



МИНИСТЕРСТВО
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
С С С Р

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

Предложения

по расчету устойчивости
откосов высоких насыпей
и глубоких выемок

МОСКВА 1966

ПРЕДИСЛОВИЕ

Отсутствие в настоящее время единого нормативно-технического документа, который мог бы дать четкие и достаточно полные рекомендации по всем основным этапам оценки устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок, начиная с оценки инженерно-геологической обстановки и выбора расчетной схемы и кончая определением расчетных характеристик грунтов, создает определенные трудности при проектировании земляного полотна автомобильных и железных дорог и зачастую приводит к недостаточно обоснованным решениям. Вследствие этого нередки случаи нарушения устойчивости откосов, ведущие к дополнительным и часто весьма значительным затратам.

Настоящие "Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок", разработанные Союздорнии совместно с ЦНИИС, дают по вопросам расчета устойчивости откосов рекомендации, которые позволят в максимально возможной степени исключить необоснованные решения.

"Предложения" составлены на основе изучения литературных и фондовых материалов по вопросам устойчивости откосов (включая методы определения расчетных параметров), анализа и обобщения опыта проектирования высоких откосов, изучения и анализа существующих методов расчета устойчивости откосов, результатов натурных обследований участков высоких насыпей и глубоких выемок на различных объектах и случаев нарушения устойчивости откосов земляного полотна. Кроме того, при разработке "Предложений" выполнены специальные расчеты, лабораторные испытания и некоторые дополнительные теоретические исследования. В "Предложениях" учтены результаты исследований в области обеспечения устойчивости откосов, проведенных как в различных организациях, так и отдельными авторами. В частности, в основу исследований Союздорнии при разработке настоящих "Предложений" был положен ряд принципиальных положений, выдвинутых в работах проф. Н.Н. Маслова (МАДИ). ЦНИИС в своих исследованиях использовал ряд работ, выполненных под руководством проф. Г.М. Шахуняца (МИИТ).

Некоторые вопросы (учет сейсмического воздействия, определенные гарантированные значения характеристик грунтов и др.) отражены в настоящих "Предложениях" на основании материалов известных работ, без дополнительных исследований.

В "Предложениях" приведена классификация откосов и форм нарушения их общей устойчивости, даны рекомендации о порядке выбора расчетных схем и методов расчета, изложен порядок применения рекомендуемых методов, требования в отношении коэффициента запаса, а также рекомендации по методике определения расчетных параметров.

"Предложения" разрабатывали:

от Союздорнии – канд. техн. наук В.Д. Казарновский, мл. науч. сотр. Ю.М. Львович, ст. инж. И.И. Вельмакина;

от ЦНИИС – канд. техн. наук Е.А. Яковлева, инж. Л.Л. Аполлонов.

В исследованиях на различных этапах принимали участие:

в Союздорнии – канд. геол.-минерал. наук Н.С. Бирюков, инж. Е.Т. Соменова, мл. науч. сотр. Т.И. Федосеева, ст. инж. Ю.В. Пудов, ст. техник В.В. Юдина, техник В.С. Карпова;

в ЦНИИС – ст. инж. Г.И. Коковашина, и.о. инж. И.С. Лебедева, ст. мастер В.П. Корнелин, инж. А.М. Володин, ст. мастер Р.С. Ибрагимов, рабочая Т.И. Тихонова.

Все замечания и пожелания по настоящей работе просим направлять по адресу: Московская область, Балашиха-6, Союздорнии.

ДИРЕКТОР СОУЗДОРНИИ
канд. техн. наук, доцент – В. Михайлов

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящие "Предложения" касаются методов оценки общей устойчивости откосов земляного полотна автомобильных и железных дорог в глубоких (глубже 12 м) выемках и высоких (выше 12 м) насыпях, а также в сложных инженерно-геологических условиях.

В "Предложениях" рассматриваются откосы, сложенные преимущественно глинистыми, песчаными, гравелистыми и щебенистыми непросадочными грунтами. При этом предполагается, что в основании откосов также залегают непросадочные и не вечномёрзлые грунты.

Откосы в скальных грунтах не рассматриваются.

"Предложения" не освещают вопросов местной устойчивости откосов, для обеспечения которой в необходимых случаях должны быть предусмотрены специальные мероприятия.

2. Расчет устойчивости откоса в каждом конкретном случае должен проводиться на основе детального изучения инженерно-геологической обстановки района и участка трассы, а также конкретных особенностей условий работы земляного полотна на данном участке.

3. Расчетная схема и метод расчета выбираются в каждом случае индивидуально.

При их выборе необходимо учитывать возможность многообразия формы проявления нарушения устойчивости откосов. Выбранная расчетная схема должна соответствовать наиболее вероятной для данного случая форме нарушения устойчивости откоса, определяемой инженерно-геологическими особенностями и особенностями условий работы откоса. Эти особенности отражены в классификации откосов.

В тех случаях, когда трудно заранее достоверно определить наиболее вероятную форму нарушения устойчивости откоса, необходимо провести комплексные расчеты, исходя из двух или нескольких наиболее вероятных схем.

4. Расчеты устойчивости откосов насыпей и выемок необходимо проводить для расчетных поперечников. В качестве расчетных принимаются поперечники с наиболее неблагоприятным сочетанием различных факторов, таких, как высота и крутизна откоса, величина сдвиговых характеристик грунтов, мощность и расположение слабых прослоек, наклон слоев, наличие зыкнивающихся грунтовых вод или подтопления и т.п.

5. Расчеты устойчивости выполняются для условий плоской задачи, т.е. для Элемента откоса протяженностью (вдоль трассы) 1 м.

Для проведения расчета необходимы:

- данные по общим инженерно-геологическим условиям района строительства;
- заданное очертание откоса;
- геотехнический разрез по расчетному поперечнику;
- расчетные значения физико-механических характеристик грунтов, слагающих откос и его основание;
- гидрогеологические данные;
- расчетные временные нагрузки.

6. Степень достоверности расчета в значительной мере определяется правильностью выбора расчетной схемы и расчетных значений сдвиговых характеристик грунтов откоса и его основания.

Расчетные значения сдвиговых характеристик грунтов должны устанавливаться по данным испытаний образцов грунтов в лаборатории с учетом статистического характера закономерностей в грунтах. методика испытаний должна в максимальной степени моделировать реальные условия работы откосов, учитывая вероятность наиболее неблагоприятного, с точки зрения устойчивости откосов, сочетания этих условий.

7. При оценке устойчивости вновь проектируемых откосов необходимо вводить коэффициенты запаса, отражающие возможный недоучет реальных условий расчетной схемой. Величина коэффициента запаса зависит от метода расчета и некоторых других условий и принимается в соответствии с указаниями п.56.

П. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОТКОС

8. При расчете устойчивости откосов земельного полотна автомобильных и железных дорог учитываются возникающие в откосе или в его основании усилия:

- от собственного веса грунтовой толщи;
 - от воздействия праманной подвижной нагрузки (для насыпей);
 - от веса верхнего строения пути (для железнодорожных насыпей);
 - в результате фильтрации грунтовых вод, подтопления или затопления насыпи водой,
- а также дополнительные усилия, возникающие в результате сейсмических явлений.

9. При расчете устойчивости откосов автодорожных насыпей учет временной подвижной нагрузки осуществляется путем приведения ее к эквивалентному слою грунта земляного полотна. За расчетную принимают величину нормативной гусеничной нагрузки для заданной категории дороги при наименее выгодном ее расположении.

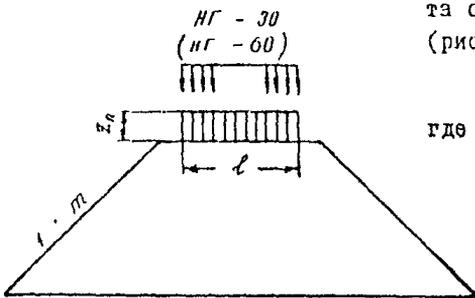


Рис.1. Учет подвижной нагрузки при расчете устойчивости откосов автодорожных насыпей

За нормативную гусеничную нагрузку принимается нагрузка от одной расчетной машины на гусеничном ходу, установленной в расчетном положении на обочине параллельно оси земляного полотна. Расстояние от внешней гусеницы до оровки откоса должно быть не менее 0,25 м. Основные данные по нормативным гусеничным нагрузкам приведены в табл.1.

10. При расчете устойчивости откосов железнодорожных насыпей величина временной погонной подвижной нагрузки ρ_n определяется по формуле (рис.2)

$$\rho_n = \frac{\sum P}{l_{жб}} \quad (2)$$

где P - давление на ось расчетного локомотива, т;

$l_{жб}$ - длина жесткой базы локомотива, м;

$\sum P$ - суммарное давление на оси, составляющие жесткую базу, т.

Для железнодорожных линий I и II категорий величину погонной поездажной нагрузки следует назначать равной 23 т, при этом во внима-

Высоту эквивалентного слоя грунта от расчетной тракторной нагрузки (рис.1) определяют по формуле

$$z_n = \frac{2\rho_n}{\gamma l} \quad (1)$$

где ρ_n - погонная нагрузка на одну гусеницу, т/м;

z_n - высота эквивалентного слоя грунта, м;

l - ширина нормативной гусеничной нагрузки, м;

γ - объемный вес грунта верхней части откоса земляного полотна, т/м³.

ние перспективный тип локомотива с давлением на ось 32 т (см. приложение 3, 4).

Таблица I

Показатели	Схемы на- грузки	
	НГ-60	НГ-30
Вес машины, т	60	30
Давление на 1 пог.м гусеницы, т	6	3,75
Длина опирания гусеницы, м	5	4
Ширина гусеницы, м	0,7	0,5
Расстояние между серединами гусениц в поперечном направлении, м	2,6	2,5
Ширина нормативной тракторной нагрузки ℓ , м	3,3	3,0

II. Величина постоянной погонной нагрузки на основной площадке от верхнего строения пути устанавливается по заданному типу верхнего строения пути (см. приложение 5).

12. В расчетах устойчивости временная подвижная нагрузка и постоянная нагрузка от веса верхнего строения пути заменяются эквивалентным столбом грунта на основной площадке высотой соответственно z_n и z_b (см. рис.2).

Высота фиктивного столба грунта от поездной нагрузки определяется по формуле

$$z_n = \frac{P_n}{\gamma \cdot \ell}$$

где P_n - погонная поездная нагрузка, т/м;
 γ - объемный вес грунта под основной площадкой, т/м³;
 ℓ - ширина фиктивного столба грунта, м;
 $\ell = 2,7 + h$ (h - толщина балластного слоя).

Высота фиктивного столба грунта от веса верхнего строения определяется по формуле

$$z_b = \frac{P_b}{\gamma \cdot \ell_b}$$

где P_b - погонная нагрузка от верхнего строения пути, т/м (см. приложение 5);
 ℓ_b - ширина балластной призмы в н, приведенная к равно-

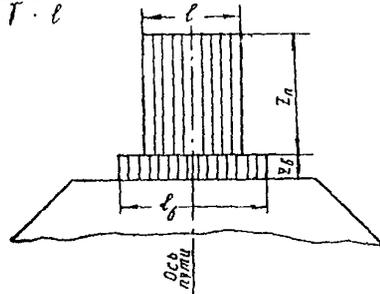


Рис.2. Учет подвижной нагрузки и нагрузки от верхнего строения пути при расчете устойчивости откосов железнодорожных насыпей

великому прямоугольнику той же высоты (см. приложение 6);

γ - объемный вес грунта под основной площадкой, т/м^3 .

13. Учет силового воздействия воды на устойчивость откоса для различных условий их взаимодействия осуществляется в соответствии с рекомендациями пп. 57-64 настоящих "Предложений" /8, 26/.

Сейсмические воздействия учитываются в соответствии с рекомендациями пп. 65-69 настоящих "Предложений" /10/.

Ш. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКОСОВ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ НАРУШЕНИЯ ИХ ОБЪЕМНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

14. В зависимости от инженерно-геологических особенностей грунтовой толщи, слагающей откос и его основание, а также от гидрогеологических условий работы откоса насыпей и впадок следует классифицировать в соответствии с табл.2.

Таблица 2

Тип земляного полотна	Строение откоса	Характер слоистости	Тип откоса по воздействию на него подземных и поверхностных вод
Насыпь (Н)	А. Однородный	-	1. Безводный
	Б. Слоистый	-	2. Подверженный силовому воздействию воды
Впадка (В)	А. Однородный	-	1. Безводный
	Б. Слоистый	1. Горизонтальные слои	2. Насыщенный поток грунтовой воды
		II. Падение в сторону впадки	
		III. Падение от впадки	
IV. Сложное расположение слоев			

По табл.2 устанавливается индекс классификационной группы откоса, устойчивость которого требуется определить. Например, откосу впадки, сложенному горизонтальными слоями, не насыщенными грунтовой водой, соответствует индекс (В)-Б-1-1.

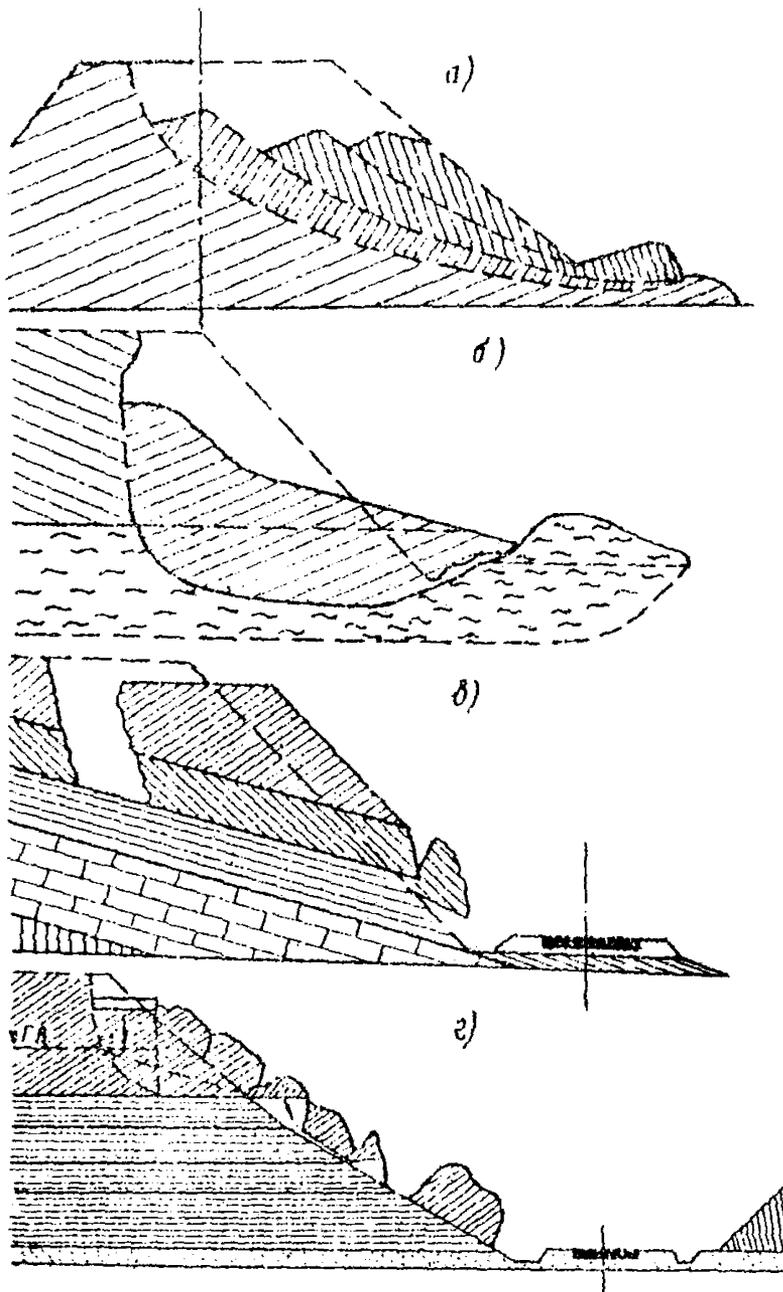


Рис. 3. Основные формы нарушения общей устойчивости откосов;
 а-обрушение со срезом и вращением; б-скол при просадке; в-скольжение; г-оползень - сдвиг

15. При выборе расчетной схемы и метода расчета устойчивости проектируемого или существующего откоса необходимо учитывать возможность различных форм нарушения общей устойчивости откоса (см. табл. 3 и рис. 3).

16. Наиболее вероятная форма (или формы) нарушения устойчивости устанавливается с учетом всей совокупности местных условий в зависимости от классификационной группы откоса в соответствии с указаниями пп. 14, 15 и 55.

Основные формы нарушения общей устойчивости откосов автодорожных и железнодорожных насыпей и выемок (на основе классификации проф. П.Н. Маслова)

Формы нарушения общей устойчивости	Характер деформации	Характерные особенности строения толщ откоса
Обрушение со срезом и вращением	Перемещение части откоса в результате среза по критической поверхности, обычно близкой по форме к кругло-цилиндрической, с некоторым поворотом вокруг горизонтальной оси	Откосы, сложенные глинистыми грунтами, с достаточно однородным строением
Скоп при просадке	Вертикальное перемещение (опускания) с боковым движением части откоса в результате выдавливания или выноса грунта неустойчивых слоев, залегающих в толще откоса или в его основании	Наличие в толще откоса или его основании высокопрочных грунтов, способных выдавливаться под воздействием вытекающих слоев; наличие гидродинамически неустойчивых песков-плывунов; наличие гидростойких пород (каменная соль, гипс и т.п.) или резко просадочных пород и т.п.
Скольжение	Сдвиг части откоса по наклонным плоскостям напластованиям, древних скоплений и т.п.	Наличие ясно выраженной, определенной геологическим строением толщи поверхности скольжения со значительным углом падения в сторону откоса
Сползень-сдвиг	Почти горизонтальное перемещение части откоса под воздействием бокового давления земляных масс (распора) и фильтрационного давления по слабой прослойке или по увлажненной поверхности подстилающего глинистого пласта при горизонтальном его залегании	Наличие слоистого строения толщи с увлажненными мягкими пластичными глинистыми прослойками, залегающими горизонтально или с малым падением

IV. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ ИХ

I. Расчет по схеме обрушения со срезом и вращением

17. Для оценки устойчивости откосов, предполагают, что нарушение устойчивости откоса может произойти в форме обрушения со срезом

и вращением, следует использовать метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения в модификации К.Терцаги.

18. Степень устойчивости откоса оценивается в этом случае по величине коэффициента запаса устойчивости, определяемого по отношению момента удерживающих сил к моменту сдвигающих сил относительно центра наиболее опасной дуги скольжения:

$$n = \frac{M_{уд}}{M_{сдв}} \quad (3)$$

19. Для определения коэффициента устойчивости выделенный при расчете отсек, ограниченный кривой скольжения, разделяют вертикальными сечениями на ряд блоков, примерно одинаковых по ширине. Границы блоков назначаются в местах перелома линии откоса, в местах пересечения границ различных слоев откоса с поверхностью скольжения и т.п.

Ширину блоков не следует принимать более 2-3 м в целях уменьшения погрешности исчисления площади.

Определяют силы, действующие на каждый блок:

1) силу Q , приложенную в центре тяжести блока, равную собственному весу олока;

2) реакцию грунта на поверхности скольжения, которая состоит из силы трения ($N \operatorname{tg} \varphi$), прямо пропорциональной нормальному давлению, и силы сцепления ($c \ell$),

где φ - угол внутреннего трения грунта, град;

c - удельное сцепление грунта, т/м²;

ℓ - длина отрезка дуги скольжения в пределах данного блока, м;

$N = Q \cdot \cos \alpha$ - нормальная составляющая веса блока Q ;

α - угол наклона поверхности скольжения блока к горизонту;

3) сдвигающую силу $T = Q \sin \alpha$.

После этого определяют коэффициент устойчивости откоса для прицптой поверхности скольжения. При этом выражение (3) можно записать в виде

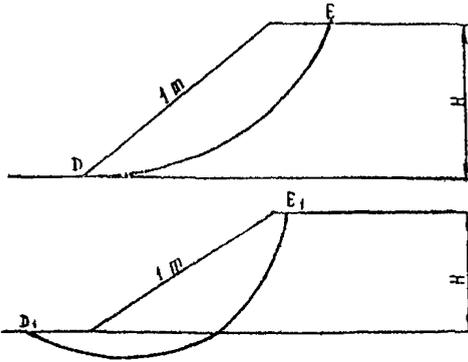
$$n = \frac{\sum N \operatorname{tg} \varphi + \sum c \ell + \sum T_{уд}}{\sum T_{сдв}}, \quad (4a)$$

где $T_{уд}$ и $T_{сдв}$ - сдвигающие силы соответственно в пассивной и активной зонах,

$$\text{или} \quad n = \frac{\sum N_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \ell_i}{\sum T_i} = \frac{\sum Q_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \ell_i}{\sum Q_i \sin \alpha_i} \quad (4б)$$

Формула (4а) принята при расчете железнодорожных насыпей и выемок, (4б)-автодорожных.

20. Наиболее опасная поверхность скольжения может проходить через подошву откоса или располагаться глубже подошвы (рис.4). Вер-



оятность прохождения опасной дуги скольжения через подошву откоса повышается с увеличением его крутизны, а также с увеличением значений единичных характеристик грунтов основания откоса по сравнению со значениями единичных характеристик грунта самого откоса. При практических расчетах следует рассматривать оба возможных варианта прохождения поверхности скольжения, за исключением случаев, когда

Рис.4. Положение круглоцилиндрической поверхности скольжения по отношению к откосу

поверхность скольжения не может пройти в основании (очень прочный грунт в основании откоса).

Способы определения положения центра наиболее опасной поверхности скольжения

С п о с о б п о л е д о в а т е л ь н о г о п р и б л и ж е н и я

21. Центр критической дуги скольжения, проходящей через подошву ненагруженного откоса выемки, а также откоса автодорожной насыпи находят следующим образом.

Предварительно находят точку O пересечения двух прямых AO и CB . Прямую AO проводят под углом 25° к средней (рис.5) поверхности откоса. Прямую CB проводят через бровку откоса и точку B , отстоящую от поверхности насыпи или выемки на глубину $2H$ и от подошвы откоса на расстояние $4,5H$.

Точка O принимается в первом приближении за центр критической кривой скольжения. Проведя из этого центра круглую скользящую, определяют коэффициент запаса для полученного откоса. Далее из точки

СВ выбирают еще несколько точек в качестве центров кривых скольжения на расстоянии примерно $0,25 H$ друг от друга и повторяют эти расчеты до тех пор, пока не будет определено положение точки, отвечающей минимальному коэффициенту устойчивости.

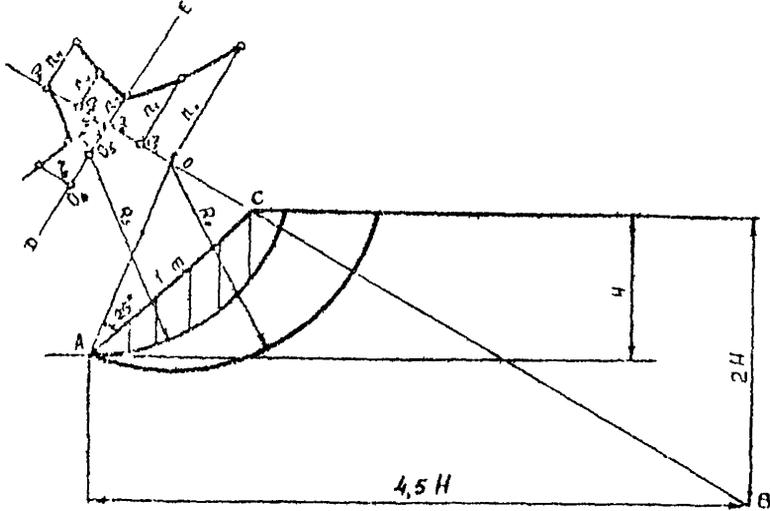


Рис. 5. Нахождение центра критической поверхности скольжения, проходящей через подошву откоса, способом последовательного приближения

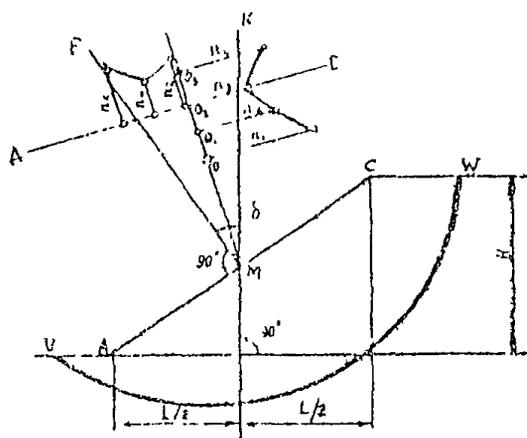
22. После нахождения на прямой СВ центра наиболее опасной дуги скольжения, которой соответствует минимальный коэффициент запаса устойчивости, необходимо путем ряда аналогичных попыток найти центр наиболее опасной кривой скольжения по прямой ДЕ вправо и влево от центра критической кривой, расположенного на прямой СВ

23. Определительно за расчетную принимают наиболее опасную кривую скольжения с центром на прямой ДЕ, которой соответствует минимальный коэффициент запаса устойчивости.

