ГОССТРОЙ СССР
Главпромстройпроект
СОЮЗМЕТАЛЛУРГСТРОЙНИИПРОЕКТ
Государственный проектный институт
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ПРОМСТРОЙПРОЕКТ

# ИНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ШТАБЕЛЕЙ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

РМ-53-04

Ленинград 1965

gost.e-ecolog.ru

ГОССТРОЙ СССР
Главпромстройпроект
СОЮЗМЕТАЛЛУРГСТРОЙНИИПРОЕКТ
Государственный проектный институт
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ПРОМСТРОЙПРОЕКТ

# ИНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ШТАБЕЛЕЙ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Составлены институтом Ленинградский Промстройпроект и Научно-исследовательским институтом оснований и подземных сооружений и одобрены Управлением технического нормирования и стандартизации и Главпромстройпроектом Госстроя СССР*

*(Письмо Главпромстройпроекта Госстроя СССР № 3/8-1530 от 20 октября 1965 г.)*

РМ-53-04

Ленинград 1965

"Инструктивные указания" предназначаются в качестве руководящего материала по расчёту устойчивости оснований штабелей сыпучих материалов в закрытых и открытых складах, а также фундаментов и подземных сооружений, расположенных в непосредственной близости к штабелю.

Составлению "Инструктивных указаний по расчёту устойчивости оснований штабелей сыпучих материалов" предшествовал выпуск "Информационного письма о расчёте устойчивости оснований складов сыпучих материалов", которое помещено в составе настоящего издания.

"Инструктивные указания..." разработаны институтом Ленинградский Промстройпроект (гл. инженер института Абрамов Н.И., гл. конструктор института Фридкин А.Я., гл. конструктор отдела Агроскин С.Л.) и Научно-исследовательским институтом оснований и подземных сооружений (директор института Токарь Р.А., рук. лаборатории Польшин Д.Е.,ст. научный сотрудник Строганов А.С.), и одобрены Управлением технического нормирования и стандартизации, и Главпромстройпроектом Госстроя СССР (письмо Главпромстройпроекта № 3/8-1530 от 20 октября 1965 г.)

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО О РАСЧЕТЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ СКЛАДОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Настоящее информационное письмо составлено в соответствии с приказом Госстроя СССР от 11 июня 1965 г. № 92.

Развитие проектных решений обогатительных комбинатов черной металлургии в последние годы характеризуется рядом новых факторов (рост мощности комбинатов, строительство во многих случаях на площадках с плохими инженерно-геологическими условиями, увеличение объёмного веса концентрата и др.); учёт их приводит к необходимости переоценки отдельных вопросов, ранее ошибочно представлявшихся второстепенными. К таким вопросам прежде всего относится анализ общей устойчивости грунтов оснований складов концентрата, руды и других сыпучих материалов. Недостаточное внимание к этому важному вопросу явилось одной из причин аварии склада влажного концентрата на Соколовско-Сарбайском горнообогатительном комбинате.

Склад концентрата представляет собой одноэтажное отапливаемое здание длиной 348 м и пролётом 42 м. Несущими конструкциями шатра склада являются стальные решетчатые трехшарнирные арки с шагом 12 м. По верху арок расположена продольная загрузочная транспортерная галерея. К продольной галерее в двух местах примыкают 2 поперечные транспортерные галереи, опирающиеся на основные

несущие конструкции склада. Фундаменты здания - монолитные железобетонные с глубиной заложения 6,5 м, полы - бетонные. Проект склада выполнен институтом Ленинградский Промстройпроект. Строительство осуществлено трестом Соколоврудстрой.

Инженерно-геологические условия площадки строительства склада характеризуются следующими данными:

верхними слоями грунтовых напластований толщиной 3,8-5,2 м являются влажные супеси и суглинки, ниже уровня грунтовых вод (3,85 м) пластичные и мягкопластичные; далее, до глубины 6,4-7,3 м залегают зеленовато-серые неогеновые глины с многочисленными прослойками мелкозернистого песка, тугопластичные и пластичные; еще ниже - глины палеогенового возраста: темно-зеленые, тугопластичные с прослойками и гнездами песка, мощностью 12-15 м. Уровень грунтовых вод в 1964 г. находился на глубине 3.85 м. Котлован для фундамента выполнялся в виде сплошной продольной траншеи. Обратная засыпка котлована должна была производиться привозным качественным песчаным грунтом с тщательным уплотнением его укаткой.

Склад загружался в два этапа: первый - на половину высоты штабеля, второй - через полгода - на всю высоту, равную 16,5 м. Загрузка на полную высоту штабеля производилась зимой 1964-1965 г.г.

12/1У-65 г. в складе влажного концентрата произошло выпирание грунта со сдвижкой фундаментов по осям 6-14 по ряду А, с южной стороны склада. В результате деформации грунта на расстоянии около 10 м от продольной оси образовался грунтовый вал высотой до 3 м. Смещения фундаментов арок достигли 4,6 м и уменьшились к осям 6 и 14.

Осмотром в натуре установлено, что перемещение грунта между фундаментами опережает сдвижку самих фундаментов, о чем свидетельствуют значительные зазоры (20-40 см) между гранью сдвинув-

шегося грунта и гранями фундаментов, а также большие выпоры в зонах между фундаментами по сравнению с выпорами грунта в зоне самих фундаментов. Трехшарнирные арки основного каркаса после смещения нижних опорных шарниров по оси А, получили осадку среднего верхнего шарнира на величину около 3 м. В результате деформации арок основного каркаса сместилась также опора поперечной галереи, три пролёта которой обрушились. Верхняя галерея склада, опирающаяся на арки, прогнулась соответственно вертикальным смещениям самих арок.

Склад влажного концентрата закончен строительством в 1963 г. и эксплуатировался до аварии в течение полутора лет.

Из сказанного выше необходимо сделать основной вывод о недопустимости недооценки анализа вопросов об общей устойчивости оснований под штабелями сыпучих материалов. Такой анализ следует производить в обязательном порядке во всех случаях возведения складов на нескальных грунтах со штабелями сыпучего материала подобных масштабов.

При основаниях из глинистых водонасыщенных грунтов дополнительно необходим учёт их нестабилизированного состояния, вследствие возникновения избыточного давления в поровой воде в процессе загружения складов сыпучими материалами.

При расчёте устойчивости оснований под штабели сыпучих материалов и самих штабелей следует руководствоваться "Инструктивными указаниями по расчёту устойчивости оснований штабелей сыпучих материалов" и приложениями 1,2 и 3 к данному письму.

# ИНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ШТАБЕЛЕЙ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

1. Расчёт устойчивости основания и штабеля производится совместно; при этом принимается, что потеря устойчивости происходит в форме скольжения части тела штабеля и основания по круглоцилиндрической поверхности.

2. Ввиду недостаточной разработанности расчёта устойчивости по методу предельного состояния для неоднородных массивов штабеля и основания, в настоящих указаниях принята методика расчёта с определением коэффициентов запаса; при этом расчёт производится по нормативным нагрузкам.

3. Расчёт производится следующим образом: задаются рядом кругоцилиндрических поверхностей скольжения и для каждой из них определяют коэффициент запаса. Таким образом отыскивается поверхность с минимальным коэффициентом запаса, который характеризует устойчивость штабеля с основанием. Этот коэффициент должен быть больше или равен допускаемому.

4. Расчёт устойчивости штабеля с основанием сыпучих материалов производится для двух зон по длине склада: зоны между фундаментами (без учета нагрузки на фундаменты) и зоны по фундаментам (с учётом нагрузки от фундаментов).

5. При расчётах необходимо учитывать возможность повышения уровня грунтовых вод. В особых случаях, например, при последующем устройстве вблизи складов различного рода водоёмов или других аналогичных сооружений, необходимо учитывать их влияние на повышение уровня грунтовых вод.

6. Коэффициент запаса принимается по аналогии со СНиП П-И.4-62 (п. 17.2), как для сооружений П класса, равным 1,2.
Коэффициент запаса определяется как отношение удерживающего момента к сдвигающему.
Примечание: Сдвигающий момент принимается равным алгебраической сумме моментов всех сил от собственного веса штабеля, грунтов основания и фундаментов здания (если они находятся в зоне, проверяемой на устойчивость) относительно центра круглоцилиндрической поверхности скольжения. Удерживающий момент принимается равным сумме моментов сил трения и сил сцепления, возникающих в момент предельного равновесия на круглоцилиндрической поверхности и действующих на тело обрушения.

7. В расчётах устойчивости необходимо учитывать нестабилизированное состояние грунта основания*) в случаях, когда степень влажности его $G \geqslant 0{,}85$ и коэффициент консолидации $C_v \leqslant 1.10^7$ см2/год согласно п. 16.2 главы СНиП П-И.4-62. "Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования".

---

*) Нестабилизированное состояние, имеющее место в глинистых грунтах, характеризуется тем, что в результате действия внешней нагрузки в поровой воде возникает избыточное давление, вызванное уплотнением грунта.

8. Расчёт давления в поровой воде при учёте нестабилизированного состояния рекомендуется производить, пользуясь одномерной задачей консолидации грунта.*)

При вычислении порового давления учитывается только нагрузка от штабеля (без веса грунта основания). При вычислении сил трения по круглоцилиндрической поверхности, нормальные силы определяются как разность нормальных составляющих весов штабеля с грунтом основания (с учётом взвешенного состояния) и обратно направленных сил избыточного давления в поровой воде.

Примечания: 1. Следует учитывать, что избыточное давление в поровой воде меняется в соответствии с изменением нагрузки от штабеля на основание.

2. Давление в поровой воде может иметь место и в зоне капиллярного поднятия воды, т.е. в зоне грунтов, расположенных выше уровня грунтовых вод.

В этом случае взвешивающее действие воды не имеет места. Показателем возможного возникновения давления в поровой воде является степень влажности грунта и коэффициент консолидации (см. п. 16.2 главы СНиП П-И.4-62). В случае отсутствия этих показателей для зоны капиллярного поднятия нестабилизированное состояние в глинистых грунтах следует принимать на 10.0 м выше уровня грунтовых вод.

---

*) Н.А. Цытович. Механика грунтов. Москва, 1963, стр. 498-513; В.А. Флорин. Теория уплотнения земляных масс. Стройиздат, Москва, 1948, стр. 81-82.

9. Для стабилизации грунта необходимо устройство песчаного дренажного слоя по верху основания, если в этом уровне отсутствует естественный фильтрующий слой.

10. При невозможности надежного обеспечения стабилизирующего действия естественного дренажа и регулирования темпа нагружения основания, при котором не успевает произойти консолидация грунта, а также для предварительных расчётов разрешается производить проверку устойчивости откосов штабеля и основания по методу "нулевого трения", по которому в пределах слоя нестабилизированного грунта силы трения от веса штабеля принимаются равными нулю. Силы трения от веса грунта основания при этом учитываются.

    Примечание: рекомендуется первоначально производить проверку устойчивости методом "нулевого трения" и, если при этом минимальный коэффициент запаса окажется достаточным, можно не производить уточненного расчёта с учетом давления в поровой воде, так как в дальнейшем устойчивость будет заведомо обеспечена в связи с тем, что будет иметь место консолидация грунта, снижение давления в поровой воде и увеличение сил трения.

11. Расчётные значения угла внутреннего трения "$\varphi$" и удельного сцепления "C" необходимо принимать по данным инженерно-геологических исследований в месте расположения склада и определять на основании лабораторных испытаний грунта на срез по обычной методике в полностью стабилизированном состоянии в соответствии с указаниями раздела 6 главы СНиП П-Б, 3-62, как среднеминимальные значения.

12. Коэффициент консолидации "$C_v$" определяется опытным путем на основании получаемых при компрессионных испытаниях грунта экспериментальных зависимостей вертикальной деформации от времени.

13. При устройстве под штабелем свайного фундамента с ростверком или шарнирной железобетонной плиты, опирающейся непосредственно на грунт, последние (плита и ростверк) должны рассчитываться на вертикальную нагрузку от штабеля, а также на горизонтальные растягивающие силы, вызванные касательными напряжениями от сыпучей массы о поверхность плиты или ростверка. Вертикальная нагрузка от штабеля может приниматься, исходя из треугольной эпюры давления его на плиту или ростверк.

Растягивающая сила в ростверке или плите определяется с учетом напряженного состояния сыпучей массы.

Примечание: при проектировании шарнирной плиты рекомендуется исходить из того, что после нахождения основания под нагрузкой в течение некоторого времени произойдет полная или частичная стабилизация грунтов основания; в результате этого устойчивость основания может оказаться в дальнейшем обеспеченной без учета влияния плиты, что может быть установлено поверочным расчётом с учетом давления в поровой воде в данный момент времени, поэтому плита может рассматриваться как временное сооружение.

14. Расчёт устойчивости основания штабеля при наличии шарнирной плиты производится по круглоцилиндрической поверхности скольжения по методу "нулевого трения", при этом шарнирная плита вместе со штабелем рассматриваются как жесткое

сооружение, а круглоцилиндрические поверхности скольжения проводятся через край плиты. Трение от собственного веса грунта основания при этом учитывается.

## ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

15. При компоновке генеральных планов промпредприятий, расположенных на площадках с основаниями из нескальных грунтов и, в особенности, при слабых грунтах, склады насыпных грузов следует располагать преимущественно на участках с лучшими несущими свойствами и менее обводненных грунтовыми водами. Не рекомендуется расположение складов на косогорах. Если же это неизбежно, то должна быть выполнена проверка общей устойчивости всего склона.

16. В районе расположения складов необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие быстрый и надежный отвод поверхностных вод.

17. Необходимо в максимальной степени, в особенности при слабых грунтах, сохранять при строительстве естественные условия залегания грунтов на участках расположения складов.

18. Рекомендуется избегать прокладки вблизи складов подземных инженерных сетей, требующих устройства сплошных траншей; если же это неизбежно, то оно должно быть учтено в расчёте общей устойчивости штабеля с основанием.

19. Котлованы под фундаменты основных несущих конструкций шатра складов должны по возможности выполняться отдельными, в минимальных габаритах, без откосов. Обратную засыпку как отдельных котлованов, так и общей выемки нужно производить несжимаемым грунтом (песок, гравий и т.д.)

с тщательным уплотнением его, о чем должно быть дано указание в проекте.

20. Если основания под склады сложены слабыми и обводненными грунтами, несущие конструкции шатра должны приниматься безраспорными.

21. В случае необходимости повышения устойчивости основания со штабелем (см. п. 3) могут быть применены следующие мероприятия:

а) пригрузка основания для консолидации грунта до начала строительства (предварительное обжатие) любым материалом; величина пригрузки определяется расчётом.
При этом на поверхности стабилизируемого основания обязательно устройство песчаной дренирующей подушки или какого-либо иного фильтра, если отсутствует естественный дренирующий слой;

б) пригрузка в построенном складе материалом, подлежащим хранению в нем. При этом должны быть заданы темпы загружения склада по срокам. Расчёт сроков загружения производится по теории консолидации земляных масс. Устройство песчаного или какого-либо иного фильтра на поверхности основания при отсутствии естественного дренирующего слоя обязательно. Темпы загружения склада должны быть согласованы с технологическим процессом;

в) пригрузка возможной призмы выпора снаружи здания грунтом или другими материалами. После консолидации грунта эта пригрузка может быть удалена, если при этом обеспечивается достаточный коэффициент запаса;

г) замена толщи слабых грунтов по всей площади склада грунтами песчаными или крупнообломочными, укладываемыми с надлежащим уплотнением; учёт их физико-механических характе-

ристик в расчётах устойчивости принимается по данным геотехконтроля. Производство работ должно осуществляться без нарушения структуры нижележащих слоев основания;

д) устройство шарнирной железобетонной плиты по верху основания под всем штабелем сыпучего материала с песчаным дренирующим слоем под ней. Если при этом устойчивость окажется недостаточной, рекомендуется устройство зуба по периметру плиты;

е) в исключительных случаях, когда все вышеперечисленные мероприятия не могут быть выполнены или не обеспечивают необходимого коэффициента запаса, и при неглубоком залегании от поверхности коренных пород с достаточно высокой несущей способностью, допускается устройство под штабелями сыпучих материалов свайного фундамента из железобетонных свай и железобетонного ростверка с передачей на него веса насыпных грузов.

22. Фундаменты под несущими конструкциями склада должны рассчитываться на устойчивость с учётом бокового давления грунта на эти фундаменты, возникающего под действием вертикальной нагрузки от штабеля на основание. Расчёт устойчивости следует производить руководствуясь гл. 3 СНиП II-Б 3-62. Основания гидротехнических сооружений: Нормы проектирования.

23. Выбор мероприятия по повышению устойчивости основания и штабеля следует производить на основании технико-экономического анализа.

24. Данные указания не распространяются на просадочные грунты, а также на районы вечной мерзлоты. Лессовидные непросадочные (водонасыщенные) грунты относятся к обычным глинистым грунтам.

# Формулы для расчета устойчивости штабеля сыпучего материала и основания под ними

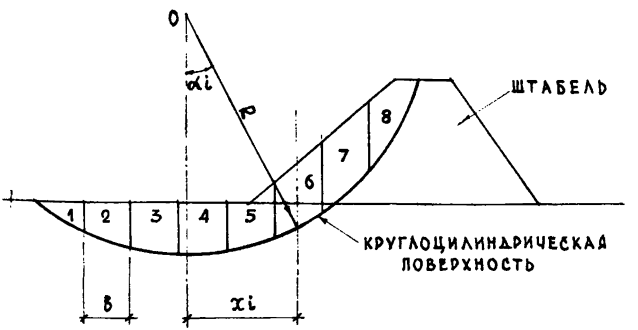



Рис. 1

Расчёт производится исходя из потери устойчивости штабеля и основания под ним в форме скольжения по круглоцилиндрической поверхности.

Коэффициент запаса на устойчивость для данной круглоцилиндрической поверхности определяется по формуле:

$$K = \frac{R(\Sigma b_i h_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + \Sigma C_n \ell_n)}{\Sigma b_i h_i x_i} \qquad (а)$$

Разрешается для практических целей разделить тело обрушения на элементы одинаковой ширины "$b$"; тогда после сокращения дроби на "$b$" формула примет вид:

$$K = \frac{R(\Sigma h_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + \frac{\Sigma C_n \ell_n}{b})}{\Sigma h_i x_i} \qquad (1)$$

Числитель дроби в формуле (а) обозначает удерживающий момент сил, возникающих в состоянии предельного равновесия на круглоцилиндрической поверхности – сил трения и сил сцепления – относительно центра этой поверхности; знаменатель дроби обозначает сдвигающий момент сил, действующих на рассматриваемую часть штабеля и основания относительно того же центра.

Примечания: 1. При расчёте устойчивости штабеля на нестабилизированном грунте, величина $\Sigma h_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i$ вычисляется с учетом избыточного давления в поровой воде (см. приложение № 2).

2. При расчёте устойчивости по методу "Нулевого трения" величина $\Sigma h_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i$ вычисляется без учета веса штабеля.

3. Если какой-либо столбик (элемент) тела обрушения попадает на круглоцилиндрическую поверхность в зоне двух слоев грунта, то для этого элемента следует принять угол внутреннего трения равным:

$$\varphi_i = \frac{\varphi_1 b' + \varphi_2 b''}{b' + b''}$$

где $\varphi_1$ и $\varphi_2$ – углы внутреннего трения данных двух слоев грунта $b'$ и $b''$ – длины дуг на круглоцилиндрической поверхности под рассматриваемым столбиком, соответствующие этим слоям грунта.

