad (20)$$

где P_{cm} – нагрузка от веса стен головной секции в расчете на 1 пог. м периметра опускного колодца, кН;

H_{zc} – высота головной секции (первого яруса), м;

b – ширина банкетки, м;

c – горизонтальная проекция наклонной части ножа, м;

V_1, V_2 – вертикальные составляющие реактивного давления грунта, кН (см. рис. 12).

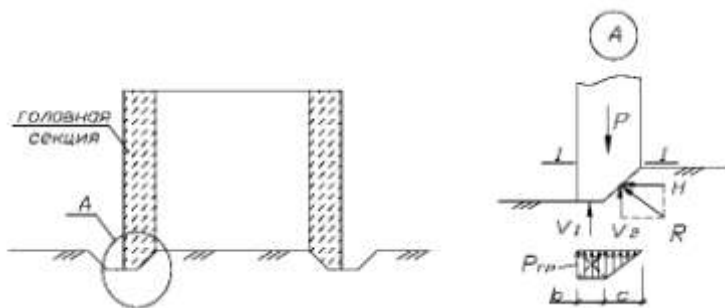


Рис. 12. Схема к расчету ножевой части опускного колодца (первый строительный случай)

Горизонтальную составляющую реактивного давления грунта H , кН, определяют по формуле

$$H = V_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 - \varphi_1), \quad (21)$$

где α_1 – угол наклона внутренней поверхности ножевой части к горизонтали;

φ_1 – угол внутреннего трения грунта на контакте с наклонной поверхностью ножа.

При значительной толщине стен опускного колодца (наклонная часть ножевой части принимается двугранной, см. рис. 2д) распределение напряжений на ломаной грани показано на рис. 13. Горизонтальные составляющие давлений H_1 и H_2 определяются по формулам:

$$H_1 = V_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2 - \varphi_1), \quad (22)$$

$$H_2 = V_3 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 - \varphi_1). \quad (23)$$

а вертикальные составляющие V_1 , V_2 , V_3 соответствуют объему эпюр вертикальных давлений на 1 пог. м длины периметра опускного колодца (точки приложения – центры тяжести этих фигур). Для удобства вычислений трапецидальные эпюры представляются комбинацией простых фигур (например, прямоугольной и треугольной или двух треугольных).

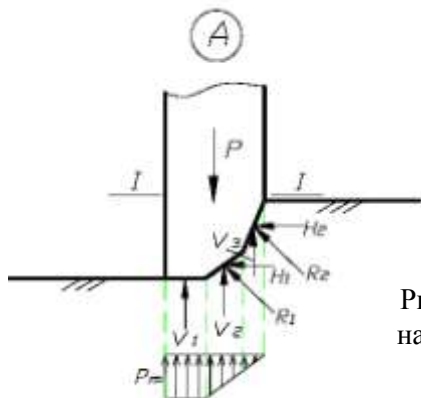


Рис. 13. Схема распределения напряжений на ножевой части

От действия полученных давлений (нагрузок) в сечении $I - I$ (см. рис. 12) определяются внутренние усилия (относительно

центра поперечного сечения стены) M , Q , N . При наличии штрабы в ножевой части (см. рис. 2з) расчетное сечение принимается на уровне верха штрабы.

Второй строительный случай: опускной колодец погружен до половины проектной отметки, возведена следующая секция (ярус) и нож от ее веса врезался в грунт на 1 м (рис. 14).

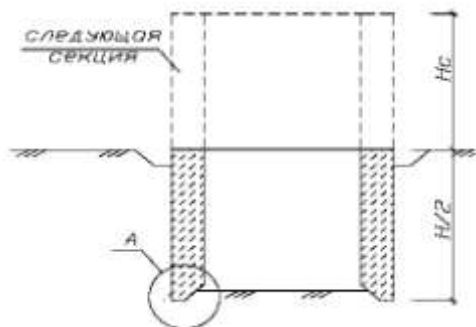


Рис. 14. Схема к расчету ножевой части опускного колодца (второй строительный случай)

Распределение напряжений на стены и ножевую часть опускного колодца показано на рис. 15.