24. Центр критической кривой скольжения, проходящий через основание откоса, располагается в зоне между вертикалью и нормалью, проведенными из середины поверхности откоса средней крутизны (рис. 6). Верхняя точка начала кривой скольжения первоначально принимается на основе предположительных расчетов, выполненных по пп. 21-25.

В первом приближении этот центр обозначают на биссектрисе угла δ

на расстоянии H от точки M . На продолжении линии DM через $0,25H$ откладывают центры для последующих этапов нахождения критической



Ис.6. Нахождение центра критической поверхности скольжения, проходящей через основание откоса, способом последовательного приближения

25. При расчете устойчивости откосов железнодорожных насыпей необходимо руководствоваться следующими практическими рекомендациями:

- расчеты обычно начинают с проведения линии центров $B-C$ из точки C под углом 36° к горизонту (рис.7,а);
- намечают несколько положений кривых скольжения, проходящих через подошву насыпи (A) и через точки 1,2,3 на основной площадке. Из них выделяют кривую с наименьшим коэффициентом запаса устойчивости;
- для выявления критической кривой с минимальным коэффициентом устойчивости дополнительно проводят расчеты для кривых скольжения, проходящих через те же крайние точки, но на различном расстоянии от откоса. Центры этих кривых лежат на перпендикуляре, проведенном в середине хорды (рис.7,б).

26. При наличии слабых грунтов в основании должны быть проведены расчеты для кривых скольжения выходящих за пределы подошвы насыпи.

При отыскании опасной кривой скольжения следует учитывать, что в большинстве случаев критическая кривая пересекает основную площадку расчетного поперечника земляного полотна на дальней (по отношению к рассматриваемому откосу) границе фиктивного столба грунта от

кривой скольжения. Через центр критической кривой скольжения, которой соответствует H_{min} , проводят линию DE перпендикулярно DM , где также через $0,25H$ откладывают центры возможных критических кривых скольжения для проварочных расчетов.

За расчетный принимают наименьший коэффициент запаса устойчивости, соответствующий критической кривой скольжения, проведенной из центра, расположенного на прямой DE .

временной нагрузки. Приближение критической кривой к откосу расчетного поперечника наблюдается на насыпях небольшой высоты и при грун-

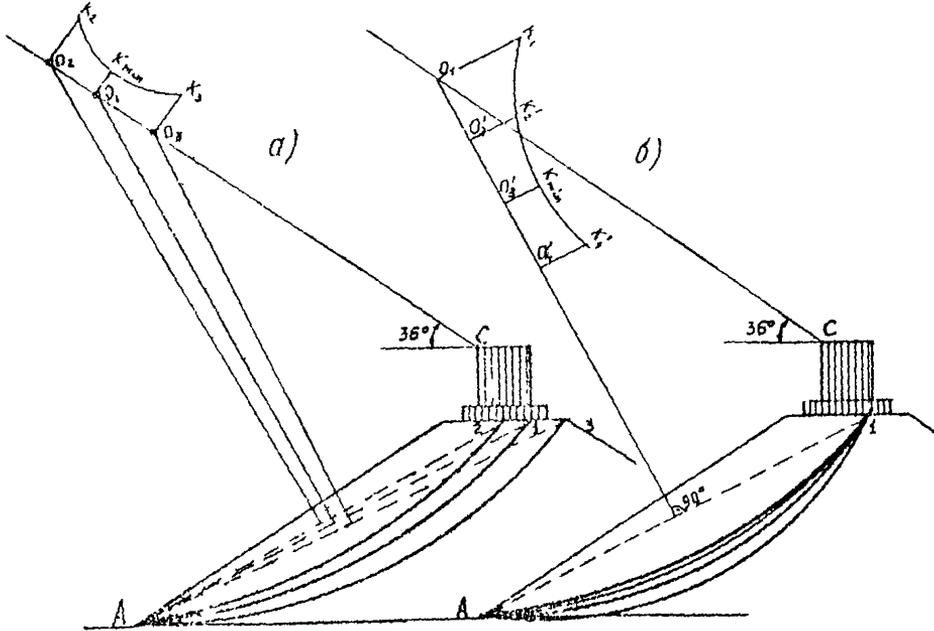


Рис. 7. Нахождение центра критической поверхности скольжения, проходящей через подошву железнодорожной насыпи, способом последовательного приближения

так с малым значением удельного сцепления. Смещение критической кривой к дальней (по отношению к рассматриваемому откосу) бровке возможно при значительной величине удельного сцепления грунта и на насыпях большой высоты.

Для насыпей высотой 6-18 м при грунтах со значительным удельным сцеплением центр критической кривой находится примерно на расстоянии, равном высоте насыпи от поверхности откоса (приложение 7).

Для насыпей большей высоты, а также при грунтах с малым значением удельного сцепления центр критической кривой удалится от поверхности откоса, приближаясь к линии центров, проведенной под углом 36° к горизонту.

**О п р е д е л е н и е ц е н т р а к р и т и ч е с к о й
к р и в о й с к о л ь ж е н и я с п о м о щ ь ю
г р а ф и к а Я м б у**

27. Этот способ может быть применен для ненагруженного однородного по высоте откоса, а также для откоса, сложенного различными грунтами.

По графику Н.Ямбу (рис.8) в зависимости от величины λ и средней крутизны откоса определяют безразмерные координаты X_0 и Y_0 центра наиболее опасной кривой скольжения, проходящей через подошву откоса.

Абсолютные координаты получают, умножая X_0 и Y_0 на величину высоты откоса H .

Величину λ для однородного откоса вычисляют по формуле

$$\lambda = \frac{\gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg} \psi}{c}, \quad (5)$$

где λ — обобщенная характеристика грунта однородного откоса;

γ — объемный вес грунта откоса, т/м^3 ;

$\operatorname{tg} \psi$ — коэффициент внутреннего трения;

c — сцепления, т/м^2 .

При малых значениях c , когда $\lambda \gg 8$, координаты центра допускаются определять по кривым, отвечающим $\lambda = 8$.

28. Для откоса, неоднородного в геологическом отношении по высоте, расчет рекомендуется проводить в два этапа:

1) находят значения γ_{wcp} , c_{wcp} , $\operatorname{tg} \psi_{wcp}$:

$$\gamma_{wcp} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}; \quad (6)$$

$$c_{wcp} = \frac{c_1 h_1 + c_2 h_2 + \dots + c_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}; \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \psi_{wcp} = \frac{\operatorname{tg} \psi_1 h_1 + \operatorname{tg} \psi_2 h_2 + \dots + \operatorname{tg} \psi_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}, \quad (8)$$

где γ_{wcp} , c_{wcp} , $\operatorname{tg} \psi_{wcp}$ — соответственно средневзвешенные значения объемного веса, сцепления

и коэффициента внутреннего трения грунта откоса по высоте;

h_1, h_2, \dots, h_n — толщины отдельных слоев неоднородного по высоте откоса, которым соответствуют значения:

$$\begin{aligned} & \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n; \\ & c_1, c_2, \dots, c_n; \\ & \operatorname{tg} \varphi_1, \operatorname{tg} \varphi_2, \dots, \operatorname{tg} \varphi_n. \end{aligned}$$

Находят среднее значение величины λ для неоднородного в геологическом отношении откоса:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\gamma_{\text{вср}} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{вср}}}{c_{\text{вср}}}. \quad (9)$$

Координаты центра наиболее опасной кривой скольжения x_0, H и y_0, H определяют по графику Н.Ямбу при $\lambda_{\text{ср}}$ и средней крутизне запроектированного откоса ($\beta_{\text{ср}}$ или $m_{\text{ср}}$);

2) из найденного центра проводят кривую скольжения и для этой кривой уточняют расчет, определяя средневзвешенное значение $c'_{\text{вср}}$ и $\operatorname{tg} \varphi'_{\text{вср}}$ по полученной дуге скольжения:

$$c'_{\text{вср}} = \frac{c_1 \ell_1 + c_2 \ell_2 + \dots + c_n \ell_n}{\ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_n}; \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \varphi'_{\text{вср}} = \frac{Q_1 \cos \alpha_1 \operatorname{tg} \varphi_1 + \dots + Q_n \cos \alpha_n \operatorname{tg} \varphi_n}{Q_1 \cos \alpha_1 + \dots + Q_n \cos \alpha_n}, \quad (10a)$$

где ℓ_n — длина отрезка кривой скольжения в пределах n -го слоя;

α_n — средний угол наклона этого отрезка к горизонту;

Q_n — вес блока, ограниченного кривой скольжения и вертикальными гранями, проходящими через концы отрезка ℓ_n .

Далее вычисляют исправленное значение $\lambda'_{\text{ср}}$:

$$\lambda'_{\text{ср}} = \frac{\gamma_{\text{вср}} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \varphi'_{\text{вср}}}{c'_{\text{вср}}}. \quad (11)$$

и по графику Н.Ямбу определяют уточненные значения координат центра опасной кривой скольжения, относительно которой и определяют расчетный коэффициент запаса. Далее можно определить $c''_{\text{вср}}$ и $\operatorname{tg} \varphi''_{\text{вср}}$ по вновь полученной кривой скольжения, сопоставить его с $c'_{\text{вср}}$ и $\operatorname{tg} \varphi'_{\text{вср}}$ и при значительном их различии повторить расчет.

Упрощенные способы расчета устойчивости откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения

29. При предварительных расчетах, например при предварительном сопоставлении различных вариантов проектируемого откоса, могут использоваться упрощенные способы расчета.

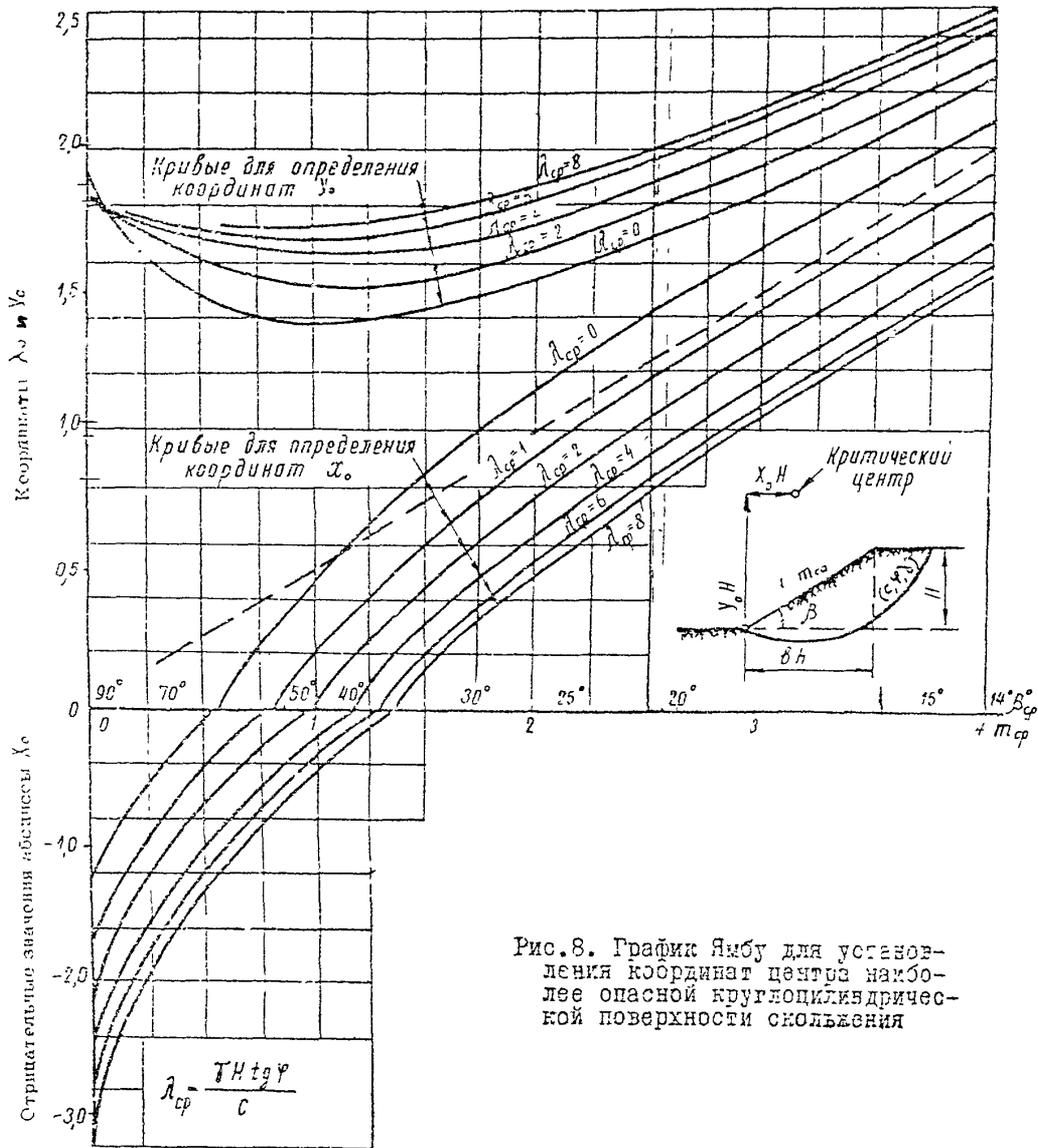


Рис. 8. График Ямбу для установления координат центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения

где

$$\begin{aligned} \Sigma N \operatorname{tg} \varphi &= \Sigma (N + N_i) f; \\ c \cdot \lambda &= \frac{R \cdot c}{180} \cdot c \cdot \alpha; \\ \Sigma T_{cd\delta} &= \Sigma T_i + T; \end{aligned}$$

λ - коэффициент устойчивости;

N_i, T_i - нормальная и тангенциальная составляющие веса грунта ($T_{cd\delta}$ - в активной зоне, T_{yd} - в пассивной);

N, T - нормальная и тангенциальная составляющие нагрузки на основную площадку (P);

$f = \operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент внутреннего трения грунта;

γ - объемный вес грунта, т/м³;

c - удельное сцепление грунта, т/м²;

λ - длина поверхности скольжения, м;

R - радиус кривой скольжения, м;

α - центральный угол, определяющий поверхность скольжения грунта.

Расчеты выполняются в такой последовательности.

В масштабе 1:100 или 1:200 на миллиметровке вычерчивают поперечный профиль земляного полотна, на который наносят расчетную кривую.

Отсек, ограниченный расчетной кривой, как при обычном расчете, разбивают на блоки. Через точки пересечения линий, ограничивающих блоки, с кривой скольжения из ее центра проводят радиусы.

Из точек, лежащих на пересечении линий откоса и границы блоков, опускают перпендикуляры на радиусы, проходящие через соответствующие точки на кривой скольжения.

Полученные в результате данного построения отрезки, равные значениям N_i и T_i (при объемном весе грунта 1 т/м³), откладывают от горизонтальной линии, являющейся проекцией кривой скольжения. Нормальные и тангенциальные силы со знаком "плюс" откладывают вверх, а тангенциальные со знаком "минус" - вниз. Концы всех отрезков соединяют плавными кривыми.

Определяют площади фигур $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, ограниченных линиями нормальных и тангенциальных сил и горизонтальной линией, и вычисляют суммарные значения нормальных и тангенциальных сил:

$$\Sigma N_i = \omega_1 \cdot \gamma \cdot l,$$

$$\Sigma T_{cd\delta} = \omega_2 \cdot \gamma \cdot l,$$

$$\Sigma T_{yd} = \omega_3 \cdot \gamma \cdot l,$$

где ω_1 — площадь многоугольника, отражающая величину нормальных сил;

ω_2, ω_3 — площади многоугольников, отражающие величины тангенциальных сил, сдвигающих и удерживающих соответственно;

γ — объемный вес грунта.

Значения N и T от вертикальной нагрузки на основной площадке (ρ_n и ρ_g) находят следующим образом: равнодействующая от нагрузки ρ_n и ρ_g , определенная в границах кривой скольжения, в принятом масштабе откладывается на вертикали от точки, расположенной на пересечении линии, проходящей через центр тяжести, с кривой скольжения. Нормальная N и тангенциальная T силы устанавливаются графически таким же образом, как и значение для каждого блока, и суммируются с $\sum N_i$ и $\sum T_i$ от веса оползневой массы.

Сила сцепления, действующая по поверхности скольжения, определяется обычным способом: $C = \sum c_i l_i$.

Коэффициент устойчивости вычисляется по формуле (4) с учетом полученных значений $\sum N_i$, $\sum T_i$, $\sum c_i l_i$.

По найденной критической кривой скольжения производится контрольный расчет определения коэффициента устойчивости по основному способу.

Р а с ч е т п о в о п о м о г а т е л ь н ы м т а б л и ц а м

31. При выполнении предварительных расчетов устойчивости откосов, сложенных однородными грунтами, для определения коэффициентов устойчивости откосов различной крутизны и для установления предельной высоты откосов при заданном значении коэффициента устойчивости могут быть использованы вспомогательные таблицы проф. М.Н. Гольдштейна, составленные на основании ранее выполненных расчетов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения. При использовании этих таблиц коэффициент устойчивости находят из выражения

$$n = A \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{H \gamma} B, \quad (12)$$

где A и B — коэффициенты, зависящие от положения кривой скольжения (табл. 4, 5);

H — высота откоса, м;

γ, φ, c — расчетные характеристики грунтов.

Критическая высота откоса при заданной его крутизне и установленном коэффициенте запаса равна:

$$H = \frac{cB}{\gamma (n - A \cdot \operatorname{tg} \varphi)} \quad (13)$$

При расчетах устойчивости откосов последовательно вычисляют пять значений коэффициента устойчивости (или предельной высоты откоса), соответствующие различному положению центров кривых скольжения, для чего в формулы подставляются коэффициенты A и B , взятые из табл.4. Наименьший из найденных коэффициентов запаса устойчивости соответствует критической кривой скольжения.

Таблица 4

Крутизна откоса	Центры кривых скольжения (кривые проходят в пределах подошвы откоса)									
	σ_1		σ_2		σ_3		σ_4		σ_5	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
I:I	2,34	5,79	1,87	6,0	1,57	6,57	1,40	7,50	1,24	8,80
I:I,25	2,64	6,05	2,16	6,35	1,82	7,03	1,66	8,02	1,48	9,65
I:I,5	3,04	6,25	2,64	6,50	2,15	7,15	1,90	8,33	1,71	10,10
I:I,75	3,44	6,35	2,87	6,58	2,50	7,22	2,18	8,50	1,90	10,41
I:2	3,84	6,50	3,23	6,70	2,80	7,26	2,45	8,45	2,21	10,10
I:2,25	4,25	6,64	3,58	6,80	3,19	7,27	2,84	8,30	2,53	9,80
I:2,5	4,67	6,65	3,98	6,78	3,53	7,30	3,21	8,15	2,85	9,50
I:2,75	4,99	6,64	4,33	6,78	3,86	7,24	3,59	8,02	3,20	9,21
I:3	5,32	6,60	4,69	6,75	4,24	7,23	3,97	7,87	3,59	8,81

Для проверки устойчивости откосов по кривым скольжения, выходящим за пределы подошвы насыпи, в табл.5 приведены коэффициенты A и B для кривых, проходящих на глубинах, равных $0,25H$; $0,5H$; H ; $1,5H$.

Нагрузка на основной площадке насыпи учитывается в расчете путем замены ее эквивалентным откосом грунта высотой Z (п.9 и 12) и соответствующим увеличением на эту величину высоты откоса.

При определении предельной высоты откоса полученная расчетом величина H соответственно уменьшается.

Таблица 5

Крутиз- на откосов	Центры кривых скольжения (кривые проходят ниже подошвы откоса)									
	O_1		O_2		O_3		O_4		O_5	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	$\ell = 0,25 H$									
I:I	2,87	5,93	2,56	6,10	2,29	6,70	2,11	7,80	2,02	9,70
I:I,25	2,98	6,12	2,66	6,32	2,43	6,80	2,27	7,75	2,15	9,35
I:I,5	3,10	6,35	2,80	6,53	2,58	6,91	2,42	7,70	2,30	9,02
I:I,75	3,22	6,54	2,93	6,72	2,74	7,02	2,59	7,65	2,46	8,70
I:2	3,37	6,76	3,10	6,87	2,91	7,15	2,76	7,60	2,63	8,40
I:2,25	3,53	7,12	3,26	7,23	3,10	7,50	2,95	7,96	2,82	8,75
I:2,5	3,73	7,51	3,46	7,62	3,30	7,86	3,14	8,31	3,02	9,13
I:2,75	3,94	7,90	3,68	8,00	3,50	8,20	3,35	8,70	3,25	9,51
I:3	4,20	8,31	3,93	8,40	3,71	8,60	3,57	9,10	3,51	9,90
	$\ell = 0,5 H$									
I:I	3,40	5,91	3,17	5,92	2,97	6,00	2,82	6,25	2,74	6,93
I:I,25	3,47	5,98	3,24	6,02	3,04	6,14	2,91	6,46	2,82	7,18
I:I,5	3,55	6,08	3,32	6,13	3,13	6,23	3,05	6,68	2,91	7,43
I:I,75	3,64	6,18	3,41	6,26	3,22	6,44	3,11	6,89	3,01	7,68
I:2	3,76	6,30	3,53	6,40	3,33	6,62	3,23	7,10	3,12	7,93
I:2,25	3,90	6,44	3,66	6,56	3,49	6,81	3,38	7,32	3,27	8,05
I:2,5	4,06	6,61	3,82	6,74	3,66	7,01	3,56	7,55	3,47	8,17
I:2,75	4,25	6,81	4,02	6,95	3,86	7,25	3,76	7,77	3,63	8,28
I:3	4,44	7,06	4,24	7,20	4,07	7,50	3,97	8,00	3,91	8,40
	$\ell = H$									
I:I	4,47	5,77	4,32	5,80	4,19	5,86	4,15	6,19	4,13	6,60
I:I,25	4,58	5,84	4,43	5,86	4,27	5,90	4,22	6,20	4,19	6,60
I:I,5	4,70	5,91	4,54	5,93	4,37	5,97	4,30	6,22	4,26	6,60
I:I,75	4,82	5,98	4,66	6,00	4,46	6,05	4,33	6,25	4,34	6,61
I:2	4,95	6,05	4,78	6,08	4,58	6,13	4,48	6,31	4,43	6,61
I:2,25	5,08	6,12	4,90	6,16	4,59	6,22	4,58	6,38	4,53	6,65
I:2,5	5,21	6,19	5,03	6,26	4,81	6,33	4,70	6,46	4,65	6,71
I:2,75	5,35	6,26	5,17	6,36	4,95	6,45	4,84	6,47	4,78	6,81
I:3	5,50	6,33	5,31	6,47	5,10	6,60	5,00	6,70	4,95	6,91
	$\ell = 1,5 H$									
I:I	5,92	5,73	5,78	5,75	5,67	5,77	5,57	5,79	5,44	5,83
I:I,25	5,99	5,78	5,86	5,80	5,73	5,84	5,65	5,87	5,53	5,97
I:I,5	6,07	5,82	5,84	5,85	5,81	5,92	5,72	5,96	5,65	6,12
I:I,75	6,14	5,87	6,02	5,90	5,89	5,99	5,81	6,04	5,72	6,27
I:2	6,22	5,92	6,10	5,95	5,97	6,07	5,89	6,12	5,81	6,42
I:2,25	6,30	5,95	6,18	5,98	6,05	6,08	5,97	6,15	5,90	6,43
I:2,5	6,38	5,98	6,26	6,02	6,14	6,10	6,06	6,19	5,99	6,44
I:2,75	6,46	6,01	6,34	6,05	6,23	6,11	6,15	6,22	6,03	6,45
I:3	6,55	6,04	6,44	6,09	6,32	6,12	6,24	6,25	6,17	6,46

Расчет по графику Д.Тейлора

32. Предварительный расчет устойчивости однородных ненагруженных откосов при отсутствии фильтрации и выхода грунтовых вод на поверхность откоса можно выполнять по графику, составленному Д.Тейлором (рис.10).