**Обозначения**

$R$ – радиус круглоцилиндрической поверхности

$b_i$ – ширина столбика – элемента штабеля и основания

$h_i$ – приведенная высота $i^{-ого}$ столбика. Эта высота определяется заменой $i^{-ого}$ элемента, состоящего из слоев разных объёмных весов, фиктивным столбиком с объёмным весом $\gamma = 1{,}0$. Численно она равна давлению на 1 м2 горизонтальной проекции под данным элементом и в примерах названа "приведенным давлением".

$\alpha_i$ – угол между вертикалью и радиусом, проведенным в середину дуги круглоцилиндрической поверхности, на которую опирается данный элемент;

$\varphi_i$ – угол внутреннего трения материала данного элемента в зоне опирания его на круглоцилиндрическую поверхность;

$C_n$ – сила сцепления на 1 м2 на данном участке дуги круглоцилиндрической поверхности;

$l_n$ – длина участка дуги круглоцилиндрической поверхности, на котором сила сцепления сохраняет постоянное значение;

$x_i$ – плечо приведенного давления элемента относительно центра круглоцилиндрической поверхности;

Примечание: значение $x_i$, расположенное вправо от центра принимается со знаком плюс, а влево — со знаком минус.

# Формулы для определения давления в нестабилизированном грунте

Показателями нестабилизированного состояния глинистого грунта являются следующие условия:

а) степень влажности $C \geqslant 0{,}85$

б) коэффициент консолидации $\delta < 1 \cdot 10^7 \frac{см^2}{год}$

Давление на скелет грунта в нестабилизированном состоянии определяется по формуле:

$$P_z = P\left[1 - \frac{4}{\pi}\sin\frac{\pi z}{2h}e^{-N} - \frac{4}{3\pi}\sin\frac{3\pi z}{2h}e^{-9N} - \ldots \right.$$

$$\left. \ldots - \frac{4}{(2m+1)\pi}\sin\frac{(2m+1)\pi z}{2h}e^{-(2m+1)^2 N}\right] \qquad (2)$$

(Цытович Н.А. Механика грунтов. Москва, 1963 г. стр. 499-512),

где:

$P$ – полное давление от штабеля;

$P_z$ – часть этого давления, передающаяся на скелет грунта;

$P_w$ – То же, передающаяся на поровую воду.

$$N = \frac{\pi^2 \delta t}{4h^2}$$

$t$ – Продолжительность действия нагрузки – время консолидации грунта

$h$ – Половина сжимаемой толщи стабилизируемого грунта при

двухсторонней фильтрации поровой воды. При наличии несжимаемого водоупора (скалы) за величину "h" принимается расстояние от фильтрующего слоя до водоупора. Эпюра давления "$P_z$" показана на рис. 2.

m - Порядковый член ряда, считая 2-й член в скобках - нулевым членом, 3-й член - первым и т.д.

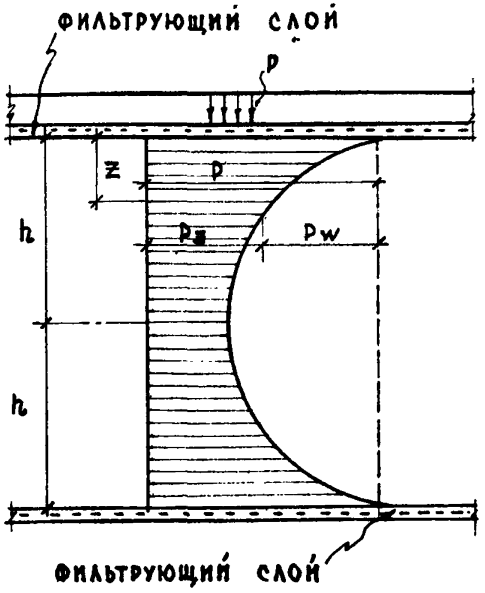



Рис. 2

В начальный момент времени ( $t=0$, $N=0$ ) давление от штабеля сыпучего материала на скелет грунта по всей высоте сжимаемой толщи принимается равным нулю, т.е. вся нагрузка от штабеля передается на поровую воду.

Для практических расчётов разрешается пользоваться упрощенной формулой:

$$P_z = P\left(1 - \sin\frac{\pi z}{2h}\, e^{-N}\right) \qquad (3)$$

Если стабилизируемая толща глинистых грунтов снизу не ограничена, т.е. когда в близлежащих слоях основания нет ни скалы, ни дренирующего слоя, то давление от штабеля распределяется между скелетом грунта и поровой водой по формулам:
(В.А. Флорин. Теория уплотнения земляных масс, стр. 81–82, Стройиздат, Москва, 1948 г.)

$$P_z = P\left[1 - G(u)\right] \qquad (4)$$

$$P_w = P \cdot G(u) \qquad (5)$$

где:

$$u = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{z^2}{\delta t}} = \frac{z}{\sqrt{4\delta t}}$$

$$G(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{z}{\sqrt{4\delta t}}} e^{-\eta^2} d\eta$$

Функция Лапласа $G(u)$ может вычисляться либо по математическому справочнику, либо по прилагаемому графику или таблице.

Значение функции Лапласа $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$

| $x$ | $\phi(x)$ | $\Delta$ | $x$ | $\phi(x)$ | $\Delta$ | $x$ | $\phi(x)$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,0000 | 564 | 0,95 | 0,8209 | 218 | 1,90 | 0,9928 | 14 |
| 0,05 | 0,0564 | 561 | 1,00 | 0,8427 | 197 | 1,95 | 0,9942 | 11 |
| 0,10 | 0,1125 | 555 | 1,05 | 0,8624 | 178 | 2,00 | 0,9953 | 10 |
| 0,15 | 0,1680 | 547 | 1,10 | 0,8802 | 159 | 2,05 | 0,9963 | 7 |
| 0,20 | 0,2227 | 536 | 1,15 | 0,8961 | 142 | 2,10 | 0,9970 | 6 |
| 0,25 | 0,2763 | 523 | 1,20 | 0,9103 | 126 | 2,15 | 0,9976 | 5 |
| 0,30 | 0,3286 | 508 | 1,25 | 0,9229 | 111 | 2,20 | 0,9981 | 4 |
| 0,35 | 0,3794 | 490 | 1,30 | 0,9340 | 98 | 2,25 | 0,9985 | 3 |
| 0,40 | 0,4284 | 471 | 1,35 | 0,9438 | 85 | 2,30 | 0,9988 | 3 |
| 0,45 | 0,4755 | 450 | 1,40 | 0,9523 | 74 | 2,35 | 0,9991 | 2 |
| 0,50 | 0,5205 | 428 | 1,45 | 0,9597 | 64 | 2,40 | 0,9993 | 2 |
| 0,55 | 0,5633 | 406 | 1,50 | 0,9661 | 55 | 2,45 | 0,9995 | 1 |
| 0,60 | 0,6039 | 381 | 1,55 | 0,9716 | 47 | 2,50 | 0,9996 | 1 |
| 0,65 | 0,6420 | 358 | 1,60 | 0,9736 | 41 | 2,55 | 0,9997 | 1 |
| 0,70 | 0,6778 | 334 | 1,65 | 0,9804 | 34 | 2,60 | 0,9998 | 0 |
| 0,75 | 0,7112 | 309 | 1,70 | 0,9838 | 29 | 2,65 | 0,9998 | 1 |
| 0,80 | 0,7421 | 286 | 1,75 | 0,9867 | 24 | 2,70 | 0,9999 | 0 |
| 0,85 | 0,7707 | 262 | 1,80 | 0,9891 | 20 | 2,75 | 0,9999 | 0 |
| 0,90 | 0,7969 | 240 | 1,85 | 0,9911 | 17 | 2,80 | 0,9999 | 1 |
| 0,95 | 0,8209 | | 1,90 | 0,9928 | | 3,00 | 1,000 | |