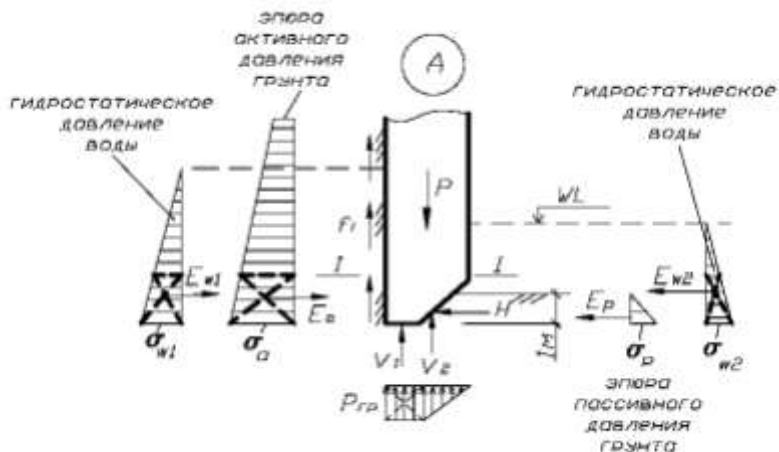


Рис. 15. Схема распределения напряжений (второй строительный случай)

Горизонтальные и вертикальные составляющие реактивного давления грунта определяются аналогично первому случаю: активное давление грунта и давление воды – по формулам (6) – (10); сила трения – по формуле (3). Все усилия определяются с учетом размеров опускного колодца для данного строительного случая.

При наличии грунтовых вод (если погружение осуществляется без водоотлива) необходимо учитывать выталкивающее действие воды (см. формулу (2)).

Реактивное давление грунта для второго строительного случая определяется по формулам:

$$P_{cm}^2 = P_{cm} + H_c \cdot t \cdot \gamma_{жс/б}; \quad (24)$$

$$P'_{cm} = P_{cm}^2 - T \cdot \gamma_f - B; \quad (25)$$

$$P_{cp} = \frac{P'_{cm}}{b + 0,5 \cdot c}. \quad (26)$$

Силы трения грунта T и выталкивающее действие воды B определяются на 1 пог. м длины периметра колодца.

Пассивное давление грунта определяется по формуле

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \lambda_p, \quad (27)$$

$$\text{где} \quad \sigma_v = (\gamma_I \cdot h + q); \quad (28)$$

γ_I – удельный вес грунта, кН/м³;

h – толщина рассматриваемого слоя грунта, м;

q – пригрузка на поверхности грунта вблизи стен опускного колодца, кПа;

λ_p – коэффициент пассивного давления грунта,

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_I}{2} \right), \quad (29)$$

φ_I – угол внутреннего трения грунта рассматриваемого слоя, град.

От действия на нож давлений (равнодействующие прикладываются в центре тяжести соответствующих эпюр) в сечении $I-I$ (см. рис. 15) определяются внутренние усилия M , Q , N (относительно центра поперечного сечения стены).

При определении M , Q , N коэффициент надежности по нагрузке γ_f для сил трения принимать равным 0,9; а для активного давления – 0,7.

Третий строительный случай: опускной колодец погружен до проектной отметки, грунт из-под ножа в пределах зон опирания убран, подушка и днище еще не устроены (рис. 16).

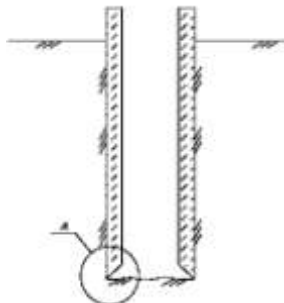


Рис. 16. Схема к расчету ножевой части опускного колодца (третий строительный случай)

Распределения напряжений на стены опускного колодца показаны на рис. 17. Все усилия определяются с учетом размеров опускного колодца для данного строительного случая.

