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

gost.e-ecolog.ru

П Р Е Д И С Л О В И Е

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.Шахунянца (МИИТ).

Некоторые вопросы (учет сейсмического воздействия, определение гарантированных значений 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. Н.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.Семенова, 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. Л.С.Лебедева, ст. мастер В.П.Корнилин, 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 СОЮЗДОРНИИ
канд.техн.наук,доцент - В.Михайлов

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I. Настоящие "Предложения" касаются методов оценки общей устойчивости откосов земляного полотна автомобильных и железных дорог в глубоких (глубже I2 м) выемках и высоких (выше I2 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 вечномерзлые 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 форм 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 выклинивающихся 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.

II. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОТКОС

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

от собственного веса грунтовой толщи;

от воздействия временной 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.

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

$$Z_n = \frac{2p_n}{\gamma\, b}, \qquad (I)$$

где p_n – погонная нагрузка на одну гусеницу, т/м;

Z_n – высота эквивалентного слоя грунта, м;

b – ширина нормативной гусеничной нагрузки, м;

γ – объемный вес грунта верхней части откоса земляного полотна, т/м^3.

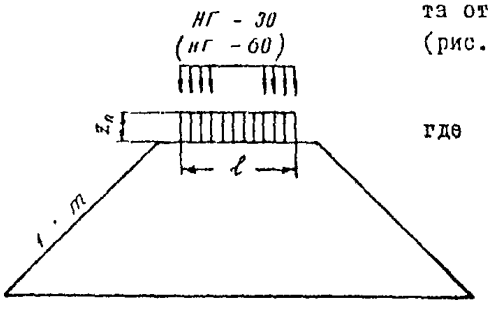


Рис.I. Учет подвижной нагрузки при расчете устойчивости откосов автодорожных насыпей

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 бровки откоса должно быть не менее 0,25 м. Основные данные по нормативным гусеничным нагрузкам приведены в табл.I.

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

$$p_n = \frac{\Sigma P}{l_{жб}}, \qquad (2)$$

где P – давление на ось расчетного локомотива, т;

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

ΣP – суммарное давление на оси, составляющие жесткую базу, т.

Для железнодорожных линий I и II категорий величину погонной подвижной нагрузки следует принимать равной 23 т, причем во внима-

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

Таблица I

Показатели	Схемы нагрузки	
	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).

I2. 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 $z_б$ (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).

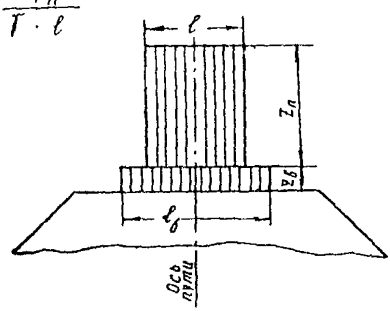


Рис.2. Учет подвижной нагрузки и нагрузки от верхнего строения пути при расчете устойчивости откосов железнодорожных насыпей

Высота фиктивного столба грунта от веса верхнего строения определяется по формуле

$$z_б = \frac{p_б}{\gamma \cdot \ell_б},$$

где $p_б$ – погонная нагрузка от верхнего строения пути, т/м (см. приложение 5);

$\ell_б$ – ширина балластной призмы в н, приведенная к равно-

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 ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ

14. В зависимости от инженерно-геологических особенностей грунтовой толщи, слагающей откос и его основание, а также от гидрогеологических условий работы, откосы насыпей и выемок 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
Выемка (В)	А. Однородный	–	1. Безводный
	Б. Слоистый	I. Горизонтальные слои	
		II. Падение в сторону выемки	2. Несущий поток грунтовых вод
		III. Падение от выемки	
		IУ. Сложное расположение слоев	

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

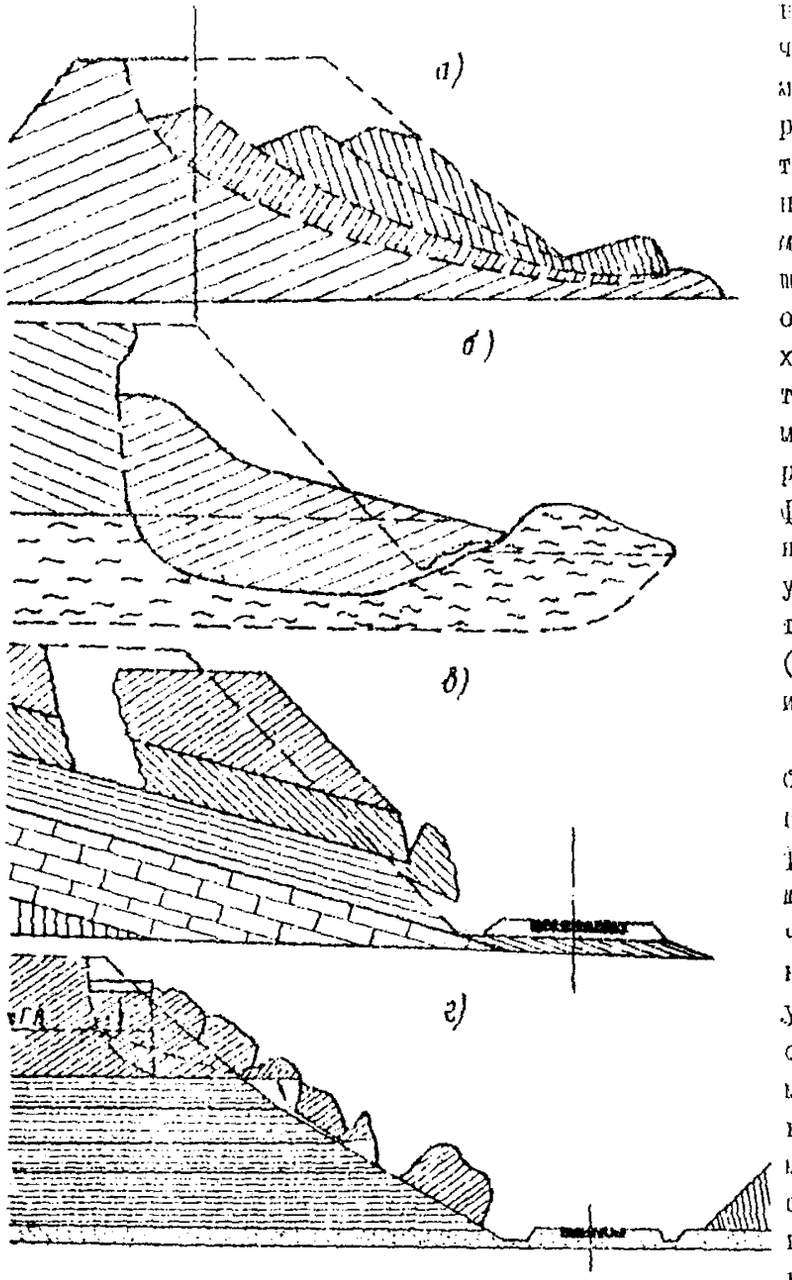


Рис.3. Основные формы нарушения общей устойчивости откосов:
а-обрушение со срезом и вращением; б-скол при просадке; в-скольжение; г-оползень - сдвиг

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.