Выписка из книги Е.С. Вентцеля: "Теория вероятности".
Гос. изд. физикоматематической литературы, г. Москва, 1962 г.

# Примеры расчета

**Пример 1.** Проверить устойчивость оснований под штабелем материала в складе влажного концентрата в зоне между фундаментами.

Исходные данные:

объёмный вес концентрата $\gamma$ = 3,2 т/м3
угол внутреннего трения $\varphi$ = 45°
удельная сила сцепления C = 3.0 т/м2
высота штабеля = 15,0 м

Гидрогеологические условия и физикомеханические свойства грунтов:

а) От поверхности земли до отметки ▽ 4,0 залегают влажные суглинки ($\varphi$ = 22°, C= 1,0 т/м2); от отметки ▽ 4,0 до отметки ▽ 7,5 - неогеновые глины ( $\varphi$ = 16°, C=4,0 т/м2). Уровень грунтовых вод - на отметке ▽ 3,0.

б) Объёмный вес грунта 1,8 т/м3 с учетом взвешивающего действия воды 1,0 т/м$^3$;

Степень влажности грунта G = 0.98 > 0.85

Коэффициент консолидации грунта

$$\delta > 1.10^7 \text{ см2/год}$$

В соответствии с п. 16.2 СНиП П-И.4-62 можно считать, что в процессе нагружения в поровой воде избыточное давление не возникает.

Задаемся рядом круглоцилиндрических поверхностей и для каждой из них определяем коэффициент запаса на устойчивость. Таким путем отыскивается поверхность с минимальным коэффициентом запаса.

В нашем примере приведен расчёт только по одной круглоцилиндрической поверхности.

Расчёт производится следующим образом:

а) Вычерчивается схема штабеля и основание с указанием физикомеханических свойств сыпучего

материала и грунтов основания и горизонта грунтовых вод;

б) Проводится круглоцилиндрическая поверхность

в) Штабель с основанием разбивается на ряд вертикальных элементов (столбиков) одинаковой ширины "$b$", рекомендуется принимать её равной $0{,}1R$;

г) Проводятся необходимые вычисления для определения коэффициента запаса по формулам приложения 1. Вычисления проводятся в табличной форме.

**Таблица 1** посвящена определению приведенных давлений. В графы 1, 2, 3 и 4 заносятся соответственно нумерация элементов, объёмный вес материала штабеля, высота элементов штабеля и приведенные давления элементов штабеля ( $\gamma y$ ).

Аналогичные вычисления выполняются для каждого слоя основания (графы 8, 9 и 10 и графы 11, 12 и 13).

Затем производится суммирование приведенных давлений для каждого элемента и занесение результата в графу 17.

**Таблица 2** посвящена определению величин.

$$\Sigma h_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i \text{ и } \Sigma h_i x_i$$

(см. формулу 1, приложения 1).

Далее вычисляется величина $\frac{\Sigma C_n l_n}{b}$ для всей дуги круглоцилиндрической поверхности. Для этого она делится на участки с постоянными значениями "$C$", для каждого участка вычисляется величина $\frac{C_n l_n}{b}$ и производится суммирование их по всей поверхности. Подставляя полученные величины в формулу 1 приложения 1, определяем коэффициент запаса на устойчивость для данной круглоцилиндрической поверхности.

Аналогичные расчёты производятся и для других

круглоцилиндрических поверхностей и отыскивается минимальный коэффициент запаса.

В нашем примере приведены вычисления только для одной круглоцилиндрической поверхности и для неё вычислен коэффициент запаса. Для остальных четырех поверхностей приведены только окончательные результаты. Все эти данные помещены в таблице 4 (поверхности 1, 2, 3, 4 и 5, графы 1, 2, 3, 4, 7 и 8).

**Пример 2.** Проверить устойчивость штабеля и основания под ним при тех же исходных данных, что и в примере 1 со следующими изменениями:
степень влажности грунта $G = 0.98$ ;
коэффициент консолидации $\sigma = 3{,}24 \cdot 10^4 \frac{см2}{год}$

В соответствии с п. 16.2 СНиП П-И.4-62 состояние грунта должно рассматриваться, как нестабилизированное.

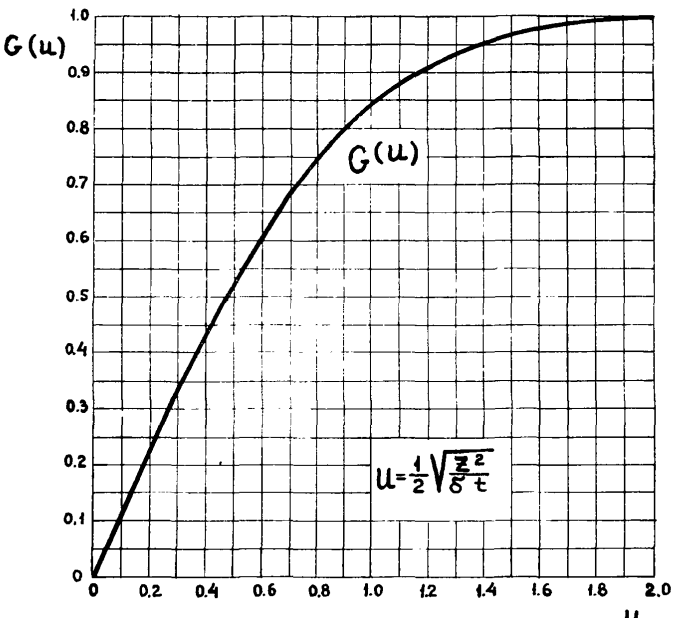
Порядок расчёта. В начале производится проверка устойчивости штабеля и основания на полную загрузку склада при условии быстрого загружения. Для этого случая расчёт производится по методу "нулевого трения".

