

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**SOIL RESISTANCE FOR PILE FOUNDATION**

Макалада КазакРеспубликасынын ченемдик документтеринде каралган таблицалардын негизинде жалгыз кагылган түркүк стержендин тегерегиндеги топурактын эсептөө каршылыгын аныктоонун ар түрдүү ыкмалары берилди. Ошондой эле көтөрүмдүүлүк жөндөмү боюнча стержень түркүктүү пайдубалдарды долбоорлоо үчүн штамптуу жана статикалуу текшерүүнүн эксперименттик маалыматтары жана дагы формула менен аныкталган аналитикалык маанилери каралды.

***Ачкыч сөздөр:** топурактар, кыртыштын эсептөөкаршылыгы, стержень түркүктөр, түркүктүү пайдубалдар, көтөрүмдүүлүк жөндөмү.*

В данной статье приведены различные методы определения расчетного сопротивления грунтов вокруг одиночной свайна основе таблиц предусмотренных в нормативных документах Республики Казахстан, аналитических значений определяемых по формулам и экспериментальных данных по результатам штамповых и статического зондирования для проектирования свайных фундаментов по несущей способности.

***Ключевые слова:** грунты, расчетное сопротивление грунтов, сваи, свайные фундаменты, несущая способность.*

The following article represents various methods for soil resistance identification under single pile based on the Republic of Kazakhstan guidelines. Analytical values obtained from formulas and empirical values based on plate load and CPT tests for deep foundation's design bearing capacity. To study and evaluate design soil resistance just beneath the footing, theoretical calculations executed, at the same time, set of plate load test.

***Keywords:** soils, the design resistance of the soil, piles, pile foundations, load-bearing capacity.*

Введение нормативных документов строительства в Республике Казахстан с учетом принципов Еврокода «Геотехника-7» в 2015-20 годы предопределяет необходимость пересмотра и уточнения положений строительных норм и государственных стандартов по проектированию свайных фундаментов. Государственные нормативные документы по проектированию свайных фундаментов разрабатывались почти 40 лет назад для всей огромной территории СССР и были приняты без учета особенностей грунтовых условий территории Казахстана. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий показывает, что грунты основания по многим расчетными параметрами различаются. В последние годы государством перед строительным комитетом поставлена задача по адаптации существующих нормативных документов к основным принципам проектирования оснований и фундаментов Еврокода «Геотехника-7» .

Таким образом, для перехода к основным положениям международных норм необходимо адаптировать основные принципы проектирования оснований и фундаментов и расчетные характеристики грунтов оснований с учетом особенности инженерно-геологических условия территории Казахстана.

В результате проведенных комплексных инженерно-геологических изысканий территории Центрального Казахстана и их последующих обобщений установлено, что преимущественно основаниями зданий и сооружений служат континентальные по

происхождению осадочные несцементированные породы четвертичной системы. Выполненное районирование грунтов четвертичной системы позволило выявить общность основных инженерно-геологических условий территории строительства и осуществить их типизацию для выбора рационального набора фундаментов. По генетическому типу грунты четвертичной системы являются элювиальными. [1,5]предусматривает особенность проектирования оснований зданий и сооружений, возводимых на элювиальных грунтах. Элювиальные глинистые грунты слагаются из слабоструктурных суглинков, глин. Основания, сложенные элювиальными грунтами, проектируются с учётом их специфических особенностей:

- неоднородностью сложения и с большими разбросами значений прочностных и деформационных характеристик;
- изменчивостью физико-механических свойств суглинистых грунтов при водонасыщении.

При проектировании фундаментов расчетные сопротивления грунтов основания соответствуют такому давлению под нижним концом и вокруг свайного пространства, при котором зоны пластических деформаций развиваются на ограниченную глубину и это давление находится в начале фазы образования областей сдвига. При этом коэффициенты расчетного сопротивления грунтов основания отвечают лишь незначительным по размерам областям пластической деформации.