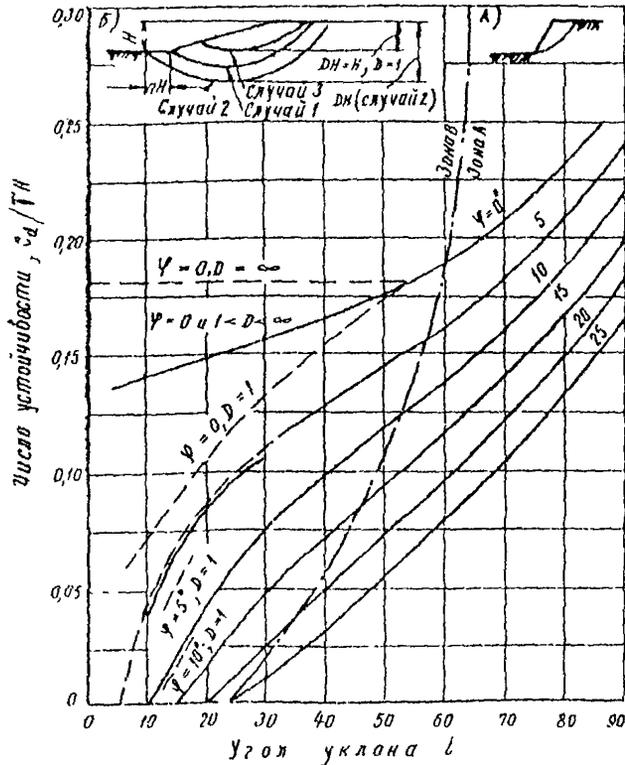


Рис. 10. График числа устойчивости:

D — отношение высоты призмы обрушения (от отметки верха откоса до отметки нижней точки кривой скольжения) к высоте откоса

определяется по кривым, представленным на графике штрих-пунктиром. Когда эти кривые отсутствуют, то критическая кривая скольжения проходит через подошву откоса.

На графике даны кривые с различным значением угла внутреннего трения. При этом предусматриваются три случая расположения кривой скольжения.

1 случай. Наиболее опасная критическая кривая скольжения проходит через подошву откоса; число устойчивости определяется по сплошным кривым. Когда сплошные кривые отсутствуют, данный случай можно рассматривать как случай 2.

2 случай. Критическая кривая скольжения проходит ниже подошвы откоса. Число устойчивости опреде-

3 случай. На отметке подошвы откоса залегает скала или слой прочного грунта. Число устойчивости определяется кривыми, изображенными короткими пунктиром.

Зная число устойчивости $\frac{c}{\gamma H}$, принимаемый по табл. 7, минимальный коэффициент запаса устойчивости n , угол внутреннего трения ψ , по графику можно найти угол наклона откоса. Для этого величину $\frac{c}{\gamma H}$ и соответственно $\tan \psi$ уменьшают в n раз ($\frac{c}{\gamma H n}$ и $\frac{1}{n} \tan \psi$). По новому значению $\frac{1}{n} \tan \psi$ вычисляют угол внутреннего трения, уменьшаемый пропорционально коэффициенту запаса устойчивости. По величине $\frac{c}{\gamma H n}$ и уменьшенному углу внутреннего трения ψ определяют угол наклона откоса по графику.

2. Расчет по схеме скольжения и оползния-сдвига (ломаная поверхность скольжения)

33. Для оценки устойчивости откосов, предполагая, что нарушение устойчивости может произойти в форме скольжения или оползния-сдвига, рекомендуется использовать метод горизонтальных сил (метод Маслова-Берера) или метод проф. Г. М. Шахунянца, теоретически более строгий.

Метод горизонтальных сил (метод Маслова-Берера)

34. Степень устойчивости откоса оценивается по величине коэффициента запаса, определяемого по формуле

$$n = \frac{\sum T}{\sum (\pm H)} \quad (17)$$

где

$$T = H - R = a [\tan \alpha - \tan (\alpha - \psi_p)] \quad (18)$$

T - часть распора (давления на стенку блока), воспринимаемая трением и сцеплением в грунте (на поверхности скольжения);

H - распор (давление на стенку блока) при отсутствии в грунте между блоками трения и сцепления;

ψ_p - угол сопротивления сдвигу на поверхности скольжения данного блока при нормальном напряжении p ;

α - угол наклона поверхности скольжения данного блока к горизонту;

Q - вес блока;

R - непогашенная часть давления (активное давление).

35. Расчет выполняется в такой последовательности:

- на основе анализа инженерно-геологических условий (характер слоистости, наклон слоев, наличие слабых прослоек и т.д.) намечаются наиболее вероятные поверхности скольжения. Поверхность скольже-

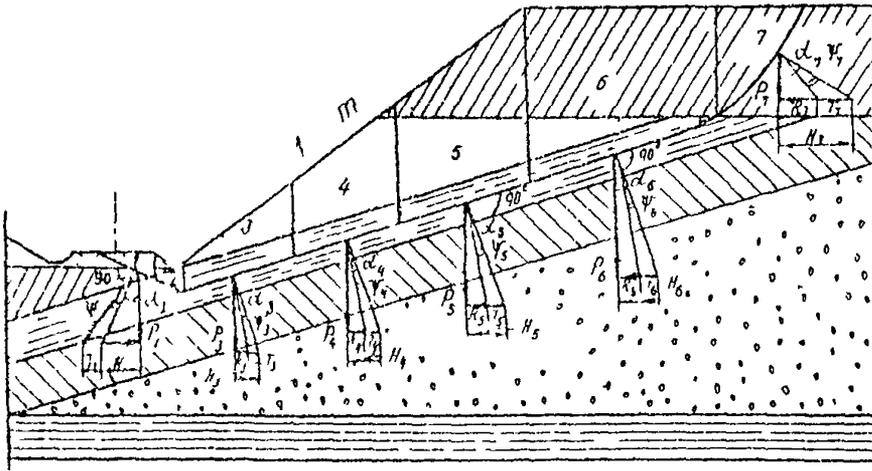


Рис. II. Метод горизонтальных сил (метод Маслова-Берера)

ния может быть в виде одной плоскости или нескольких плоскостей с различными углами наклона, а также может включать участки круглоцилиндрической поверхности (рис. II);

- каждый из предполагаемых отсеков обрушения разбивает вертикальными сечениями на отдельные блоки с таким расчетом, чтобы границы блоков соответствовали местам поворота поверхности скольжения и в пределах каждого блока на поверхности скольжения сохранялись постоянными значения сдвиговых характеристик грунта;

- в пределах каждого расчетного блока графически или аналитически определяют силы активного давления, направление которых считают горизонтальными. При графическом решении откладывают в масштабе вес блока Q , от середины поверхности скольжения в пределах рассматриваемого блока проводят нормаль к этой поверхности и графически опре-

деляют величину распора H , который действует на ставку блока, при допущении, что трение между блоками отсутствует.

Аналитически величина H выражается формулой

$$H = Q \operatorname{tg} \alpha. \quad (19)$$

Далее всегда в одну сторону от нормали (в сторону скольжения всего отсека) откладывают угол сопротивления сдвигу:

$$\psi_p = \alpha \operatorname{ctg} \gamma F_p - \alpha \operatorname{ctg} (\operatorname{tg} \gamma + \frac{c}{p}), \quad (20)$$

где F_p — коэффициент сопротивления сдвигу.

Под этим углом проводят линию до пересечения с направлением силы H , получают силу R и силу T .

36. Коэффициент сопротивления сдвигу определяют из выражения

$$F_p = \frac{S_p}{p} = \operatorname{tg} \gamma + \frac{c}{p} \quad (21)$$

В общем случае F_p получают непосредственно из опыта по формуле

$$F_p = \frac{S_p}{p}, \quad (22)$$

где p — нормальное напряжение при сдвиге;

S_p — общее сопротивление породы сдвигу;

или по графику зависимости F_p от напряжения p .

При практическом использовании метода горизонтальных сил напряжения p определяют согласно "гидростатическому принципу":

$$p = \gamma_w \cdot h, \quad (23)$$

где γ_w — объемный вес;

h — средняя высота расчетного блока.

Метод проф. Г.Н. Шахункина [27, 28]

37. При применении данного метода коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [N_i \operatorname{tg} \psi_i + c_i \rho_i + T_i \gamma \delta] \frac{\cos \psi_i}{\cos(\alpha_i - \psi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_i \delta \delta \frac{\cos \psi_i}{\cos(\alpha_i - \psi_i)}}. \quad (24)$$

Расчет выполняется в такой последовательности.

На рассматриваемом поперечнике отмечают возможные варианты поверхности скольжения.

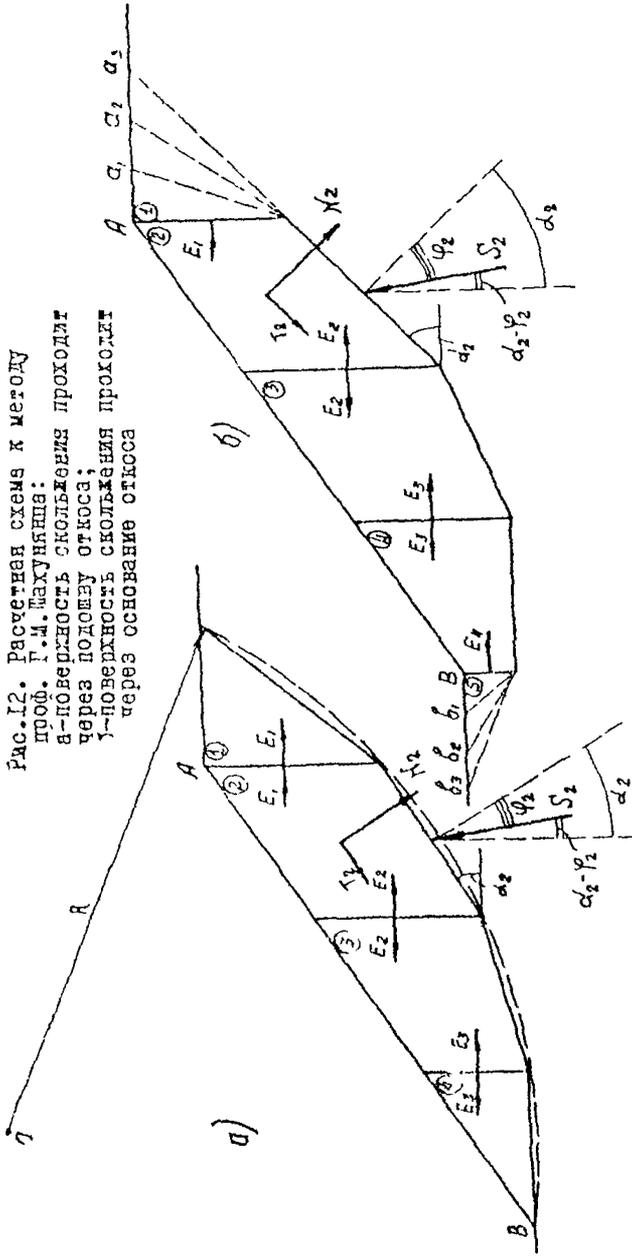


Рис. 12. Расчетная схема к методу проф. Г. М. Махунина: а - поверхность скольжения проходит через подошву откоса; б - поверхность скольжения проходит через основание откоса

Каждый ограниченный предполагаемой поверхностью скольжения отсек разбивают на отдельные олоки вертикальными плоскостями, проведенными в местах перелома поверхности скольжения так, чтобы в пределах каждого блока по его основанию односторонне характеристика грунтов были одинаковы.

Определяются величины нормальной N_i и тангенциальной T_i составляющих силы веса по блокам, а также силы сцепления S_i . Вычисляется коэффициент устойчивости всего отсека обрушения.

Сравнением результатов расчета, полученных по рассмотренным вариантам, устанавливается значение минимального коэффициента устойчивости соответствующее ему положение критической поверхности скольжения. Пример расчета приведен в приложении I.

Если кривая скольжения на концевых участках (в пределах первого и последнего блоков (рис.12) не predetermined геологическим строением рассматриваемого массива, то расчетное наимыгоднейшее положение ее устанавливается подбором.

В первом и последнем блоках намечается несколько возможных положений поверхности скольжения под разными углами наклона к горизонту α (рис.12).

По каждому из намеченных вариантов вычисляются величины E горизонтальной силы взаимодействия между соседними блоками.

Величина E_1 , действующая между 1-м и 2-м блоками вычисляется по формуле

$$E_1 = \frac{(n \cdot T_{1\text{сдв}} - N_1 \cdot \operatorname{tg} \psi_1 - c_1 \ell) \cos \psi_1}{\cos(\alpha_1 - \psi_1)} . \quad (25)$$

Величину E_{m-1} , действующую между последним и предпоследним блоками, следует определять с учетом возможных различных направлений поверхности скольжения в пределах последнего блока:

а) при восходящем, по отношению к горизонту, направлении поверхности скольжения:

$$E_{m-1} = \frac{(N_m \operatorname{tg} \psi_m + c_m \ell_m + T_m \gamma \delta) \cos \psi_m}{\cos(\alpha_m - \psi_m)} ; \quad (26)$$

б) при нисходящем ее направлении:

$$E_{m-1} = \frac{(N \operatorname{tg} \psi_m + c_m \ell_m - n \ell_m \text{сдв}) \cos \psi_m}{\cos(\alpha_m - \psi_m)} , \quad (27)$$

где n - коэффициент устойчивости откоса, величину которого следует принимать равным допустимому.

Сопоставляя полученные результаты, за расчетное в первом блоке следует принимать то положение поверхности скольжения, которому соответствует наибольшее значение E_1 , а в последнем-то, которое дает минимальное значение E_{m-1} .

38. Если поверхность возможного скольжения является плоскостью, грунтовые условия по этой плоскости одинаковы, а направление всех действующих на отсек обрушения сил вертикально (рис.13), коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$n = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \lambda} + \frac{c \ell}{Q \sin \lambda} , \quad (28)$$

где β - угол наклона поверхности откоса к горизонту;
 β_0 - угол внутреннего трения грунта.

3. Расчет по схеме скола при просадке (расчет на выдавливание)

39. Для оценки устойчивости откоса, предполагая нарушение его устойчивости в форме скола при просадке, вызванного выдавливанием грунта, залегающего в основании откоса, можно использовать метод Совадории /4/, являющийся развитием методов проф. Н.П. Пузыревского, Н.П. Маслова, Г.М. Шахуняца /7, 26/.

Метод основан на недопущении развития в основании откоса зон, в которых нарушено условие предельного равновесия.

40. Степень устойчивости откоса по этому методу оценивается по величине коэффициента безопасности

$$K_{без} = K_{см.}^{min} \quad (30)$$

где $K_{см.}^{min}$ - минимальное значение коэффициента стабильности из полученных для различных горизонтов грунтовой толщи, составляющих основание откоса (см. п. 41).

Устойчивость откоса считается обеспеченной при условии $K_{без} \geq 1$.

41. Коэффициент стабильности для заданного горизонта представляет собой отношение величины сопротивляемости грунта сдвигу в наиболее опасной точке (или точках) основания откоса к величине касательных напряжений, возникающих в этой точке (точках) и на этой площадке от веса грунта, слагающего откос.

Практически коэффициент стабильности для заданного горизонта устанавливается по формуле

$$K_{см} = \frac{P_{без}}{P_0} \quad (31)$$

где $P_{без}$ - безопасная нагрузка для заданного горизонта, т.е. такая величина внешней нагрузки на основание, при которой практически еще отсутствует запредельное^{х)} состояние на данном горизонте;

х) Запредельное состояние характеризуется условием превышения касательных напряжений сопротивляемости грунта сдвигу.

ρ_0 - проектная нагрузка на основание, $\rho_0 = \gamma_{cp} \cdot h$, т/м²;
 γ_{cp} - средневзвешенный объемный вес грунта откоса, т/м³;
 h - высота откоса, м.

42. Безопасная нагрузка для данного горизонта определяется по формуле

$$\rho_{без} = \frac{c + \gamma_{cp} \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\beta}, \quad (32)$$

где c и φ - соответственно сцепление и угол внутреннего трения грунта на данном горизонте;

γ_{cp} - средний объемный вес грунта, расположенного выше рассматриваемого горизонта (до уровня подошвы откоса), т/м³;

z - глубина расположения данного горизонта от уровня подошвы откоса, м;

β - величина касательных напряжений в наиболее опасной точке и на наиболее опасной площадке для данного горизонта, выраженная в долях от напряжений на поверхности основания откоса.

43. Величина β является функцией очертания расчетной эпюры нагрузки на основание от веса грунта откоса (крутизна и высота откосов, ширина земляного полотна), величин угла внутреннего трения грунта рассматриваемого горизонта и относительной глубины расположения этого горизонта.

При простом (трапецеидальном) очертании насыпи или выемки (т.е. расчетной эпюры нагрузки) величина β устанавливается для насыпей с помощью графиков рис.14, а-в и для выемок - рис.15, а-г. При промежуточных значениях $\frac{z}{B}$ и φ производится интерполяция. При сложном очертании насыпи или выемки величина β в первом приближении определяется для каждого горизонта путем алгебраического суммирования значений β , полученных для данного горизонта при некоторых простых (трапецеидальных) эпюрах нагрузок, дающих в сумме расчетную эпюру нагрузки. При разделении фактической эпюры на простые необходимо, чтобы все эпюры имели общую ось симметрии, а основание их совпадало бы с фактической поверхностью основания откоса (рис.16).

44. В общем случае, когда величины c , φ , γ_{cp} изменяются по глубине основания, расчет устойчивости следует проводить, используя графическое построение рис.17. С этой целью строит график изменения величины $f_1 = c + \gamma_{cp} z \operatorname{tg} \varphi$ в зависимости от глубины z , график из-

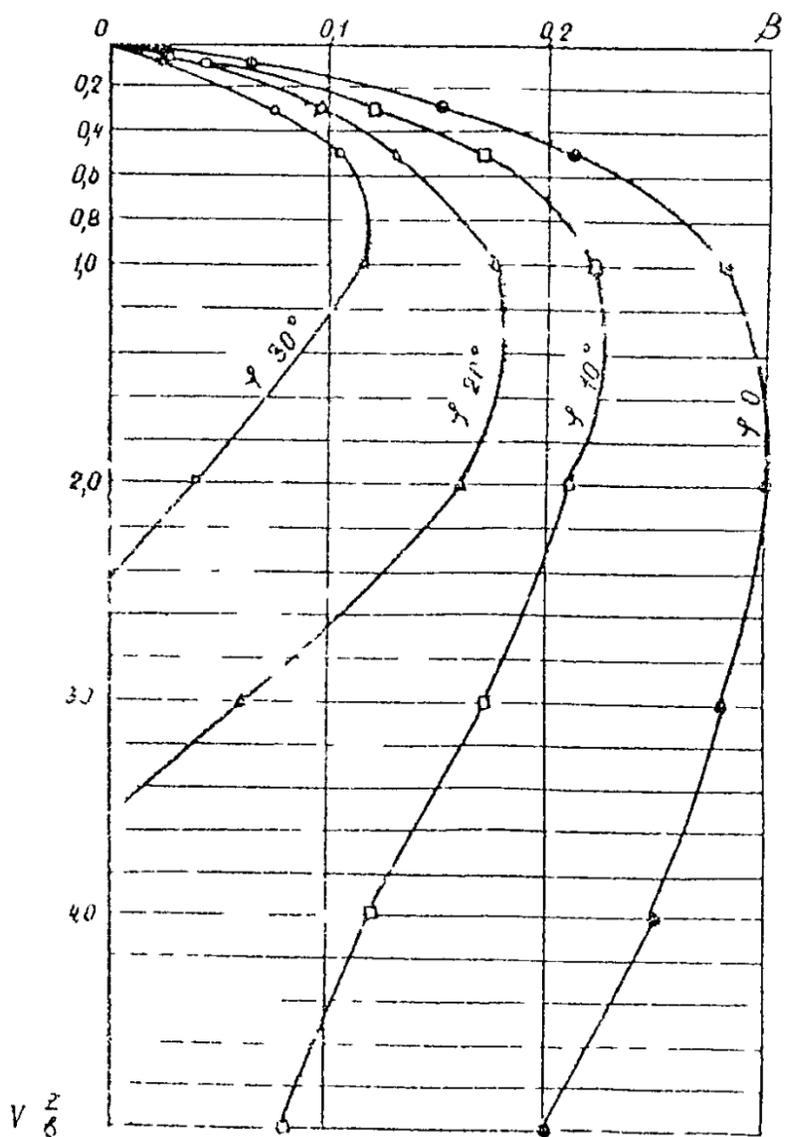
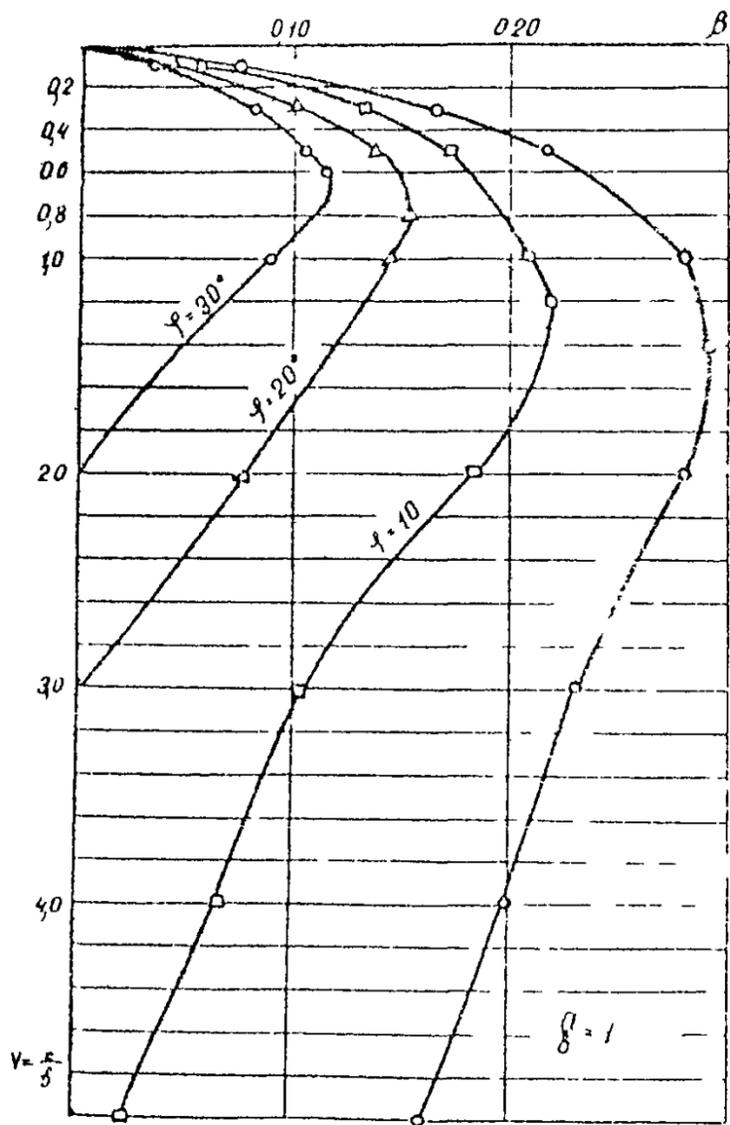
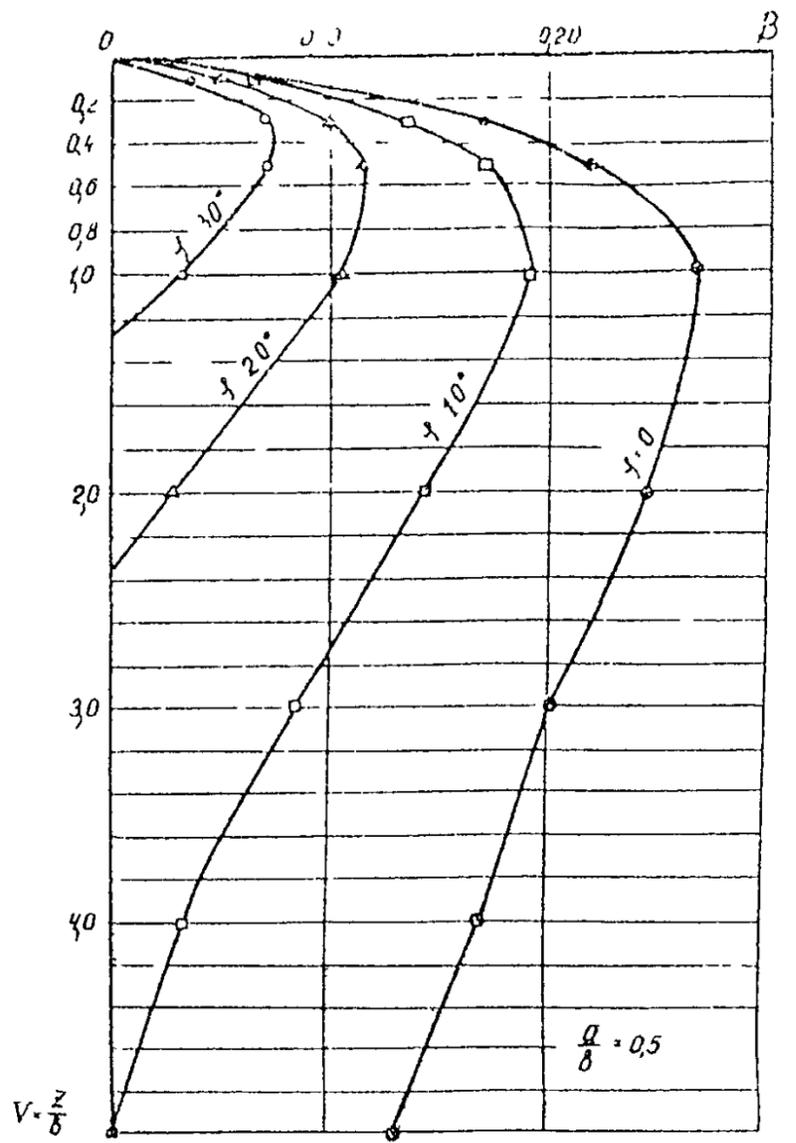
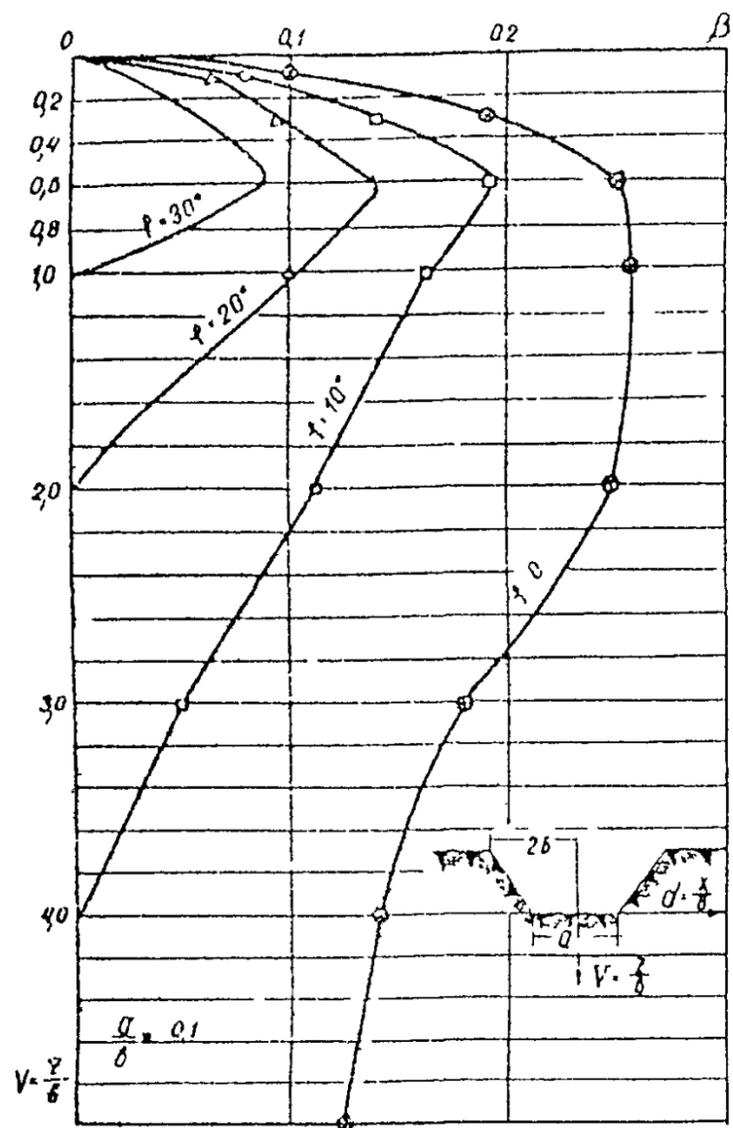