Таблица 3

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

Формы нарушения общей устойчивости	Характер деформации	Характерные особенности строения толщи откоса
Обрушение со срезом и вращением	Перемещение части откоса в результате среза по критической поверхности, обычно близкой по форме к круго-цилиндрической, с некоторым поворотом вокруг горизонтальной оси	Откосы, сложенные глинистыми грунтами, с достаточно однородным строением
Сход при просадке	Вертикальное перемещение (опускание) 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 основания низкопрочных грунтов, способных выдавливаться под воздействием вышележащих слоев; наличие гидродинамически неустойчивых песков-плывунов; наличие гидронестойких пород (каменная соль, гипс и т.п.) или резко просадочных пород и т.п.
Скольжение	Сдвиг части откоса по наклонным плоскостям напластований, древних сколов и т.п.	Наличие ясно выраженной, определяемой геологическим строением толщи поверхности скольжения со значительным углом падения в сторону откоса
Оползень-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

IУ. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

I. Расчет по схеме обрушения со срезом и вращением

I7. Для оценки устойчивости откосов, предполагая, что нарушение устойчивости откоса может произойти в форме обрушения со срезом

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

I8. 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:

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

I9. Для определения коэффициента устойчивости выделенный при расчете отсек, ограниченный кривой скольжения, разделяют вертикальными сечениями на ряд блоков, примерно одинаковых по ширине. Границы блоков назначают 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:

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

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

где φ – угол внутреннего трения грунта, град;

c – удельное сцепление грунта, т/м^2;

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 принятой поверхности скольжения. При этом выражение (3) можно записать в виде

$$n = \frac{\Sigma N\ tg\varphi + \Sigma C\ \ell + \Sigma T_{уд}}{\Sigma T_{сдв}} , \qquad (4а)$$

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

или

$$n = \frac{\Sigma N_i\ tg\varphi_i + \Sigma c_i\ \ell_i}{\Sigma T_i} = \frac{\Sigma Q_i\ \cos\alpha_i\ tg\varphi_i + \Sigma c_i\ \ell_i}{\Sigma Q_i\ \sin\alpha_i} . \qquad (4б)$$

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). Вероятность прохождения опасной дуги скольжения через подошву откоса повышается с увеличением его крутизны, а также с увеличением значений сдвиговых характеристик грунтов основания откоса по сравнению со значениями сдвиговых характеристик грунта самого откоса. При практических расчетах следует рассматривать оба возможных варианта прохождения поверхности скольжения, за исключением случаев, когда поверхность скольжения не может пройти в основании (очень прочный грунт в основании откоса).

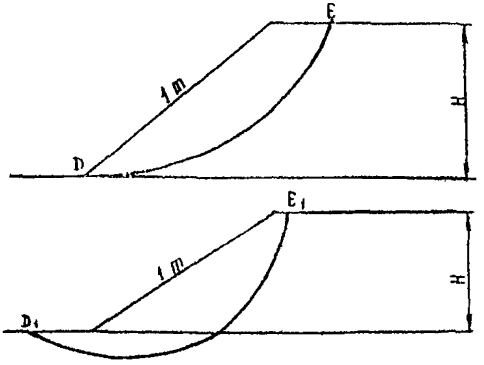


Рис.4. Положение круглоцилиндрической поверхности скольжения по отношению к откосу

Способы определения положения центра наиболее опасной поверхности скольжения

Способ последовательного приближения

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 $4{,}5\ H$.

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

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

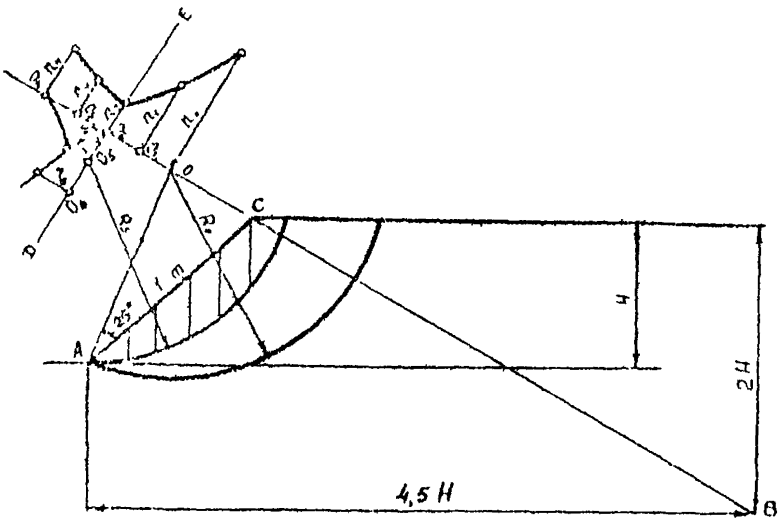


Рис.5. Нахождение центра критической поверхности скольжения, проходящей через подошву откоса, способом последовательного приближения

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. Окончательно 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 входа кривой скольжения первоначально принимается на основе предварительных расчетов, выполненных по пп. 21-23.

В первом приближении этот центр помещают на биссектрисе угла δ

на расстоянии H от точки M. На продолжении линии OM через $0,25H$ откладывают центры для последующих этапов нахождения критической кривой скольжения. Через центр критической кривой скольжения, которой соответствует K_{min}, проводят линию $ДЕ$ перпендикулярно OM, где также через $0,25\ H$ откладывают центры возможных критических кривых скольжения для проверочных расчетов.

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

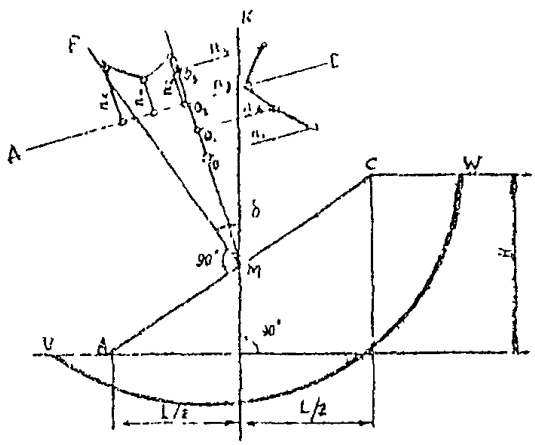


Рис.6. Нахождение центра критической поверхности скольжения, проходящей через основание откоса, способом последовательного приближения

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

– расчеты обычно начинают с проведения линии центров $Б\ С$ из точки $С$ под углом 36^0 к горизонту (рис.7,а);

– намечают несколько положений кривых скольжения, проходящих через подошву насыпи ($А$) 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 из середины 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

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

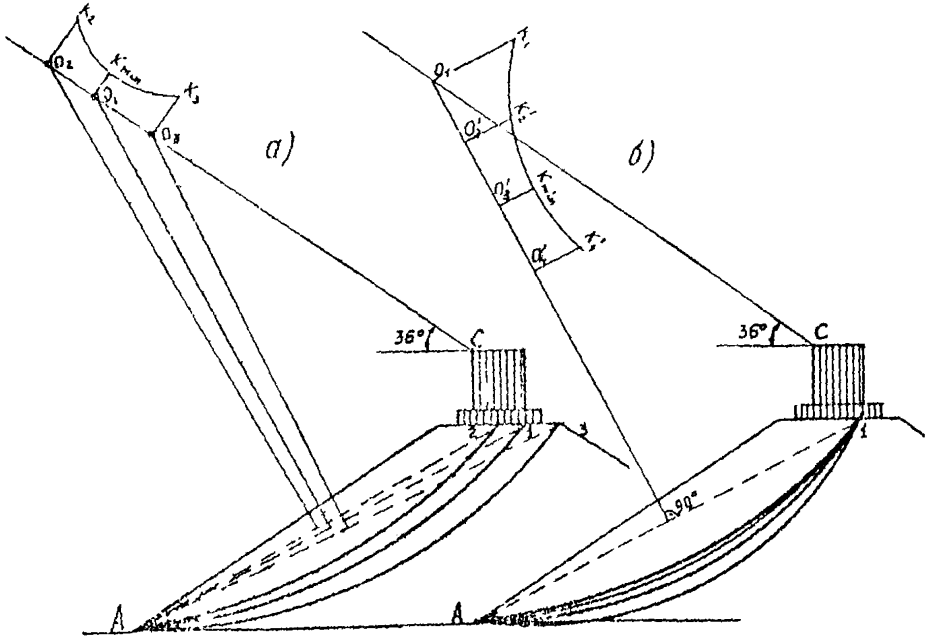


Рис.7. Нахождение центра критической поверхности скольжения, проходящей через подошву железнодорожной насыпи, способом последовательного приближения

тах 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 удаляется от поверхности откоса, приближаясь к линии центров, проведенной под углом 36^0 к горизонту.