Расчетное сопротивление - R под нижним концом свай зависит от грунтов (плотности и вида песчаных грунтов и показателя текучести глинистых грунтов), а также от глубины погружения нижнего конца и принимают по таблице [2]. По международным стандартам рекомендуется принимать по формуле[3]:

песчаных оснований

$$R = N_q \sigma_v A_B \quad (1)$$

глинистых оснований

$$R = 9 c A_B \quad (2)$$

где $\sigma_v = \gamma' h$ - эффективное напряжение от собственного веса грунта основания под нижним концом свай; N_q - коэффициент несущей способности одиночной сваи, зависящей от угла внутреннего трения - φ ; A_B — площадь основания под пятой сваей; c - сцепление грунта.

Сопротивление по боковой поверхности свай зависит от вида песчаных грунтов, показателя текучести глинистых грунтов, от глубины слоя, для которого определяется коэффициент трения и принимают по таблице [2]. По международным стандартам зависит от величины сцепления и угла внутреннего трения грунта.

Анализ подхода и определения расчетного сопротивления грунтов под нижним концом и по боковой поверхности свай показывает, что существует разница между нормативными документами Республики Казахстан и международными стандартами. Если [2] рекомендует подбирать по таблицам исходя из видов грунтов (песчаные или глинистые), то международные стандарты определяют по известным формулам, опираясь на расчетные физико-механические характеристики (плотность, сцепление и угла внутреннего трения). Несущая способность забивных свай определяется аналитическим методом, статическими или динамическими испытаниями, а также статическим зондированием.

Несущая способность свай забивной сваи по [2,5] работающих на сжимающую нагрузку, определяют как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и по ее боковой поверхности:

$$N = F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i) / \gamma_R \quad (3)$$

где $\gamma_c = 1$ коэффициент условий работы сваи в грунте; R - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа; A - площадь опирания сваи на грунт, m^2 , u - наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м; f_i - расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа; h_i - толщина i -го слоя грунта,

соприкасающегося с боковой поверхностью свай, $m; \gamma_{cR}, \gamma_{cf}$ - коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности свай, принимаемые по таблице. γ_R - коэффициент безопасности.

Международные стандарты несущую способность свай $R_{c,d}$ определяют для:

- песчаных оснований

$$R_{c,d} = [N_q \sigma_v A_B + (K \sigma_v \tan \delta A_p)] / \gamma_R \quad (4)$$

- глинистых оснований

$$R_{c,d} = q_{bk} + q_{sk} = [9c A_B + \alpha c A_p] / \gamma_R \quad (5)$$

где K - коэффициент, учитывающий горизонтальное давление грунта на сваю; A_p - площадь периметра боковой поверхности свай; α - коэффициент сцепления.

Таким образом, анализ аналитических методов расчета несущей способности одиночной висячей сваи показывает, что существует разница между формулами и подходами изложенных в нормативных документах Республики Казахстан и регламентируемыми международными стандартами.

Два вида испытаний свай, рекомендованных по [2,4], для определения несущей способности: статическим и динамическим способами. Динамический способ заключается в нахождении несущей способности сваи по величине отказа при забивке. При статическом способе по графику осадка-нагрузка определяется предельная нагрузка, вызывающая 20% осадки от предельной осадки здания. При этом предельные нагрузки делятся на коэффициент безопасности, равной 1,2 или 1,4. В международных стандартах предельные сопротивления свай кроме статического способа, определяются с помощью динамической формулы забивки и по результатам решения волнового уравнения. При статическом способе по графику осадка-нагрузка определяются предельные сопротивления свай, вызывающие осадку, равную 10% диаметра пяты по [3]. При этом предельные сопротивления свай делятся на коэффициент безопасности, равный 3,0.

По международным стандартам для вдавливаемых забивных свай критическое предельное сопротивление определяется по графику нагрузка-осадка, имеющему непрерывную кривизну. При этом за критерий «разрушения» принимают осадку головы сваи, равную 10 % диаметра ее пяты. Тогда, как по [2] принимают известное условие:

$$S = \zeta S_{u, mt} \quad (6)$$

где $S_{u, mt}$ - предельное значение средней осадки фундамента проектируемого здания или сооружения; ζ - коэффициент перехода от предельного значения средней осадки фундамента здания или сооружения $S_{u, mt}$ к осадке свай, полученной при статических испытаниях с условной стабилизацией (затуханием) осадки.

