

Крей Ханс

**Теория давления земли и
сопротивления грунтов нагрузке**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
X19

X19 **Ханс К.**
Теория давления земли и сопротивления грунтов нагрузке / Крей Ханс – М.: Книга
по Требованию, 2024. – 294 с.

ISBN 978-5-519-91033-0

ISBN 978-5-519-91033-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг — не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель — вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания — решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ОТ РЕДАКТОРА

Труд доктора инженера Крея в его третьем расширенном издании, выпущенном из печати в 1926 г., является одной из крупнейших за последнее время работ по теории давления земли.

Предназначенный автором преимущественно для инженеров-практиков, этот труд тем не менее сопровождается теоретическими предпосылками, необходимыми для того, чтобы можно было не только применить на практике предлагаемые методы расчета, но и критически осветить сущность и пределы применимости каждого из методов.

Сопровождение теоретического изложения решениями ряда задач из производственной практики во многом облегчает изучение общего вопроса о теории давления земли; приложенные к труду многочисленные таблицы в значительной мере помогают пользованию данным трудом для целей производственного характера. Все это делает работу Крея не только интересной для теоретика исследователя, но и полезной для производственника практика.

Проф. В. Дмоховский.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Появляющаяся ныне третьим изданием эта книга попрежнему предназначается в первую очередь для инженеров-практиков, чтобы облегчить им решение встречающихся отдельных задач на давление земли в тех случаях, когда они лишены возможности подробно заняться возникающими сложными вопросами. Поэтому в книге опущен часто теоретический анализ, выходящий за пределы потребностей практики.

Для того чтобы удовлетворить разносторонним требованиям практики пришлось значительно расширить объем книги, и в настоящем ее виде она может служить пособием тем, кто хочет несколько глубже заняться теорией давления земли и решением практических задач.

Вновь переработаны в данной книге основы теории давления земли, которые обобщены без введения громоздких математических формул и в то же время в научном отношении остаются безупречными. Кроме того в одном из капитальных разделов книги изложены широко известные и признанные практические методы расчета бокового давления земли, отмечены их недостатки и преимущества и критически освещены пределы их применимости.

Особая глава посвящена вопросу прочности грунта как в целях расчета оснований подпорных стенок, так и для целей передачи на грунт давления от тяжелой вертикальной нагрузки. Именно: последнее исследование в связи с грузоподъемностью плоских оснований должно восполнить существенный пробел при научном подходе к расчету оснований тяжелых сооружений.

Вопрос о грузоподъемности забитых свай освещен на заимствованном из практики примере, на котором отчетливо выступает влияние уровня воды в грунте в целом и в различных слоях его на грузоподъемность свай.

Путем обстоятельного рассмотрения влияния сцепления на давление грунта и оказываемое им сопротивление автору удалось по-видимому устранить ряд кажущихся противоречий в предлагавшихся до сего времени теориях давления земли, завоевывая этим доверие практиков к теории и расчету.

Давление земли на своды и на сооружения, расположенные в высоких насыпях, представилось возможным осветить в особой главе лишь вкратце. Тем не менее рассмотренные в этой главе примеры содержат в себе указания, позволяющие проектировщику в достаточной мере удовлетворительно подойти к решению аналогичных задач.

Из предыдущего издания почти без изменения заимствованы различные практические примеры расчета давления земли. Автору

представляется особо заслуживающим внимания приведенные в новой главе в конце книги фотоснимки движения частиц грунта вокруг сооружения в критический момент обрушения, т. е. преодоления сопротивления грунта. Приведенный в этой главе материал дает возможность даже и мало знакомому с теорией движения земли инженеру убедиться в достаточном совпадении теории с практикой и устранить ряд еще существующих в этой области недоразумений.

Приведенные в книге таблицы позволяют с достаточной точностью для большинства случаев обычной строительной практики определить расчетное давление земли, не прибегая к сложным вычислениям и построениям.

Получающиеся при пользовании ими результаты выдерживают тем не менее и строго научную критику, если придерживаться указаний, данных в книге, и предпосылки расчета выбирать в соответствии со способом возведения сооружения.