Определение центра критической кривой скольжения с помощью графика Ямбу

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

$$\lambda = \frac{\gamma \cdot H \, tg\varphi}{c}, \qquad (5)$$

где λ – обобщенная характеристика грунта однородного откоса;

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

$tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения;

c – сцепление, т/м^2.

При малых значениях C, когда $\lambda \cdot 8$, координаты центра допускается определять по кривым, отвечающим $\lambda = 8$.

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

I) находят значения γ_{wcp}, c_{wcp}, $tg\varphi_{wcp}$:

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

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

$$tg\varphi_{wcp} = \frac{tg\varphi_1 h_1 + tg\varphi_2 h_2 + \ldots + tg\varphi_n h_n}{h_1 + h_2 + \ldots + h_n}, \qquad (8)$$

где γ_{wcp}, c_{wcp}, $tg\varphi_{wcp}$ – соответственно средневзвешенные значения объемного веса, сцепления

и коэффициента внутреннего трения грунта откоса по высоте;

$h_1, h_2, .., h_n$ – толщины отдельных слоев неоднородного по высоте откоса, которым соответствуют значения:

$$\gamma_1, \gamma_2, \quad , \gamma_n ;$$
$$c_1, c_2, \quad , c_n ;$$
$$tg\,\varphi_1, tg\,\varphi_2, \quad , tg\,\varphi_n .$$

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

$$\lambda_{cp} = \frac{\gamma_{wcp} \cdot H \cdot tg\,\varphi_{wcp}}{C_{wcp}} . \qquad (9)$$

Координаты центра наиболее опасной кривой скольжения $x_0 H$ и $y_0 H$ определяют по графику Н.Ямбу при λ_{cp} и средней крутизне запроектированного откоса (β_{cp} или m_{cp});

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

$$C'_{wcp} = \frac{c_1 l_1 + c_2 l_2 + \ldots + c_n l_n}{l_1 + l_2 + \ldots + l_n} ; \qquad (10)$$

$$tg\,\varphi'_{wcp} = \frac{Q_1 \cos\alpha_1 \cdot tg\,\varphi_1 + \ldots + Q_n \cdot \cos\alpha_n\, tg\,\varphi_n}{Q_1 \cos\alpha_1 + \ldots + Q_n \cdot \cos\alpha_n} , \qquad (10а)$$

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 λ'_{cp}:

$$\lambda'_{cp} = \frac{\gamma_{wcp} \cdot H\, tg\,\varphi'_{wcp}}{C'_{wcp}} \qquad (11)$$

и по графику Н.Ямбу определяют уточненные значения координат центра опасной кривой скольжения, относительно которой и определяют расчетный коэффициент запаса. Далее можно определить C''_{wcp} и $tg\,\varphi''_{wcp}$ по вновь полученной кривой скольжения, сопоставить его с C'_{wcp} и $tg\,\varphi'_{wcp}$ 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.

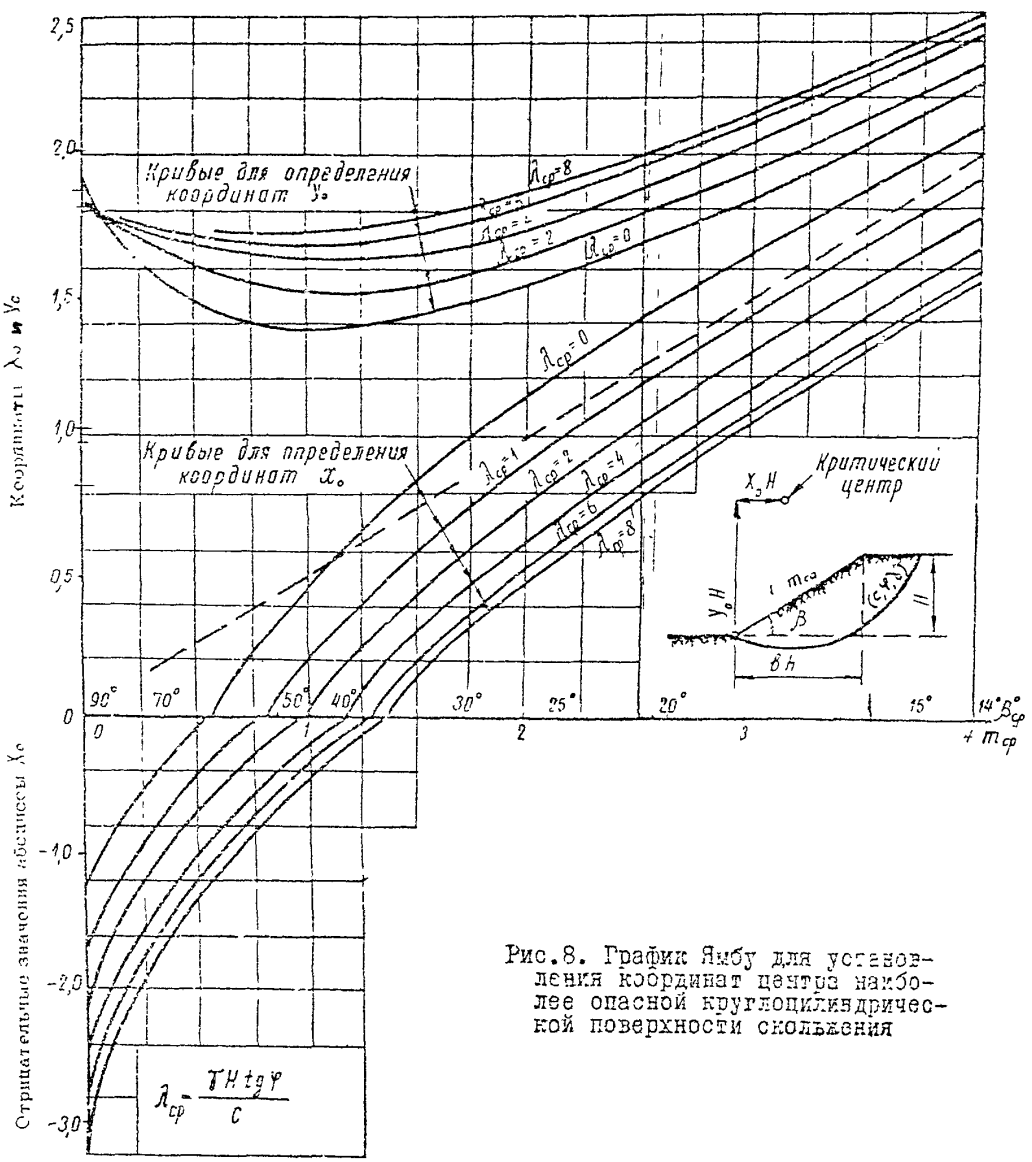


Рис.8. График Янбу для установления координат центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения

Способ площадей

30. Сущность способа площадей заключается в том, что необходимые для вычисления коэффициента устойчивости величины нормальных и тангенциальных сил и их суммарные значения определяются графически (рис.9 и приложения 8,9).