## а) Расчет по методу "нулевого трения"

По этому методу для элементов, опирающихся на круглоцилиндрическую поверхность в зоне нестабилизированного состояния грунта, силы трения от веса штабеля принимаются равными нулю. Расчёт произведен в табличной форме с использованием бланков таблиц примера 1.

В графе 4 табл. 1 выделены те элементы, которые попадают на поверхность скольжения в нестабилизированной зоне (эти данные в таблице обведены рамкой). Заполняется графа 18; для этого из величин графы 17, соответствующих элементам 2-7 вычитаются величины графы 4, заключенные в рамку;

## График для определения $G(u)$




$\delta$ – коэффициент консолидации

для остальных элементов величины суммарных давлений остаются без изменения.

В таблице 2 заполняются графы 3 и 11 (графы 5–9 заполнены ранее). Далее по формуле 1 приложения 1 вычисляется коэффициент запаса так же, как это сделано в примере 1. Все эти данные помещены в таблице 4 (графы 1, 2, 3, 5, 7 и 9).

Если при этом минимальный коэффициент запаса оказывается достаточным, то дальнейших расчётов, как это рекомендовано в "Указаниях" можно не производить.

В нашем примере коэффициент запаса оказался недостаточным ($K = 1{,}07 < 1{,}20$), поэтому должно быть рекомендовано одно из мероприятий, перечисленных в "Указаниях". Для нашего склада принята загрузка склада в 2 этапа:

первый этап: загрузка склада штабелем высотою 12.0 м с сохранением такого режима в течение года;

второй этап: полная загрузка склада штабелем высотою 15,0 м.

Для первого этапа произведена проверка устойчивости штабеля и основания по методу "Нулевого трения". Коэффициент запаса для этого этапа оказался достаточным. (В нашем примере этот расчёт не приведен, так как он ничем не отличается от примера 2а). Далее производится расчёт устойчивости штабеля и основания на полную нагрузку склада с учётом частичной стабилизации грунта основания от загрузки его в течении года на первом этапе.

## б) Расчет устойчивости штабеля и основания под ним с учетом избыточного давления в поровой воде

Смысл этого расчёта заключается в следующем: в зоне, где элементы штабеля попадают на круглоцилиндрическую поверхность в зоне нестабилизированного грунта, силы трения учитываются только

от части давления штабеля на 1-м этапе загружения, а именно, от той части давления, которая передается через скелет грунта ( $P_z$ ).

Для всей остальной нагрузки от штабеля, т.е. для части давления его на 1-м этапе, передающейся на поровую воду и для давления его от загрузки на 2-м этапе - силы трения принимаются равными нулю.

## Порядок расчета

По формуле (4) или (5) приложения 2 определяется отношение давления на скелет грунта к полному давлению ( $\frac{P_z}{P}$ ) для тех элементов штабеля на 1-м этапе, давление от которых передается на круглоцилиндрическую поверхность в зоне нестабилизированного грунта, в нашем случае, для элементов 4, 5, 6 и 7 (см. схему на стр. 32 ). Вычисление этих величин помещено в таблице 3.

Примечание: величина " h " табл. 3 принята равной толщине сжимаемого слоя т.е. 900 см. (см. схему на стр. 32).

Далее эта величина заносится в графу 5 табл. 1, там же в графу 6 заносятся высоты элементов штабеля 4, 5, 6 и 7 по 1-му этапу загружения и вычисляются приведенные давления, и заносятся в графу 7; затем вычисляются суммарные приведенные давления и заносятся в графу 19; при чем для штабеля они принимаются по графе 7, а для основания по графам 10 и 13. Эти величины переносятся в графу 4 табл. 2, после чего заполняется графа 12 этой же таблицы. Дальнейший ход расчёта такой же как в примерах 1 и 2а, т.е. по формуле 1 приложения 1 вычисляется коэффициент запаса. Результаты вычислений занесены в табл. 4 (строка 1).

По другим круглоцилиндрическим поверхностям в эту таблицу занесены только окончательные результаты расчётов, самые же вычисления всех величин не приведены.

# Суммарные приведенные давления

Кривая I  $b = 2{,}0$ м

| Штабель | | | | | | | 1 слой грунта | | | 2 слой грунта | | | 3 слой грунта | | | Суммарные приведенные давления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Номера элементов | $\gamma$ т/м³ | $y$ м | $\gamma y$ | $\frac{p_z}{p}$ | $y'$ | $\gamma y' \cdot \frac{p_z}{p}$ | $\gamma$ т/м³ | $y$ м | $\gamma y$ | $\gamma$ т/м³ | $y$ м | $\gamma y$ | $\gamma$ т/м³ | $y$ м | $\gamma y$ | Пример I для стабилизированного грунта $h_1$ | Пример 2а для случая "нулевого трения" $h_2$ | Пример 2б для нестабилизированного грунта $h_3$ |
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 |
| 0 | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,9 | 3,9 | | | | 9,3 | 9,3 | 9,3 |
| I | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,8 | 3,8 | | | | 9,2 | 9,2 | 9,2 |
| 2 | | 0,2 | 0,8 | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,5 | 3,5 | | | | 9,7 | 8,9 | 8,9 |
| 3 | | 2,0 | 6,4 | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,0 | 3,0 | | | | I4,8 | 8,4 | 8,4 |
| 4 | | 4,0 | I2,8 | 0,I75 | I,0 | 0,56 | | 3,0 | 5,4 | | 2,3 | 2,3 | | | | 20,5 | 7,7 | 8,26 |
| 5 | 3,2 | 6,0 | I9,2 | 0,333 | 3,0 | 3,I9 | I,8 | 3,0 | 5,4 | I,0 | I,3 | I,3 | | | | 25,9 | 6,7 | 9,89 |
| 6 | | 8,0 | 25,6 | 0,523 | 5,0 | 8,38 | | 3,0 | 5,4 | | 0,I | 0,I | | | | 3I,I | 5,7 | I8,3 |
| 7 | | I0,0 | 32,0 | 0,778 | 7,0 | I7,45 | | I,5 | 2,7 | | | | | | | 34,7 | 2,7 | 20,I5 |
| 8 | | II,4 | 36,5 | | | | | | | | | | | | | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 9 | | I0,5 | 33,6 | | | | | | | | | | | | | 33,6 | 33,6 | 33,6 |
| I0 | | 5,2 | I6,8 | | | | | | | | | | | | | I6,8 | I6,8 | I6,8 |