Рис. 15. Графики для определения значения функции β при расчете откосов в емкостях по схеме с рис. 14 при просадке

ценения $f_2 = \beta$ в зависимости от глубины Z , после чего по нескольким точкам строят график изменения по глубине отношения этих функций, т.е. $P_{\text{без}} = \frac{f_1}{f_2}$. Минимальное значение $P_{\text{без}}$ определит расчетный горизонт, а отношение $P_{\text{без}}$ к проектной нагрузке P_0 - величину коэффициента безопасности.

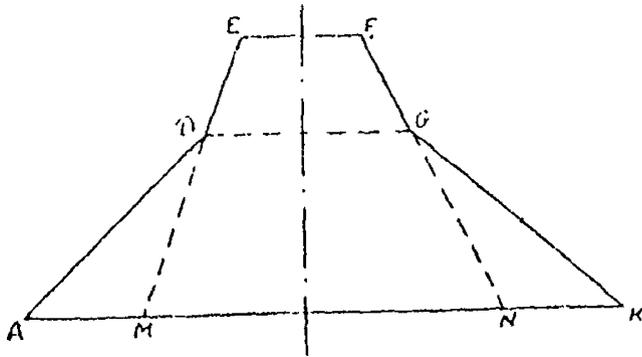


Рис. 16. Разделение фактической сложной эсперы на простую (ABCD) + (DEFG) + (EFGH) = ABCD + (EFGH) = KDNH

оружения насыпи или выемки напряженному состоянию толщи. Учет этих условий осуществляется введением в расчет величины C и φ , соответствующих расчетной плотности и влажности грунта.

46. Опасность нарушения устойчивости откоса в форме скола при просадке вследствие выдавливания грунта из его основания исключается, если коэффициент безопасности, определенный для расчетных условий, оказывается больше или равным I.

47. Изложенный метод можно использовать как приближенный, если нужно оценить возможность нарушения устойчивости откоса benches вследствие выдавливания грунта одного из сло-

45. Безопасная нагрузка может быть вычислена применительно к условию работы грунта основания с природной плотностью и влажностью или при плотности и влажности, отвечающих изменившемуся в результате со-

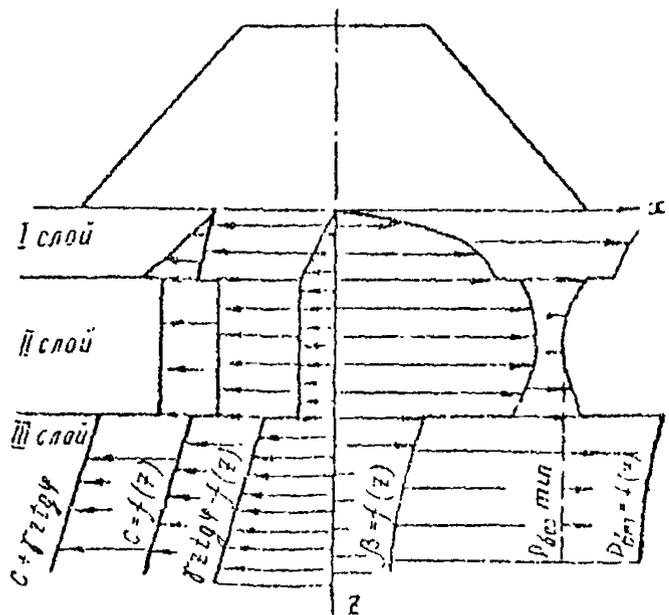


Рис. 17. Графическое построение к расчету устойчивости откоса по схеме скола при просадке

48. Опасность нарушения устойчивости откоса benches вследствие выдавливания грунта одного из сло-

ся, слагающих откос. При этом случай неполной разработки выемки, когда опасный слой залегает в основании вышележащей части откоса, рассматривается как расчетный.

4. Расчет откоса по условию равноустойчивости

48. В сложных случаях (п.55) рекомендуется проводить расчет откоса по условию равноустойчивости, которое следует также учитывать при назначении очертания вновь проектируемого откоса, используя рекомендации Г.М.Шахунлица, Н.Н.Маслова и др. /7,26/.

49. Расчет по условию равноустойчивости сводится к определению очертания поверхности равноустойчивого откоса и сравнению с ним очертания запроектированного откоса.

50. В качестве практического метода проверки по условию равноустойчивости откосов выемок, сложенных неоднородными, преимущественно глинистыми грунтами, рекомендуется использовать приближенный метод Ч.Н.Маслова (метод F_p), в соответствии с которым степень соблюдения принципа равноустойчивости оценивается для различных участков откоса по величине коэффициента запаса, определяемого по формуле

$$n = \frac{tg \Psi_p}{tg \alpha}, \quad (33)$$

при этом:

$$tg \Psi_p = tg \Psi + \frac{c}{\gamma_{cp} z}, \quad (34)$$

где $tg \Psi_p$ - коэффициент сопротивления сдвигу для данного горизонта /10/;

c - сцепление грунта на данном горизонте, т/м²;

z - глубина расположения данного горизонта, считая от верха откоса. м;

γ_{cp} - средний объемный вес грунта, расположенного в толще откоса выше данного горизонта, т/м³;

Ψ - угол внутреннего трения грунта данного горизонта;

α - угол наклона поверхности откоса на уровне данного горизонта к горизонтальной поверхности.

51. Построение равноустойчивого откоса по методу F_p может быть проведено графическим и аналитическим методами.

**Графо-аналитический способ построения
равноустойчивого откоса по методу F_p**

52. Массив грунта, в котором проектируют равноустойчивый откос, разбивают на ряд расчетных слоев по высоте. Высота расчетных слоев назначается с учетом реальной слоистости галчи, но не должна превышать 2-3 м (см. рис. 4 приложения I).

Для каждого из расчетных горизонтов с глубиной Z_i определяют значение угла сопротивления сдвигу ψ_{p, z_i} :

$$F_{p, z_i} = \operatorname{tg} \psi_{p, z_i} + \frac{c}{\rho_{p, z_i}} ; \quad (35)$$

$$F_p = \operatorname{tg} \psi_{p, z_i} , \quad (36)$$

где f_{p, z_i} - величина природной нагрузки для горизонта z_i ,

$$\rho_{p, z_i} = \gamma z_i ;$$

F_p - коэффициент сопротивления грунта сдвигу.

Построение равноустойчивого откоса начинают с нижней точки (см. рис. 4 приложения I) для $Z_{max} = H$.

Откладывают соответствующий данному горизонту угол сопротивления сдвигу ψ_p и продолжают его линию до пересечения со следующим горизонтом z_i . От точки пересечения откладывают следующий угол ψ_p и т.д. Полученные точки соединяют и строят линию равноустойчивого откоса с коэффициентом запаса $n = 1$.

53. При наличии на бровке равномерно распределенной нагрузки p_0 ее вводят дополнительно в расчет при определении F_p и ψ_p . В этом случае вычисляют ψ_{p+p_0} при

$$F_{p+p_0} = \gamma h + p_0 , \quad (37)$$

где F_{p+p_0} - величина расчетного напряжения.

**Аналитический способ построения равноустойчивого
откоса по методу F_p**

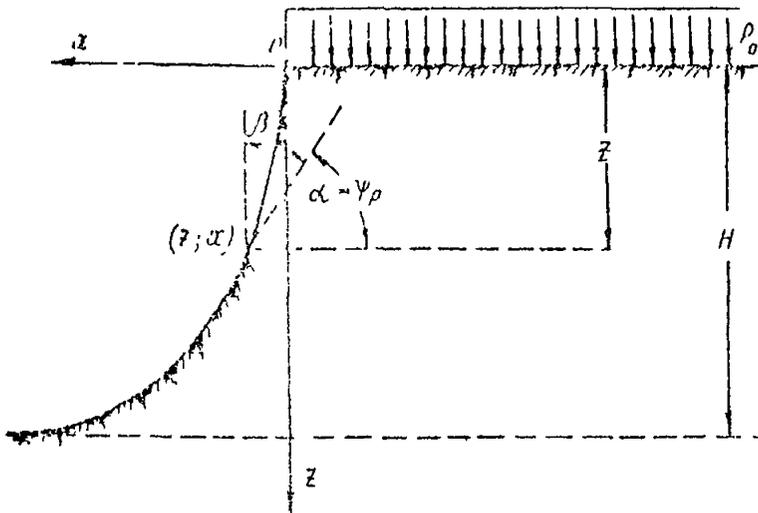
54. Аналитический способ метода F_p основан на построении кривой равноустойчивого откоса по координатам (рис. 18). Зависимость

между x и z в объем виде при наличии на поверхности откоса равномерно распределенной нагрузки имеет следующее выражение:

$$x = \frac{1}{\gamma \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi} \left\{ \operatorname{tg} \varphi \gamma z + c \ln(\operatorname{tg} \varphi \rho_0 + c) - c \ln[\operatorname{tg} \varphi (\gamma z + \rho_0) + c] \right\}, \quad (38)$$

где ρ_0 — интенсивность равномерно распределенной нагрузки;
 x — абсцисса точки на поверхности откоса, отвечающая глубине z , расчетного горизонта от поверхности толщ.
 При отсутствии равномерно распределенной нагрузки

$$x = \frac{1}{\gamma \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi} \left[\operatorname{tg} \varphi \gamma z + c \ln c - c \ln(\operatorname{tg} \varphi \gamma z + c) \right], \quad (39)$$



Если силы внутреннего трения малы и практически ими можно пренебречь (случай $\varphi = 0$), расчет для однородного откоса ведут по упрощенной зависимости:
 для случая равномерно распределенной нагрузки

Рис. 18. Расчетная схема для аналитического решения по методу f'_p

$$x = \frac{\gamma}{2c} z^2 + \frac{\rho_0}{c} z; \quad (40)$$

для случая $\rho_0 = 0$
$$x = \frac{\gamma}{2c} z^2. \quad (41)$$

За начало координат следует принимать бровку откоса. Толщу однородного откоса разбивают на равное количество зон. Координаты z_1, z_2, \dots, z_n соответствуют расстояниям от оси x до границы каждой зоны (рис. 18).

Толщу слоистого откоса разбивают сначала по слоям, и каждый раздельный слой разбивают на несколько зон в зависимости от его толщины.

Координаты X для значений Z определяют по формулам (39), (40), (41).

По полученным координатам находят точки и соединяют их прямой, которая соответствует очертанию равноустойчивого откоса при $n = 1$.

5. Условия применения методов расчета

Выбор метода расчета

55. Применять для расчета устойчивости один из приведенных в настоящей "Предложениях" методов (табл.6) допускается лишь в тех случаях, когда заранее можно предвидеть наиболее вероятную форму нарушения устойчивости откоса.

Если откос отличается сложным геологическим строением, подвержен воздействию грунтовых вод и т.п., когда заранее нельзя определить наиболее вероятную форму нарушения устойчивости откоса, следует применять комплексный расчет с использованием двух или более методов, предполагающих различные варианты нарушения устойчивости (табл.6).

При проектировании выемок в указанных условиях расчет следует начинать с применения метода F_p для предварительного установления рационального очертания откоса.

Вопрос о применении одного какого-нибудь метода расчета или нескольких методов в комплексе решается в каждом случае индивидуально с учетом всей совокупности местных условий и классификационной группы откоса.

При выборе метода расчета можно руководствоваться табл.6.

В случаях применения нескольких методов расчета окончательная оценка устойчивости производится по методу, дающему наиболее неблагоприятный результат (с учетом минимально допустимых значений коэффициентов запаса устойчивости в табл.8).

Метод расчета	Индекс классификационной группы по табл. 2		Условия применения
	насыпь	вземка	
Расчет по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения	A-1,2	A-1,2	При заведомо прочном основании
Расчет по методу плоских поверхностей скольжения	-	B-I, B-II-1,2	В тех случаях, когда поверхность скольжения явно определена геологической структурой откоса, и при заведомо прочном основании откоса
Комплексный расчет по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения и методу плоских поверхностей скольжения	B-1,2		При заведомо прочном основании откоса, но когда заранее трудно установить форму наиболее вероятной поверхности скольжения
Комплексный расчет по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения, методу плоских поверхностей скольжения и методу Σp	-	B-I, II, III, IV-1,2	При заведомо прочном основании откоса, но в случае, когда заранее трудно установить наиболее вероятную форму нарушения устойчивости
Расчет на выдавливание (по коэффициенту безопасности)	A, B-1,2	A, B - I, II, III, IV-1,2	Применяется в комплексе с любым из методов, указанных в данной таблице, - во всех случаях, когда заранее нет уверенности в абсолютной устойчивости основания откоса

Примечание. Заведомо прочным следует считать основание из скальных, полускальных и песчано-гравийных грунтов. Прочность основания из глинистых грунтов ориентировочно (с запасом) можно оценить, используя выражение, получаемое из формулы Н.Н. Маслова [7] для равномерно распределенной нагрузки без учета собственного веса толщи:

$$C \approx \frac{\sigma H}{M_{\varphi}}, \quad (42)$$

где C - расчетная величина сцепления грунта основания;

σ - объемный вес грунта откоса насыпи или вземки;

M_{φ} - некоторая функция угла внутреннего трения, значение которой устанавливается по табл. 7.

Таблица 7

φ°	0	10	20	30
M_{φ}	3,14	4,2	5,7	7,9

Если сцепление грунта основания больше величины, стоящей в правой части формулы (42), основание можно считать заведомо прочным.

Назначение коэффициента запаса

56. При расчете вновь проектируемых откосов необходимо обеспечивать определенный коэффициент запаса, величина которого зависит от применяемого метода расчета устойчивости и инженерно-геологических условий. При этом следует руководствоваться данными табл.8.

Таблица 8

Требуемые минимальные значения коэффициентов запаса устойчивости при различных методах расчета

№ п.п.	Метод расчета	Однородный сухой откос, сложенный песчаным грунтом при прочном основании	Прочие случаи
1	Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения	-	1,3/1,2
2	Метод горизонтальных оml (метод Маслова-Берара)	1,2/ -	1,3/ -
3	Метод Г.М.Шахуняца	1,2/1,15	1,25/1,2
4	Метод F_p Н.Н.Маслова	-	1,0
5	Расчет на выдавливание	-	1,0 (коэффициент безопасности)

Примечания: 1. В числителе даны коэффициенты устойчивости для выемок и автомобильно-дорожных насыпей; в знаменателе — для железнодорожных насыпей.
2. При введении в расчет сейсмических сил коэффициент запаса устойчивости по методам 1-3 принимается равным 1,1.
3. Значения коэффициентов устойчивости предусматривают, что в расчет введены гарантированные значения сдвиговых характеристик грунта. При предварительных расчетах с использованием табличных данных коэффициент запаса следует повышать не менее чем на 10%.

У. УЧЕТ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

57. Во всех случаях, когда откос подвергнут силовому воздействию воды, необходима дополнительная учет этого воздействия в каждом применяемом методе расчета. Силовое воздействие воды может быть в виде эффекта взвешивания, избыточного давления или того и другого вместе.

58. При учете силового воздействия подземных вод могут иметь место следующие три расчетных случая (схемы):

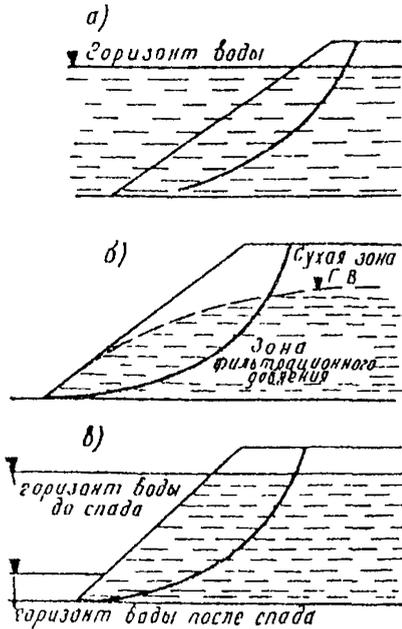


Рис. 19. Расчетные схемы при учете силового воздействия воды:
 а — откос полностью и постоянно затоплен; б — случай установившейся фильтрации; в — мгновенный полный спад воды

1) откос полностью и постоянно затоплен, никакого движения воды не наблюдается (рис. 19, а);

2) наличие в откосе водоносных горизонтов (случай установившейся фильтрации, рис. 19, б);

3) мгновенный полный спад воды (рис. 19, в).

59. В первом случае силовое воздействие сводится к взвешиванию грунта откоса ниже уровня воды.

Расчет по первой схеме проводят путем определения всех сдвигающих и удерживающих сил с учетом взвешивания. Во всех случаях в пределах зоны обводнения значения ψ и C устанавливаются с учетом обводнения грунта.

Коэффициент запаса устойчивости для метода круглоцилиндрической поверхности скольжения и метода Г. М. Шахунянца определяют по формуле

$$n = \frac{\sum P_f \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \cdot l_i}{\sum P_f \cdot \sin \alpha_i} \quad (43)$$

При этом вес каждого расчетного блока необходимо определять с учетом взвешивания о чем свидетельствует индекс "в".

60. Во втором случае силовое воздействие сводится к проявлению, наряду со взвешиванием, фильтрационного давления, связанного с движением воды, фильтрующейся через откос.

Фильтрационные силы учитывают путем определения:

- сдвигающих сил без учета взвешивания;
- удерживающих — с учетом взвешивания.

Коэффициент запаса устойчивости по второй расчетной схеме вычисляют по формуле

$$n = \frac{\sum P_b \cos \lambda_i \cdot \lg \psi_i + \sum c_i l_i}{\sum P_i \sin \alpha_i} \quad (44)$$

По этой схеме вес каждого расчетного олока в числителе формулы (44) определяют с учетом взвешивания (т.е. с учетом взвешивания определяют только удерживающие силы). При определении сдвигающих сил (знаменатель) взвешивания учитывается лишь в зоне постоянного затопления откоса (например, ниже горизонта воды в нижнем блоке).

61. В третьем случае силовой эффект связан с быстрым спадом внешнего уровня воды, вследствие чего резко увеличивается вес отсека обрушения. Если в период спада воды отсутствует возможность дренирования грунта по поверхности скольжения, спад воды при расчетах следует считать мгновенным. Расчет необходимо вести согласно расчетной схеме, представленной на рис. 19, в.

При этой схеме:

- исключается эффект взвешивания при определении сдвигающих сил в пределах бывшей зоны обводнения;
- учитывается увеличение объемного веса части отсека обрушения, расположенного ниже бывшего горизонта подтопления;
- при определении удерживающих сил учитывается эффект взвешивания;
- за расчетный горизонт в отсеке обрушения принимается горизонт подтопления до его мгновенного спада.

Коэффициент запаса устойчивости определяют по формуле (44).

62. При проектировании железнодорожного земляного полотна устойчивость подтопленных откосов при наличии фильтрационного потока принято оценивать по формуле

$$n = \frac{\sum N_i \cdot \lg \psi_i + \sum c_i l_i + \sum T_{yz}}{\sum T_{сдв} + D} \quad (45)$$

где N и T - определяются с учетом взвешивающего действия воды в пределах зоны обводнения;

D - гидродинамическая сила, определяемая по выражению

$$D = J \cdot Q \cdot \Delta g \quad (46)$$

J - средний уклон отрезка кривой депрессии, отсекаемого кривой возможного сечения;

Ω - площадь фильтрационного потока, ограниченная сверху отрезком кривой депрессии и снизу кривой смещения;

Δ_g - удельный вес воды, принимаемый равным 1.

63. Фильтрационное давление при использовании в расчетах F_{p_g} и Ψ_{p_g} учитывают, вводя в расчет фиктивный угол сопротивления сдвигу:

$$F_{p_g} = tg \varphi_g + \frac{c}{\rho} ; \quad (47)$$

$$\Psi_{p_g} = arcs tg F_{p_g} . \quad (48)$$

Фиктивный угол внутреннего трения вычисляют по формулам:

$$\varphi_g = \beta \varphi_w ; \quad \beta = \frac{\rho_g}{\rho_c} , \quad (49)$$

где ρ_g - вес грунта с учетом взвешивания в зоне обводнения;
 ρ_c - вес грунта без учета взвешивания в зоне обводнения;
 φ_w - угол внутреннего трения;
 φ_g - фиктивный угол внутреннего трения.