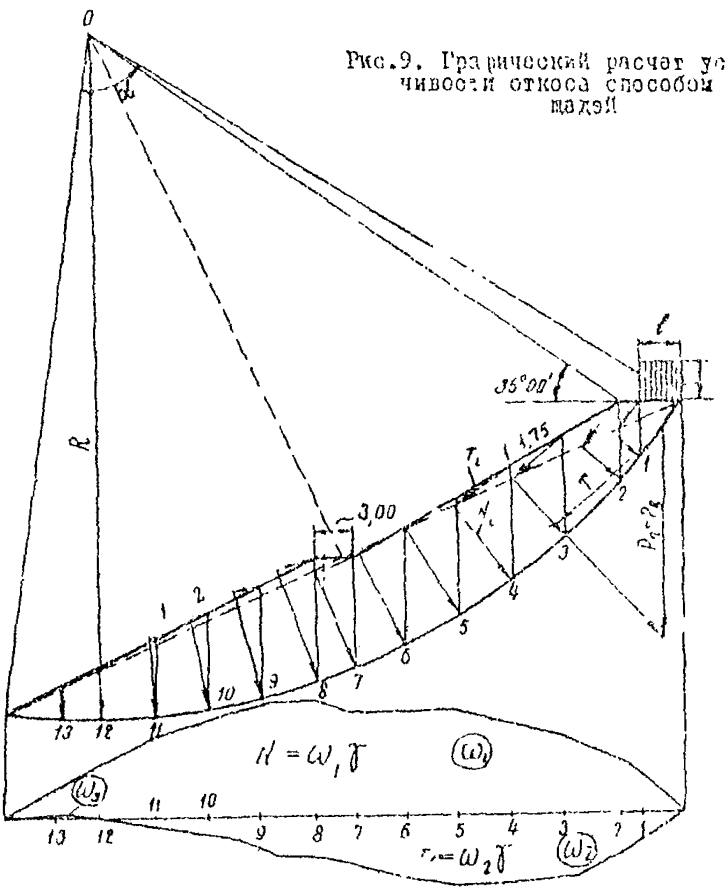


Рис.9. Графический расчет устойчивости откоса способом площадей

Коэффициент запаса устойчивости вычисляется по формуле

$$n = \frac{\Sigma N \operatorname{tg}\varphi + cL + \Sigma T_{уд}}{\Sigma T \cos\delta} ,$$

где

$$\Sigma N \; tg\varphi = \Sigma(N + N_i)\, f \; ;$$

$$c\,\mathcal{L} = \frac{\pi R}{180} \; c \cdot \alpha \; ;$$

$$\Sigma T_{сдв(уд)} = \Sigma T_i + T \; ;$$

n – коэффициент устойчивости;

N_i, T_i – нормальная и тангенциальная составляющие веса грунта($T_{сдв}$ – в активной зоне, $T_{уд}$ – в пассивной);

N , T – нормальная и тангенциальная составляющие нагрузки на основную площадку (Р);

$f = tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта;

γ – объемный вес грунта, т/м^3;

c – удельное сцепление грунта, т/м^2;

$\mathcal{L}$ – длина поверхности скольжения, м;

R – радиус кривой скольжения, м;

α – центральный угол, определяющий поверхность скольжения грунта.

Расчеты выполняются в такой последовательности.

В масштабе I:100 или I: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 I т/м^3), 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 ω_1 , ω_2 , ω_3 , ограниченных линиями нормальных и тангенциальных сил и горизонтальной линией, и вычисляют суммарные значения нормальных и тангенциальных сил:

$$\Sigma N_i = \omega_1 \; \gamma \; 1 \; ,$$

$$\Sigma T_{сдв} = \omega_2 \; \gamma \; 1 \; ,$$

$$\Sigma T_{уд} = \omega_3 \; \gamma \; 1 \; ,$$

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 (P_n и P_δ) находят следующим образом: равнодействующая от нагрузки P_n и P_δ, 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 ΣN_i и ΣT_i от веса оползневого массива.

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

Коэффициент устойчивости вычисляется по формуле (4) с учетом полученных значений ΣN_i , ΣT_i , $\Sigma c_i l_i$.

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

Расчет по вспомогательным таблицам

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. Н.Н.Гольдштейна, составленные на основании ранее выполненных расчетов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения. При использовании этих таблиц коэффициент устойчивости находят из выражения

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

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:

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

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)									
	O_1		O_2		O_3		O_4		O_5	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
I:I	2,34	5,79	I,87	6,0	I,57	6,57	I,40	7,50	I,24	8,80
I:I,25	2,64	6,05	2,I6	6,35	I,82	7,03	I,66	8,02	I,48	9,65
I:I,5	3,04	6,25	2,64	6,50	2,I5	7,I5	I,90	8,33	I,7I	I0,I0
I:I,75	3,44	6,35	2,87	6,58	2,50	7,22	2,I8	8,50	I,90	I0,4I
I:2	3,84	6,50	3,23	6,70	2,80	7,26	2,45	8,45	2,2I	I0,I0
I:2,25	4,25	6,64	3,58	6,80	3,I9	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	3,2I	8,I5	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	9,2I
I:3	5,32	6,60	4,69	6,75	4,24	7,23	3,97	7,87	3,59	8,8I

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 столбом 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

Крутизна 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
					$l = 0{,}25\,H$					
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
					$l = 0{,}5\,H$					
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
					$l = H$					
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
					$l = 1{,}5\,H$					
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 выполнить по графику, составленному Д.Тейлором (рис.10).

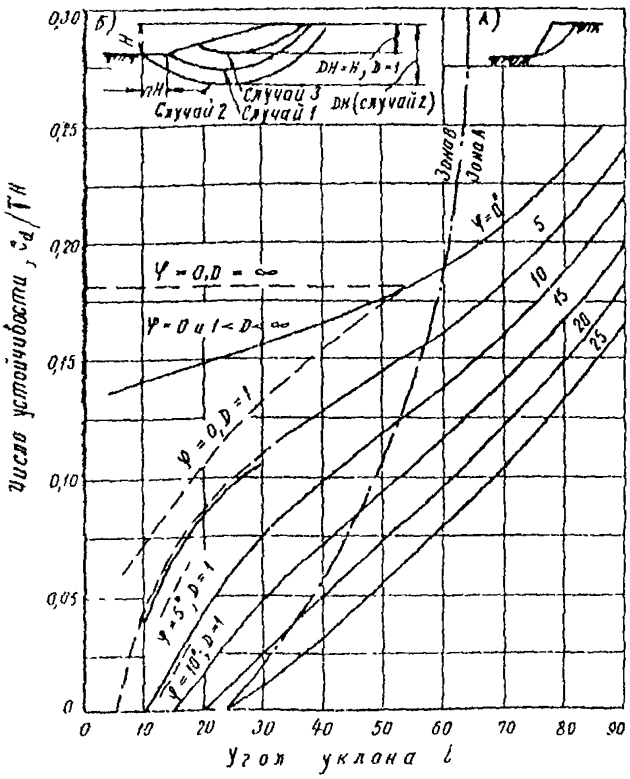


Рис.10. График числа устойчивости:
D – отношение высоты призмы обрушения (от отметки верха откоса до отметки нижней точки кривой скольжения) к высоте откоса

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

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

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

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

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

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

Метод горизонтальных сил (метод Маслова-Берера)

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

$$n = \frac{\Sigma T}{\Sigma (\pm H)}, \qquad (17)$$

где

$$T = H - R = Q\left[tg\alpha - tg(\alpha - \varphi_p)\right]. \qquad (16)$$

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;

φ_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-

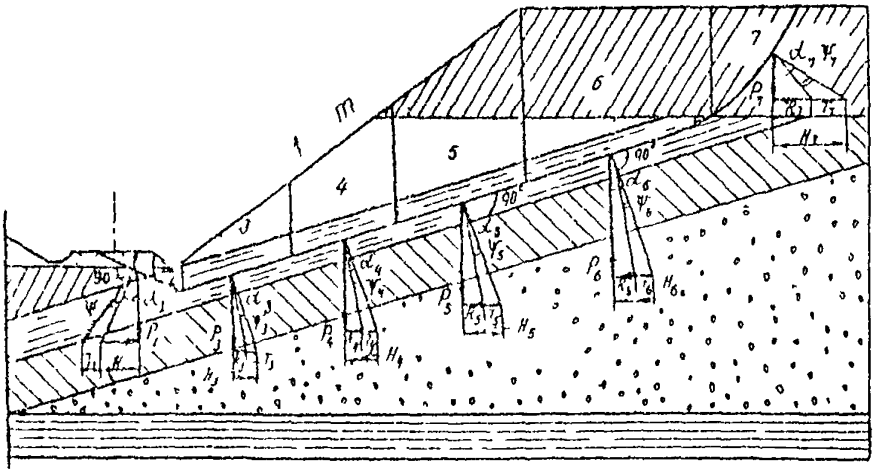


Рис.II. Метод горизонтальных сил (метод Маслова–Берера)

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 разбивают вертикальными сечениями на отдельные блоки с таким расчетом, чтобы границы блоков соответствовали местам перелома 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 стенку блока, при допущении, что трение между блоками отсутствует.