Продолжение

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I' | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,8 | 3,8 | | | | 9,2 | 9,2 | 9,2 |
| 2' | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,5 | 3,5 | | | | 8,9 | 8,9 | 8,9 |
| 3' | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | 3,0 | 3,0 | | | | 8,5 | 8,5 | 8,5 |
| 4' | | | | | | | I,8 | 3,0 | 5,4 | I,0 | 2,3 | 2,3 | | | | 7,7 | 7,7 | 7,7 |
| 5' | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | I,3 | I,3 | | | | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| 6' | | | | | | | | 3,0 | 5,4 | | 0,I | 0,I | | | | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| | | | | | | | | I,5 | 2,7 | | | | | | | 2,7 | 2,7 | 2,7 |

Примечания: I. К примеру I относятся графы: I÷4; 8÷I3; I7
2. К примеру 2а -"- -"- I; 8÷I3; I8
3. К примеру 2б -"- -"- I; 5÷I3; I9

$\gamma$ - объёмный вес материала

$y, y'$ - высота части элемента - штабеля или слоя грунта

*Таблица 2*

## Определение величин

$\Sigma h_i x$ ; $\Sigma h_i \cos\alpha_i tg\,\varphi_i$
$\Sigma h_2 \cos\alpha_i tg\,\varphi_i$ и
$\Sigma h_3 \cos\alpha_i tg\,\varphi_i$

Кривая I  R = 210 м

| Номера элементов | $h_1$ м | $h_2$ м | $h_3$ м | $x_i$ м | $h_i x_i$ | $Sin\alpha_i = \frac{x_i}{R}$ | $Cos\,\alpha_i$ | $tg\,\varphi_i$ | Для примера I (для стабилизированного грунта) $h_i \cos\alpha_i tg\varphi_i$ | Для примера 2а (для случая "нулевого трения") $h_2 \cos\alpha_i tg\varphi_i$ | Для примера 2б (для нестабилизированного грунта) $h_3 \cos\alpha_i tg\varphi_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 |
| 0 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 0 | 0 | 0 | I | | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| I | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 2,0 | I8,4 | 0,095 | 0,095 | $\varphi$ =I6° | 2,6 | 2,6 | 2,6 |
| 2 | 9,7 | 8,9 | 8,9 | 4,0 | 38,8 | 0,I90 | 0,982 | | 2,6 | 2,4 | 2,4 |
| 3 | I4,8 | 8,4 | 8,4 | 6,0 | 88,8 | 0,286 | 0,958 | 0.287 | 4,I | 2,5 | 2,5 |
| 4 | 20,5 | 7,7 | 8,26 | 8,0 | I64,0 | 0,38I | 0,925 | | 5,4 | 2,0 | 2,2 |
| 5 | 25,9 | 6,7 | 9,89 | I0,0 | 259,0 | 0,476 | 0,88 | | 6,5 | I,7 | 2,5 |
| 6 | 3I,I | 5,7 | I8,3 | I2,0 | 373,0 | 0,57I | 0,82I | $\varphi$ =22° | I0,3 | I,9 | 6,6 |
| 7 | 34,7 | 2,7 | 20,I5 | I4,0 | 485,0 | 0,667 | 0,744 | 0,404 | I0,4 | 0,8I | 6,05 |
| 8 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | I6,0 | 584,0 | 0,762 | 0,647 | $\varphi$ =45° | 23,6 | 23,6 | 23,6 |
| 9 | 33,6 | 33,6 | 33 6 | I8,0 | 605,0 | 0,857 | 0,5I5 | I,0 | I7,3 | I7,3 | I7,3 |
| I0 | I6,8 | I6,8 | I6,8 | I9,6 | 329,0 | 0,933 | 0,360 | | 6,0 | 6,0 | 6,0 |

Продолжение

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I' | 9,2 | 9,2 | 9,2 | -2,0 | -I8,4 | 0,095 | 0,995 | $\varphi = I6^0$ | 2,6 | 2,6 | 2,6 |
| 2' | 8,9 | 8,9 | 8,9 | -4,0 | -35,6 | 0,I90 | 0,982 | 0,287 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| 3' | 8,5 | 8,5 | 8,5 | -6,0 | -5I,0 | 0,286 | 0,958 | | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| 4' | 7,7 | 7,7 | 7,7 | -8,0 | -6I,6 | 0,38I | 0,925 | | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 5' | 6,7 | 6,7 | 6,7 | -I0,0 | -67,0 | 0,476 | 0,880 | $\varphi = 22^0$ | I,7 | I,7 | I,7 |
| 6' | 5,5 | 5,5 | 5,5 | -I2,0 | -66,0 | 0,57I | 0,82I | 0,404 | I,8 | I,8 | I,8 |
| 7' | 2,7 | 2,7 | 2,7 | -I4,0 | -4I,0 | 0,676 | 0,736 | | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | | | | | $\Sigma$ 2605,0 | | | | $\Sigma$ I05,7 | $\Sigma$ 77,3I | $\Sigma$ 88,25 |

Примечания: I. К примеру I относятся графы I,2, 5÷I0
2. К примеру 2а -"- -"- I,3, 5÷9,II
3. К примеру 2б -"- -"- I,4, 5÷9 и I2

