

Устойчивость колодца всплытию

(методики и примеры расчета, расчетные таблицы)

Оглавление

Описание.....	1
Методики расчета устойчивости колодца всплытию.....	2
1. Упрощенная методика	2
2. Методика расчета проверки устойчивости пластикового колодца на всплытие (ГУП «Ленгипроинжпроект», 2008 г.).....	2
Уровень грунтовых вод в пределах верхней цилиндрической части колодца.	4
Уровень грунтовых вод в пределах конусной части (горловины) колодца	5
Уровень грунтовых вод в пределах нижней цилиндрической части колодца	5
3. Методика расчета проверки устойчивости пластикового колодца на всплытие (НПФ «Пластик»)	6
4. Методика расчета проверки устойчивости пластикового колодца на всплытие («Wavin»)	8

Описание

Использование полимерных колодцев в системах хозяйственно-бытовых, ливневых стоков и дренажа требует применение предварительных расчетов на устойчивость колодца к всплытию. Как правило, всплытие вызывается либо постоянно высокими грунтовыми водами, либо за счет паводковых вод из-за незначительного по сравнению с ЖБИ веса колодцев.

Общими рекомендациями для этого являются:

1. **Трамбование** вокруг пластикового колодца особенно в тех случаях, когда колодцы изготовлены из гофрированных труб.

В частности, специалисты голландского концерна Вавин прямо указывают в техническом описании, что наличие ребрения на кинетах, а также внешняя гофра трубы тела колодца являются достаточными для противодействия грунтовыми водами. При условии соблюдения инструкции по монтажу по послойному трамбованию. Это подтверждается как расчетами, так и 50-и летним опытом концерна.

2. **Якорение** пластикового колодца дополнительно к трамбованию:

- 2.1. Размещение предварительно в яме бетонной плиты или заливки бетонного основания с последующим креплением колодца с помощью либо анкеров, либо металлическими тросами.
- 2.2. Изготовление колодца со специальной камерой для заливки бетона на объекте.
- 2.3. Заливка колодца на месте монтажа по периметру с наружной стороны после подключения трубопровода.

Расчет массы бетона осуществляется в соответствии с одной из многочисленных методик расчета проверки на устойчивость колодца на всплытие (ГУП «Ленгипроинжпроект»).

3. Искусственное **увеличение массы** колодца за счет увеличения его габаритов.
Данный способ является избыточным и вызывает удорожание проекта.

Методики расчета устойчивости колодца всплытию

На сегодняшний день существует несколько разноплановых подходов к расчету устойчивости пластиковых колодцев к всплытию и, как следствие веса бетонного «якоря».

Не взирая на то, что в качестве шахты колодца могут использоваться как гофрированные двустенные трубы, так и гладкие спиральновитые, отдельные методики учитывают наличие гофры, а отдельные игнорируют.

1. Упрощенная методика

Вес якоря рассчитывается как разница между собственным весом пластикового колодца и весом аналогичного колодца ЖБИ. Данная методика приводит, как правило, к избыточному объему бетона. И является неэффективной

2. Методика расчета проверки устойчивости пластикового колодца на всплытие (ГУП «Ленгипроинжпроект», 2008 г.)

В данной методике наличие гофрированной стенки у колодца опускается и это дополнительная и существенная по величине сила трения не учитывается при расчетах. Для целей методики колодец разбивается на условные зоны, по уровню которых находятся грунтовые воды.

Принимается, что поверхность грунта горизонтальная, что колодец пуст, а окружающий колодец насыпной грунт в некоторой части водонасыщен: то есть уровень грунтовых вод выше дна колодца.

Таким образом, колодец находится под воздействием следующих активных вертикальных сил:

1. Веса самого колодца G_k
2. Веса пригружающего колодец грунта G_p , если конструкция колодца это предусматривает.
3. Выталкивающей силы Архимеда F , направленной вверх.