Аналитически величина H выражается формулой

$$H = Q \ tg\alpha . \qquad (19)$$

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

$$\varphi_p = arctg F_p = arctg\left(tg\varphi + \frac{c}{p}\right), \qquad (20)$$

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

$$F_p = \frac{S_p}{p} = tg\varphi + \frac{c}{p} \qquad (21)$$

В общем случае F_p получают непосредственно из опыта по формуле

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

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 напряженье p определяют согласно "гидростатическому принципу":

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

где γ_w – объемный вес;

h – средняя высота расчетного блока.

Метод проф. Г.Н.Шахунина [27, 28]

37. При применении данного метода коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left[N_i \ tg\varphi_i + c_i l_i + T_{i\,уд}\right] \frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_i \cos\frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}} . \qquad (24)$$

Расчет выполняется в такой последовательности.

На рассматриваемом поперечнике намечают возможные варианты поверхности скольжения.

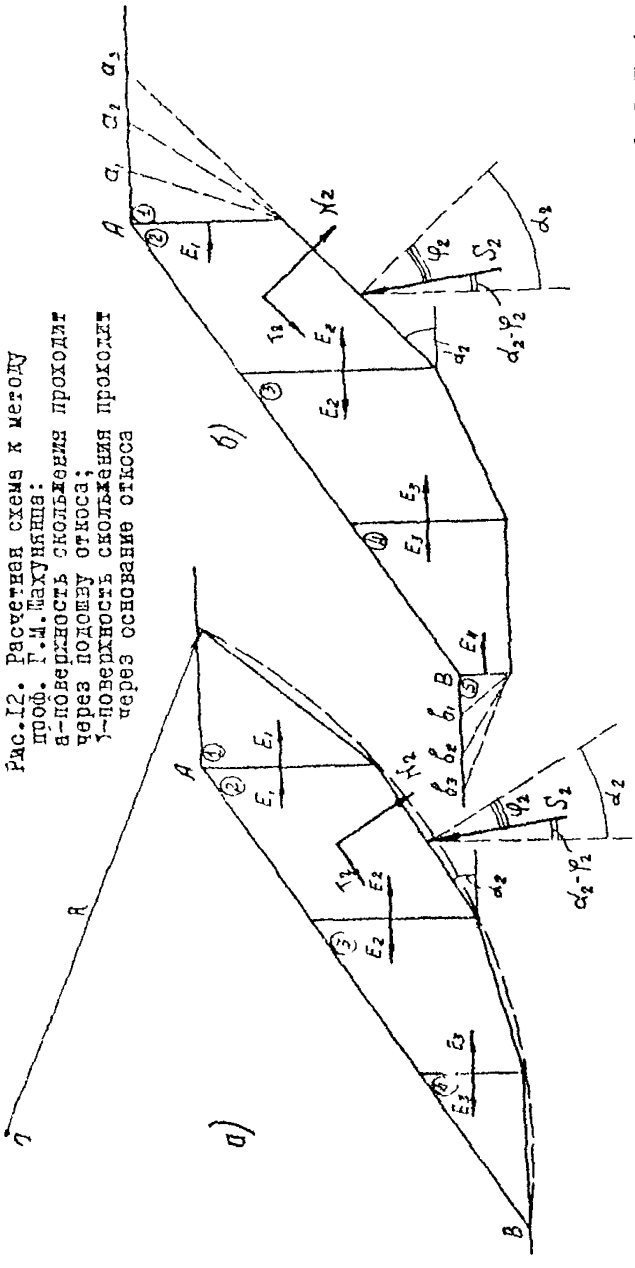


Рис.12. Расчетная схема к методу проф. Г.М.Шахунянца:
а-поверхность скольжения проходит через подошву откоса;
г-поверхность скольжения проходит через основание откоса

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

Определяются величины нормальной N_i и тангенциальной T_i составляющих силы веса по блокам, а также силы сцепления $c\ell$.

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 I0.

Если кривая скольжения на концевых участках (в пределах первого и последнего блоков (рис.12) не предопределена геологическим строением рассматриваемого массива, то расчетное наиневыгоднейшее 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

$$E_1 = \frac{(n \cdot T_1 \cos\beta - N_1 \operatorname{tg}\varphi_1 - C_1 \ell)\cos\varphi_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi_1)} . \qquad (25)$$

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:

$$E_{m-1} = \frac{(N_m \operatorname{tg}\varphi_m + C_m \ell_m + T_m \cos\beta)\cos\varphi_m}{\cos(\alpha_m - \varphi_m)} ; \qquad (26)$$

б) при нисходящем ее направлении:

$$E_{m-1} = \frac{(N \operatorname{tg}\varphi_m + C_m \ell_m - n T_m \cos\beta)\cos\varphi_m}{\cos(\alpha_m - \varphi_m)} , \qquad (27)$$

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

$$n = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\alpha} + \frac{C\ell}{Q \sin\alpha} , \qquad (28)$$

где Q – равнодействующая всех сил, действующих на отсек обрушения;

α – угол наклона поверхности скольжения к горизонту.

Все остальные обозначения прежние.

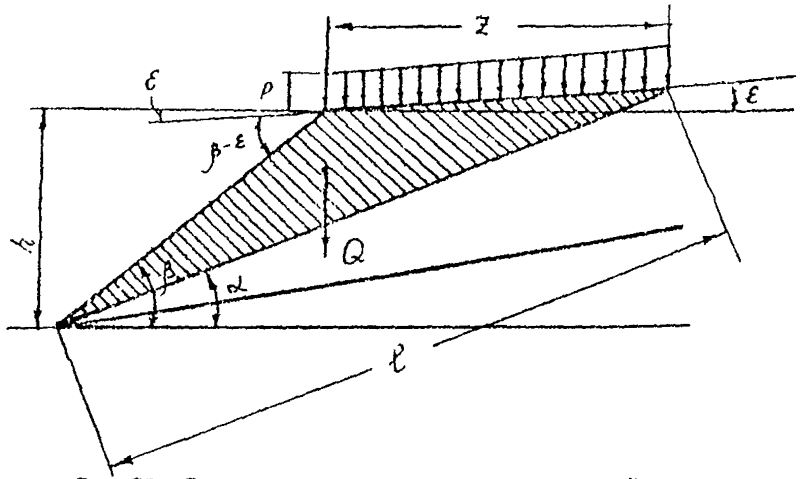


Рис.13. Расчетная схема для случая плоской поверхности скольжения (по методу проф. Г.М.Шахунянца)

Минимальное значение коэффициента устойчивости, соответствующее критической поверхности скольжения (α_o), находим из выражения /27/

$$n = \frac{2V_o + tg\varphi}{tg\beta} + \frac{2\sqrt{V_o^2 + V_o\, tg\varphi}}{\sin\beta};$$

$$V_o = \frac{2c}{\gamma H}; \qquad H = h + \frac{2p \cdot \sin\beta}{\gamma \sin(\beta-\varepsilon)},$$

где γ – объемный вес грунта, т/м^3;

H – приведенная высота откоса, м;

β – угол наклона к горизонту поверхности откоса.

Если откос сложен однородным дренирующим грунтом, не обладающим сцеплением ($C=0$), на прочном основании, коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$n = \frac{tg\varphi}{tg\beta}, \qquad (29)$$

где β - угол наклона поверхности откоса к горизонту;
φ - 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 Союздорнии /4/, являющийся развитием методов проф. Н.П.Пузыревского, Н.Н.Маслова, Г.М.Шахунянца /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

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

где $K_{ст.}^{min}$ - минимальное значение коэффициента стабильности из полученных для различных горизонтов грунтовой толщи, слагающих 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 и на наиболее опасной площадке для данного горизонта 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

$$K_{ст} = \frac{P_{без.}}{P_o} \quad (31)$$

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

---

x) Запредельное состояние характеризуется условием превышения касательными напряжениями сопротивляемости грунта сдвигу.

p_o – проектная нагрузка на основание, $p_o = \gamma_{ср} \cdot h$, т/м^2;
$\gamma_{ср}$ – средневзвешенный объемный вес грунта откоса, т/м^3;
h – высота откоса, м.