64. Во всех случаях при расчетах обводненных откосов значения сдвиговых характеристик грунтов в зоне обводнения устанавливаются с учетом влияния увлажнения грунта. Размеры зоны обводнения принимаются наиболее неблагоприятными (для устойчивости) из реально возможных.

Взвешивающее воздействие воды учитывается путем введения в расчет уменьшенной величины объемного веса грунта, расположенного ниже поверхности воды. Для несвязных грунтов объемный вес с учетом взвешивания равен

$$\gamma_w^{\delta\delta} = (1 - n)(\gamma_s - 1) - \frac{\gamma_{ск}}{\gamma_s}(\gamma_s - 1) , \quad (50a)$$

где γ_s - удельный вес частиц грунта, г/см³;
 n - пористость грунта, в долях единицы;
 $\gamma_{ск}$ - объемный вес скелета грунта, г/см³.

Для суглинков и глин объемный вес с учетом взвешивания определяется по формуле

$$\gamma_w^{\delta\delta} = \gamma_w - 1 , \quad (50б)$$

где γ_w - объемный вес влажного грунта без учета взвешивания.

VI. УЧЕТ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ^{х)}

65. Расчет устойчивости откосов земляного полотна, проектируемого в сейсмических районах, необходимо проводить с учетом сейсмического воздействия.

66. Учет сейсмического воздействия при расчете устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения и методу Г.М. Шахуняца заключается в следующем.

Сила T , вызывающая обрушение (см. п. 19), увеличивается на сейсмический коэффициент K_c :

$$K_c = 1 + \frac{\alpha_{max}}{g}, \quad (51)$$

где α_{max} — расчетная величина сейсмического ускорения (определяется по табл. II), мм/сек²;

g — ускорение силы тяжести, мм/сек².

67. Величина сейсмического коэффициента K_c может быть определена по табл. 9 в зависимости от сейсмичности в баллах.

Таблица 9

Расчетная сейсмичность в баллах $J_{расч}$	7	8	9
Величина коэффициента K_c	1,03	1,05	1,10

69. Расчетная сейсмичность определяется по формуле

$$j_{расч} = j_0 + m, \quad (52)$$

где j_0 — расчетная сейсмичность для данного района;
 m — сейсмическая характеристика, учитывающая усиление сейсмичности в баллах в зависимости от грунта основания. Определяется по табл. 10.

69. При расчетах устойчивости откосов по методам горизонтальных сил и методу F_p сейсмическое воздействие учитывается в выражении для коэффициента сопротивления грунта сдвигу в следующем виде:

$$F_{ps} = tg(\psi - \delta) + \frac{c}{\gamma_s}, \quad (53)$$

где F_{ps} — коэффициент сопротивления грунта сдвигу с учетом сейсмичности;

ψ — угол внутреннего трения;

х) Раздел VI составлен на основе работы [10].

c - сцепление, $\tau/\text{м}^2$;

δ - сейсмический угол,

$$\delta = \arcsin \epsilon ; \epsilon = \frac{\alpha_{\max}}{g} ; \quad (54)$$

ϵ - коэффициент сотрясения;

P_g - величина нормального давления с учетом сейсмичности,

$$P_g = P(1 + \epsilon) ; \quad (55)$$

P - величина нормального давления без учета сейсмичности.

Таблица IО

Вид грунта обозначен	Сейсмическая характери- стика m в бал- лах
Аллювиальные отло- жения, щебенчатые или песчаные (сухие) грунты	I-2
Глинистые, мергелис- тые и лессовидные грунты	I-3
Болотистые грунты и водонасыщенные грун- ты	3-4

Таблица II

Величина расчетных значений сей-
смического ускорения и сейсмичес-
кого угла

Расчетная сей- смичность в баллах	Расчетное ускорение α_{\max} $\text{м}/\text{сек}^2$	Сейсмич- еский угол δ_0
УII	10I-250	2^0
УIII	25I-500	3^0
IX	50I-1000	6^0
X	100I-2500	14^0
XI	250I-5000	27^0
XII	> 5000	$> 27^0$

УП. ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

70. Надежность расчета устойчивости откосов в значительной степени определяется достоверностью принятых значений расчетных ха-
рактеристик грунтов.

71. Основными характеристиками механических свойств грунтов для расчетов устойчивости откосов являются сдвиговые характеристики -
угол внутреннего трения ψ и сцепление c . Определение расчетных значений этих характеристик - одна из основных задач инженерно-гео-
логических изысканий, методика и порядок проведения которых на участ-
ках глубоких выемок и высоких насыпей должны быть подчинены решению
этой задачи при минимальных затратах.

Расчетные значения сдвиговых характеристик устанавливаются на
основе тщательного анализа данных инженерно-геологических изысканий,
включая данные полевых и лабораторных испытаний грунтов.

Использовать табличные данные допускается только для песчаных
и гравийных грунтов, не содержащих значительных примесей глинистых

и пыловатых частиц. Табличные данные для глинистых грунтов могут быть использованы лишь в самых приближенных расчетах.

72. Инженерно-геологические изыскания на участках глубоких выемок и высоких насыпей, а также карьеров, грунт из которых предполагается использовать для возведения высоких насыпей, рекомендуется проводить в два этапа.

73. На первом этапе проводится в основном зондирующее бурение и отбираются пробы грунта с нарушенной структурой для определения основных показателей, характеризующих состав и состояние грунта в пределах каждого слоя:

- влажности;
- пределов пластичности;
- коэффициента консистенции;
- удельного веса;
- коэффициента водонасыщения.

Бурение производится по поперечникам, намечаемым по данным предварительного трассирования. Расстояние между поперечниками назначается в зависимости от конкретных инженерно-геологических особенностей проложения трассы и, как правило, не должно превышать 50 м.

Количество скважин на поперечнике на первом этапе проектирования обычно принимается не менее 3.

74. Для определения состава и состояния глинистых грунтов на каждом поперечнике из каждого слоя рекомендуется отбирать не менее 10 проб. Количество проб песчаных грунтов может быть уменьшено.

75. Монолиты грунтов на первом этапе изысканий отбирают выборочно для определения плотности, а также для предварительных испытаний на сжимаемость (при обследовании грунтов основания высокой насыпи) и сопротивляемость сдвигу.

76. Первичная обработка данных инженерно-геологических изысканий сводится к построению графиков рассеяния значений показателей состава и состояния грунтов для каждого слоя (рис. 20). При этом строят графики для каждого поперечника и сводный график для всего участка трассы в целом.

Степень однородности того или иного слоя оценивается по графикам рассеяния значений основных классификационных показателей для этого слоя. Основными классификационными показателями для глинистых грунтов являются число пластичности W_p и коэффициент консистенции
$$C = \frac{W_{cp} - W_p}{W_n} \quad (W_{cp} - \text{природная влажность, } W_p - \text{ граница раскаты-}$$

вания). Слой следует считать однородным в отношении состава и состояния грунта, если отклонения отдельных значений основных класси-

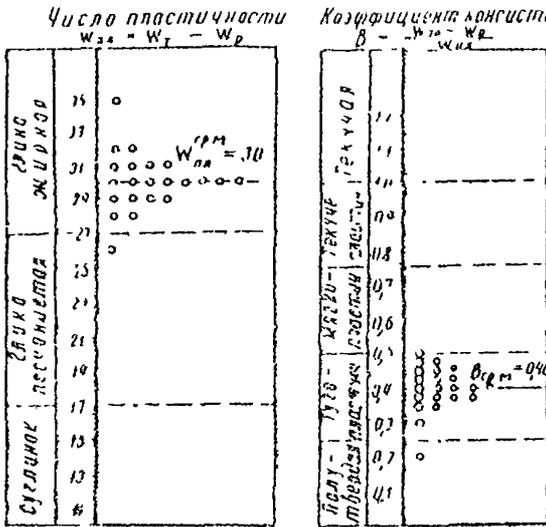


Рис. 20. Графики рассеяния значений основных классификационных показателей ($W_{пл}$ и V) глинистого грунта

чений того или иного показателя (рис. 21), по которой, зная число определений этого показателя (число экспериментальных точек), определяют его гарантированное расчетное значение для данного слоя руководствуясь рекомендациями табл. 12.

76. Расчетные значения показателей состава и состояния используются в качестве исходных для установления сдвиговых характеристик по таблицам (для предварительных расчетов), а также для выбора монолитов для механических испытаний грунтов в лаборатории.

79. На втором этапе инженерно-геологических изысканий проводят дополнительные бурения

классификационных показателей не выходит за рамки одной группы по принятой классификации. При этом 10% крайних экспериментальных точек в расчет не принимаются.

По результатам обработки указанных данных уточняют как по глубине, так и в плане границы расчетных слоев, считаемых однородными в отношении значений их физико-механических характеристик.

77. Для каждого однородного слоя скрывают осредненную кривую на координатах частоты зна-

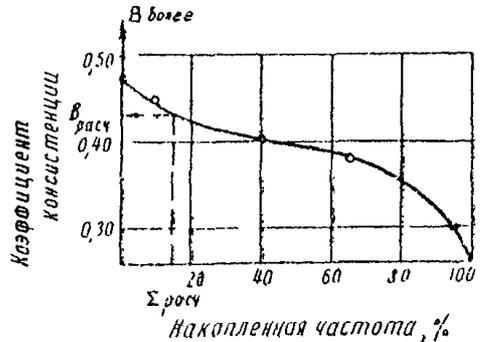


Рис. 21. Интегральная кривая для определения расчетного значения коэффициента консистенции; число определений - 20

Таблица 12

Определение гарантированных значений показателей физико-механических свойств грунтов (по Н.Н.Маслову и Э.В.Цельгуновой)

Число определений	10	10-15	16-20	21-25	26-35	36-50	51-75	>75
Максимальная частота, которой соответствует гарантированное значение при надежности 99%	0	10	15	20	25	30	35	40

Примечание. При определении гарантированных значений влажности и коэффициента консолидации максимальная частота, указанная в таблице, соответствует случаю превышения гарантированного значения.

с целью уточнения расположения границ отдельных слоев и отбора необходимого количества монолитов, предназначенных для механических испытаний грунта. Места отбора этих монолитов назначают с таким расчетом, чтобы показатели состава и состояния грунта их в возможно большей степени соответствовали расчетным значениям этих показателей, установленным по результатам первого этапа изысканий для слоя в целом. В качестве основной исходной характеристики для глинистых грунтов принимается число пластичности и коэффициент консолидации.

Испытания грунтов на сдвиг

80. Сопротивляемость грунта сдвигу в лаборатории определяется на приборах прямого сдвига или трехосного сжатия. До проведения испытаний по данным полевых изысканий должны быть тщательно изучены и проанализированы конкретные местные условия работы грунта в отношении его основания, например условия увлажнения, наличие трещиноватости и т.п.

Все эти факторы подлежат обязательному учету как в методике подготовки образцов к испытанию, так и в методике самих испытаний. Например, если образцы отбирались в момент, когда временные грунтовые воды (верховодка) отсутствовали, а в какие-то периоды года данный слой может быть водонасыщен, необходимо до испытаний подвергнуть образцы водонасыщению; если грунтовая толща имеет явно выраженную гравелистость, то необходимо наряду с изысканием на сдвиг по плоскости сдвиги обязательно провести испытания по горизонтальным, раздвиг-

лящим грунтовыми блоками; если толщина слоиста, то необходимы испытания на сдвиг по контакту слоев, причем в этом случае должны применяться только приборы прямого сдвига и т.д.

81. При оценке сопротивляемости глинистых грунтов сдвигу в лаборатории следует исходить из теории плотности-влажности, в соответствии с которой сопротивляемость грунта сдвигу в общем виде может быть выражена уравнением

$$S_{p_{wg}} = \rho \operatorname{tg} \varphi_w + c_{wg}$$

где ρ — полное нормальное напряжение на площадке сдвига;

φ_w — угол внутреннего трения, зависящий от влажности грунта в момент сдвига;

c_{wg} — сцепление, зависящее от влажности и плотности, характеризуемой величиной коэффициента водонасыщения G грунта в момент сдвига.

$$c_{wg} = \Sigma_{wg} + c_c,$$

где Σ_{wg} — часть полного сцепления, имеющая водно-коллоидную природу;

c_c — сцепление, обусловленное жесткими связями.

Величина коэффициента водонасыщения устанавливается по форму-

ле

$$G = \frac{W \gamma_o}{\epsilon \Delta},$$

где W — влажность в долях единицы;

γ_o — удельный вес;

ϵ — коэффициент пористости;

Δ — удельный вес воды.

82. Для определения значений сдвиговых характеристик грунтов, слогающих откос или основание выемки, а также основание насыпей, необходимо испытывать монолиты, отобранные из различных однородных слоев. Из числа отобранных в пределах данного слоя монолитов для испытаний на сдвиг выбирают лишь те, показатели состава и состояния которых (прежде всего пределы и число пластичности, а также коэффициент консистенции) наиболее близки расчетным значениям, установленным для слоя в целом, как указано в лп. 76-78.

83. Для оценки сопротивляемости сдвигу грунта, предназначенного к использованию в насыпи, предварительно отбираются пробы с нарушенной структурой. Принцип отбора проб тот же, что и монолитов. Для отобранных проб определяют оптимальную влажность и мак-

симальную плотность по методу стандартного уплотнения. После этого изготавливаются путем гранбования или формовки образцы при оптимальной влажности и требуемой плотности, устанавливаемой в соответствии со СНиП П-Д.5-62 в зависимости от глубины расположения данного слоя от поверхности насыпи.

84. Условия испытаний и необходимое количество образцов зависят от того, будет ли грунт поднасыщен полностью или не полностью.

Испитание практически полностью водонасыщенных грунтов

85. В случае практически полностью водонасыщенных грунтов ($G \geq 0,95 \pm 0,05$) влажность грунта становится аналогом его плотности и сопротивление сдвигу определяется уравнением

$$\tau_{piv} = p \lg \psi_w + c_w,$$

где c_w — сцепление, зависящее от влажности грунта в момент сдвига.

Остальные обозначения — прежние.

Задача испытаний в этом случае сводится к установлению зависимости угла внутреннего трения ψ_w и сцепления c_w от влажности в зоне сдвига. Для получения этих зависимостей испытывают ряд образцов, имеющих различную влажность под несколькими (как правило, не менее 3) нормальными нагрузками.

86. Величину нормальных нагрузок при сдвиге следует назначать с учетом реальных величин нагрузок, которые будут действовать в данных условиях. Максимальная величина нагрузки определяется высотой откоса и объемным весом грунта.

Кроме максимальной, назначают меньшие нормальные нагрузки (как правило, не менее 2), под которыми также будет осуществляться сдвиг. Величины этих нагрузок назначают таким образом, чтобы интервал от максимальной до нулевой нагрузки был разбит примерно на равные отрезки. Под каждой выбранной нормальной нагрузкой производится сдвиг обычно не менее четырех идентичных образцов, имеющих различную влажность в момент сдвига.

87. Различие во влажности образцов в момент сдвига можно получить следующим образом:

а) выдерживанием каждого образца, предназначенного для сдвига при одной и той же нормальной нагрузке, в течение различного време-

ни под той же нагрузкой, под которой производится сдвиг.

В этом случае первый образец сдвигается немедленно после прило-жения заданной нормальной нагрузки. Второй образец сдвигается только после выдерживания его под данной нагрузкой до практически полного завершения консолидации, а два других образца перед сдвигом выдерживаются под нагрузкой с таким расчетом, чтобы их влажность в момент сдвига имела два различных промежуточных значения между влажностями первого и второго образцов;

б) выдерживанием образцов в течение различного времени под одной достаточно большой по величине нагрузкой, которая должна быть не меньше максимальной нормальной нагрузки при сдвиге. Предельное значение уплотняющей нагрузки определяется возможностью передать ее на образец без выдавливания грунта в щели.

В этом случае по одному образцу под каждой нормальной нагрузкой испытывается без предварительного выдерживания под уплотняющей нагрузкой;

в) выдерживанием образцов до практически полной консолидации или в течение заданного времени под различными нагрузками, наибольшая из которых должна примерно вдвое превышать максимальную нормальную нагрузку при сдвиге. Три образца из этой серии испытываются на сдвиг без предварительного уплотнения.

Уплотняющие нагрузки должны назначаться с таким расчетом, чтобы охватить интересующий нас в данных конкретных условиях диапазон влажностей, а также дать возможность уверенно экстраполировать кривые в области высоких влажностей.

После завершения предварительного уплотнения получают: 3 образца, не подвергавшиеся уплотнению и имеющие максимальную влажность; 3 образца, максимально уплотненные, имеющие минимальную влажность, и две группы по 3 образца, имеющие промежуточные влажности. Каждый из трех образцов группы испытывается под одной из принятых нормальных нагрузок.

88. Интенсивность приложения сдвигающей нагрузки (ступенчатой или непрерывной) рекомендуется назначать с таким расчетом, чтобы сдвиг образца происходил в течение 3-10 мин, не более. При ступенчатом приложении нагрузки (гирями) очередную нагрузку следует прикладывать, не дожидаясь прекращения деформаций от предыдущей ступени. Достаточно лишь убедиться, что деформация сдвига, регистрируемая мессуроб, носит затухающий характер, что устанавливается сопо-

ставлением 4-5 отсчетов по мессуре, взятых с интервалом 3-5 сек.

При использовании ступенчатой нагрузки целесообразно принимать небольшие ступени по 100-200 г на рычаг в зависимости от консистенции грунта. Сдвиг считается законченным в случае получения нарастающей деформации, заканчивающейся "рывком" образца. При применении автоматического записывающего устройства момент сдвига определяется непосредственно по диаграмме.

89. Немедленно после завершения сдвига и извлечения образца из зоны сдвига отбирают пробы на влажность. Если произошел "рыв", пробы следует отбирать из обеих половинок образца.

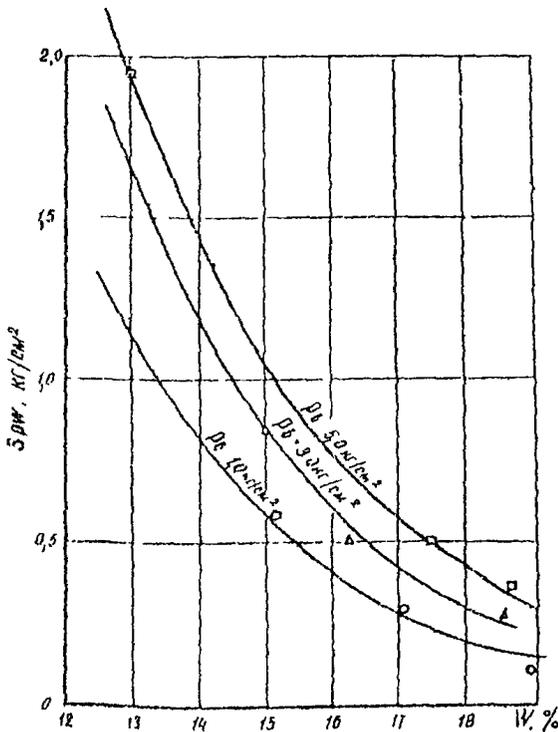


Рис. 22. Зависимость сопротивления грунта сдвигу от влажности при различных нагрузках

(рис. 23). Последние зависимости принимаются прямолинейными (через экспериментальные точки проводят прямые), причём угол наклона каж-

90. Результаты испытаний наносят в виде точек на сетку координат (рис. 22), по оси абсцисс которой откладывается влажность грунта (W) в зоне сдвига в %, а по оси ординат — сопротивление сдвигу (S_{pW}). Точки, относящиеся к одной и той же нормальной нагрузке при сдвиге, обозначают одинаковыми значками и через них проводят осредняющие кривые, каждая из которых представляет собой зависимость сопротивления грунта сдвигу при данной нормальной нагрузке от влажности.

Полученный график перестраивают в график зависимости сопротивления сдвигу от нормальной нагрузки ($S_{pW} = f(p)$) для различных влажностей

дой из таких прямых к оси абсцисс принимается за угол трения грунта при данной влажности, а отрезки, отсекаемые на оси ординат, принимаются за сцепление грунта при данной влажности.

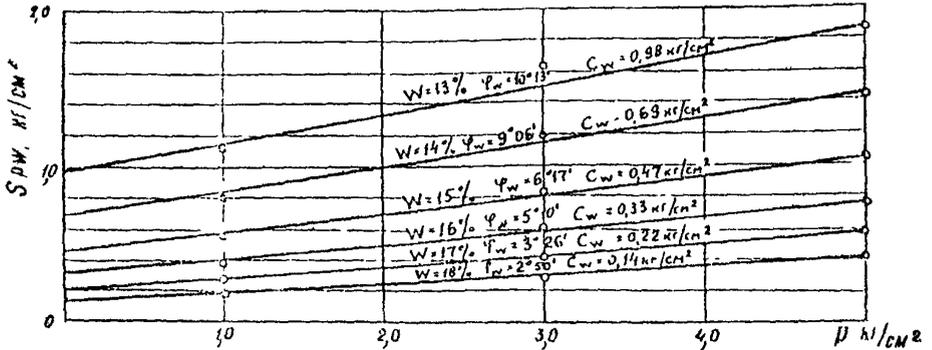


Рис.23. Зависимость сопротивляемости грунта сдвигу от нагрузки при различных влажностях

Найденные значения сцепления и углов трения наносят на графики, устанавливающие зависимости сцепления и угла внутреннего трения от влажности грунта (рис.24). Эти графики могут использоваться для

определения расчетных параметров сопротивляемости грунта сдвигу при любой интересующей исходной влажности.

91. Величина структурного сцепления может быть определена сопоставлением результатов испытаний на сдвиг образцов с ненарушенной структурой и образцов, предварительно разрезанных по плоскости сдвига

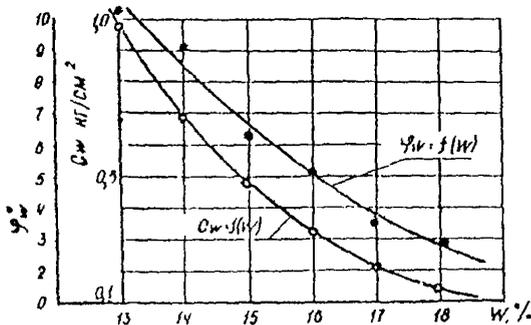


Рис.24. Зависимость угла внутреннего трения и сцепления от влажности сдвига и выдержанных перед сдвигом под нагрузкой, эквивалентной их плотности-влажности.

92. При обработке результатов сдвиговых испытаний следует графики зависимости сопротивляемости грунта сдвигу от влажности стро-

ить в полулогарифмическом масштабе (сопротивляемость сдвигу откладывается в логарифмическом масштабе, влажность — в линейном). В этом случае зависимость $\mathcal{S}_{pm} = f(W)$ часто превращается в прямую линию, что упрощает осреднение и экстраполяцию, а также позволяет получить искомую зависимость при меньшем количестве образцов (рис. 25).

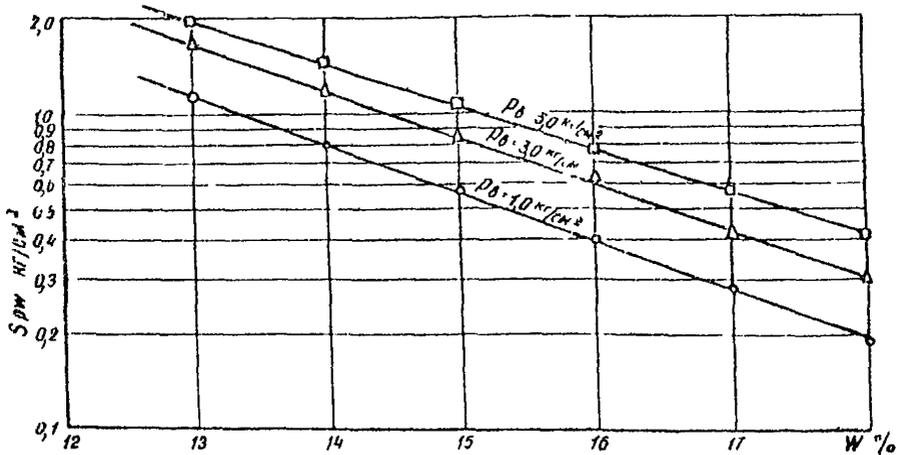


Рис. 25. Зависимость сопротивления грунта сдвигу от влажности при различных нагрузках (в полулогарифмическом масштабе)

93. Для получения большего количества экспериментальных точек или при недостаточном количестве монолитов можно производить два сдвига на одном образце, если его начальная высота не менее 3 см.