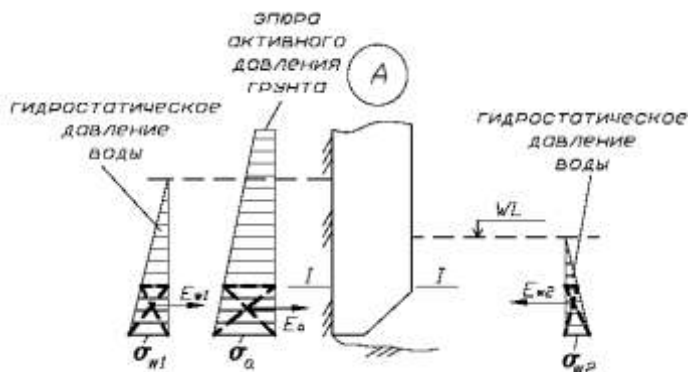


Рис. 17. Схема распределения напряжений (третий строительный случай)

Аналогично второму случаю определяем в сечении I–I внутренние усилия M , Q , N (относительно центра поперечного сечения стены) от действия на нож напряжений (см. рис. 17).

После расчета ножевой части опускного колодца применительно ко всем трем строительным случаям получают три комбинации нагрузок M , Q , N . В дальнейшем, при конструктивном расчете, из этих нагрузок выбирается наиболее невыгодное сочетание, по которому и выполняется армирование ножевой части опускного колодца.

Например, площадь поперечной арматуры ножевой части колодца можно определить по формуле

$$A_s = \frac{M_{\max}}{0,9 \cdot h_0 \cdot R_s}, \quad (30)$$

где h_0 – рабочая высота сечения, м,

$$h_0 = t - a, \quad (31)$$

a – защитный слой арматуры, м;

R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению, МПа.

В данной расчетной работе следует принимать $R_s = 365$ МПа (для арматуры класса А400), $a = 30$ мм.

Пример расчета

Выполнить расчет ножевой части опускного колодца. Размеры опускного колодца, инженерно-геологический разрез и физико-механические свойства грунтов приведены на рис. 8.

РАСЧЕТ

Первый строительный случай

1. Определяем реактивное давление грунта на ножевую часть (формулы (17), (18)).

$$P_{ct} = H_{zc} \cdot t \cdot \gamma_{ж/б} = (5,0 + 1,2) \cdot 1,0 \cdot 25 = 155 \text{ кН/пог. м};$$

$$P_{zp} = \frac{155}{0,25 + 0,5 \cdot 0,55} = 295 \text{ кПа.}$$

2. Строим эпюру реактивного давления грунта (рис. 18) и определяем вертикальные и горизонтальные составляющие давления (формулы (19)–(21)).

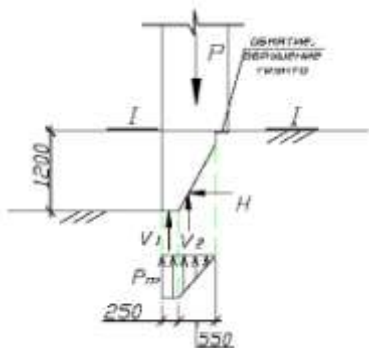


Рис. 18. К примеру расчета
ножевой части
(первый строительный случай)

$$V_1 = 0,25 \cdot 295 \cdot 1 \text{ пог. м} = 73,8 \text{ кН},$$

$$V_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 155 \cdot 1 \text{ пог. м} = 81,1 \text{ кН},$$

$$H = 81,1 \cdot \text{tg}(61 - 25) = 59,2 \text{ кН}.$$

3. Определяем внутренние усилия относительно центра поперечного сечения стены M_{I-I} , Q_{I-I} , N_{I-I} по правилам строительной механики:

$$N_{I-I} = 73,4 + 81,1 = 154,4 \text{ кН},$$

$$Q_{I-I} = 59,2 \text{ кН},$$

$$M_{I-I} = 73,8 \cdot 0,375 + 81,1 \cdot 0,067 + 59,2 \cdot 0,33 = 33,11 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Второй строительный случай

1. Определяем реактивное давление грунта на ножевую часть (формулы (17), (18)).

$$P_{ct}^2 = 155 + 4,5 \cdot 0,5 \cdot 25 = 211,25 \text{ кН/пог. м},$$

$$P'_{ct} = 211,25 - 0,9 \cdot 154,55 - 3,5 = 68,7 \text{ кН/пог. м},$$

$$P_{cp} = \frac{68,7}{0,25 + 0,5 \cdot 0,55} = 130,9 \text{ кПа}.$$

2. Определяем величины активного и пассивного давления грунта и давления воды.