42. Безопасная нагрузка для данного горизонта определяется по формуле

$$p_{без} = \frac{c + \gamma_{ср} \cdot z \cdot tg\varphi}{\beta} , \qquad (32)$$

где c и φ – соответственно сцепление и угол внутреннего трения грунта на данном горизонте;
$\gamma_{ср}$ – средний объемный вес грунта, расположенного выше рассматриваемого горизонта (до уровня подошвы откоса), т/м^3;
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), величины 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.I4,а-в и для выемок- рис.I5,а-г . При промежуточных значениях $\frac{2a}{B}$ 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) эпюр 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.I6).

44. В общем случае, когда величины $C, \varphi, \gamma_{ср}$ изменяются по глубине основания, расчет устойчивости следует проводить, используя графическое построение рис.I7. С этой целью строят график изменения величины $f_1 = c + \gamma_{ср} z \ tg\varphi$ в зависимости от глубины z , график из-

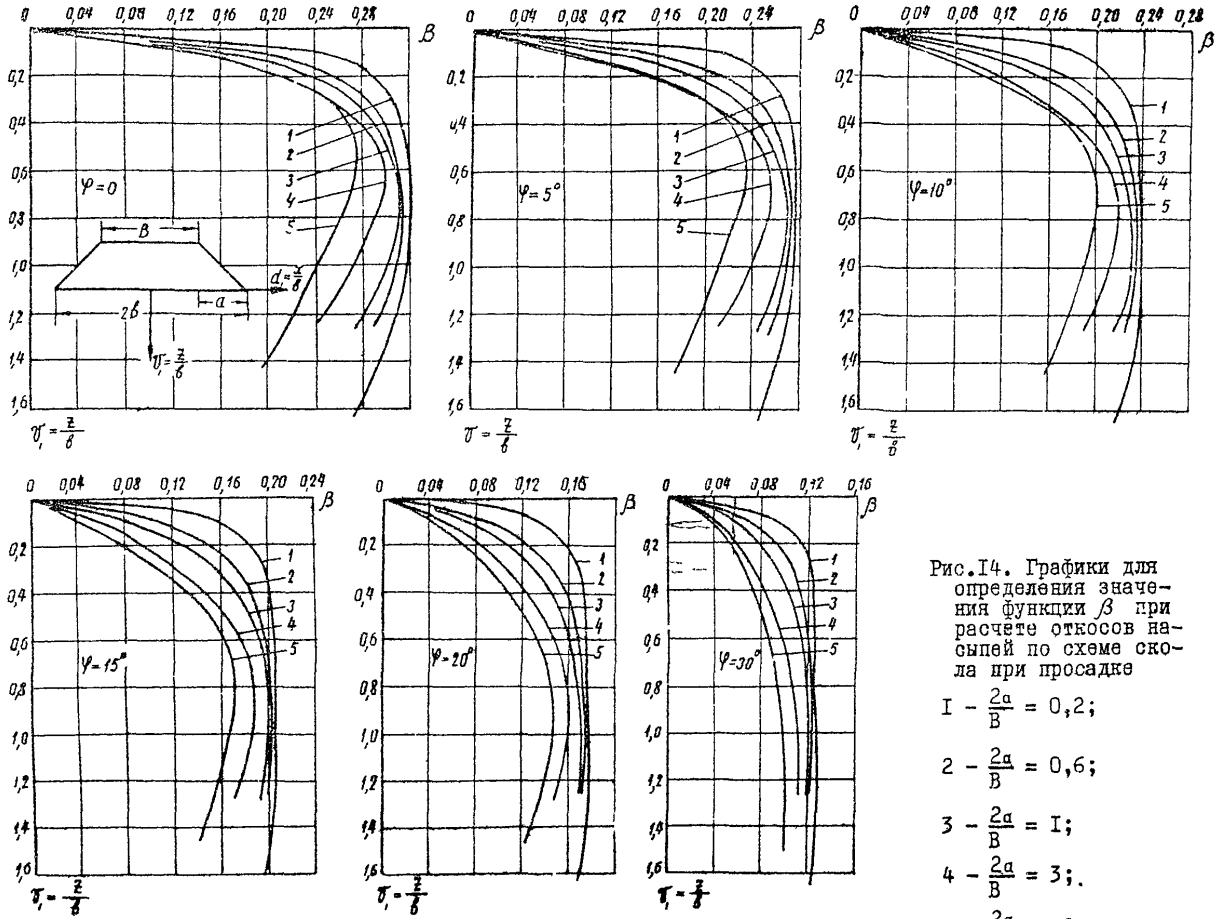


Рис.I4. Графики для определения значения функции β при расчете откосов насыпей по схеме скола при просадке

I – $\frac{2a}{B} = 0{,}2$;

2 – $\frac{2a}{B} = 0{,}6$;

3 – $\frac{2a}{B} = I$;

4 – $\frac{2a}{B} = 3$;

5 – $\frac{2a}{B} = I0$.