94. При применении приборов трехосного сжатия руководствуются теми же принципами подготовки образцов и проведения испытаний, которые изложены выше. Различие заключается в том, что по результатам стабилметрических испытаний строят зависимости вертикального напряжения от величины влажности в момент разрушения образца $\sigma_1 = f(W)$ для двух-трех значений бокового давления σ_2 . Далее с полученного графика для нескольких значений влажности снимают значения σ_1 , соответствующие тому или иному значению σ_2 ; по полученным значениям строят круги Мора и, проводя к ним касательные, определяют величины сцепления и угла трения обычным порядком, после чего строят искомые зависимости $c_w = f(W)$ и $\varphi_w = f(W)$. Испытание подготовленных образцов рекомендуется вести в системе точки (3-10 мм.) в условиях закрытой системы.

Испытания на полностью водонасыщенных образцах

95. В отличие от испытания полностью водонасыщенных образцов, при испытании не полностью водонасыщенных образцов $G > 0,95$ необходимо учитывать возможную неэквивалентность изменения влажности изменению плотности грунта. Это вызывает необходимость измерять не только влажность в зоне сдвига, но и плотность в зонах, прилегающих к зоне сдвига. Для этого из этих зон нужно отбирать пробы на плотность с парафинированием.

96. Если в процессе уплотнения образца под нагрузкой и изменения его влажности величина коэффициента водонасыщения практически не меняется ($-0,05$), обработку результатов можно вести так же, как и при полностью водонасыщенных грунтах. Обычно это может иметь место, когда коэффициент водонасыщения глинистого грунта перед испытанием на сдвиг оказывается более 0,8. Чтобы более точно убедиться в такой возможности, достаточно провести компрессионные испытания двух-трех образцов, подготовленных так же, как и для сдвига. Если в процессе уплотнения под нагрузками, не превышающими реальных нагрузок, коэффициент водонасыщения будет меняться не более, чем на 0,1, допускается обработку результатов проводить аналогично обработке результатов испытаний полностью водонасыщенных образцов, учитывая лишь возможный в этом случае разброс точек.

97. Если коэффициент водонасыщения будет меняться в более широких пределах, необходимо получить расчетные кривые $S_{rw} - f(w)$ для различных коэффициентов водонасыщения. Для этого нужно иметь точки, соответствующие не только одинаковой нагрузке, но и практически одинаковой величине коэффициента водонасыщения, так как только через такие точки можно проводить осредняющие кривые. Для получения подобных кривых необходимо увеличить количество испытываемых образцов.

98. Во всех случаях, когда плотность и влажность образцов грунта в процессе испытания при принятых нагрузках практически не выходит за рамки допустимых отклонений, обработка результатов испытаний осуществляется упрощенным способом. Экспериментальные точки наносят непосредственно на график зависимости сопротивления сдвигу от нагрузки и через эти точки проводят линию, выражающую зависимость $S_{rw} = f(p)$, по которой и определяются значения φ_w и c_w .

При этом различия в величинах объемного веса скелета грунта по должни, как правило, превышать $\pm 0,02$ г/см³, а отклонения во влажности для образцов с нарушенной структурой 0,5-1,0%, для образцов с ненарушенной структурой $\pm 1 \pm 2\%$ (большие значения соответствуют грунтам с большим числом пластичности).

При прочтении осредняющей прямой линии через экспериментальные точки необходимо учитывать фактические значения влажности и плотности грунта, соответствующие каждой экспериментальной точке, имея в виду, что чем ниже плотность и чем выше влажность образца в момент сдвига по отношению к тем значениям, которым соответствует проводимая прямая, тем ниже должны располагаться эти точки по отношению к этой прямой.

99. Расчетная плотность и влажность грунта, находящегося в зоне временного подтопления, устанавливается с учетом обводнения толщи. С этой целью образцы грунта при исходной плотности и влажности (природной в момент отбора монолитов при проектировании выемок и требуемой по СНиП при проектировании насыпей) перед испытаниями подвергают насыщению водой при нагрузке, соответствующей реально действующей с учетом эффекта взвешивания во всех необходимых случаях.

Предварительное водонасыщение следует вести до практического завершения изменения плотности и влажности грунта, контролируемого по изменению веса образца и его высоты, фиксируемой мерсурой. Полученные значения плотности и влажности принимаются за расчетные при определении γ_w и C_w по соответствующим кривым.

Пример расчета устойчивости откоса

Требуется проверить устойчивость откоса выемки при следующих исходных данных:

высота откоса - $H = 20,6$ м;

крутизна откоса в верхней части на высоту 14 м - 1:1,75; в нижней части - 1:2,5.

По высоте откоса выявлены семь различных слоев грунта (причем три из них являются водоносными); расчетные значения физико-механических характеристик грунтов этих слоев приведены в табл. I.

Поскольку рассматриваемый откос выемки представлен различными геологическими слоями, к тому же несущим грунтовыми водами, для оценки его устойчивости необходимо применить комплексный расчет по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения, методу горизонтальных сил и методу равноустойчивого откоса.

Р е ш е н и е

I. Расчет устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения

Так как средняя крутизна откоса не превышает 30° ($\beta_{\text{ср}} = 27^\circ$), и в основании откоса залегает песок с $\psi = 30^\circ$, то при $H = 20,6$ м прохождение кривой скольжения вне подошвы откоса маловероятно.

Центр критической дуги скольжения найден по указаниям п. 21 путем последовательного приближения. В данном случае наименьший коэффициент запаса устойчивости получился для дуги с центром в точке O_2 (рис. I).

Ход расчета устойчивости по дуге скольжения с центром в точке O_2 приведен в табл. 2.

Откосный клин, ограниченный дугой, разбит на 10 блоков. Для каждого блока определяется угол α между вертикальной и нормальной составляющими, проведенными из проекции центра тяжести блока на кривую скольжения.

Составляющие силы N и T определяются по формулам п. I9, коэффициент запаса устойчивости — по формуле (45).

Наименьший коэффициент запаса устойчивости для данного очертания откоса равен 1,38, что *не* удовлетворяет требованиям настоящих "Предложений" для автотрассных дорог (см. п. 56 и табл. 8).

Таблица I

Расчетные значения физико-механических характеристик грунтов
(автодорожная дорога Подгара-Александровская на 136-м км)

Описание горизонтов	Мощность слоя h , м	Пределы пластичности			Удельный вес, γ , г/см ³	W_{lp}	γ_w , г/см ³	φ_w°	C_w , г/г ²
		W_L	W_P	число пластичности					
Глина буровато-пеловой окраски с прожилками и пятнами карбонатов	3,2	35,9	15,0	20,9	2,77	19,7	1,92	25°	3,2
Глина красно-бурая	7,7	52,8	19,3	33,5	2,66	23,2	1,87	15°	4,2
Супесь зеленовато-желтая с осыпями и окристыми пятнами	1,5	28,4	20,7	7,7	2,60	24,9	1,81	22°	3,0
Супесь светло-желтая, с осыпями пятнами, переслаивающаяся с тонкозернистым песком	1,2	27,8	21,5	6,8	2,71	23,5			
Глина жирная, оливково-серой окраски (третичная)	2,2	50,8	19,5	31,3	2,69	25,1	1,97	0°	6,0
Песок среднезернистый желтовато-белый с тонкими прослойками супеси	0,7	16,7	Не определено	0	2,68	23,0	1,50	39°	0
Среднезернистый песок с тонкими прослойками глины и супеси	1,3	33,5	15,6	17,5	2,73	21,7	1,97	19°	5,2
Песок тонкозернистый желтого цвета	2,2	26,3	Не определено	0	2,68	5,7	1,51	30°	0

57

Расчетная таблица для дуги скольжения с центром в точке O₁

№ блочков	$\delta l \cdot \alpha = \frac{x}{R}$ R = 48,0 м	α°	cos α	Σi м ²	Q = Σl · γ · N = Q · cos α · T = Q · sin α			l · c T/м	ΣQ · t √2	B + C = $\frac{Q \cdot \Delta}{\sqrt{2}}$
					Т/м	Т/м	Т/м			
1	$\frac{37,5}{48,0} = 0,814$	54°30'	0,581	4,8	9,4	5,48	7,65	4,8 × 3,2 = 14,7		
2	$\frac{31,8}{48,0} = 0,662$	43°48'	0,722	59,5	111,1	80,2	76,8	10,7 × 4,2 = 45,8		
3	$\frac{26,9}{48,0} = 0,585$	36°48'	0,811	40,5	78,3	58,4	42,8	4,85 × 3,0 = 13,9	5,12	8,32
4	$\frac{23,2}{48,0} = 0,505$	30°20'	0,883	40,8	79,5	68,5	40,1	4,3 × 6,0 = 25,8	14,05	16,3
5	$\frac{20,8}{48,0} = 0,448$	26°36'	0,894	15,2	24,5	21,8	11,0	1,55 × 0 = 0	7,35	8,23
6	$\frac{18,5}{48,0} = 0,403$	23°46'	0,815	29,8	58,7	53,7	23,8	3,1 × 5,2 = 16,1		
7	$\frac{13,6}{48,0} = 0,296$	17°12'	0,855	71,6	115,0	110,0	34,0	7,9 × 0 = 0		
8	$\frac{3,0}{48,0} = 0,174$	10°01'	0,985	23,4	37,7	37,1	8,58	3,1 × 0 = 0		
9	$\frac{3,8}{48,0} = 0,0783$	4°30'	0,987	40,1	64,5	64,3	5,05	8,5 × 0 = 0		
10	$\frac{3,1}{48,0} = -0,0675$	3°52'	0,998	27,3	44,0	43,8	-2,87	10,1 × 0 = 0		

ΣT = 244,78 Σl · c = 116,3

$$R = \frac{5,48 \cdot 0,466 + 80,2 \cdot 0,286 + (59,4 - 6,32) \cdot 0,404 - 0 + (21,8 - 8,23) \cdot 0,81 - 53,7 \cdot 0,344 + 10,0 \cdot 0,577}{244,78}$$

$$= \frac{37,1 \cdot 0,577 + 64,3 \cdot 0,577 + 43,9 \cdot 0,577 + 116,3}{244,78} = \frac{339,38}{244,78} = 1,38$$

50

$$\frac{37,1 \cdot 0,57 - 64,3 \cdot 0,57 + 43,9 \cdot 0,57 + 116,3}{244,78} = 1,38$$

Рис. I. Схема № I к расчету устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения; а/д Полтава-Кишинов. Выемка 136 км.
 Примечание. 1. Разбивка на блоки показана для варианта № 2, как наиболее опасного.
 2. Горизонты: III, IV, V - водоносные.
 3. Центр O_0 найден по графику Н.Имбу (без поправки)

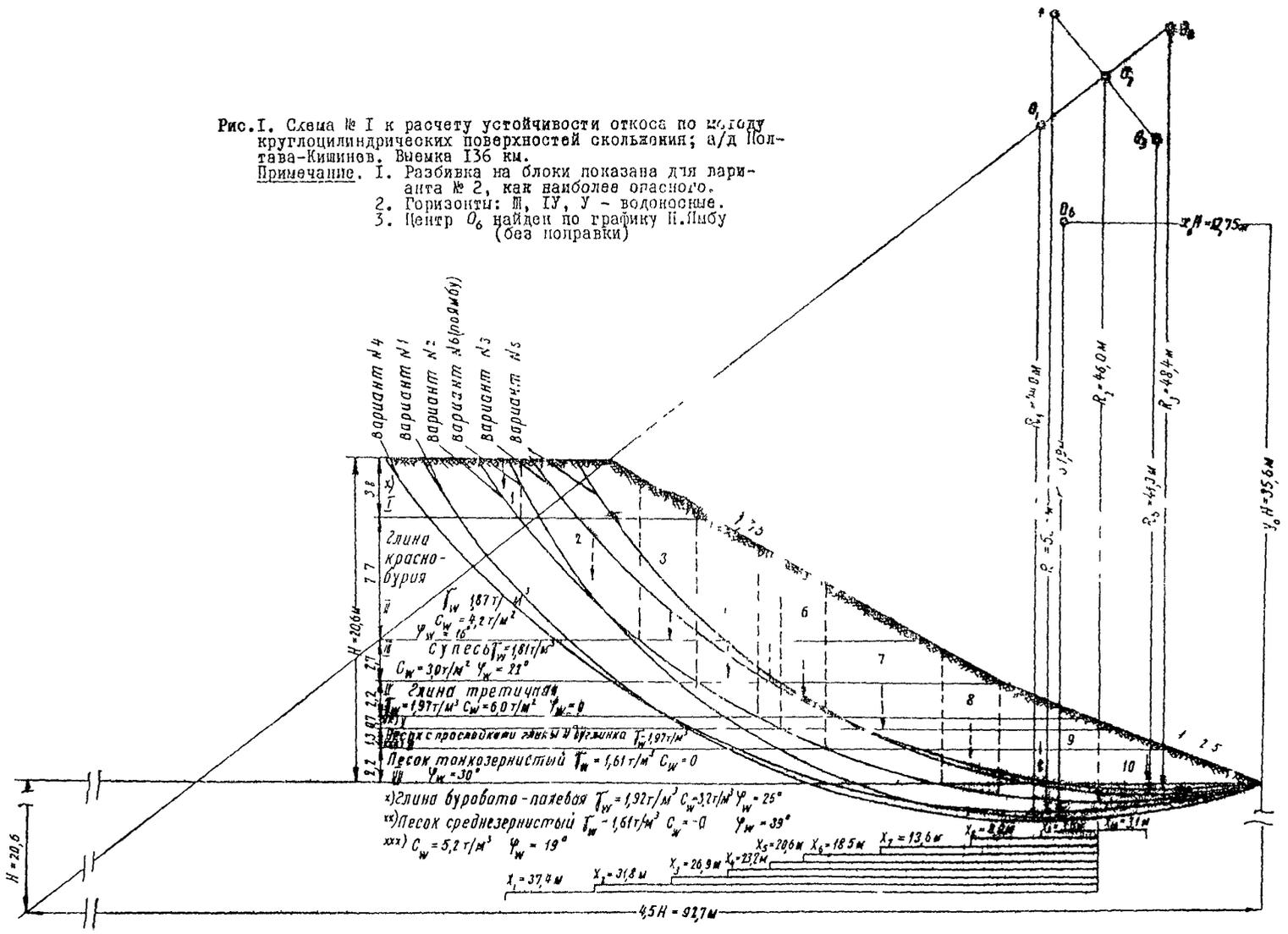
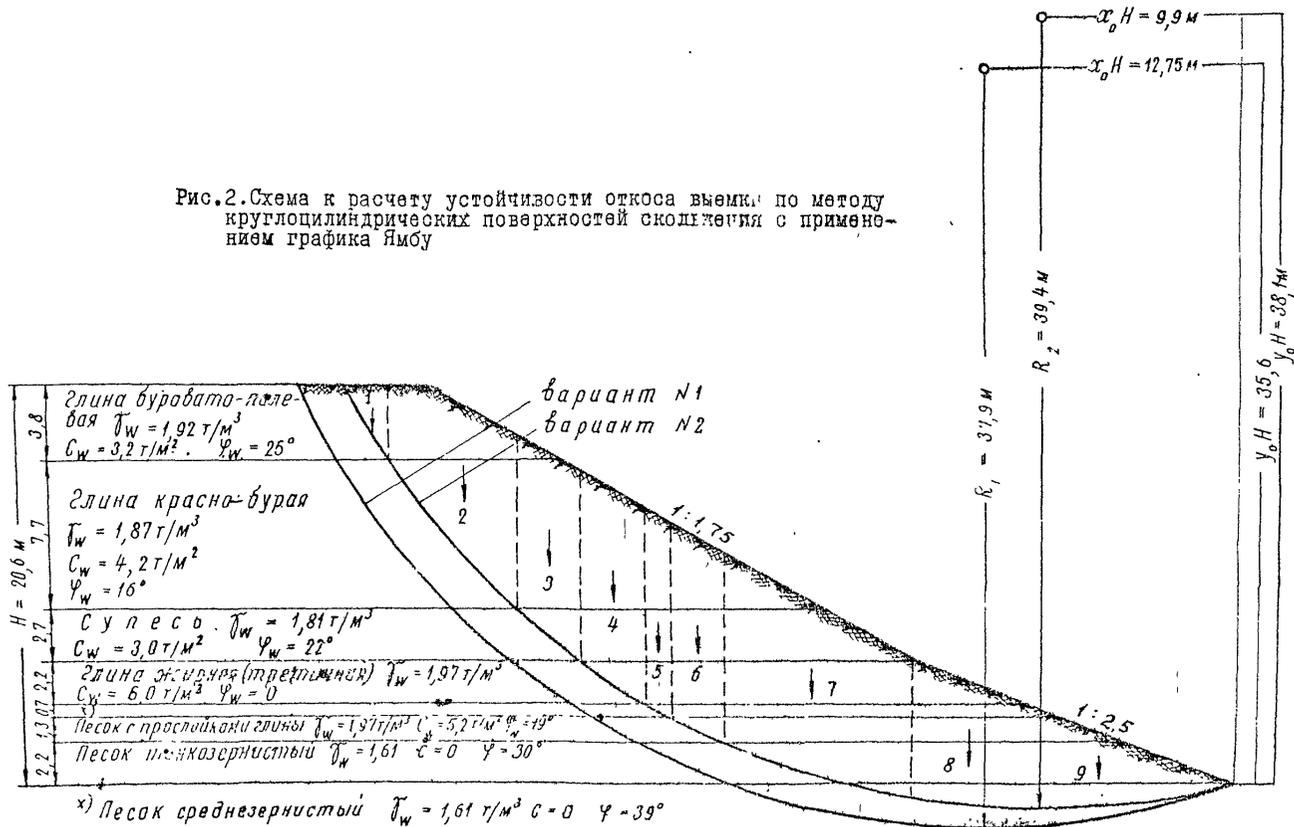


Рис.2. Схема к расчету устойчивости откоса выемки по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с применением графика Ямбу



Процесс отнесения центра критической дуги скольжения, или отсечки в п.27, значительно упрощается при использовании графика Ямбу.

Для этого график построили лишь для простого по очертаниям и однородного по составу откоса, можно применять его для рассмотренного откоса, определив средневзвешенные значения расчетных характеристик грунта:

1. Объемный вес грунта

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{1,92 \cdot 3,8 + 1,87 \cdot 7,7 + 1,81 \cdot 2,7 + 1,97 \cdot 2,2 + 1,61 \cdot 0,7}{20,6} + \frac{1,97 \cdot 1,3 + 1,61 \cdot 2,2}{20,6}$$

$$\frac{1,61 \cdot 2,2}{1,61 \cdot 2,2} = \frac{38,16}{20,6} = 1,85 \text{ т/м}^3$$

2. Сцепление

$$c_{\text{ср}} = \frac{3,2 \cdot 3,8 + 4,2 \cdot 7,7 + 3,0 \cdot 2,7 + 6,0 \cdot 2,2 + 5,2 \cdot 1,3}{20,6} = \frac{72,51}{20,6} = 3,52 \text{ т/м}^2$$

3. Коэффициент внутреннего трения

$$\lambda_{\text{ср}}^{\text{вн}} = \frac{0,466 \cdot 3,8 + 0,286 \cdot 7,7 + 0,404 \cdot 2,7 + 0,81 \cdot 0,7 + 0,344 \cdot 1,3 + 0,577 \cdot 2,2}{20,6} = \frac{7,35}{20,6} = 0,357$$

Вычисляем величину $\lambda_{\text{ср}}$:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\gamma_{\text{ср}} \cdot c_{\text{ср}} \cdot \lambda_{\text{ср}}^{\text{вн}}}{c_{\text{ср}}} = \frac{1,85 \cdot 20,6 \cdot 0,357}{3,52} = 3,87.$$

Принимая откос за простой, со средним углом наклона α относительно горизонту $\beta_{\text{ср}} = 27^\circ$, по графику Ямбу при $\lambda = 3,87$ находим координаты центра дуги наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности сходящаяся:

$$x_0 = 0,62; \quad x_0 \cdot H = 0,62 \cdot 20,6 = 12,75 \text{ м};$$

$$y_0 = 1,73; \quad y_0 \cdot H = 1,73 \cdot 20,6 = 35,6 \text{ м}.$$

Расчет устойчивости откоса выемки с применением графика Ямбу приведен в табл.3 (рис.2).

Коэффициент запаса устойчивости получился равным 1,33, т.е. мало отличающимся от минимального коэффициента запаса устойчивости ($n = 1,3R$), определенного путем подбора.

Очевидно, расчет слоистого откоса по графику Ямбу дал бы гораздо более точные результаты, если бы средневзвешенные значения, в

Таблица 3

Расчетная таблица для дуги скольжения с центром, определяемым по графику Ямбу

№ бло- ков	$\sin \alpha = \frac{r}{R}$ $R = 37,9 \text{ м}$	α°	$\cos \alpha$	R м^2	$R = \Omega \cdot T$ т/м	$N = R \cos \alpha$ т/м	$T = T \cdot \sin \alpha$ т/м	$l \cdot c$ т/м	$\sum R$ м^2	$\sum T$ т/м
1	$\frac{33,35}{37,9} = 0,880$	$81^\circ 42'$	0,474	3,4	8,54	3,1	5,75	$4,2 \times 3,2 = 13,4$		
2	$\frac{29,25}{37,9} = 0,772$	$50^\circ 34'$	0,834	44,4	33,0	52,5	64,1	$9,6 \times 4,2 = 40,3$		
3	$\frac{25,45}{37,9} = 0,672$	$42^\circ 13'$	0,740	32,5	58,9	48,5	39,6	$4,0 \times 3,0 = 12,0$	3,92	5,3
4	$\frac{22,8}{37,9} = 0,596$	$38^\circ 38'$	0,803	34,8	68,6	55,1	40,9	$3,65 \times 6,0 = 21,9$	11,0	13,7
5	$\frac{20,8}{37,9} = 0,544$	$32^\circ 58'$	0,839	13,6	21,9	18,4	11,2	$1,3 \times 0 = 0$	5,78	8,6
8	$\frac{18,9}{37,9} = 0,499$	$30^\circ 00'$	0,866	28,5	56,1	48,6	28,0	$2,7 \times 5,2 = 14,0$		
7	$\frac{15,35}{37,9} = 0,405$	$23^\circ 54'$	0,914	59,3	35,5	87,1	38,85	$5,35 \times 0 = 0$		
8	$\frac{8,55}{37,9} = 0,2275$	$13^\circ 09'$	0,974	94,4	152,0	148,0	34,6	$0,4 \times 0 = 0$		
9	$\frac{1,95}{37,9} = 0,0515$	$2^\circ 57'$	0,998	30,0	48,3	48,1	2,48	$3,75 \times 0 = 0$		
10	$\frac{-3,95}{37,9} = -0,104$	$5^\circ 58'$	0,994	51,2	82,5	82,0	-8,59	$13,1 \times 0 = 0$		

 $\sum T = 256,39$ $\sum l \cdot c = 101,8$

$$R = \frac{3,1 \cdot 0,468 + 52,5 \cdot 0,289 + (48,5 - 5,3) \cdot 0,404 + 0 + (18,4 - 8,9) \cdot 0,81 + 48,8 \cdot 0,344 - 37,1 \cdot 0,577 +}{256,39}$$

$$+ \frac{148,0 \cdot 0,577 + 48,1 \cdot 0,577 + 82,0 \cdot 0,577 + 101,8}{256,39} = \frac{541,54}{256,39} = 1,33$$

60

первую очередь, сцепления, определяли бы не по высоте откоса, а по длине дуги скольжения.

Учитывая это, попытаемся уточнить первоначальное решение. С этой целью определим средневзвешенное значение сцепления по длине дуги скольжения, полученной с использованием графика Ямбу,

$$C'_{w\varphi} = \frac{3,2 \cdot 4,2 + 4,2 \cdot 9,6 + 3,0 \cdot 4,0 + 6,0 \cdot 3,65 + 0,1 \cdot 3 + 5,2 \cdot 2,7 + 0,5 \cdot 3,5 + 0,9 \cdot 5 + 0,3 \cdot 7,5 + 0,1 \cdot 3,1}{4,2 + 9,6 + 4,0 + 3,65 + 1,3 + 2,7 + 0,5 + 3,5 + 9,5 + 3,75 + 1,3,1} = \frac{101,6}{57,15} = 1,78 \text{ т/м}^2.$$

Как видим, значение сцепления в этом случае получилось вдвое меньшим, чем по высоте откоса.