Характерные точки, величины значений активного давления грунта принимаем из предыдущего расчета с учетом погружения опускного колодца в грунт на глубину $0,5H = 5,35$ м (рис. 19).

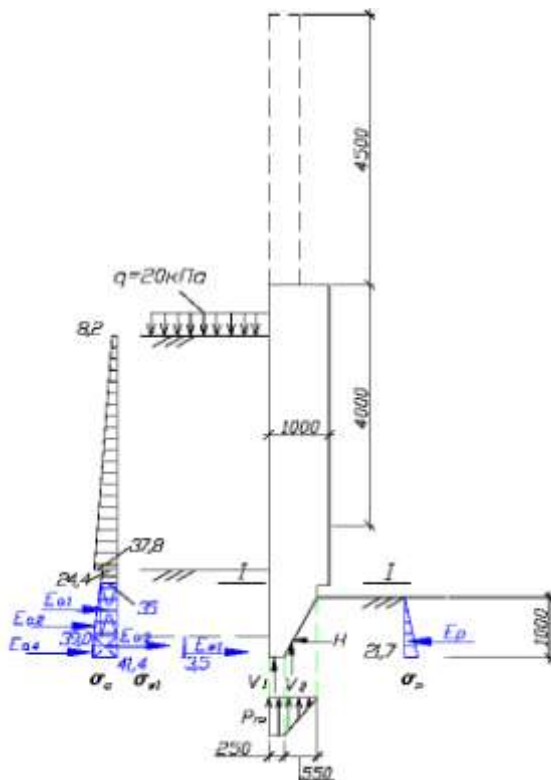


Рис. 19. К примеру расчета ножевой части (второй строительный случай)

Величину пассивного давления грунта определяем по формулам (27)–(29):

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{10}{2} \right) = 1,42,$$

$$\sigma_p = \left(\frac{18,5 \cdot 0,825 + 9,9 \cdot 0,175}{1,0} \right) \cdot 1,42 = 21,7 \text{ кПа}.$$

Значение гидростатического давления воды определяем по формуле (9):

$$\sigma_{w1} = \gamma_w \cdot h_w = 10 \cdot 0,35 = 3,5 \text{ кПа}.$$

3. По полученным данным строим эпюры реактивного и активного давления грунта, гидростатического давления воды (см. рис. 19).

4. Определяем равнодействующие активного и пассивного давления грунта, гидростатического давления воды, реактивного давления грунта (рис. 19):

$$E_{a1} = 35 \cdot 0,85 \cdot 1 \text{ пог. м} = 29,75 \text{ кН},$$

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0,85 \cdot 1 \text{ пог. м} = 1,7 \text{ кН},$$

$$E_{a3} = 39 \cdot 0,35 \cdot 1 \text{ пог. м} = 13,65 \text{ кН},$$

$$E_{a4} = \frac{1}{2} \cdot 2,4 \cdot 0,35 \cdot 1 \text{ пог. м} = 0,42 \text{ кН},$$

$$E_{w1} = \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot 0,35 \cdot 1 \text{ пог. м} = 0,61 \text{ кН},$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot 21,7 \cdot 1,0 \cdot 1 \text{ пог. м} = 10,85 \text{ кН},$$

$$V_1 = 0,25 \cdot 130,95 \cdot 1 \text{ пог. м} = 32,7 \text{ кН},$$

$$V_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 130,9 \cdot 1 \text{ пог. м} = 36,0 \text{ кН},$$

$$H = 36,0 \cdot \text{tg}(61 - 10) = 44,28 \text{ кН}.$$

5. Определяем внутренние усилия относительно центра поперечного сечения стены M_{I-I} , Q_{I-I} , N_{I-I} по правилам строительной механики:

$$N_{I-I} = 32,7 + 36 = 68,7 \text{ кН},$$

$$\begin{aligned} Q_{I-I} &= 13,65 + 0,42 + 0,61 + 29,75 + 1,7 - 44,28 - 10,85 = \\ &= 14,38 \text{ кН}, \end{aligned}$$

$$M_{I-I} = -32,7 \cdot 0,375 - 36,0 \cdot 0,067 - 44,28 \cdot 0,33 - 10,85 \cdot 0,33 + 13,65 \cdot 0,175 + 0,42 \cdot 0,12 + 29,75 \cdot 0,775 + 11,7 \cdot 0,63 = 15,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Третий строительный случай

Величины активного давления грунта, гидростатического давления воды были определены ранее (см. пример расчета на изгиб в поперечном сечении, рис. 9, 10).