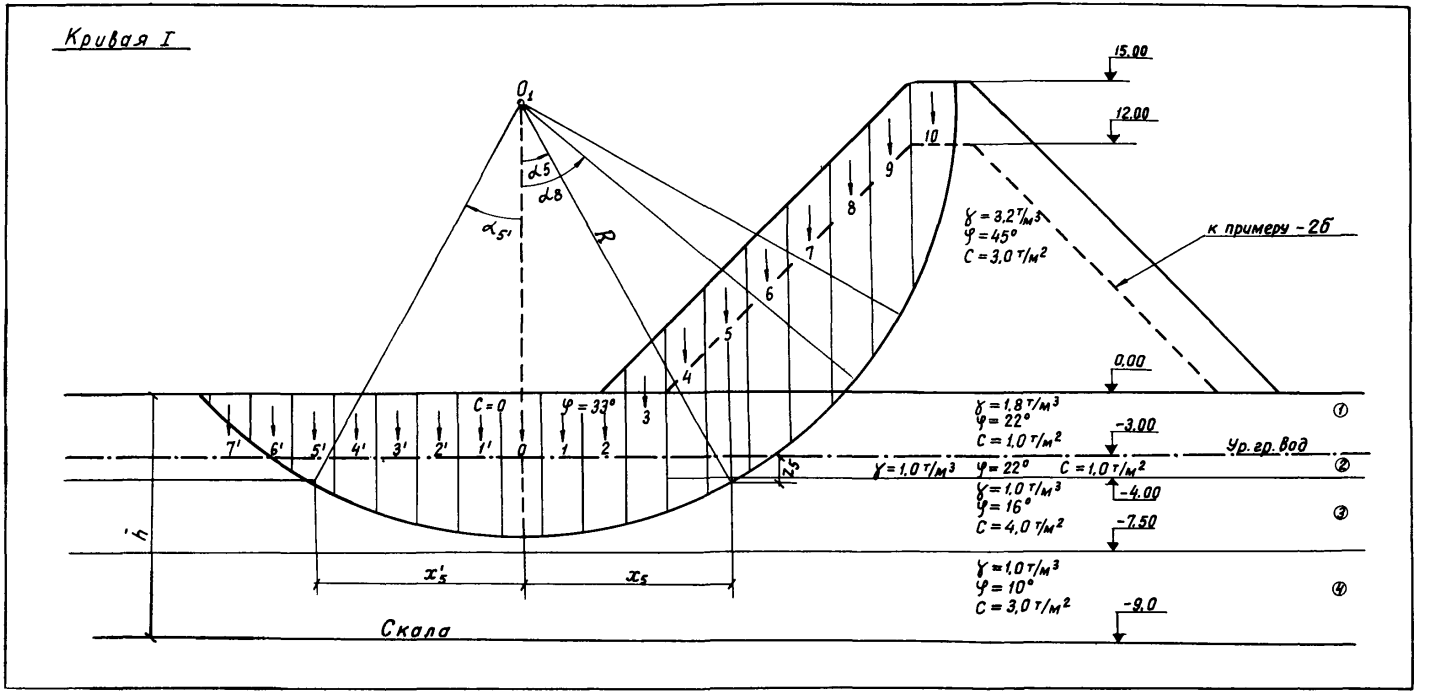
*Таблица 3*

## Определение величин $\frac{p_z}{p}$

(к примеру 26)

| Номера элементов | h см | Z см | $\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{z}{h}\right)$ | $N=\frac{\pi^2\delta}{4h^2}\cdot t$ | $e^{-N}$ | $\frac{p_z}{p}=1-e^{-N}\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{z}{h}\right)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| I | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | 900 | 520 | 0,906 | 0,097 | 0,9I | 0,I75 |
| 5 | 900 | 420 | 0,733 | 0,097 | 0,9I | 0,333 |
| 6 | 900 | 300 | 0,524 | 0,097 | 0,9I | 0,523 |
| 7 | 900 | I40 | 0,244 | 0,097 | 0,9I | 0,778 |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| I0 | | | | | | |

Примечание: обозначения к данной таблице см. в приложении – 2.


Кривая I
$O_1$
$\alpha_5$
$\alpha_8$
$\alpha_{5'}$
R
15.00
12.00
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
1'
2'
3'
4'
5'
6'
7'
$\gamma = 3,2$ т/м³
$\varphi = 45°$
$C = 3,0$ т/м²
к примеру - 2б
0.00
C = 0
$\varphi = 33°$
$\gamma = 1,8$ т/м³
$\varphi = 22°$
$C = 1,0$ т/м²
-3.00
Ур. гр. вод
$\gamma = 1,0$ т/м³
$\varphi = 22°$
$C = 1,0$ т/м²
$\gamma = 1,0$ т/м³
$\varphi = 16°$
$C = 4,0$ т/м²
-4.00
-7.50
$\gamma = 1,0$ т/м³
$\varphi = 10°$
$C = 3,0$ т/м²
-9.0
$z_5$
h
$x'_5$
$x_5$
Скала
①
②
③
④

# Определение коэффициентов запаса

*Таблица 4*

| Номер круглоцилиндрической поверхности | R м | $\Sigma h_i x_i$ | $\Sigma h_1 \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i$ (к примеру I) | $\Sigma h_2 \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i$ (к примеру 2) | $\Sigma h_3 \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i$ (к примеру 2б) | $\frac{\Sigma C_n \ell_n}{b}$ | К I графы (к примеру I) | К 2 графы (к примеру 2а) | К 3 графы (к примеру 2б) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 |
| I | 2I,0 | 2605,0 | I05,7 | 77,3I | 88,25 | 82,4 | I,5I | I,28 | I,37 |
| 2 | I8,4 | 2450,0 | II2,8 | 74,3 | 98,5 | 50,7 | I,40 | I,07 | I,28 |
| 3 | 2I,5 | 30I0,2 | 84,4 | 60,8 | 68,2 | II3,5 | I,4I | I,I7 | I,29 |
| 4 | 24,0 | 3785,9 | 98,4 | 70,8 | 8I,8 | I26,6 | I,43 | I,25 | I,33 |
| 5 | 2I,I | 3036,I | 99,2 | 75,2 | 83,3 | 97,7 | I,37 | I,20 | I,27 |

Примечание: обозначения к данной таблице см. в приложении I.

$K_I$ - коэффициент запаса для примера I

$K_2$ - коэффициент запаса для примера 2а. Штабель опирается на нестабилизированный грунт. Расчёт произведен по методу "нулевого трения".

$K_3$ - коэффициент запаса для примера 2б. Штабель опирается на нестабилизированный грунт. Расчёт произведен с учётом порового давления.

# Содержание

Информационное письмо о расчёте устойчивости оснований складов сыпучих материалов 3

Инструктивные указания по расчёту устойчивости оснований штабелей сыпучих материалов 7

Приложение 1.
Формулы для расчёта устойчивости штабеля сыпучего материала и основания под ним 15

Приложение 2.
Формулы для определения давления в нестабилизированном грунте 18

Приложение 3.
Примеры расчёта 22

Зак. 709 24.11-65 Тир. 750. Для внутриведомственного распространения. Цена 17 коп.

ПМГ ЛПСП, Ленинград, ул. Марата, 90

О п е ч а т к и.

| Страница | Строка | Напечатано | Следует читать |
|---|---|---|---|
| 4 | I8 сверху | I964 г. | I953 г. |
| 20 | 5 снизу | $\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{z}{\sqrt{45t}}} l^{-t^2}dt$ | $\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{z}{\sqrt{45t}}} e^{-t^2}dt$ |
| 28 | Таблица I графа 4 | Нет рамки | 0,8<br>6,4<br>I2,8<br>I9,2<br>25,6<br>32,0 |
| 27 | I5 и I9 | Стр. 32 | Стр. 33 |

gost.e-ecolog.ru