Если выталкивающая сила Архимеда F больше суммы сил, направленных вниз G_k и G_p , то неподвижность колодца обеспечивается силами трения стенок колодца об окружающий грунт. Величина силы трения T очевидно при этом должна быть равна:

$$T = F - G_k - G_p \quad (1)$$

Известно, что сила трения не может возрасти безгранично, а лишь до некоторого предельного значения T_{np} . В данной методике принимается, что при движении колодца вверх скольжение будет происходить по круглоцилиндрической поверхности. Т.к. в общем случае физико-механические характеристики окружающего колодец грунта меняются по его глубине, то величина предельной силы трения складывается как сумма сил трения в отдельных зонах расчетной поверхности скольжения:

(2), где

T_{ipr} – предельное значение силы трения в i -ой зоне, n -общее количество зон.

Предельное значение силы трения зависит от величины нормального (горизонтального) давления грунта на стенку колодца. Обозначим силу нормального давления грунта на единицу длины поверхности скольжения в окружном направлении E . Тогда предельное значение силы трения на единицу длины в окружном направлении по Кулону t_{ipr} будет равно:

$$t_{ipr} = E_i * f_i \quad (3)$$

где f_i – коэффициент трения грунта по поверхности скольжения в рассматриваемой зоне, коэффициент трения f принимается равным :

$$f_i = \operatorname{tg} \phi_i \quad (4)$$

где ϕ_{i0} – угол внешнего трения между грунтом и расчетной поверхности скольжения. Тогда предельное значение силы трения $T_{i,пр}$, действующей на колодец, равно:

$$T_{i,пр} = t_{i,пр} * \pi * D \quad (5)$$

где D – диаметр расчетной поверхности скольжения.

В качестве расчетного бокового давления грунта принимается наименьшее активное давление грунта- напорная величина горизонтального давления в i -ой зоне определяется по формуле:

$$p_i = k_i \gamma_i y_i \quad (6)$$

где γ_i - объемный вес грунта в рассматриваемой зоне

y_i –расстояние от поверхности (или приведенной поверхности) грунта до рассматриваемой точки.

K_i - коэффициент горизонтального напорного давления в i -той зоне определяется (2):

$$K_i = \text{tg}^2(45 - \phi_i/2) \quad (7)$$

где ϕ_i - угол внутреннего трения грунта в рассматриваемой зоне.

Величина горизонтального напора E_i равна площади эпюры интенсивности бокового давления грунта в рассматриваемой зоне:

Устойчивость колодца на всплытие предлагается оценивать коэффициентом устойчивости $n_{вс}$, который вычисляется как отношение

$$n_{вс} = T_{пр}/T = T_{пр}/(F - G_k - G_{гр}) \quad (8)$$

величина, которого должна быть больше некоторого допустимого значения $[n]$.

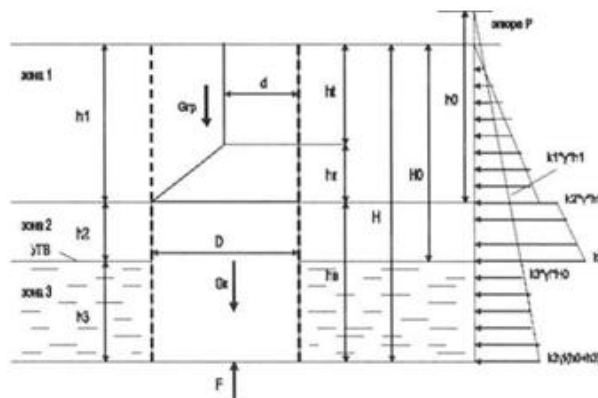
Ввиду отсутствия экспериментальных данных, предлагается по аналогии с проверкой устойчивости откоса [1, с1.38] принимать за допустимое значение $[n]=1.5$.

Таким образом, условие устойчивости колодца на всплытие примет вид

$$n_{вс} > 1,5 \quad (9)$$

Таковы принципиальные положения, используемые в настоящей методике.