Равнодействующую давлений определяем на высоту ножа (от низа ножа до расчетного сечения, рис. 20):

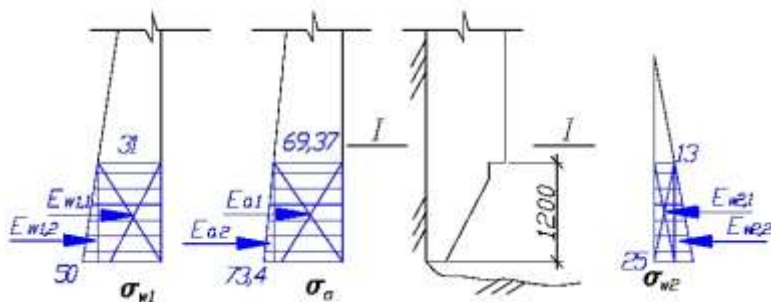


Рис. 20. К примеру расчета ножевой части
(3-й строительный случай)

$$E_{a1} = 69,47 \cdot 1,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 83,36 \text{ кН},$$

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \cdot 3,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 2,22 \text{ кН},$$

$$E_{w1,1} = 38 \cdot 1,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 45,6 \text{ кН},$$

$$E_{w1,2} = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 1,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 7,2 \text{ кН},$$

$$E_{w2,1} = 13 \cdot 1,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 15,6 \text{ кН},$$

$$E_{w2,2} = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 1,2 \cdot 1 \text{ пог. м} = 7,2 \text{ кН},$$

$$N_{I-I} = 0 \text{ кН},$$

$$Q_{I-I} = 83,36 + 2,22 + 45,6 + 7,2 - 15,6 - 7,2 = 115,58 \text{ кН},$$

$$M_{I-I} = -15,6 \cdot 0,6 - 7,2 \cdot 0,4 + 83,36 \cdot 0,6 + 2,22 \cdot 0,4 + 45,6 \cdot 0,6 + 7,2 \cdot 0,4 = 68,9 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Далее, выбираем наиболее невыгодное сочетание нагрузок и выполняем прочностной расчет.

В данной работе рекомендуется выбрать максимальное значение момента, а площадь поперечной арматуры рассчитывать по формуле (30).

Определяем реактивное давление грунта и его составляющие при наклонной двугранной части ножа (рис. 21):

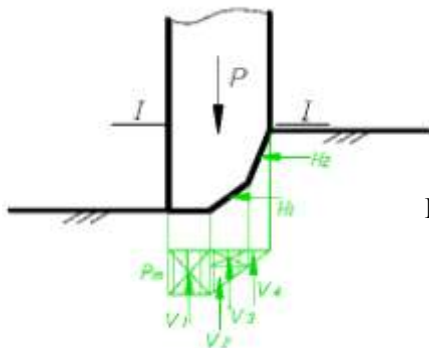


Рис. 21. Схема распределения напряжений на ножевую часть

$$P_{cm} = H_{zc} \cdot t \cdot \gamma_{ж/б} = (5,0 + 1,2) \cdot 1,5 \cdot 25 = 232,5 \text{ кН/пог. м},$$

$$P_{zp} = \frac{232,5}{0,25 + 0,5 \cdot (0,55 + 0,5)} = 300 \text{ кПа}.$$

$$V_1 = 0,25 \cdot 300 \cdot 1 \text{ пог. м} = 75,0 \text{ кН},$$

$$V_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,55 \cdot 157 \cdot 1 \text{ пог. м} = 43,2 \text{ кН},$$

$$V_3 = 0,55 \cdot 143 \cdot 1 \text{ пог. м} = 78,7 \text{ кН},$$

$$V_4 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 143 \cdot 1 \text{ пог. м} = 35,8 \text{ кН},$$

$$H_1 = (43,2 + 78,7) \cdot \text{tg}(36 - 25) = 23,2 \text{ кН},$$

$$H_2 = 35,8 \cdot \text{tg}(50 - 25) = 16,8 \text{ кН}.$$

Далее расчет выполняется аналогично приведенному выше (с. 25–30 настоящих методических указаний).

