

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА КЛИНКЕРОВ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По совокупности приведенных показателей изученных свойств можно считать, что лучшие показатели характерны для цементов ОАО «Искитимцемент» и цементов ОАО «Топкинский цемент».

На основе клинкеров этих заводов при незначительной корректировке состава могут

производиться особые виды портландцемента, прежде всего, сульфатостойкий и тампонажный, а также возможно производство быстротвердеющего портландцемента. Цементы заводов Сибири по сравнению с импортными цементами могут обеспечить более высокую долговечность получаемым бетонам.

УДК 624.154.001.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ГРУНТА В ОСНОВАНИИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

К.В. Королев, В.В. Бессонов

В работе приводится краткое описание экспериментов по оценке прочности грунта в основании прямоугольных штампов. Даны результаты экспериментов в виде графиков зависимости предельного давления по подошве штампов от соотношения их сторон. Приведено сравнение экспериментальных данных с теоретическими исследованиями по различным методикам.

Ключевые слова: теория предельного равновесия грунтов, грунтовое основание, эксперимент, прямоугольный штамп, транспортные сооружения, Приобское плато.

Теория предельного равновесия грунтов (ТПРГ) является надежной расчётной базой для оценки несущей способности грунтовых оснований. На сегодняшний день достаточно хорошо разработан аппарат ТПРГ в отношении плоской и осесимметричной задач. Среди пространственных решений большое распространение получили приближенные методы, в том числе, основанные на использовании результатов плоских и осесимметричных решений. Так при рассмотрении одной из важнейших, с практической точки зрения, задач - задачи о несущей способности грунтового основания штампов с прямоугольной формой подошвы - широко используется схема Мейергофа.

Согласно этой схеме работа грунта в основании средней часть прямоугольного фундамента описывается решением плоской задачи, а для концевых участков применяются результаты, полученные при условиях осевой симметрии.

С теоретической точки зрения использование схемы Мейергофа осложнялось отсутствием строгих статических решений плоской и осесимметричной задач ТПРГ. Окончательное решение задач о несущей способности грунтовых оснований ленточного и круглого штампов были получены сравнительно недавно [1,2]. Без этих результатов схема Мей-

ергофа не давала устойчивых решений для всего диапазона изменений исходных данных, в частности, прочностных свойств грунта - угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c . Таким образом, возникла необходимость повторить решение в рамках данной схемы, но с применением указанных выше строгих решений, что и было выполнено авторами [3, 4].

Эти решения были приведены к стандартному виду

$$p_{пр} = \gamma b N_{\gamma} \xi_{\gamma} + q N_q \xi_q + c N_c \xi_c, \quad (1)$$

где ξ_{γ} , ξ_q , ξ_c - коэффициенты формы подошвы фундамента, предложенные в [3, 4]:

$$\begin{aligned} \xi_{\gamma} &= 1 + \left(\frac{N_{\gamma к}}{N_{\gamma л}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) \frac{1}{\eta}; \\ \xi_q &= 1 + \left(\frac{N_{q к}}{N_{q л}} - 1 \right) \frac{1}{\eta}; \\ \xi_c &= 1 + \left(\frac{N_{c к}}{N_{c л}} - 1 \right) \frac{1}{\eta}. \end{aligned} \quad (2)$$

Важно, что коэффициенты формы, рассчитываемые по предложенным формулам зависят не только от соотношения сторон фундамента, как в действующем СНиПе 2.02.01-83* «Основание зданий и сооружений» [5], но и еще от угла внутреннего тре-

ния. Заметим, что коэффициенты формы использовали в этой задаче многие исследователи. Некоторые из них, такие как, например, Бринч-Хансен и Де Беер, также учитывали влияние прочности грунта на величину этих коэффициентов. Однако предлагаемая методика базируется, как уже говорилось, на строгих решениях плоской и осесимметричной задачах, что можно считать её достоинством.

Сравнивая коэффициенты формы [4] с тем, что предложено в [5] видим, что по коэффициенту ξ_{γ} существует серьезное различие. В частности, для непригруженного сыпучего основания удельная несущая способность по СНиП возрастает при переходе от квадратного штампа к прямоугольному (ленточному), в то время как в предлагаемой методике наблюдается обратная картина.