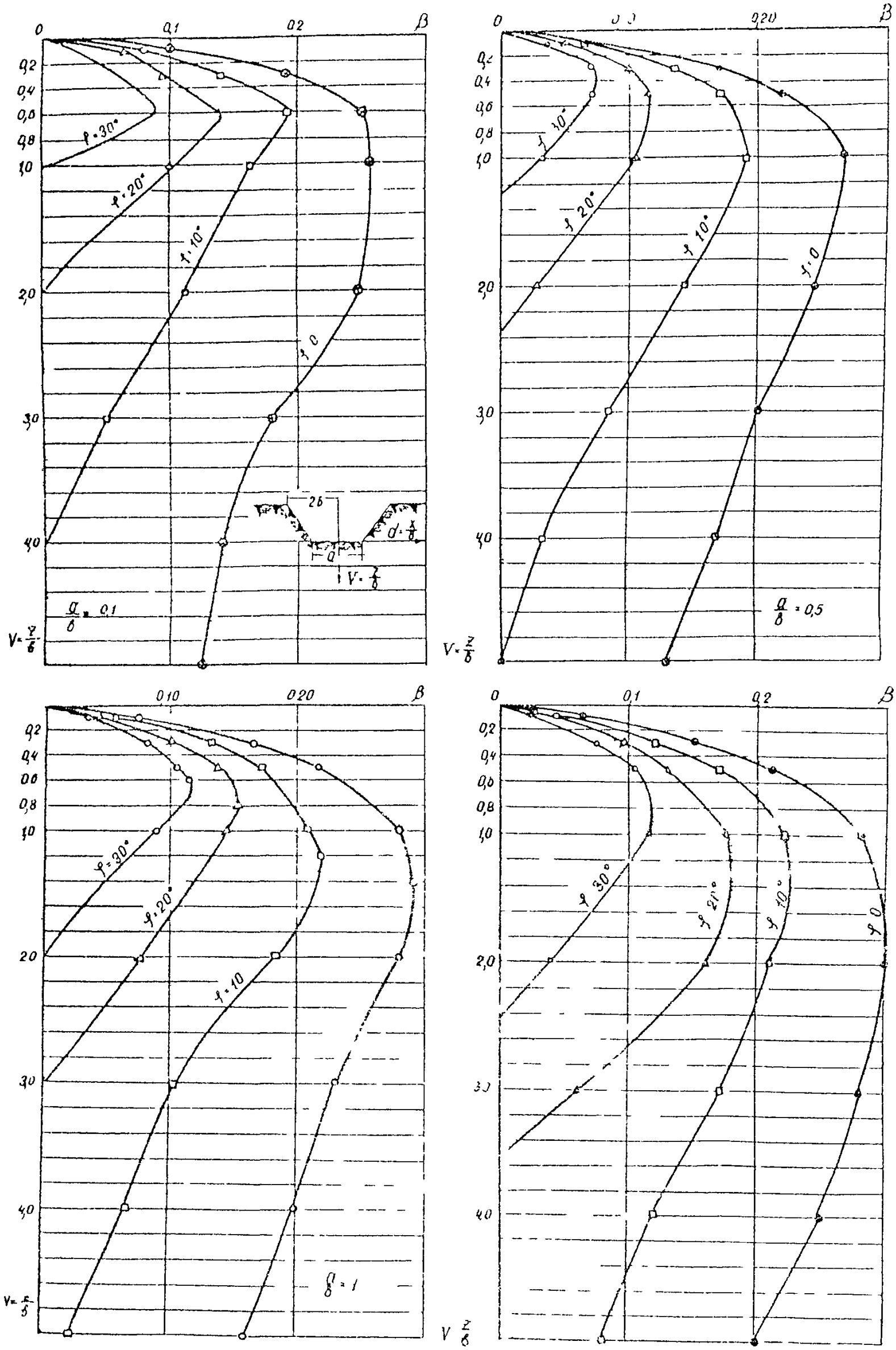


Рис.I5. Графики для определения значения функции β при расчете оттоков вблизи по схеме слоя при просадке

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

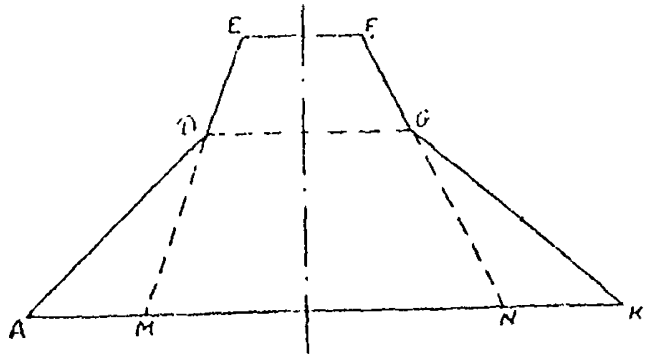


Рис.16. Разделение фактической сложной эпюры на простые (ADEFGK = ADGK + + MEFN – MDGN)

45. Безопасная нагрузка может быть вычислена применительно к условиям работы грунта основания с природной плотностью и влажностью или при плотности и влажности, отвечающих изменившемуся в результате сооружения насыпи или выемки напряженному состоянию толщи. Учет этих условий осуществляется введением в расчет величин 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.

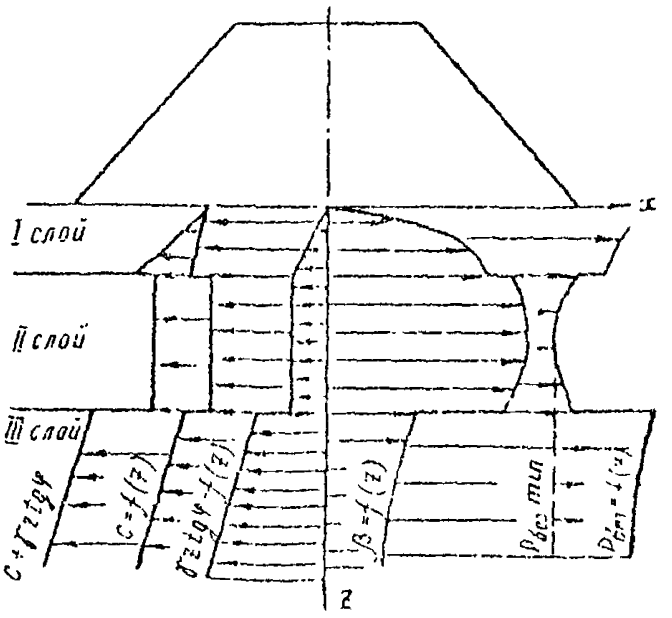


Рис.17. Графическое построение к расчету устойчивости откоса по схеме скола при просадке

47. Изложенный метод можно использовать как приближенный, если нужно оценить возможность нарушения устойчивости откоса выемки 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.Шахунянца, 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 Н.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

$$n = \frac{tg\,\varphi_p}{tg\,\alpha}, \qquad (33)$$

при этом:

$$tg\,\varphi_p = tg\,\varphi + \frac{c}{\gamma_{cp}\,z}, \qquad (34)$$

где $tg\,\varphi_p$ – коэффициент сопротивления сдвигу для данного горизонта /10/;

c – сцепление грунта на данном горизонте, т/м^2;

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

γ_{cp} – средний объемный вес грунта, расположенного в толще откоса выше данного горизонта, т/м^3;

φ – 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. Мощность расчетных слоев назначается с учетом реальной слоистости толщи, 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 $\varphi_{p z_i}$:

$$F_{p z_i} = tg\,\varphi_{z_i} + \frac{c}{\rho_{пр z_i}} \quad ; \qquad (35)$$

$$F_p = tg\,\varphi_{p z_i} \quad , \qquad (36)$$

где $\rho_{пр z_i}$ – величина природной нагрузки для горизонта z_i,

$$\rho_{пр z_i} = \gamma z_i \quad ;$$

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 φ_p и продолжают его линию до пересечения со следующим горизонтом z_i. От точки пересечения откладывают следующий угол φ_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 ρ_o ее вводят дополнительно в расчет при определении F_p и φ_p. В этом случае вычисляют $\varphi_{p+\rho_o}$ при

$$\rho_{расч} = \gamma h + \rho_o \quad , \qquad (37)$$

где $\rho_{расч}$ – 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 общем виде при наличии на поверхности откоса равномерно распределенной нагрузки имеет следующее выражение:

$$x = \frac{1}{\gamma \operatorname{tg}^2\varphi}\left[\operatorname{tg}\varphi\,\gamma z + c\,\ln(\operatorname{tg}\varphi\, p_0 + c) - c\ln\left[\operatorname{tg}\varphi(\gamma z + p_0) + c\right]\right], \quad (38)$$

где p_0 – интенсивность равномерно распределенной нагрузки;
x – абсцисса точки на поверхности откоса, отвечающая глубине z_i расчетного горизонта от поверхности толщи.

При отсутствии равномерно распределенной нагрузки

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

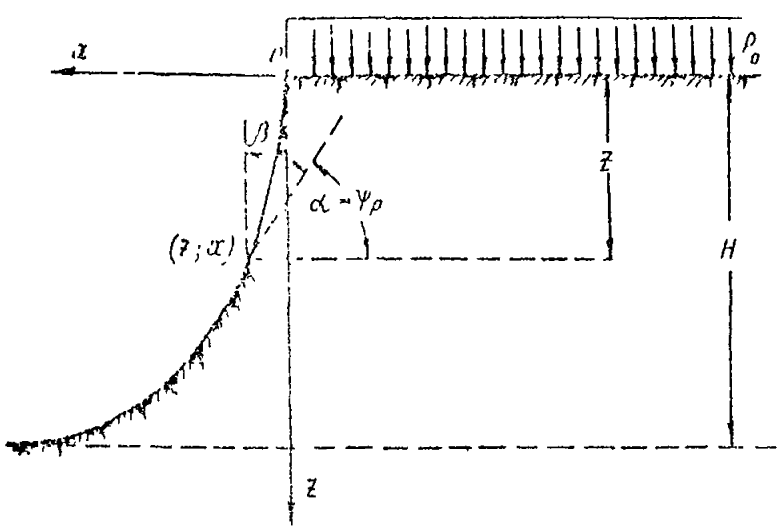


Рис.18. Расчетная схема для аналитического решения по методу f_p

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

$$x = \frac{\gamma}{2c} z^2 + \frac{p_0}{c} \cdot z; \quad (40)$$

для случая $p_0 = 0$

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

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

Толщу слоистого откоса разбивают сначала по слоям, и каждый выделенный слой разделяют 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 плавной, 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 настоящих "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).