7 РАСЧЕТ ПОДУШКИ И ДНИЩА ОПУСКНОГО КОЛОДЦА

Устройство подушки и днища опускного колодца зависит от случаев погружения опускного колодца.

Если опускной колодец погружается *без водоотлива* (при наличии грунтовых вод), то после его «посадки» на проектную отметку методом подводного бетонирования выполняется подушка. После набора бетоном подушки проектной прочности производят откачку воды из колодца и выполняют днище «насухо».

При погружении опускного колодца *с водоотливом* (при отсутствии грунтовых вод) подушка не устраивается, а днище устраивается по грунтовому основанию (по щебеночной подготовке).

Расчет подушки и днища ведется по схеме перевернутой балки (см. рис. 23), шарнирно опертой по контуру и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью

$$q_{под} = \frac{G_{ст} - 0,5 \cdot T}{A}; \quad (32)$$

$$q_{дн} = \frac{G_{ст} + G_{экс} - 0,5 \cdot T}{A}, \quad (33)$$

где $q_{под}$, $q_{дн}$ – интенсивность нагрузки на подушку или днище соответственно (реакция грунтового основания), кПа;

$G_{ст}$ – собственный вес стен опускного колодца, кН;

T – сила трения грунта по боковой поверхности стен опускного колодца при погружении, кН;

A – площадь днища (подушки), м²;

$G_{экс}$ – величина эксплуатационной нагрузки, включающей в себя нагрузки от надземных конструкций, опирающихся на колодец ($F_{над}$), вес технологического оборудования, размещенного как в надземной части, так и в самом опускном колодце, вес перекрытий в опускном колодце ($G_{перек}$), кН:

$$G_{экс} = F_{над} + G_{перек}. \quad (34)$$

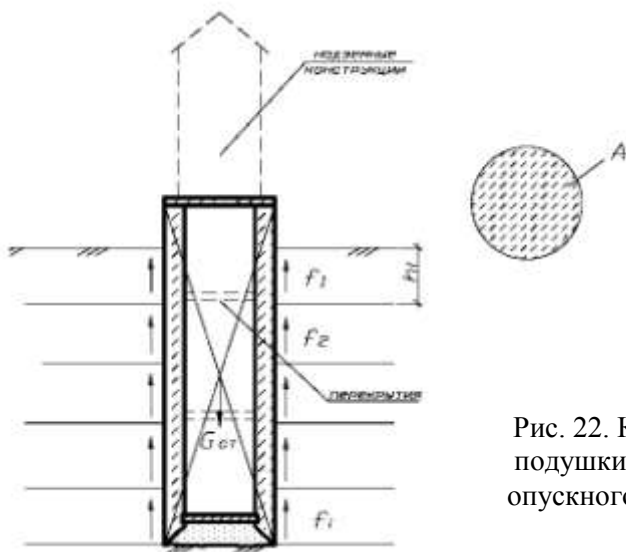


Рис. 22. К расчету подушки и дна опускного колодца

В настоящих методических указаниях $F_{над}$ с учетом оборудования, размещенного в надземной части, принимается равной 20 000 кН, а нагрузка $G_{перек}$ определяется для исходных данных заданного варианта (высоту плиты перекрытия принять 220 мм, удельный вес – 25 кН/м³).

Далее определяется изгибающий момент по правилам строительной механики (рис. 23) и назначается толщина подушки и дна по формуле

$$h_{под(дн)} = \sqrt{\frac{M_{max}}{R_{bt} \cdot b}}, \quad (35)$$

где $h_{под(дн)}$ – толщина подушки (дна) соответственно, м;

M_{max} – максимальный изгибающий момент, кН·м:

$$M_{max} = \frac{q_n(q_{дн}) \cdot l^2}{8}; \quad (36)$$

b – расчетная ширина, принимается равной 1 пог. м;

R_{bt} – расчетное сопротивление бетона на растяжение, принимается по [6, табл. 6.8].