Среди экспериментальных исследований этого вопроса, также нет единого мнения. Например, известны опыты Л.М. Тимофеевой [6], согласно которым прочность грунтового основания увеличивается при переходе от штампа с квадратной формой подошвы к прямоугольному (ленточному) штампу, и опыты Домбровского [7], получившего обратный результат. С целью проверки, как предложенных коэффициентов формы, так и конкретно вопроса о соотношении между прочностью грунта под квадратным и ленточным штампами, нами были запланированы и выполнены 4 серии опытов. Эксперименты проводились на грунтовых основаниях с разными характеристиками прочности и штампах разной ширины [8,9]. Дадим здесь их краткое описание.

Первая серия. Полевые опыты на штампах шириной 30 см и соотношением сторон 1:1, 1:3, 1:4, 1:5. В геоморфологическом отношении экспериментальная площадка находилась в пределах Приобского плато, которое занимает почти всю юго-восточную половину Новосибирской области. Данная территория представляет собой денудационно-аккумулятивную приподнятую пологоувалистую равнину с абсолютными отметками от 150 до 210 м, расчлененную широкой долиной р. Обь на право- и левобережную части, которые в свою очередь прорезаны речными долинами Обского бассейна, многочисленными балками и оврагами, дренирующие водоносные горизонты. На правом берегу, где и располагалась опытная площадка, территория плато имеет холмисто-увалистый или холмистый рельеф с довольно густой овражно-балочной сетью.

Грунты площадки представляли собой нижнесреднечетвертичные субэаральные

отложения (краснодубровская свита saQ_1 , «*krd*»), представляющие собой лёссовые супеси и суглинки, чередующихся с пачками песков и горизонтами погребенных почв. Характеристики грунтов даны в таблице 1.

Вторая серия. Полевые опыты на штампах шириной 14 см и соотношением сторон 1:1, 1:3. В геоморфологическом отношении опытная площадка находилась в долине р. Ини в пределах Колывань-Томской складчатой зоны, которая является продолжением горной системы Салаира.

Бассейн р. Ини представляет собой денудационно-аккумулятивную равнину с близким залеганием складчатого основания. Равнина расчленена речными долинами р. Ини и ее притоками глубоко врезаемыми и вскрываемыми в своих бортах не только рыхлые четвертичные покровы, но и породы палеозоя. В связи с широким распространением покрова четвертичных отложений переходы от склонов долин к водоразделам имеют плавное очертание.

Водораздельное пространство по левобережью реки имеет слаборасчлененный рельеф с пологими склонами. Здесь развита густая сеть притоков, например, Крутиха, Шибаниха.

Широкая долина р. Ини хорошо разработана, ассиметрична; в пределах геологера с крутым обрывистым глубокорасчлененным левым склоном.

В пределах долины четко выделяются поверхности аккумулятивных террас – пойма, первая и вторая надпойменные террасы.

Вторую надпойменную террасу, в пределах которой и проходили эксперименты, по строению цокольную, можно наблюдать в основном по левому берегу в виде уступа высотой 15-18 м. Данная терраса перекрыта современными верхнечетвертичными отложениями, которые можно отнести к отложениям позднего плейстоцена. Таким образом, верхняя часть террасы сложена лёссовидными супесями и суглинками мощностью до 5 м. Характеристики грунтов даны в таблице 1.

Третья серия. Лотковые опыты на штампах шириной 14 см и соотношением сторон 1:1, 1:6. Эксперименты проводились в большом пространственном лотке на базе кафедры «Геология, основания и фундаменты» Сибирского государственного университета путей сообщения. При проведении опытов в качестве основания был использован песок тонкозернистый, отобранный в долине р. Ини в пределах второй надпойменной террасы. По минералогическому составу порода полиминеральная, состоящая из кварца, по-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ГРУНТА В ОСНОВАНИИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

левых шпатов, роговой обманки и слюды. Характеристики грунтов даны в таблице 1.