Некоторые особенности принятой методики проиллюстрируем на колодце определенной конструкции. Схематичный вид колодца приведен на рисунке 1



Размеры для расчета:

$$h_1 = h_{тел}, h_k = h_{кон}, h_b = H - h_1 - h_{к1}, h_1 = h_1 + h_{к1}, h_2 = H_0 - h_1, h_3 = H - (h_1 + h_2)$$

Количество колец колодца: $i = (h_b - h_{к1}) / h_{кол}$

Вес колодца:

$$G_k = m_k * g = (m_{кинеты} + i * m_{кольца} + m_{кон}) * g, \text{ (кН)}$$

При этом верхняя часть колодца размером h_1 телескопическая и может двигаться независимо от нижней части, поэтому G_k включает только коническую и нижнюю цилиндрическую части колодца.

Всего может быть 3 случая положения грунтовых вод относительно элементов колодца:

Уровень грунтовых вод в пределах верхней цилиндрической части колодца.

В этом случае соблюдается условие: $0 \leq H_0 \leq h_1$

где H_0 - глубина залегания грунтовых вод,

h_1 - высота верхней цилиндрической части колодца

В этом случае на эпюре напорного горизонтального давления грунта различается 3 зоны с вертикальными размерами h_1, h_2, h_3 соответственно.

Определение предельного значения силы трения в 1ой зоне производится в следующем порядке.

Определяется коэффициент бокового горизонтального давления грунта по формуле:

$$K = \text{tg}^2(45 - \phi/2)$$

где ϕ - угол внутреннего трения сухого грунта.

Вычисляется предельное значение силы трения в 1ой зоне:

$$T_{1\text{пр}} = 0.5 * k * \gamma * h_1 * \pi * D * \text{tg} \phi$$

где γ - объемный вес сухого грунта

$h_1 = H_0$ - вертикальный размер 1ой зоны

D - диаметр нижней части колодца

Во второй зоне вначале определяется коэффициент бокового давления грунта

$$K = \text{tg}^2(45 - \phi'/2)$$

где ϕ' - угол внутреннего трения для водонасыщенного грунта.

Затем определяется приведенная высота для вышележащего слоя:

$$h_0 = \gamma * H_0 / \gamma'$$

где γ' - объемный вес грунта во взвешенном состоянии

Определяем вертикальный размер 2ой зоны:

$$h_2 = h_1 + h_k - H_0$$

Предельное значение силы трения:

$$T_{2\text{пр}} = 0.5 * K * \gamma * (2 * h_0 + h_2) * h_2 * \pi * D * \text{tg} \phi$$

В третьей зоне в рассматриваемом случае вертикальный размер

$$h_3 = h_k$$

И предельная величина силы трения

$$T_{3\text{пр}} = 0.5 * K * \gamma * (2 * (h_0 + h_2) + h_3) * h_3 * \pi * D * \text{tg} \phi_0$$

Вес грунта, пригружающего колодец, в рассматриваемой случае определится по формуле:

$$G_{\text{пр}} = 0.25 * \pi * (\gamma * h_1 * (D^2 - d^2) + \gamma * (h_2 * D^2 - (h_1 - h_1) * d^2 - (h_k/3) * (D^2 + d^2 + D * d)))$$

где d - диаметр верхней части колодца.

Выталкивающая сила Архимеда, действующая на колодец, в этом случае равна:

$$F = 0.25 * \gamma_s * \pi * ((h_1 - h_1) * d^2 + (h_k/3) * (D^2 + d^2 + D * d) + h_k * D^2)$$