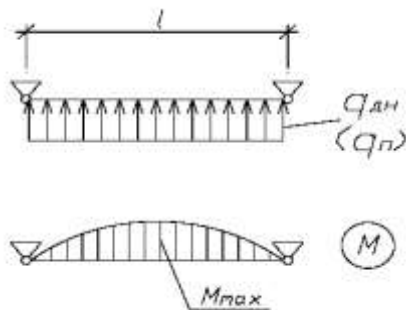


Рис. 23. Распределение нагрузки на подушку (днище) и эпюра изгибающих моментов

Для подушки принимаем бетон класса В15, для днища – В30.

После определения фактической толщины подушки и днища необходимо выполнить корректировку размеров ножевой части опускного колодца l и $h_{пл}$, назначенных ранее предварительно (с. 4–6 настоящих методических указаний).

8 РАСЧЕТ ОПУСКНОГО КОЛОДЦА НА ВСПЛЫТИЕ

Большинство опускных колодцев располагается ниже уровня грунтовых вод, подвергаясь взвешивающему действию воды. Потеря устойчивости колодца в результате его всплытия является аварийной ситуацией. Поэтому необходима проверка устойчивости опускного колодца против всплытия.

Вероятность всплытия возникает в момент, когда выполнена подушка и из внутренней полости опускного колодца откачана вода (взвешивающее действие воды на опускной колодец достигает значительной величины). Этот строительный момент принимается при проверке устойчивости по формуле

$$K_{всп} = \frac{G_{см} + G_{под} + 0,5 \cdot T}{B} \geq 1,25, \quad (37)$$

где $K_{всп}$ – коэффициент всплытия;
 $G_{ст}$ – собственный вес стен опускного колодца, кН;
 $G_{под}$ – собственный вес подушки, кН;
 T – сила трения грунта по боковой поверхности стен опускного колодца при всплытии, кН, определяется по формуле (3) настоящих методических указаний;
 B – выталкивающее действие воды, кН, определяется по формуле (3) настоящих методических указаний.

Общая расчетная схема показана на рис. 24.

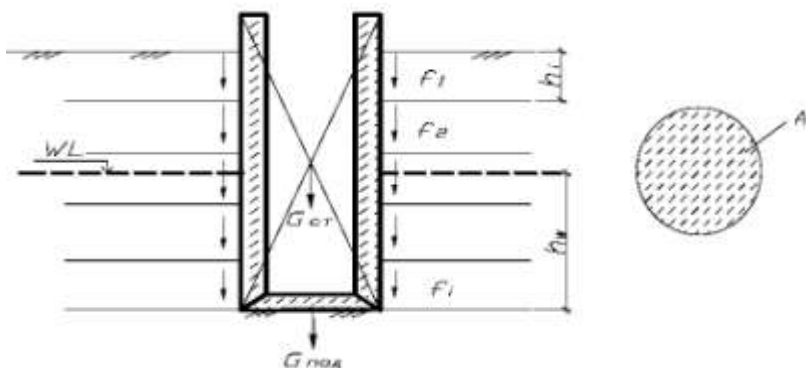


Рис. 24. Схема расчета опускного колодца на всплытие

Если условие (37) не выполняется, при проектировании гравитационных колодцев увеличивают собственный вес стен, толщину подушки и днища, а также могут предусмотреть конструктивные мероприятия против всплытия опускного колодца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов [и др.] ; под общ. ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. – Курган, 2007. – 480 с.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация : взамен ГОСТ 25100-95 : введ. 2012-07-12. – Москва : МНТКС, 2012. – 62 с. – Гр. Ж 39.
3. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83* : введ. 2017-06-17. – Москва : Минстрой России, 2016. – 220 с.
4. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты : актуализированная ред. СНиП 2.02.03-85 : введ. 2011-05-20. – Москва : Минрегион России, 2010. – 85 с.
5. Основания и фундаменты : справочник / Г. И. Швецов, И. В. Носков, А. Д. Слободян, Г. С. Госькова ; под ред. Г. И. Швецова. – Москва : Высшая школа, 1991. – 383 с.
6. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения : актуализированная ред. СНиП 52-01-2003 : введ. 2013-01-01. – Москва : Минрегион России, 2012. – 152 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Показатели физико-механических свойств грунтов