Четвёртая серия. Лотковые опыты на штампах шириной 7 см и соотношением сторон 1:1, 1:2, 1:3, 1:5. Эксперименты проводи-

лись в малом пространственном лотке на базе кафедры «Геология, основания и фундаменты» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Таблица 1 – Характеристики грунтов в основании

№ серии	γ , кН/м ³	γ_s , кН/м ³	w	e	S_r	w_L	w_p	c, кПа	ϕ , град.	Наименование грунта
1	19,0	26,9	0,250	-	-	0,270	0,210	12	16	Супесь пластичная
2	18,2	26,0	0,200	-	-	0,310	0,240	4	24	Супесь твердая
3	17,5	26,7	0,03	0,57	0,14	-	-	1,0	34	Песок средней крупности, средней плотности, мало-влажный
4	17,8	26,7	0,055	0,58	0,25	-	-	0	36	Песок средней крупности, средней плотности, мало-влажный

В качестве грунтового основания применялся тот же песок, что и для третьей серии опытов, но с большим углом внутреннего трения за счет способа приготовления основания. Характеристики грунтов даны в таблице 1.

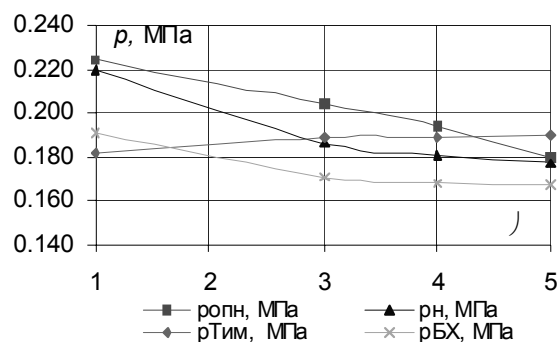
Результаты экспериментов представим в виде графиков зависимости предельного давления по подошве штампов от соотношения их сторон. На этих графиках также приведено сравнение экспериментальных данных с нашими теоретическими исследованиями и результатами других авторов, таких как Л.М. Тимофеева, И. Бринч-Хансен, а также по методу СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».

Рассмотрим первую серию опытов. На рисунке 1 приведены сопоставительные графики, построенные по результатам полевых экспериментов и теоретических исследований, вышеупомянутых авторов.

Из рисунка 1 видно, что увеличение величины предельной нагрузки на глинистое основание в зависимости от формы штампа согласно нашим теоретическим и экспериментальным данным происходит при переходе от прямоугольного (ленточного) штампа к квадратному. Аналогичная картина наблюдается и в решении Бринч-Хансена, но здесь несущая способность оснований штампов несколько ниже, чем по предлагаемой методике. Что касается способа Л.М. Тимофеевой, основанного также на схеме Мейергофа, то здесь ситуация принципиально отличается от той, которая складывается в отношении предлагаемого метода и других рассматриваемых методов расчётов. Увеличение пре-

дельного давления по подошве фундамента по способу Л.М. Тимофеевой происходит при переходе от квадратного штампа к ленточному [6].

Из рисунка 1 также видно, что при коэффициенте $\eta = 5$ предлагаемая методика даёт наибольшую сходимост с опытными данными. При этом наши опытные данные несколько меньше теоретических данных по Тимофеевой. При коэффициентах $\eta = 3$, $\eta = 4$ теоретические данные практически одинаковые, за исключением методики Бринч-Хансена, но несколько меньше наших экспериментальных данных.



Примечание: $p_{опн}$ – наши экспериментальные данные, полученные в полевых условиях; p_n – результаты расчётов по предлагаемому методу; $p_{тим}$ – то же по методике Л.М. Тимофеевой; $p_{БХ}$ – расчётные данные по методу И. Бринч-Хансена.

Рисунок 1 – Изменение предельного давления на основание в зависимости от соотношения сторон прямоугольного штампа (полевые опыты, ширина штампов 30 см)

В случае квадратного штампа ($\eta = 1$) оценки предельного давления у разных авторов не коррелируют с опытными данными и разнятся между собой. Предлагаемая методика дает наилучшую сходимость с опытными данными.

Перейдем к рассмотрению второй серии опытов. На рисунке 2 приведены также сопоставительные графики, построенные по результатам полевых экспериментов и теоретических исследований, выше упомянутых авторов.