Уровень грунтовых вод в пределах конусной части (горловины) колодца

В этом случае соблюдается условие: $h_i \leq H_0 \leq h_i + h_k$

В этом случае при определении сил трения также различаются 3 зоны.
Расчет производится в следующем порядке:

$$h_1 = H_0$$

Коэффициент бокового давления, как и ранее

$$K = \operatorname{tg}^2(45 - \phi/2)$$

Предельное значение силы трения в 1ой зоне

$$T_{1\text{пр}} = 0.5 * K * \gamma * h_1^2 * \pi * D * \operatorname{tg} \phi$$

Для 2ой зоны определяется приведенная высота вышерасположенного слоя

$$h_0 = \gamma * H_0 / \gamma'$$

Коэффициент бокового давления грунта

$$K = \operatorname{tg}^2(45 - \phi/2)$$

Толщина зоны

$$h_2 = h_i + h_k - H_0$$

И предельное значение силы трения во 2ой зоне

$$T_{2\text{пр}} = 0.5 * K * \gamma' * (2 * h_0 + h_2) * h_2 * \pi * D * \operatorname{tg} \phi$$

В 3 зоне предельное значение силы трения будет:

$$T_{3\text{пр}} = 0.5 * K * \gamma' * (2 * (h_0 + h_2) + h_2) * h_2 * \pi * D * \operatorname{tg} \phi_0$$

Вес грунта, пригружающего колодец, определяется в следующем порядке:

Вначале определяется диаметр конусной части колодца на уровне грунтовых вод

$$d_0 = d + ((D-d)/h_k) * (h_i - h_1)$$

А затем вес грунта по формуле

$$G_{\text{пр}} = 0.25 * \pi * (\gamma * h_i (D^2 - d^2) + ((h_i - h_1)/3) * (3D^2 - d_0^2 - d^2 - d_0 d)) + \gamma (h_2/3) * (2D^2 - d_0^2 - D * d_0)$$

Выталкивающая сила в этом случае равна

$$F = 0.25 * \gamma' * \pi * (h_2 * D^2 + (h_2/3) * (D^2 + d_0^2 + D * d))$$

Уровень грунтовых вод в пределах нижней цилиндрической части колодца

В этом случае соблюдается условие: $h_i + h_k \leq H_0 \leq h_i + h_k + h_2$

Высота 1ой зоны h_1 в этом случае

$$h_1 = h_i + h_k$$

Предельное значение силы трения в 1ой зоне

$$T_{1\text{пр}} = 0.5 * K * \gamma * h_1^2 * \pi * D * \operatorname{tg} \phi$$

Высота второй зоны

$$h_2 = H_0 - h_i - h_k$$

Предельное значение силы трения во 2ой зоне

$$T_{2np} = 0.5 * K * \gamma * (2 * h_1 + h_2) * h_2 * \pi * D * \text{tg } \phi_0$$

где ϕ_0 - угол внешнего трения между сухим грунтом и полимером

В третьей зоне

$$h_0 = \gamma * H_0 / \gamma'$$
$$h_3 = h_1 + h_2 + h_0 - H_0$$

В 3 зоне предельное значение силы трения будет:

$$T_{3np} = 0.5 * K * \gamma * (2 * (h_0 + h_3)) * h_3 * \pi * D * \text{tg } \phi_0$$

Вес грунта, пригружающего колодец, определяется

$$G_{гр} = 0.25 * \pi * \gamma * (h_1(D^2 - d^2) + (h_2/3) * (2D^2 - d^2 - D * d))$$

Выталкивающая сила в этом случае равна

$$F = 0.25 * \gamma' * \pi * D^2 * h_3$$

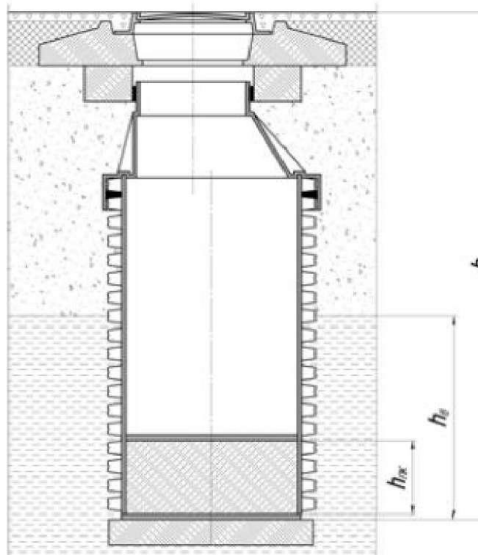
В итоге по формуле 8 вычисляется значение $n_{вс}$, по величине которой (формула 9) принимается решение об устойчивости колодца на всплытие.