Решение сложных задач, связанных с давлением земли, невозможно по одному верному для всех случаев шаблону. И здесь приходится в каждом частном случае тщательно взвесить все обстоятельства, проверив факторы, могущие влиять на давление и на сопротивление земли. Пути к такому правильному решению автор старался наметить в настоящей книге, уделяя посему при изложении особое внимание на учет обстоятельств, определяющих величину и направление давления земли.

Образование грунтов из составляющих их частиц, определяющее свойства грунта, представилось возможным осветить лишь совсем вскользь и в особенности применительно к грунтам пластичным; вкратце точно так же освещена и зависимость срезающих усилий от содержания воды в пластичных грунтах.

Кроме того в настоящем издании рассмотрен вопрос о круговых поверхностях скольжения.

К сожалению за недостатком средств и в этом издании также не удалось существенно дополнить таблицы давления земли.

Приношу искреннюю благодарность всем оказавшим мне помощь своими указаниями об ошибках, вкравшихся в таблицы.

Приложенный при книге подробный указатель литературы был составлен при любезном содействии г. Эйзнера.

Автор выпускает новое издание книги с надеждой, что в теперешнем своем виде она, несмотря на нежелательные ограничения, вызванные бюджетными соображениями, принесет пользу как более опытным инженерам-практикам, так и молодым специалистам, а также окажется полезной и в качестве учебного руководства.

Берлин.

Д-р—инж. Крей.

ВВЕДЕНИЕ

Отсутствие удовлетворительного способа определения давления земли не позволяет выполнить расчет подпорных стенок с той степенью соответствия действительным условиям, как то представляется возможным для однородных строительных материалов: дерева, камня, железа.

В практике же укоренилось правило во всех случаях, когда давление земли оказывало решающее влияние на устойчивость сооружений, пользоваться для расчета приближенными формулами.

Последнее было вполне обосновано, так как производить расчет с большой точностью, когда в самих основах расчета, от которых зависят окончательные результаты, возможны ошибки, достигающие до 100%, было бы неблагоприятно. Это не служило конечно поводом к тому, чтобы в каждом отдельном случае не проверить соответствие основных допущений действительному положению вещей и в случае возможности уточнить расчет. Таким путем устойчивость сооружения обеспечивалась в значительно большей мере, нежели путем введения в расчет несоразмерно высоких нагрузок, в действительности не существующих.

Причиной неточности при расчете давления земли являются затруднения, связанные с правильным выбором метода расчета. При правильном же выборе метода расчета расхождение между результатами расчета и действительностью практически невелико, что удалось подтвердить непосредственным измерением величины и направления давления земли на небольших моделях. Причиной этих расхождений является повидимому упрощенное допущение в отношении поверхности скольжения, принимаемой обычно за плоскость, тогда как поверочные расчеты показали, что при допущении кривой поверхности скольжения, значения давления земли при прочих равных условиях иногда возрастают.

Аналогичные расхождения между результатами расчета и действительностью известны также и в других областях статике и сопротивления материалов, например неточности, проистекающие вследствие принятия закона плоскостного распределения напряжений, или вследствие пренебрежения жесткостью заклепочных связей в узловых соединениях; подобные неточности не заставляют нас конечно отказываться от метода расчета, так как все они покрываются некоторым коэффициентом безопасности, заранее установленным практикой. Поэтому расчет давления земли нельзя никоим образом считать неточным более чем остальные статические расчеты. Определение измерением внутреннего трения в земле (земли о землю) точно так же, как и определение сопротивления сдвигу, вызываемого сцеплением, не представляет при этом особых труд-

ностей и вряд ли представляется сомнительным, что сопротивление сдвигу, обусловливаемое трением и сцеплением, полностью проявляется внутри земли и в особенности на поверхности ее. Точно также поддается определению трение и сцепление для перемещений относительно стенки при различной шероховатости последней. При этом невыясненным остается только вопрос полностью ли используется трение о стенку, а если используется полностью, то в каком именно направлении (вверх или вниз), или же это не имеет места и приходится считаться с небольшим отклонением давления земли от нормали.