Вновь вычисляем величину λ_{φ} :

$$\lambda_{\varphi} = \frac{1,85 \cdot 20,6 \cdot 0,357}{1,78} = 7,65.$$

По графику Н.Ямбу при $\lambda = 7,65$ и $\beta_{\varphi} = 27^{\circ}$ находим:

$$x_0 = 0,48; \quad y_0 = 1,85.$$

Вычисляем: $x_0 \cdot H = 0,48 \cdot 20,6 = 9,9 \text{ м};$

$$y_0 \cdot H = 1,85 \cdot 20,6 = 38,1 \text{ м}.$$

Получив исправленные координаты центра наиболее опасной дуги скольжения, проводим эту дугу и повторяем расчеты по определению коэффициента запаса устойчивости (табл.4).

При этом получаем $n = 1,40$, что практически не отличается от минимального коэффициента запаса, определенного по обычной методике путем подбора.

Примечание. Введение в расчет средневзвешенного значения t_{φ} $C'_{w\varphi}$ в условиях данного примера практически не влияет на положение центра кривой скольжения.

2. Расчет устойчивости откоса по методу горизонтальных сил (методу Маслова-Берера)

По этому методу была проверена устойчивость откоса для случая плоских поверхностей скольжения.

Плоскость скольжения в рассмотренных вариантах (рис.3) была принята по слов жирной третичной глины, поскольку из всех грунтов, слагающих откос выемки, она является наиболее слабой.

Как показали проведенные расчеты, устойчивость откоса в случае плоских поверхностей скольжения опасней не вызывает. Наименьший коэффициент запаса устойчивости получился равным 1,55,

Определение уточненного значения коэффициента запаса устойчивости при применении метода Ямбу

№ б-о- ков	$\sin \alpha = \frac{I}{R}$ $R = 39,4 \text{ м}$	α°	$\cos \alpha$	Ω т/м	$Q = \Omega T$ т/м	$N = Q \cos \alpha$ т/м	$T = Q \sin \alpha$ т/м	$l \cdot c$ т/м	$\Omega \beta$ м ²	$\beta + \varphi = \frac{2 \cdot \Delta}{\cos \alpha}$ т/м
1	$\frac{33,8}{39,4} = 0,858$	59°08'	0,5135	4,2	8,1	4,18	6,85	4,4 x 3,2 = 14,1		
2	$\frac{29,3}{39,4} = 0,744$	48°05'	0,688	45,3	84,7	68,8	63,0	10,1 x 4,2 = 42,5		
3	$\frac{24,95}{39,4} = 0,634$	39°21'	0,773	29,9	54,1	41,8	34,3	4,2 x 3,0 = 12,6	4,3	5,58
4	$\frac{21,7}{39,4} = 0,551$	33°28'	0,834	32,8	64,3	52,7	35,5	4,0 x 6,0 = 24,0	12,5	15,0
5	$\frac{18,45}{39,4} = 0,495$	29°40'	0,869	13,0	20,9	18,1	10,35	1,5 x 0 = 0	6,82	7,88
6	$\frac{17,45}{39,4} = 0,443$	28°18'	0,8985	28,7	52,8	47,1	23,3	3,1 x 5,2 = 16,1		
7	$\frac{11,7}{39,4} = 0,297$	17°18'	0,955	82,7	133,0	127,0	38,5	8,9 x 0 = 0		
8	$\frac{3,6}{39,4} = 0,091$	5°13'	0,996	41,2	66,5	66,2	6,05	6,7 x 0 = 0		
9	$\frac{-3,0}{39,4} = -0,076$	4°22'	0,987	27,0	43,5	43,4	-3,3	10,0 x 0 = 0		

$$\sum T = 215,85 \quad \sum l \cdot c = 109,3$$

$$\pi = \frac{4,15 \cdot 0,486 + 58,5 \cdot 0,288 + (41,8 - 5,58) \cdot 0,404 + 0 + (18,1 - 7,88) \cdot 0,81 + 47,1 \cdot 0,344 + 127,0 \cdot 0,577 +$$

$$+ 66,2 \cdot 0,577 + 43,4 \cdot 0,577 + 109,3}{215,65} = \frac{302,88}{215,65} = 1,40$$

В табл.5 приведен расчет устойчивости для наиболее неблагоприятного из рассмотренных вариантов (вариант № 4, рис.3).

3. Расчет по методу равноустойчивого откоса (методу F_p^A)

Поскольку рассматриваемый откос выемки представлен равнинными геологическими слоями, расчет устойчивости его лучше осуществить по графическому приему метода F_p .

Расчеты сведены в табл.6,7.

На рис.4 дано очертание устойчивого откоса для $\lambda = 1,0$.

Как видим, для обеспечения условия равноустойчивости крутизна откоса должна быть уменьшена, начиная с глубины $h = 10$ м.

Таким образом, на основании проведенных расчетов можно сделать следующий вывод: устойчивость откоса выемки не обеспечена, требуется изменить его крутизну.

Таблица 5

Расчет по методу горизонтальных сил (при плоской поверхности скольжения)

Вариант № 4

№ слоев	F к2	$\rho = F \cdot T$ г/м	α°	$\operatorname{tg} \alpha$	φ_p°	$\alpha - \varphi_p$	$\operatorname{tg}(\alpha - \varphi_p)$	$H - \rho \operatorname{tg} \alpha$	$R = \rho \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_p)$	$T - H - R$
1	4,0	9,2	$56^\circ 47'$	1,527	$47^\circ 53'$	$8^\circ 54'$	0,156	14,1	1,43	12,67
2	37,5	70,1	$50^\circ 47'$	1,527	$28^\circ 42'$	$28^\circ 05'$	0,534	107,0	37,4	69,6
3	20,7	37,5	$56^\circ 47'$	1,527	$28^\circ 54'$	$27^\circ 53'$	0,529	57,4	19,8	37,6
4	80,1	157,8	$4^\circ 37'$	0,0809	$19^\circ 48'$	$-15^\circ 11'$	-0,271	12,8	-42,8	55,6
5	70,2	138,3	$4^\circ 37'$	0,0809	$37^\circ 26'$	$-32^\circ 49'$	-0,645	11,2	-89,2	100,4
6	5,7	11,2	$4^\circ 37'$	0,0809	$78^\circ 08'$	$-37^\circ 31'$	-3,379	0,9	-37,8	38,7
$\Sigma H = 203,4$								$\Sigma T = 514,47$		

49

№ слоев	T_w	$\rho_{no} = T \cdot \alpha$	$\operatorname{tg} \varphi$	c_w	$\frac{c}{\rho_{no}}$	$F_p = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\rho_{no}}$
1	1,92	$2,6 \cdot 1,92 = 5,0$	0,466	3,2	0,640	1,106
2	1,87	$3,8 \cdot 1,92 + 4,7 \cdot 1,87 = 16,1$	0,287	4,2	0,261	0,548
3	1,81	$2,5 \cdot 1,92 + 7,7 \cdot 1,87 + 1,3 \cdot 0,81 = 20,25$	0,404	3,0	0,148	0,552
4	1,97	16,68	0	6,0	0,360	0,360
5	1,97	7,84	0	6,0	0,765	0,765
6	1,97	1,26	0	6,0	4,76	4,76

$$n = \frac{514,47}{203,4} = 1,55$$

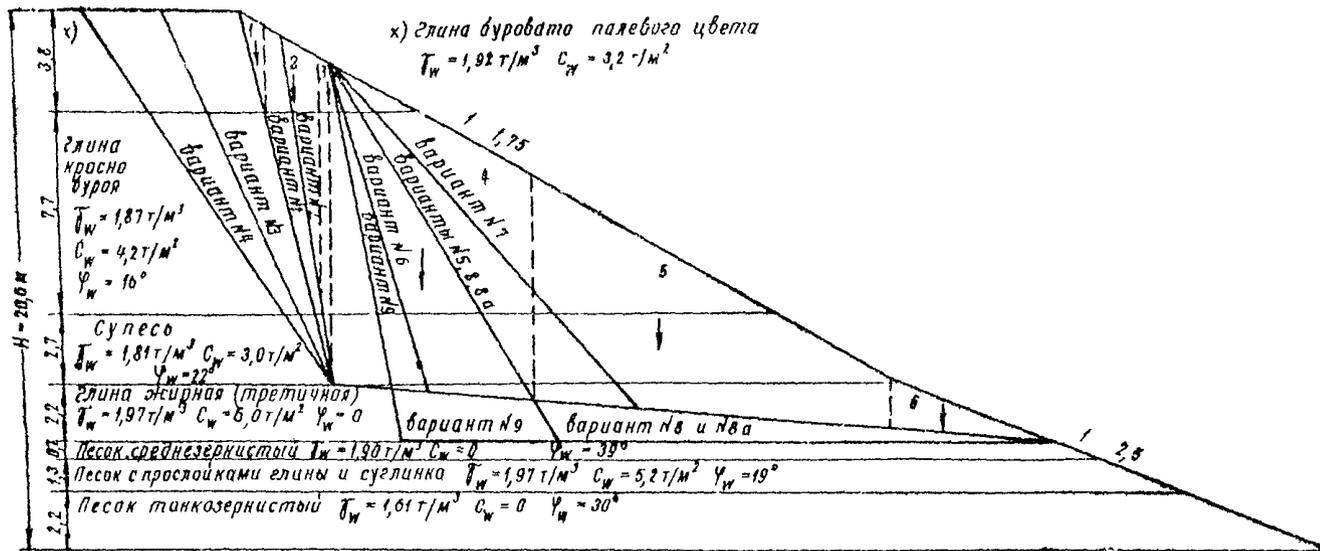


Рис.3. Схема к расчету устойчивости откоса выемки по методу горизонтальных сил (Маслова-Берера) (Варианты плоских поверхностей скольжения)

Примечание. Разбивка на блоки показана для варианта № I

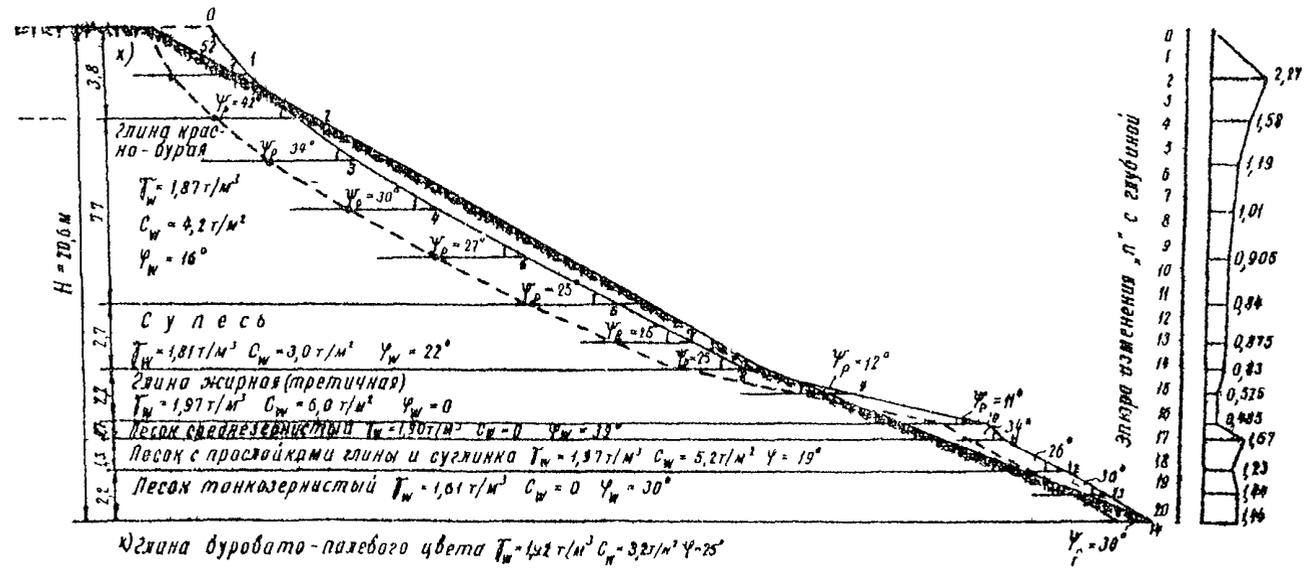


Рис.4. Схема к расчету устойчивости откоса выемки по методу F_p

Условные обозначения: проектное очертание откоса ;
 очертание откоса по графическому приему метода F_p ;
 очертание откоса по аналитическому варианту метода F_p

Таблица 6

Проверка устойчивости откоса по методу F_p
 (автомобильная дорога Полтава-Кишинев. Выемка на 136-м км)

№ точек	h м	T_w т/м ²	$T h$ т/м ²	P_{np} т/м ²	Z м	$T_{pac} = \frac{P_{np}}{Z}$	φ	$tg \varphi$	$\beta = \frac{T_s}{T_w}$	$tg \varphi_0 = \beta tg \varphi$	C_w т/м ²	$\frac{c}{P_{np}}$	$\frac{K = c_0 \varphi_0 + \frac{c}{P_{np}}}{\varphi}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2,0	1,92	3,84	3,84	2,0	1,92	25°	0,466	-	-	3,2	0,833	1,299
2	1,8	1,92	3,46	7,30	3,8	1,92	25°	0,466	-	-	3,2	0,438	0,904
3	1,8	1,87	3,37	10,67	5,6	1,91	16°	0,286	-	-	4,2	0,394	0,680
4	2,0	1,87	3,74	14,41	7,6	1,90	16°	0,286	-	-	4,2	0,292	0,578
5	2,0	1,87	3,74	18,15	9,6	1,89	16°	0,286	-	-	4,2	0,231	0,517
6	1,9	1,87	3,55	21,70	11,5	1,89	16°	0,286	-	-	4,2	0,193	0,479
7	1,6	1,81	2,90	24,60	13,1	1,88	22°	0,404	0,936	0,378	3,0	0,122	0,500
8	1,1	1,81	1,99	26,59	14,2	1,87	22°	0,404	0,900	0,363	3,0	0,113	0,476
9	1,0	1,97	1,97	28,56	15,2	1,88	0	0	0,87	0	6,0	0,210	0,210
10	1,2	1,97	2,37	30,93	16,4	1,88	0	0	0,84	0	6,0	0,194	0,194
11	0,7	1,61	1,13	32,06	17,1	1,87	39°	0,810	0,825	0,668	0	0	0,668
12	1,3	1,37	2,56	34,62	18,4	1,88	19°	0,344	-	-	5,2	0,150	0,494
13	1,0	1,61	1,61	36,23	19,4	1,86	30°	0,577	-	-	0	0	0,577
14	1,2	1,61	1,93	38,16	20,6	1,85	30°	0,577	-	-	0	0	0,577

Таблица 7

Установление коэффициентов устойчивости n при расчете по методу F_p (графический вариант)

№ точек	Проектный откос			Откос по методу F_p		
	$1. m$	$tg \alpha$	α°	$F_p = \frac{tg \psi_p}{tg \alpha}$	ψ_p°	$n = \frac{tg \psi_p}{tg \alpha}$
0	0	0	0	0	0	0
I	I:1,75	0,572	29°46'	1,299	52°25'	2,27
2	I:1,75	0,572	29°46'	0,904	42°07'	1,58
3	I:1,75	0,572	29°46'	0,680	34°12'	1,19
4	I:1,75	0,572	29°46'	0,578	30°01'	1,01
5	I:1,75	0,572	29°46'	0,517	27°20'	0,905
6	I:1,75	0,572	29°46'	0,479	25°36'	0,84
7	I:1,75	0,572	29°46'	0,500	26°36'	0,875
8	I:1,75	0,572	29°46'	0,476	25°27'	0,83
9	I:2,5	0,400	21°48'	0,210	11°52'	0,525
10	I:2,5	0,400	21°48'	0,194	11°00'	0,485
11	I:2,5	0,400	21°48'	0,668	33°45'	1,67
12	I:2,5	0,400	21°48'	0,494	26°18'	1,23
13	I:2,5	0,400	21°48'	0,577	30°00'	1,44
14	I:2,5	0,400	21°43'	0,577	30°00'	1,44

Пример расчета устойчивости откоса выемки по схеме скола при просадке

Требуется оценить возможность нарушения устойчивости откоса выемки в форме скола при просадке. Расчетные данные:

глубина выемки - $H = 20$ м;

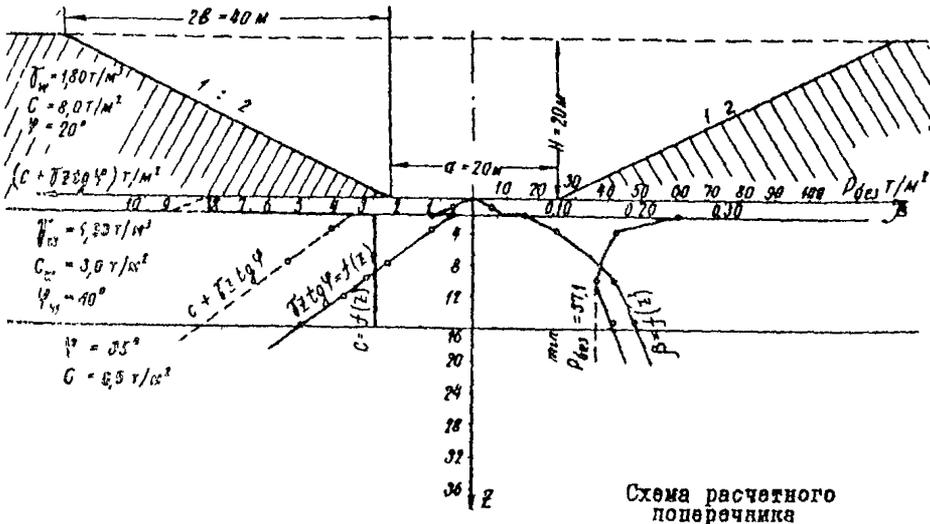
крутизна откосов 1:2;

грунт откоса выемки-супесь: $\gamma_w = 1,80 \text{ т/м}^3$, $C_w = 8,0 \text{ т/м}^2$; $\varphi_w = 20^\circ$

грунты основания - глина жирная: $\gamma_w = 1,90 \text{ т/м}^3$ $\varphi_w = 10^\circ$

$C_w = 3,0 \text{ т/м}^2$;

песчано-гравийная смесь: $\varphi_w = 35^\circ$, $C_w = 0,5 \text{ т/м}^2$



Решение. Для оценки устойчивости откоса по схеме скола при просадке необходимо проверить устойчивость основания откоса.

Устойчивость основания оценивается по величине коэффициента безопасности, определяемого из выражения

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_0}, \quad (I)$$

где $P_{без}$ - безопасная нагрузка для данного горизонта;
 P_o - проектная нагрузка на основание, определяемая по формуле

$$P_o = \gamma_{cp} \cdot h \quad (2)$$

γ_{cp} - средневзвешенный объемный вес грунта откоса;
 h - высота откоса.

1. Вычисляем P_o :

$$P_o = \gamma_{cp} \cdot h = 1,80 \times 20 = 36,0 \text{ т/м}^2$$

2. Вычисляем $P_{без}$:

$$P_{без} = \frac{c + \gamma_{cp} z \cdot \tan \varphi}{\beta} \quad (3)$$

Для определения расчетного значения $P_{без}$ используем графический прием:

а) строим график зависимости $\beta = f(z)$. Функцию β определяем по графикам рис.15в для соотношения $\frac{a}{b} = \frac{20}{20} = 1$;

б) строим график изменения сопротивляемости сдвигу по глубине ($c + \gamma_{cp} z \cdot \tan \varphi$);

в) используя выражение (3), строим график зависимости $P_{без} = f(z)$, точка минимума которого и определит расчетное значение $P_{без}$ (см. рисунок).

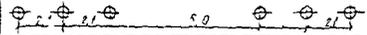
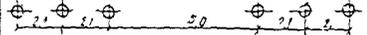
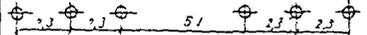
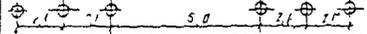
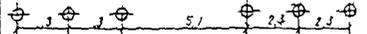
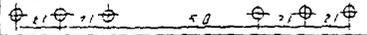
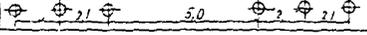
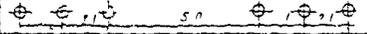
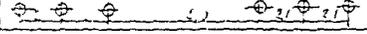
Получили $P_{без} = 37,1 \text{ т/м}^2$

3. Вычисляем коэффициент безопасности:

$$K_{без} = \frac{P_{без}}{P_o} = \frac{37,1}{36,0} = 1,03$$

$K_{без} > 1$, следовательно, нарушение устойчивости откоса в форме окола при просадке маловероятно.

Расчетные нагрузки тепловозов

Тип госмотлива	Осевая формула	Схема нагрузки	Нагрузка на ось, т	нагрузка на полм, т	Средней вес, т	логотр ционная скорост, км/час
Существующие типы						
ТЗ-7	2(3 ₀ -3 ₀)		21,0	15,0	126,0	140
ТЗ-10	3 ₀ -3 ₀		23,0	16,4	138,0	100
ТЭП-60	3 ₀ -3 ₀		21,13	13,7	126,8	160
Типы ближайшей перспективы						
ТЗ-10	3 ₀ -3 ₀		23,0	16,4	138,0	100
ТЭП-60	3 ₀ -3 ₀		21,13	13,7	126,8	160
ТЗ	3 ₀ -3 ₀		23,0	16,4	136,0	120
ТЗ	3 ₀ -3 ₀		22,0	15,7	132,0	120
Типы отдаленной перспективы						
ТЗ	3 ₀ -3 ₀		24,5	17,5	147,0	120
ТЗ	3 ₀ -3 ₀		32,0	22,8	192,0	120

Расчетные нагрузки электровозов

Тип локомотива	Система питания	Осевая формула	Схема нагрузки	Нагрузка на ось, т	Нагрузка на 1 пог.м пути	Спешной вес, т	Конструкционная скорость, км/час
Существующие типы							
ВЛ-23	постоянная	3 ₀ -3 ₀		23,0	15,6	138	100
ВЛ-8	постоянная	2(2 ₀ +2 ₀)		25,0	14,4	92	90
ВЛ-60	переменная	3 ₀ -3 ₀		23,0	15,0	138	110
Типы ближайшей перспективы							
ВЛ-23	постоянная	3 ₀ -3 ₀		23,0	15,6	138	100
ВЛ-8	постоянная	2(2 ₀ +2 ₀)		23,0	14,4	92	90
	переменная	2 ₀ -2 ₀ -2 ₀ -2 ₀		23,0	15,3	184	120
Типы отдаленной перспективы							
	переменная	2 ₀ -2 ₀ -2 ₀ -2 ₀		28,0	18,6	224	120
	переменная	2 ₀ -2 ₀ -2 ₀ -2 ₀		32,0	21,3	256	120

Погонные нагрузки на основную площадку земляного полотна от веса верхнего строения пути (P_g)

Дороги I-II категории							Дороги III-IV категории
Нормативный документ	СНИП П-Д.1-62		Приказ МПС № 123/лс от 4 окт.1963 г.				СНИП П-Д.1-62
Характеристика верхнего строения	Р-65 деревянные шпалы 1840 шт/км толщина балласта под шпалой $h_g = 25/20$	Р-65 ж.б. шпалы 1840 шт/км $h_g = 30/20$	Тяжелый тип		Особо тяжелый тип		Р-43 деревянные шпалы 1600 шт/км $h_g = 30$
			Р-65 деревянные шпалы 1840 шт/км $h_g = 30/20$	Р-65 железобетонные шпалы 1840 шт/км $h_g = 35/20$	Р-65 деревянные шпалы 1840 шт/км $h_g = 35/20$	Р-65 железобетонные шпалы 1840 шт/км $h_g = 40/20$	
Нагрузка на пог.м, т	4,6	5,5	5,3	6,2	6,2	7,1	3,7

21

Примечание. Объемный вес балластных материалов принят по СНИП (счетные нормы ИУ т.5 43-64 § 3 ст.19)