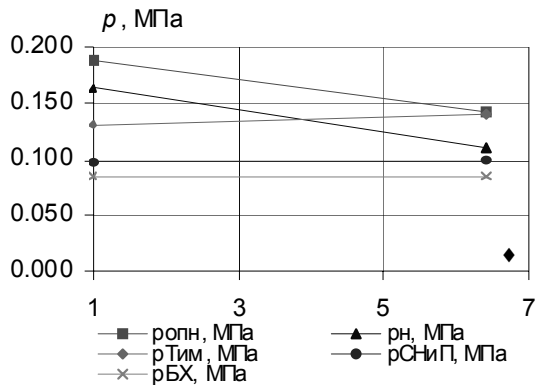


Рисунок 2 – Изменение предельного давления на грунтовое основание в зависимости от соотношения сторон прямоугольного штампа (полевые опыты, ширина штампов 14 см)

Из рисунка 2 становится ясным, что, как и в предыдущем случае, большей несущей способностью, согласно предлагаемым теоретическим и экспериментальным данным, обладает глинистое основание под штампом с квадратной формой подошвы, при этом увеличение прочности грунтового основания происходит при переходе от ленты к квадратному штампу. Методика Бринч-Хансена даёт такой же качественный результат. Выводы, сделанные согласно способу Л.М. Тимофеевой, вновь противоречат нашим как теоретическим, так и опытными данным, в том числе и данным по Бринч-Хансену. Предельное давление, полученное по предлагаемой методике удовлетворяет сходимости с экспериментальными данными.

При коэффициенте $\eta = 1$ (квадратный штамп) теоретические данные, полученные нами, наиболее соответствуют опытам. В других случаях (по Тимофеевой и Бринч-Хансену) теоретические расчёты дают меньшие значения величин давлений по отношению к нашим опытными данным.

На рисунке 3 приведены сопоставительные графики, построенные по результатам лотковых экспериментов из третьей серии и

теоретических исследований. В данном случае лучший результат был получен при определении предельной прочности песчаного основания по предлагаемой методике. Способ Тимофеевой снова предполагает увеличение несущей способности основания в зависимости от формы подошвы фундамента при переходе от квадратной формы к прямоугольной. Согласно СНиП и Бринч-Хансену изменений прочности основания не наблюдается.

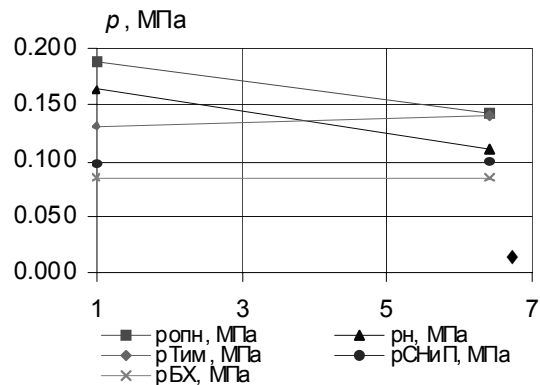


Рисунок 3 – Изменение предельного давления на основание в зависимости от соотношения сторон прямоугольного штампа в лабораторных условиях (большой лоток)

При коэффициенте $\eta = 6$ несущая способность основания, определённая по методике Тимофеевой, наиболее соответствует нашим опытными данным, но, как было сказано выше, качественная картина изменения предельного давления при переходе от квадрата к ленте отличается от результатов экспериментальных данных.

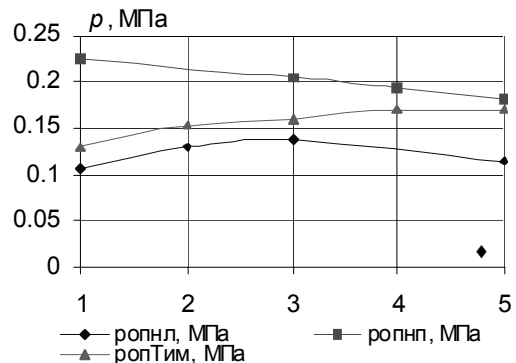
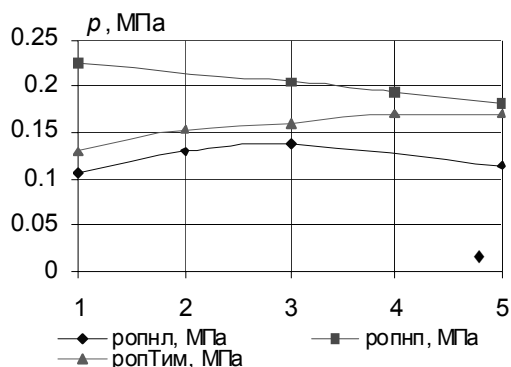