Все эти вопросы могут быть выяснены только путем тщательного изучения на практике при возведении сооружений путем изучения искусственно создавшегося напряженного состояния грунта под сооружением, последующих изменений, претерпеваемых грунтом при оседании или при просадках его, и, наконец путем изучения при разрушении сооружения, возникающих возможных перемещений между стенкой и прилегающей землей. Без подробной проверки и анализа возможностей перемещений для каждого отдельного случая даже и самая логичная теория давления земли не достигает своей цели. Высказанные соображения послужили руководящей мыслью для дальнейшего изложения и приведенных примеров расчета.

Исследованию вопроса о давлении земли мы предпосылаем следующие тезисы.

1. Угол трения или угол естественного откоса земли должен выбираться в соответствии с родом грунта, причем лучше принять значение, меньшее истинного, нежели значение, большее истинного. При больших и сильно загруженных сооружениях рекомендуется свойства грунта (трение, сцепление) определять опытным путем в состоянии естественно влажном, т. е. сыром.

2. Направление давления земли принимается при обычных условиях для шероховатой стенки, а также, если приходится опасаться недостаточной устойчивости только в отношении опрокидывания таким, что давление образует с нормалью к стенке угол $\delta = \rho$ (см. ниже I В.); для стенок очень гладких δ несколько меньше, чем ρ ; в исключительных случаях перемещений стенки приходится принимать $\delta < \rho$ и до $\delta = 0$, а в отдельных случаях возможно даже $\delta = -\rho$. Здесь точно так же ρ может быть определена пробными измерениями; но вряд ли они приведут к практически отличным выводам. Стенок совершенно гладких, без трения, не существует.

2 а. При часто повторяющихся сильных сотрясениях (жел. дор. и шоссе) следует и угол наклона давления земли δ и угол естественного откоса ρ , в соответствии с силой и частотой сотрясений, принимать меньшими на поверхности, доводя в неблагоприятном случае значение их до нуля. Однако по мере углубления возрастания глубины величины δ и ρ должны возрастать.

3. Кривые или многогранные поверхности следует заменять несколькими плоскостями, избегая при этом мелочных уточнений. Для частей грунта, покоящихся на плоских участках откоса стенки, следует таковые заменять плоскостями, угол наклона которых к нор-

мали стенки не должен превосходить $\alpha = -\left(45^\circ - \frac{\rho}{2}\right)^1$, где ρ угол естественного откоса или угол трения грунта.

4. Численное значение давления земли должно быть по возможности найдено по специальным таблицам.

4а. Для маленьких сооружений вполне достаточно заднюю сторону стенки заменить вертикальной плоскостью и давление земли на нее при горизонтальном ограничении принять равным:

$$\begin{aligned} \text{для } \rho &= 19\frac{1}{3}^\circ \quad 25 \quad 30 \quad 37 \quad \text{и} \quad 41\frac{2}{3}^\circ; \\ \text{„ } \rho &= \quad 1\frac{1}{2}^\circ \quad 2\frac{1}{5} \quad 1\frac{1}{3} \quad 1\frac{1}{4} \quad \text{и} \quad 1\frac{1}{5} \gamma \frac{h^2}{2}, \end{aligned}$$

В действительности при $\delta > 0$ давление земли будет несколько меньше (табл. 54 и 55). Пассивное давление земли (сопротивление земли) для тех же случаев будет составлять:

$$2 \quad 2\frac{1}{2} \quad 3 \quad 4 \quad \text{и} \quad 5 \gamma \frac{h^2}{2}.$$

В первом приближении для ориентировочных расчетов активное давление земли (нижний предел) на вертикальную стенку может быть принято: $E_a = \gamma \frac{h^2}{8}$, а пассивное давление земли (верхний предел) $E_p = 2 \cdot \gamma \cdot h^2$. Эти значения пригодны и в том случае, если угол δ наклона давления земли не равен нулю.

5. По найденным из предыдущих пунктов данным определяются напряжения, возникающие в подпорной стенке и в фундаментной плите.