3. Методика расчета проверки устойчивости пластикового колодца на всплытие (НПФ «Пластик»)

Данная методика является альтернативной первой в части использования несколько иного подхода при обосновании результатов. Так же не учитывается гофрированная стенка колодца как дополнительный источник трения. Расчет по обеим методикам дает идентичный результат.

На колодец действуют следующие силы: выталкивающая сила F_A , сила трения стенки колодца о грунт $F_{тр}$, а также собственный вес колодца, вес бетонного «якоря», вес опорной плиты при её наличии.

Расчётная схема:



Принимается, что при всплытии колодец движется равномерно без ускорения, значит сумма всех действующих на него сил равна нулю:

$$F_A + F_{TP} + G_K + G_{Я} + G_{П} = 0$$

В проекции на ось OY:

$$F_A - F_{TP} - G_K - G_{Я} - G_{П} = 0$$

Отсюда теоретическая сила трения:

$$F_{TP}^T = F_A - G_K - G_{Я} - G_{П}$$

Выталкивающая сила:

$$F_A = \rho_B \cdot g \cdot V_K$$

Объём колодца, погруженный в воду:

$$V_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$

Окончательно запишем:

$$F_A = \rho_B \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$

Сила трения, препятствующая всплытию колодца:

$$F_{TP} = \mu \cdot p_{гн} \cdot S$$

Коэффициент трения:

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi$$

Активное горизонтальное давление грунта:

$$p_{гн} = \gamma_{сп} \cdot h \cdot \tau_n$$

Значение объёмного веса грунта $\gamma_{сп}$ следует принять с условием его взвешенного в воде состояния. Для песчаных грунтов средней крупности $\gamma_{сп} = 12 \text{ кН/м}^3$.

Коэффициент нормативного бокового давления грунта:

$$\tau_n = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

φ - угол внутреннего трения грунта. Для песчаных грунтов средней крупности

$$\varphi = 0,82 \cdot \varphi_n = 0,82 \cdot 38 = 30^\circ.$$

Площадь воздействия силы трения:

$$S = \pi \cdot D \cdot h$$

Окончательно запишем:

$$F_{TP} = \gamma_{сп} \cdot h^2 \cdot \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Вес колодца:

$$G_K = m_K \cdot g$$

Вес бетонного «якоря»:

$$G_{Я} = m_{Я} \cdot g$$

Вес опорной плиты:

$$G_{П} = m_{П} \cdot g$$

Введём понятие коэффициента запаса по устойчивости на всплытие. Он равен отношению значений расчётной силы трения к теоретической:

$$n = \frac{F_{TP}^P}{F_{TP}^T} = \frac{F_{TP}}{F_A - G_K - G_{Я} - G_{П}} = \frac{\gamma_{сп} \cdot h^2 \cdot \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\rho_B \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h - m_K \cdot g - m_{Я} \cdot g - m_{П} \cdot g}$$

Для предотвращения всплытия колодца $n = 1,2 \dots 1,5$.

В расчётах можно принять среднее значение $n = 1,35$.

Теперь определим массу бетонного якоря, необходимую для предотвращения всплытия колодца:

$$m_{Я} = \frac{(\gamma_{сп} \cdot h^2 \cdot \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{1,35 \cdot g} - \rho_B \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h - m_K - m_{П}$$

4. Методика расчета проверки устойчивости пластикового колодца на всплытие («Wavin»)

| Данная методика учитывает помимо всего прочего ребрение колодцев.