Рисунок 4 – Изменение предельного давления на основание в зависимости от соотношения сторон прямоугольного штампа в лабораторных условиях (малый лоток)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ГРУНТА В ОСНОВАНИИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ФУНДАМЕНТОВ



$p_{\text{опнл}}$ – наши экспериментальные данные, полученные в лотковых условиях; $p_{\text{оплп}}$ – наши экспериментальные данные, полученные в полевых условиях; $p_{\text{опТим}}$ – опытные данные Л.М. Тимофеевой.

Рисунок 5 – Качественное сопоставление экспериментальных данных

При коэффициенте $\eta = 1$, то есть в случае квадратного штампа, теоретические данные плавно уменьшаются по сравнению с опытными данными по следующей схеме «предлагаемые данные»-«по Тимофеевой»-«по СНИПу»-«по Бринч-Хансену». То есть наибольшая сходимость отмечается с результатами наших расчётов.

Согласно 4 серии опытов, результаты которой представлены на рисунке 4, при испытаниях песчаных оснований штампами малых размеров нарушается определённая закономерность изменения предельного давления на песчаное основание в зависимости от формы штампа. Грунтовое основание под штампом с квадратной в плане формой подошвы обладает меньшей несущей способностью по сравнению с основанием прямоугольного штампа. Этот эффект можно объяснить, по-видимому, влиянием трещин на несущую способность песчаного основания. При увеличении размеров штампа соотношение длины трещины к его ширине стабилизируется. Это говорит о том, что эффект влияния трещин пропадает при больших размерах опытных штампов. Согласно теоретическим прогнозам по методике авторов для штампов любых размеров увеличение несущей способности песчаного основания также должно происходить при переходе от ленты к квадрату.

Далее на рисунке 5 приводится качественное сопоставление наших опытных данных, полученных в полевых условиях на больших штампах и в лабораторных условиях на малых штампах с опытными данными Л.М. Тимофеевой [16]. Из рисунка 5 видно, что качественно экспериментальные данные лотко-

вых экспериментов на малых штампах совпадают с результатами экспериментов по Тимофеевой, что качественно противоречит результатам полевых опытов. Здесь предельное давление уменьшается при переходе от квадратного фундамента к прямоугольному (ленточному). Это еще раз доказывает, что проводить эксперименты на малых штампах таких размеров (шириной до 100 мм) не рекомендуется из-за влияния на несущую способность ряда факторов, о которых мы говорили выше.

ВЫВОДЫ

Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, прочность грунтового основания прямоугольных фундаментов зависит не только от соотношения сторон фундамента, но и от угла внутреннего трения, который должен учитываться в коэффициентах формы. Установлено, что величина предельного давления на глинистые и песчаные основания увеличивается при переходе от прямоугольного (ленточного) штампа к квадратному.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев Ю.И. Несущая способность предельно напряженного основания под ленточным фундаментом // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1979. - №4. - С. 21-23.
2. Караулов А.М. Несущая способность оснований осесимметричных фундаментов. - Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2002. - 104 с.
3. Королёв К.В., Безсонов В.В. К вопросу определения коэффициентов формы при оценке несущей способности оснований прямоугольных фундаментов /К. В. Королёв, В. В. Безсонов // Известия вузов. Строительство. - 2006. - № 11/12. - С. 91-95.
4. Королёв К.В., Безсонов В.В. Уточненные значения коэффициентов формы при определении несущей способности оснований прямоугольных фундаментов/ Королёв К.В., Безсонов В.В.// Промышленное и гражданское строительство. - 2008. - №4 -С. 29-30
5. СНИП 2.02.01-83* «Основание зданий и сооружений».
6. Гольдштейн Л.М. О приближенном решении задачи пространственного предельного равновесия грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1969. - №5. - С. 12-15.
7. Домбровский В.Н. К вопросу разрушения песчаного основания прямоугольными штампами // Тр. НИИОСПа, Вып. 74. - 1984. с. 9-15.
8. Безсонов В.В. Исследование несущей способности песчаных оснований прямоугольных штампов малых размеров/ Безсонов В.В.//Сборник тезисов докладов 64-ой научно-технической конференции. - Новосибирск: НГАСУ, 2007. - С. 87

9. Бессонов В.В. Экспериментальные исследования несущей способности оснований прямоугольных штампов /Бессонов В.В.// Инженерная геоло-

гия, механика грунтов, основания и фундаменты: сб. научн. ст. – Новосибирск: СГУПС, 2007. – С. 85-95.