6. Далее по найденным результатам можно составить представление о центре вращения (стр. 80) и в случае необходимости ввести корректив в допущение, сделанное в п. 2.

¹ См. ниже в § 2-е ст. 42.

ОСНОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ ЗЕМЛИ

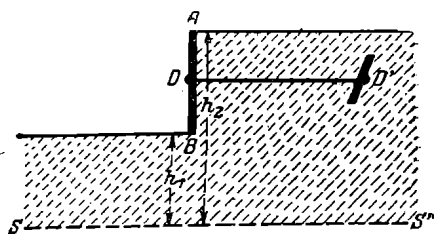
А. ПОНЯТИЕ ДАВЛЕНИЯ ЗЕМЛИ

В самом общем виде под давлением земли следует понимать давление, оказываемое на стенку рыхлым веществом, которое мы называем землей. Землей же мы называем все естественного происхождения рыхлые породы земной коры, состоящие из неодинаковой крупности частиц, преимущественно округлой формы, которые можно перемещать ручной лопатой. Размер частиц, из которых состоит рыхлая порода, не является при этом показательным и при расчете давления земли приходится иметь дело и с жирными глинами, состоящими из мельчайших, не поддающихся непосредственному измерению частиц, и с песком, размеры зерна которого колеблются от 1/100 до нескольких миллиметров и с гравием с частицами до 5 и 10 мм в поперечнике. Наличие органических примесей точно так же не вносит изменений в это данное определение. Необходимо только, чтобы эти примеси были расположены не в виде слоев, а чтобы частицы их имели преимущественно округлую форму, так чтобы они или соскальзывали или скатывались одна с другой.

В отношении веса, формы и расположения стенки, на которую земля оказывает давление, не ставится никаких ограничений. Стенка может состоять даже из земли, и в этом случае напряжения внутри земли следует назвать давлением земли. Как мы увидим в дальнейшем, напряжение, возникающее иногда внутри земли (а также и в сооружении), не имеет непосредственно решающего значения для расчета и подбора сечений в сооружениях. Поэтому в дальнейшем для такого давления земли чаще будет употребляться термин напряжение земли, чтобы подчеркнуть, что давление земли, если оно в действительности и имеет место, или может иметь место, то все же оно не является решающим для статической устойчивости сооружения. Напряжение, возникающее в отдельных точках не может быть определено в общем виде. Оно зависит от характера наслоения и насыпки земли, а также и от последующих воздействий. Действующее на площадку F , имеющую большое протяжение и параллельную поверхности земли, давление равно весу вышележащего столба $\gamma h F$, где h есть расстояние площадки от поверхности земли. Это однако не значит еще, что давление распределено по площадке равномерно и на любом участке ее будет равно $\gamma h \Delta F$. Отклонения от равномерного давления земли особенно велики при резких скачках в нагрузке. На фиг. 1 изображен случай внезапного изменения нагрузки передающейся на плоскость

SS^1 , так как благодаря стенке AB толщина слоя земли возросла с h_1 до h_2 . Изменения давления и напряжений на значительной глубине не будут резкими: непосредственно справа и слева от стенки AB они будут отличаться друг от друга незначительно, а именно: непосредственно справа будут несколько меньше γh_2 , а непосредственно слева — несколько больше γh_1 .

Еще более ненадежным является нахождение напряжений грунта, возникающих у наклонной стенки. Хотя случаи наслоения земляных массивов без трения и возможны, и в таких массивах напряжения во всех направлениях будут равны γh , но все же такие случаи являются исключениями. Кроме того и в этих случаях последующие воздействия изменят первоначальную картину напряжений. Так, если для случая, изображенного на фиг. 1, менять натяжение опорной связи DD^1 , отпуская и вновь натягивая ее, то без сомнения напряжение, т. е. давление земли между стенкой и землей, будет соответственно уменьшаться и увеличиваться. При этом оказывается, что для средних условий, регулируя натяжение тяги, можно фактическое напряжение довести, с одной стороны, до четверти от среднего γh , а с другой стороны — до четырехкратного от этой величины, не нарушая при этом равновесия земляной массы. Следовательно при расчете устойчивости сооружений нельзя исходить из действительных напряжений, так как таковые однозначному определению не поддаются.