для щебня - 1,77 т/м³
для песка - 2,08 т/м³

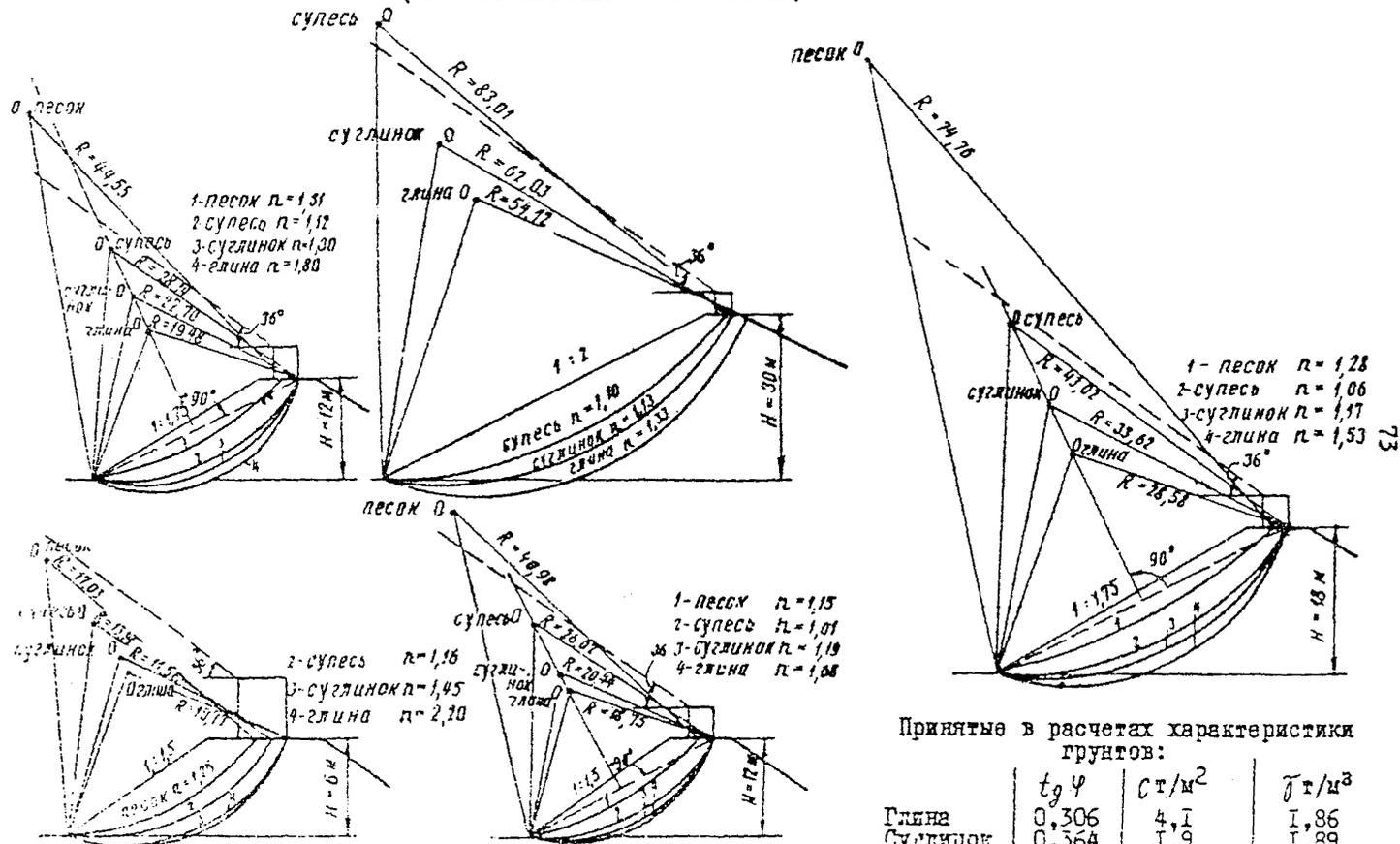
Приложение 6

Категория дороги	Нормативный документ	Толщина балласта под щестью (х)	Ширина балластной призмы поверху, м	Приведенная ширина балластной призмы, м	
III-IV	СНиП П-Д. I-62	30/ -	3,10	3,8	
		25/20	3,20	4,2	
		30/20	3,20	4,3	
I-II	Проект МПС №123/ДС от 4 сент. 1963г.	тяжелый тип	30/20	3,40	4,4
			35/20	3,40	4,5
		особо тяжелый тип	35/20	3,60	4,7
			40/20	3,60	4,8

х) В числителе приводится толщина щебня в см, в знаменателе - толщина песчаной подушки.

Приложение 7

Положение центров критических кривых для железно-
дорожных насыпей при разных грунтовых условиях
(Расчеты выполнены на БЭСМ-2М)

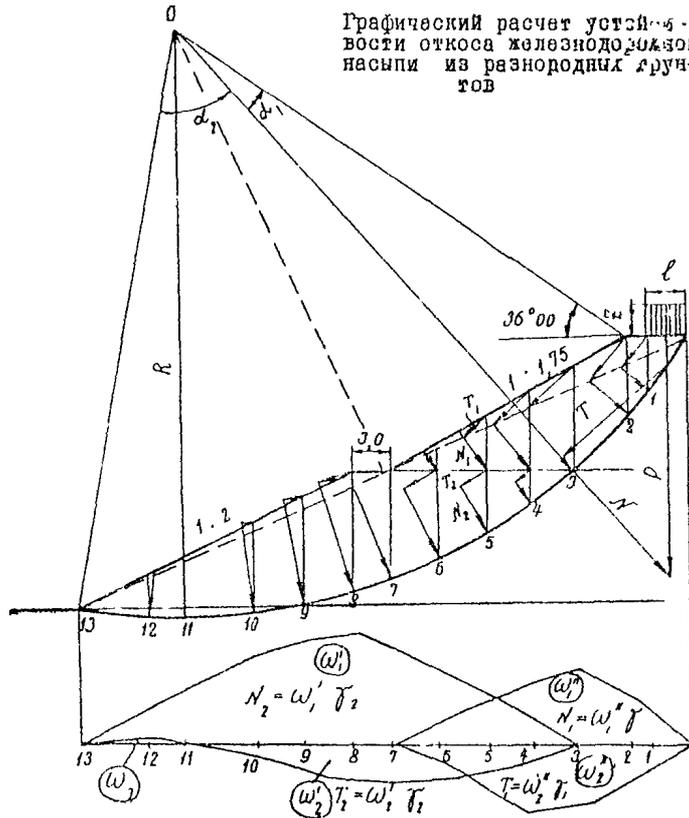


Принятые в расчетах характеристики грунтов:

	$tg \varphi$	$c \tau / m^2$	$\gamma \tau / m^3$
Глина	0,306	4,1	1,86
Суглинок	0,364	1,9	1,89
Супесь	0,445	0,8	2,00
Песок	0,675	0,1	1,95

Приложение 8

Графический расчет устойчивости откоса железнодорожной насыпи из разнородных грунтов



$$n = \frac{\sum N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + c \alpha_1 + \sum N_2 \operatorname{tg} \varphi_2 + c \alpha_2 + T \gamma \delta}{\sum T_1 + \sum T_2' + T};$$

$$c \alpha = \frac{\pi R}{180} (c_1 \alpha_1 + c_2 \alpha_2);$$

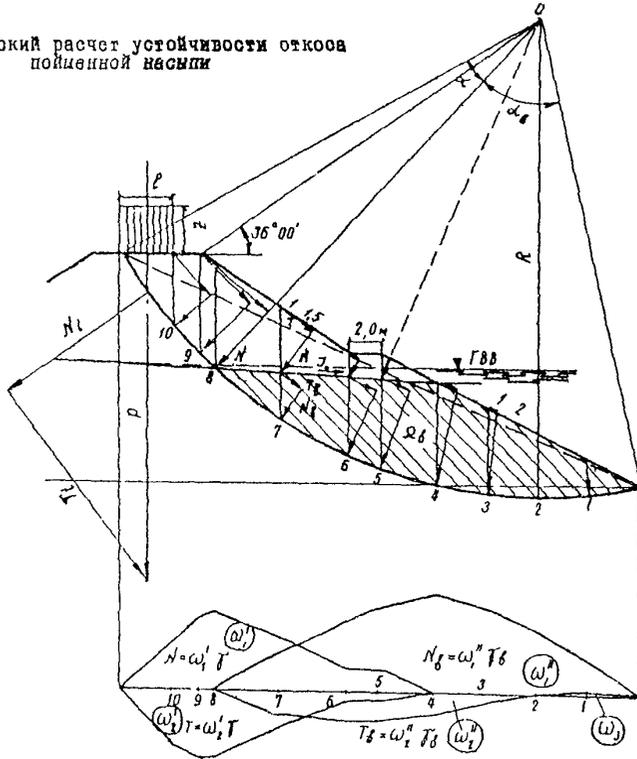
$$\sum T_2 \gamma \delta = \sum T_1 + \sum T_2 + T,$$

$$i \gamma \delta = \omega_3 \delta_2,$$

где R — коэффициент устойчивости откоса;

- N_1, T_1 - нормальная и тангенциальная составляющие веса верхнего слоя грунта, т;
- N_2, T_2 - нормальная и тангенциальная составляющие веса нижнего слоя грунта;
- N, T - нормальная и тангенциальная составляющие нагрузки на основную площадку (ρ);
- $f_1 = \tan \varphi_1$ - коэффициент внутреннего трения верхнего слоя грунта;
- $f_2 = \tan \varphi_2$ - коэффициент внутреннего трения нижнего слоя грунта;
- γ_1 - объемный вес верхнего слоя грунта, т/м³;
- γ_2 - объемный вес нижнего слоя грунта, т/м³;
- c_1 - удельное сцепление верхнего слоя грунта, т/м²;
- c_2 - удельное сцепление нижнего слоя грунта, т/м²;
- λ - длина поверхности скольжения, м;
- R - радиус кривой скольжения, м;
- α_1 - центральный угол, определяющий поверхность скольжения верхнего слоя грунта;
- α_2 - центральный угол, определяющий поверхность скольжения нижнего слоя грунта;
- ω - площади фигур, ограниченные линиями нормальных или тангенциальных сил и горизонтальной линией.

Графический расчет устойчивости откоса
пойменной насыпи



$$R = \frac{\sum N \operatorname{tg} \varphi + c \sum L + T_{y0}}{\sum T_{сдб} + D},$$

$$\sum N \operatorname{tg} \varphi = \sum (N + N_1) f + \sum N_0 f_0,$$

$$c \sum L = \frac{FR}{780} (c \alpha + c_0 \alpha_0)$$

$$\sum T_{сдб} = \sum T + \sum T_0 + T_1, T_{y0} = \omega, T_0 = \omega_0, D = J_0, \Omega_0,$$

где R — коэффициент устойчивости насыпи;

- N, T - нормальная и тангенциальная составляющие веса грунта, находящегося в состоянии естественной влажности, т;
 N_g, T_g - нормальная и тангенциальная составляющие веса грунта, находящегося в воде, т;
 N_c, T_c - нормальная и тангенциальная составляющие нагрузки на основную площадку (ρ);
 D - гидродинамическая сила фильтрующейся из насыпи воды;
 $f = \operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент внутреннего трения грунта, находящегося в состоянии естественной влажности;
 $f_g = \operatorname{tg} \varphi_g$ - коэффициент внутреннего трения грунта, находящегося в воде;
 γ - объемный вес грунта в состоянии естественной влажности, т/м³;
 γ_g - объемный вес грунта во взвешенном состоянии, т/м³;
 c - удельное сцепление грунта в состоянии естественной влажности, т/м²;
 c_g - удельное сцепление грунта, находящегося в воде, т/м²;
 L - длина поверхности скольжения, м;
 R - радиус кривой скольжения, м;
 α - центральный угол, определяющий поверхность скольжения грунта, находящегося в условиях естественной влажности;
 α_g - центральный угол, определяющий поверхность скольжения грунта, находящегося в воде;
 J_0 - средний уклон кривой депрессии;
 S_g - площадь отсека ниже кривой депрессии, м²;
 ω - площади фигур, ограниченные линиями нормальных или тангенциальных сил и горизонтальной линией.

Расчет устойчивости откоса по методу
проф. Г.М. Шахуняца

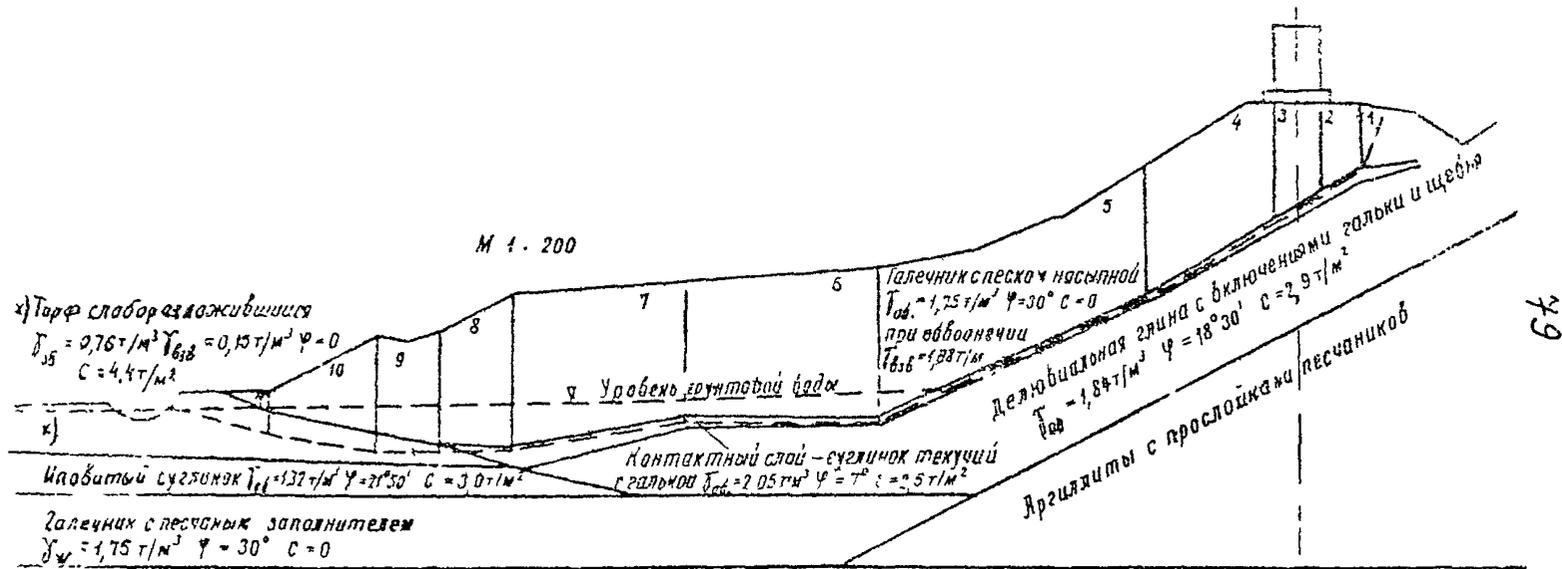
На рисунке представлен поперечный разрез насыпи с контрабанкетом, отсыпанной на косогоре. Наименование грунтов тела насыпи и основания приведены на схеме. По контакту насыпи с косогором имеется прослойка слабого грунта (суглинок с галькой, находящийся в текучем состоянии), которая и предопределяет возможную поверхность скольжения (показана на чертеже пунктирной линией). Выделенный сползневой массив при расчете разбит на II расчетных блоков.

Порядок расчета устойчивости по намеченной поверхности скольжения представлен в таблице.

Коэффициент устойчивости насыпи на сдвиг по контактному слою определен по формуле (24).

$$n = \frac{372,4}{254,0} = 1,47.$$

Схема к примеру расчета устойчивости откоса по методу Шахуняева



Таблица

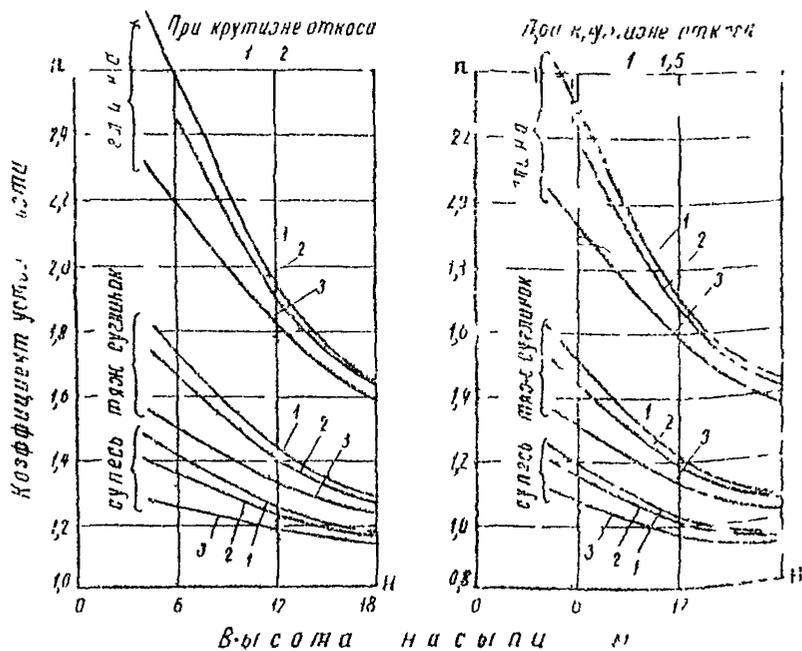
№ ступицы	$\varphi/c = \frac{1}{2} \alpha^2$	α°	$\alpha - \varphi$	$p = W \gamma$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$T_{\text{доб}} = P \sin \alpha$	Удерживающие силы				$\cos(\alpha - \varphi)$	$\cos \varphi$	$\frac{\cos \varphi ([9] + [11]) + \cos(\alpha - \varphi) ([8] + [15])}{[13] + [15]}$	$[8] + [15]$	
								$T_{\text{уб}} = P \sin \alpha$	$N = P \cos \alpha$	$N \cdot \operatorname{tg} \alpha$	$c \cdot l$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	$30^\circ / 0$	66°	38°	5,07	0,927	0,375	4,7	-	1,9	1,1	-	0,788	0,866	1,10	1,21	5,2
2	$7^\circ / 2,5$	35°	28°	23,3	0,574	0,819	13,4	-	19,1	2,4	8,5	0,883	0,992	1,12	12,7	15,0
3	$7^\circ / 2,5$	$30^\circ 30'$	$23^\circ 30'$	64,9	0,508	0,862	33,0	-	56,0	6,9	9,0	0,917	0,992	1,08	17,2	35,7
4	$7^\circ / 2,5$	29°	22°	133,1	0,485	0,875	64,5	-	116,5	14,3	24,5	0,927	0,992	1,07	41,5	69,0
5	$7^\circ / 2,5$	24°	17°	254,0	0,407	0,914	103,2	-	232,0	28,5	47,0	0,956	0,992	1,04	89,0	107,0
6	$7^\circ / 2,5$	0°	-7°	197,0	0	1,00	-	-	197,0	24,2	31,8	0,992	0,992	1,00	56,0	0
7	$7^\circ / 2,5$	$8^\circ 30'$	$1^\circ 30'$	151,0	0,148	0,989	22,3	-	149,0	18,3	28,2	1,00	0,992	0,992	46,1	22,1
8	$7^\circ / 2,5$	0°	-7°	62,0	0	1,00	-	-	62,0	7,6	11,0	0,992	0,992	1,00	18,6	-
9	$0^\circ / 4,4$	0°	0°	45,5	0	1,00	-	-	45,5	-	18,5	1,00	1,00	1,00	18,5	-
10	$0^\circ / 4,4$	-10°	-10°	32,6	0,174	0,985	-	5,7	32,1	-	34,0	0,985	1,00	1,02	40,5	-
11	$0^\circ / 4,4$	-14°	-14°	4,4	0,242	0,970	-	1,1	4,3	-	29,5	0,970	1,00	1,03	31,6	-

$$n = \frac{\sum 372,4}{\sum 254,0} = 1,47$$

$$\sum 372,4 \quad \sum 254,0$$

Приложение Г1

Зависимость коэффициента устойчивости насыпи от ее высоты при разной величине погонной поперечной нагрузки (ρ) для насыпей из различных грунтов с откосами 1:2 и 1:1,5



Условные обозначения:

- 1 - $\rho = 16 \text{ кг/м}^2$ - погонная поперечная нагрузка,
 2 - $\rho = 21 \text{ кг/м}^2$ " " " "
 3 - $\rho = 28 \text{ кг/м}^2$ " " " "

Примечание. Расчеты выполнены на БЭСМ-2М по критическим условиям смещения, найденным для каждой рассмотренной нагрузки, по всем рассмотренным вариантам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков В.Ф., Орнатский Н.В., Маслов Н.Н., Иванов Н.Н. Вопросы дорожного строительства на У Международном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению. М., Авто-трансиздат, 1963.
2. Дранчиков А.И. Инженерная геология. Киев, Госстройиздат УССР, 1959.
3. Емельникова Е.П. О причинах и факторах оползневых процессов. В сб. "Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Труды Всесоюзного геологического общества". М., Госгеолтехиздат, 1959.
4. Казарновский В.Д. Оценка устойчивости насыпей на слабых грунтах. Журн. "Автомобильные дороги", 1966, № 1.
5. Коняин Г.Г. Определение напряжений в земляном полотне. Журн. "Транспортное строительство", 1965, № 3.
6. Корженевский И.В., Лопико А.А., Черевков В.А., Суворов А.С. Борьба с оползнями на горных дорогах. Журн. "Автомобильные дороги", 1961, № 4.
7. Маслов Н.Н. Прикладная механика грунтов. М., Машстройиздат, 1949.
8. Маслов Н.Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. М., Госэнергоиздат, 1955.
9. Маслов Н.Н. Проблемы устойчивости и деформации грунтов. М., Госэнергоиздат, 1961.
10. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии, М., Авто-трансиздат, 1961.
11. Маслов Н.П., Котов М.Ф., Зинюхина Н.В. Задачник по механике грунтов. М., Изд-во "Высшая школа", 1963.
12. Маслов Н.Н., Казарновский В.Д. Определение сопротивляемости грунтов сдвигу методом плотности-влажности. Журн. "Автомобильные дороги", 1962, № 12.
13. Ордуниц К.С. Пойменные насыпи на подходах к мостам. М., Трансжелдориздат, 1938.
14. Пальгучова З.В. Метод математической статистики в установлении среднего значения сопротивляемости сдвигу глинистых грунтов. Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, т. XIУ, 1955.
15. Орнатский Н.В. Применение метода равноустойчивых поверхностей для проектирования откосов глубоких выемок. В сб. "Вопросы инженерной геологии и грунтоведения". М., Изд-во МГУ, 1963.
16. Попов С.Н. Балластный слой железнодорожного пути. М., Изд-во "Транспорт", 1965.
17. Терцаги К., Дек Р. Механика грунтов в инженерной практике. М., Госстройиздат, 1958.
18. Терцаги К. Теория механики грунтов (перевод издания 1942). М., Госстройиздат, 1961.

19. Тейлор Д. Основы механики грунтов. М., Госстройиздат, 1960.
20. Троицкая М.Н. Новый способ расчета устойчивости откосов и склонов. М., Дориздат, 1951.
21. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М., Гостехиздат, 1954.
22. Фришман М.А., Хохлов И.П., Пковлева Т.Г. Земляное полотно железнодорожных дорог. М., Изд-во "Транспорт", 1965.
23. Чугаев Р.Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на песчаном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения. Ч., Госэнергоиздат, 1963.
24. Чугаев Р.Р. Расчет устойчивости земляных откосов по методу плоских поверхностей сдвига грунта. М., Изд-во "Энергия", 1964.
25. Чугаев Р.Р. Графики для расчета устойчивости земляных откосов, частично насыщенных покоящейся водой. Ч., Изд-во "Энергия", 1965.
26. Шахуняц Г.М. Земляное полотно железных дорог. М., Транскелддориздат, 1953.
27. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. М., Транскелддориздат, 1961.
28. Шахуняц Г.М. Расчет устойчивости склонов и откосов пригиб скольжения пород. В сб. "Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними". Изд-во Киевского университета, 1964.
29. Материалы совещания по вопросам изучения оползней и борьбы с ними. Изд-во Киевского университета, 1964.
30. Оползни и борьба с ними. Труды Северо-Кавказского научно-производственного семинара по изучению оползней и мер борьбы с ними. Ставропольское книжное изд-во, 1964.
31. Правила производства расчетов верхнего строения пути на прочность. ЦНИИС МПС, 1954.
32. Строительные нормы и правила П-Д.1-62. Железные дороги колесной 1524 мм общей сети. М., Госстройиздат, 1963.
33. Строительные нормы и правила П-Д.5-62. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. Ч., Госстройиздат, 1963.
34. Строительные нормы и правила П-4.4-62. Плотины земляные насыпные. М., Госстройиздат, 1963.
35. Строительные нормы и правила П-А.10-62. Строительные конструкции и основания. М., Госстройиздат, 1963.
36. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СП 200-62). М., Транскелддориздат, 1962.