№ п/п	Наименование грунта	$\rho_{\text{с}}$ т/м ³	$\rho_{\text{в}}$ т/м ³	$\rho_{\text{п}}$ т/м ³	W, %	W _p , %	W _L , %	$\phi_{\text{в}}$ град.	$\phi_{\text{п}}$ град.	c _в кПа	c _п кПа	E, МПа
1	Песок крупный	2,65	1,93	2,03	10,3	—	—	34	38	0	1	28,0
2	Песок крупный	2,65	2,07	2,17	20,0	—	—	36	40	0	1	32,0
3	Песок средней крупности	2,67	2,05	2,15	22,5	—	—	32	35	0	2	30,0
4	Песок средней крупности	2,65	2,03	2,13	18,0	—	—	33	36	0	1	35,0
5	Песок средней крупности	2,64	1,80	1,89	3,1	—	—	34	38	0	1,5	21,0
6	Песок мелкий	2,65	1,88	1,97	8,0	—	—	34	38	2	3	24,0
7	Песок мелкий	2,67	1,77	1,86	7,0	—	—	29	32	2	3	15,0
8	Песок мелкий	2,63	1,97	2,07	22,5	—	—	29	32	1	2	22,0
9	Песок мелкий	2,67	1,98	2,08	26,2	—	—	27	30	3	4	20,0
10	Песок пылеватый	2,65	2,00	2,10	24,9	—	—	25	28	2,7	4	11,0
11	Песок пылеватый	2,69	1,85	1,94	26,0	—	—	25	28	1	4,8	15,0
12	Песок пылеватый	2,67	1,86	1,954	28,1	—	—	24	26	2	6,2	11,5
13	Песок пылеватый	2,68	1,685	1,769	17,5	—	—	20	23	1,5	4,2	6,4
14	Песок пылеватый	2,64	1,74	1,83	7,0	—	—	22	24	3	7,3	8,5
15	Супесь	2,70	2,13	2,24	18,5	13,0	20,0	21	24	16	22	9,4
16	Супесь	2,68	1,88	1,97	18,0	15,0	21,0	19	22	9	14	10,0

Окончание приложения

№ п/п	Наименование грунта	ρ_s , т/м ³	ρ_b , т/м ³	ρ_{lb} , т/м ³	W, %	W _p , %	W _L , %	ϕ_b , град.	ϕ_{lb} , град.	c _b , кПа	c _{lb} , кПа	E, МПа
17	Супесь	2,68	1,92	2,02	12,2	12,0	14,0	20	23	5,3	8	11,2
18	Супесь	2,71	1,75	1,84	16,2	14,0	19,0	18	21	4,6	7	12,5
19	Супесь	2,72	1,77	1,86	17,0	13,0	19,0	18	21	4	6	13,0
20	Супесь	2,72	2,13	2,24	18,5	15,0	20,0	20	23	13	20	15,0
21	Суглинок	2,72	1,88	1,97	20,0	18,0	26,0	18	20	13	20	19,0
22	Суглинок	2,73	1,95	2,05	29,3	22,0	32,0	17	19	20	30	14,0
23	Суглинок	2,74	2,01	2,11	25,6	16,0	27,0	18	21	17	25	15,0
24	Суглинок	2,75	1,82	1,91	28,4	18,0	34,0	17	19	10	16	11,0
25	Глина	2,71	1,697	1,78	22,7	10,6	29,4	9	11	18	33	8,6
26	Глина	2,76	1,577	1,656	13,1	9,6	29,4	13	16	22	38	13,5
27	Глина	2,72	1,569	1,647	15,4	9,4	27,6	10	13	24	35	10,4
28	Глина	2,78	1,782	1,87	29,0	28,4	52,4	12	15	30	45	16

Составители

Станислав Викторович Линовский

Татьяна Аскольдовна Якушкина

ФАКУЛЬТАТИВ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ
«Расчет и проектирование
гравитационного опускного колодца»

Методические указания
для организации самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство»
всех форм обучения

Корректор А.И. Боева

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