Фиг. 1.

На основании того, что давление земли, если стенку удалять от давящего на нее массива, уменьшается, завися при этом от характера воздействия обрушивающейся идвигающейся за стенкой земли, было введено понятие действующего давления земли и наряду с ним понятие реактивного давления земли, соответствующего тому случаю, когда стенка искусственно придавливается к земляному массиву. Эти два термина являются конечно синонимами прежних терминов активное и пассивное давление земли. Тем не менее смысл их не отчетлив, так как понятие воздействие земли и реакция земли связаны друг с другом. Там, где имеется воздействие земли на стенку, там имеется и реакция земли и поэтому для каждой точки надо одновременно говорить о действующем и реактивном давлении земли.

Данностью, определяющей при расчете устойчивость шпунтовых и подпорных стенок и т. п., а точно также и устойчивость грунта, является не истинное напряжение, а предельное давление земли, которое должна выдержать стенка, не выходя из состояния равновесия и, с другой стороны, предельное давление, которое может оказывать стенка, не нарушая равновесия земляного массива. Для обоих этих предельных давлений земли до сего времени приняты наименования: активное давление земли (для нижнего

предела) и пассивное давление земли (для верхнего предела). Возможно, что эти наименования выбраны не очень удачно, но во всяком случае они вошли в употребление. Следует только не забывать, что в состоянии покоя ни пассивное, ни активное давление земли места не имеют, и что истинное давление земли и по своей величине и по направлению весьма отлично от этих предельных значений. Если заполнить землей пространство за толстой и с запасом построенной подпорной стенкой, утрамбовав эту землю, то истинное давление земли будет значительно больше и будет направлено менее благоприятно, чем активное давление земли. И только после того, как под воздействием внешних сил, или например путем подкопа фундамента, стенка будет доведена до опрокидывания, фактическое давление земли по величине и направлению уменьшится до нижнего предела — активного давления. Точно так же очевидно, что реакция земли на стенку, натянутую помощью анкерной тяги, будет равна натяжению тяги и может в силу этого принимать произвольные значения, и только после того, как земляной массив будет стенкой сдвинут, реакция земли будет равна пассивному давлению. Поэтому будет совершенно неправильным считать, что давление земли на находящееся в устойчивом равновесии сооружение может быть равно пассивному или активному давлению. Эти два давления в действительности никогда места не имеют и являются лишь теми расчетными пределами, которые имеют место при авариях сооружений. Действительное же давление земли в большинстве встречающихся на практике случаев имеет для нас небольшое значение, так как и величина и направление фактического давления земли для нас безразличны, поскольку сооружение находится в устойчивом равновесии. И только при анализе приходится исходить из истинного давления земли для того, чтобы правильно определить его предельные значения.

В. ТРЕНИЕ И СЦЕПЛЕНИЕ

Предельные значения давления земли, являющиеся руководящими для расчета, предполагают, что между частицами земли, а также между землей и стенкой, возникают небольшие перемещения или, что таковые являются возможными. В точках, где возникнут перемещения, давление земли должно иметь следовательно такой наклон, чтобы срезающая сила преодолевала сопротивление трения и сопротивление сцепления. В силу этого основой расчета давления земли является определение внутреннего трения земли и трения между землей и стенкой.

Сопротивление при скольжении между землей и стенкой может быть легко определено путем опыта для различных грунтов и для различных по своей шероховатости стенок. С этой целью следует плиту соответствующей шероховатости уложить на обследуемый грунт и привести ее в движение путем груза P при различных нагрузках Q , действующих на плиту.

Мюллер-Бреслау сконструировал для этой цели установку, изображенную на фиг. 2.¹ На квадратный ящик, площадью при-

¹ Заимствовано из работы Мюллер-Бреслау, *Erddruck auf Stützmauern*, Stuttgart 1906.