УДК 624.154.001.4

О ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПОД НИЖНИМ КОНЦОМ БУРОВЫХ СВАЙ ФУНДАМЕНТОВ ОПОР МОСТОВ

К.В. Королев, В.В. Бессонов

В работе рассматривается проблема определения прочности грунта под нижним концом буровой сваи с учетом специфических свойств грунта, проявляемых при больших давлениях. Дана постановка осесимметричной задачи теории предельного равновесия грунтов вне концепции полной пластичности для нелинейного графика сдвига. Выполнена серия расчетов и проведено сопоставление результатов, полученных по различным методикам.

Ключевые слова: теория предельного равновесия грунтов, грунты, несущая способность, сваи фундаментов мостовых опор, большие давления.

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом буровой сваи или лобовое сопротивление грунта определяют согласно СНиП 2.02.03 – 85* «Свайные фундаменты» по формуле

$$R = 0,75\alpha_4(\alpha_1\gamma_1'd_0 + \alpha_2\alpha_3\gamma_1h), \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – безразмерные коэффициенты, принимаемые по таблицам [1] в зависимости от угла внутреннего трения грунта основания [1]; γ_1' – удельный вес грунта, расположенного под нижним концом сваи, кН/м^3 ; γ_1 – осреднённое расчетное значение удельного веса грунтов, кН/м^3 , расположенных выше нижнего конца сваи; d_0 – диаметр сваи, м; h – глубина заложения нижнего конца сваи, м.

В основе данной методики лежит известное решение В.Г. Березанцева, схема которого приведена на рисунке 1 [2]. Модификация этого решения дана А.М. Карауловым, который рассмотрел задачу о несущей способности оснований круглых фундаментов вне концепции полной пластичности [3]. Это позволило получать решения задачи для широкого диапазона исходных данных в рамках строгого статического метода теории предельного равновесия грунтов (ТПРГ).

Согласно этим решениям коэффициенты α_1 и α_2 , являющиеся по смыслу коэффициентами несущей способности, и определенные из решения осесимметричной задачи вне концепции полной пластичности, можно определить следующим образом

$$\alpha_1 = N_\gamma = 0,5e^{8,97\varphi - 0,9851}, \quad (2)$$

$$\alpha_2 = N_q = e^{6,40\varphi + 0,0273},$$

где φ – угол внутреннего трения, градус.

Коэффициент α_3 характеризует уменьшение пригрузки на призму выпора за счёт действия силы трения T , действующей по цилиндрической поверхности, по сравнению с бытовым вертикальным напряжением и определяется согласно указаниям [1] в зависимости от величины E – силы активного давления грунта на цилиндрическую поверхность (рисунок 1).

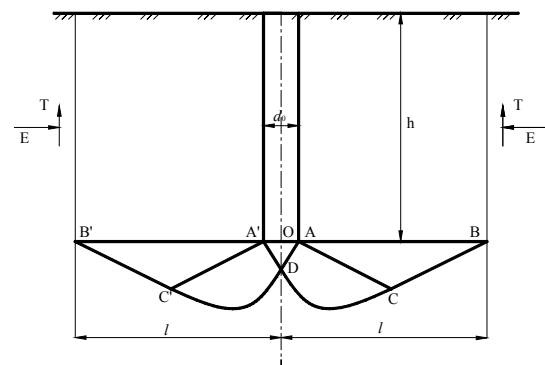


Рисунок 1 – Расчетная схема В.Г. Березанцева

Коэффициент α_4 не имеет строгого теоретического обоснования и принимается равным 0,17...0,34 в зависимости от φ . Однако его появление обусловлено тем, что рассчитываемое по приведенной методике значение R (без α_4) оказывается явно завышенным по