Результаты определения расчетных сопротивлений грунтов под нижним концом и по боковой поверхности, а также несущей способности свай аналитическими и различными натурными испытаниями с учетом коэффициентов безопасности приведены в таблице 1.

Анализ результатов показывает, что существуют значительные расхождения между аналитическими методами определения несущей способности свай и расчетных сопротивлений грунтов под нижним концом и по боковой поверхности. Расчеты показывают, что сопротивление грунтов под нижним концом свай по [2] равно 387 кН. По международным стандартам Tomlinson (2001) этот показатель в 10 раз меньше и равен 33.21 кН. По боковой поверхности разница составляет 78.2 кН. Результаты статических испытаний забивных свай показывают, что разница критических предельных сопротивлений грунтов составляет 112 кН. С учетом регламентирующих коэффициентов безопасности несущая способность свай равна 381 кН, и разница составляет почти в два раза. При этом следует учитывать, что коэффициент безопасности по [2] равен 1.4, а по международным стандартам [3,6,7,8] достигает 3.0.

Несущая способность забивных свай по результатам динамических испытаний и

статического зондирования показывает, что разница составляет 52.0 кН, а расчетных сопротивлений грунтов без учета коэффициента безопасности 26.0 кН. Здесь следует отметить, что при динамических испытаниях грунты характеризуются только величиной отказа. Поэтому расчетные сопротивления под нижним концом и боковой поверхности не представляется возможным оценить. При статическом зондировании грунтов одновременно измеряется значение сопротивлений под нижним концом и по боковой поверхности зонда без учета порового давления.

Таблица 1- Результаты определения

метод	q_{bk} (кН)	q_{sk} (кН)	$R_{c;d}$ (кН)	γ_R	E_d (кН)
СНиП	387	521	908	1.4	648
Еврокод	33.21	442.8	476	1.4	340
Статика СНиП	-	-	1098	1.2	784
Статика Еврокод		-	1210	3.0	403
Динамика СНиП	-	-	849	1.4	606
Статическ. зондир.	241	582	823	1.25	658

По результатам штамповых испытаний в пределах нагрузки 0.1-0.5 МПа осадка соответствовала 0.58 см. При этом, модуль деформации равен 12.0 -16.0 МПа. Кривая осадка – нагрузка штампа на глубине 10.0 м линейная.

Переход к основным положениям международных норм требует адаптации принципов проектирования оснований и фундаментов с учетом особенности инженерно-геологических условий территории Казахстана.

В результате проведенных комплексных инженерно-геологических изысканий территорий Центрального Казахстана и их последующих обобщений установлено, что преимущественно основаниями зданий и сооружений служат континентальные по происхождению осадочные нецементированные породы четвертичной системы.

Расчетные сопротивления грунтов под нижним концом и по боковой поверхности свай по СНиП РК подбирают по таблицам, исходя из видов и состояния грунтов, а международные стандарты их определяют по формулам, исходя из расчетных физико-механических характеристик грунтов основания. Анализ аналитических методов расчета несущей способности свай показывает, что существует разница между формулами и подходами.

При аналитическом методе определения несущей способности свай разница результатов составляет почти в два раза.

По результатам статических испытаний свай несущая способность различается также почти в два раза за счет коэффициента безопасности, который в международных стандартах принимается иногда равным 3.0.

Определения несущей способности показывает, что результаты статического зондирования и динамических испытаний свай почти совпадают.

Список литературы

1. СНиП РК 5.01–01(2002): Основания зданий и сооружений.
2. СНиП РК 5.01–03 (2002): Свайные фундаменты.

3. EN Еврокод 7(1997): Геотехническое проектирование.
4. ГОСТ 5686(1994): Испытания грунтов сваями.
5. Механика грунтов, основания и фундаменты[Текст]: учебник для ВУЗов / С.Б. Ухов и др. // Под ред. С.Б.Ухова. – М.: АСВ, 1994. – 527с.