Таблица 6

Метод расчета	Индекс классификационной группы по табл.2		Условия применения
	насыпь	выемка	
Расчет по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения	А-1,2	А-1,2	При заведомо прочном основании
Расчет по методу плоских поверхностей скольжения	–	Б-I, Б-II-1,2	В тех случаях, когда поверхность скольжения явно предопределена геологической структурой откоса, и при заведомо прочном основании откоса
Комплексный расчет по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения и методу плоских поверхностей скольжения	Б-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 $Э_р$	–	Б-I, II, III, IУ-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)	А, Б-1,2	А, Б – I, II, III, IУ-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:

$$C \geq \frac{\gamma H}{M_\varphi}, \qquad (42)$$

где C – расчетная величина сцепления грунта основания;

γ – объемный вес грунта откоса насыпи или выемки;

M_φ – некоторая функция угла внутреннего трения, значение которой устанавливается по табл.7.

Таблица 7

φ^0	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 песчаными грунтами при прочном основании	Прочие случаи
I	Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения	-	I,3/I,2
2	Метод горизонтальных сил (метод Маслова-Берера)	I,2/ -	I,3/ -
3	Метод Г.М.Шахуняца	I,2/I,I5	I,25/I,2
4	Метод F_p Н.Н.Маслова	-	I,0
5	Расчет на выдавливание	-	I,0 (коэффициент безопасности)

Примечания: I. 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 I-3 принимается равным I,I.
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, необходимы дополнительный учет этого воздействия в каждом применяемом методе расчета. Силовое воздействие воды может быть в виде эффекта взвешивания, фильтрационного давления или того и другого вместе.

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

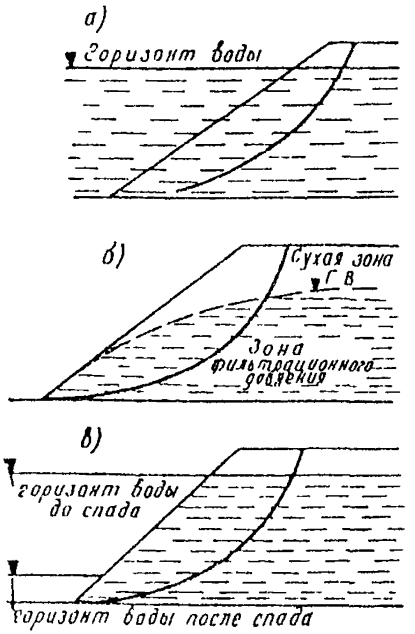


Рис.19. Расчетные схемы при учете силового воздействия воды:
а-откос полностью и постоянно затоплен; б-случай установившейся фильтрации; в-мгновенный полный спад воды

I) откос полностью и постоянно затоплен, никакого движения воды не наблюдается (рис.I9,а);

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

3) мгновенный полный спад воды (рис.I9,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 φ и C устанавливаются с учетом обводнения грунта.

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

$$n = \frac{\Sigma P_{\beta} \cdot \cos\alpha_i \cdot tg\varphi_i + \Sigma c_i \ell_i}{\Sigma \cdot P_{\beta} \cdot \sin\alpha_i} . \qquad (43)$$

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

$$n = \frac{\Sigma P_в \cos\alpha_i \cdot tg\varphi_i + \Sigma c_i l_i}{\Sigma P_i \sin\alpha_i} . \qquad (44)$$

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

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 подтопляемых откосов при наличии фильтрационного потока принято оценивать по формуле

$$n = \frac{\Sigma N_i \cdot tg\varphi_i + \Sigma c_i l_i + \Sigma T_{уд}}{\Sigma T_{сдв} + D} , \qquad (45)$$

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

D – гидродинамическая сила, определяемая по выражению

$$D = J \cdot \Omega \cdot \Delta_в , \qquad (46)$$

J – средний уклон отрезка кривой депрессии, отсекаемого кривой возможного смещения;

Ω – площадь фильтрационного потока, ограниченная сверху отрезком кривой депрессии и снизу кривой смещений;

$\Delta_в$ – удельный вес воды, принимаемый равным I.

63. Фильтрационное давление при использовании в расчетах F_p и φ_p учитывают, вводя в расчет фиктивный угол сопротивления сдвигу:

$$F_{p_в} = tg\,\varphi_в + \frac{c}{p}\,; \qquad (47)$$

$$\varphi_{p_в} = arc\,tg\,F_{p_в}\,. \qquad (48)$$

Фиктивный угол внутреннего трения вычисляют по формулам:

$$\varphi_в = \beta\,\varphi_w\,;\ \beta = \frac{\rho_в}{\rho_c}\,, \qquad (49)$$

где $\rho_в$ – вес грунта с учетом взвешивания в зоне обводнения;

ρ_c – вес грунта без учета взвешивания в зоне обводнения;

φ_w – угол внутреннего трения;

$\varphi_в$ – 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

$$\gamma_w^{взв} = (1-n)(\gamma_o - 1) = \frac{\gamma_{ск}}{\gamma_o}(\gamma_o - 1)\,, \qquad (50а)$$

где γ_o – удельный вес частиц грунта, г/см^3;

n – пористость грунта, в долях единицы;

$\gamma_{ск}$ – объемный вес скелета грунта, г/см^3.

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

$$\gamma_w^{взв} = \gamma_w - 1\,, \qquad (50б)$$

где γ_w – объемный вес влажного грунта без учета взвешивания.

VI. УЧЕТ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ[x)]

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.Шахунянца заключается в следующем.

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

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

где α_{max} – расчетная величина сейсмического ускорения (определяется по табл.11), мм/сек^2;

g – ускорение силы тяжести, мм/сек^2.

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

$$j_{расч} = j_o + m, \qquad (52)$$

где j_o – расчетная сейсмичность для данного района;

m – сейсмическая характеристика, учитывающая увеличение 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 учитывают в выражении для коэффициента сопротивляемости грунта сдвигу в следующем виде:

$$f'_{F_s} = tg(\varphi - \delta) + \frac{c}{P_s}, \qquad (53)$$

где f_{F_s} – коэффициент сопротивляемости грунта сдвигу с учетом сейсмичности;

φ – угол внутреннего трения;

---

x) Раздел VI составлен на основе работы /10/.

c – сцепление, т/м^2;

δ – сейсмический угол,

$$\delta = arc\,tg\,\varepsilon\ ;\ \varepsilon = \frac{\alpha_{max}}{g}\ ; \qquad (54)$$

ε – коэффициент сотрясения;

P_s – величина нормального давления с учетом сейсмичности,

$$P_s = P(1+\varepsilon)\ ; \qquad (55)$$

P – величина нормального давления без учета сейсмичности.

Таблица IO

Вид грунта основания	Сейсмическая характеристика m в баллах
Аллювиальные отложения, щебенистые или песчаные (сухие) грунты	I–2
Глинистые, мергелистые и лессовидные грунты	I–3
Болотистые грунты и водонасыщенные грунты	3–4

Таблица II

Величина расчетных значений сейсмического ускорения и сейсмического угла

Расчетная сейсмичность в баллах	Расчетное ускорение α_{max} мм/сек^2	Сейсмический угол δ_o
УП	I0I–250	2^0
УШ	25I–500	3^0
IX	50I–I000	6^0
X	I00I–2500	$I4^0$
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 характеристик грунтов.

71. Основными характеристиками механических свойств грунтов для расчетов устойчивости откосов являются сдвиговые характеристики – угол внутреннего трения φ и сцепление C. Определение расчетных значений этих характеристик – одна из основных задач инженерно-геологических изысканий, методика и порядок проведения которых на участках 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 пылеватых 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 зондировочное 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_n и коэффициент консистенции $B = \frac{W_{ср} - W_p}{W_n}$ ($W_{ср}$ – природная влажность, W_p – граница раскаты-

вания). Слой следует считать однородным в отношении состава и состояния грунта, если отклонения отдельных значений основных классификационных показателей не выходят за рамки одной группы по принятой классификации. При этом 10% крайних экспериментальных точек в расчет не принимаются.

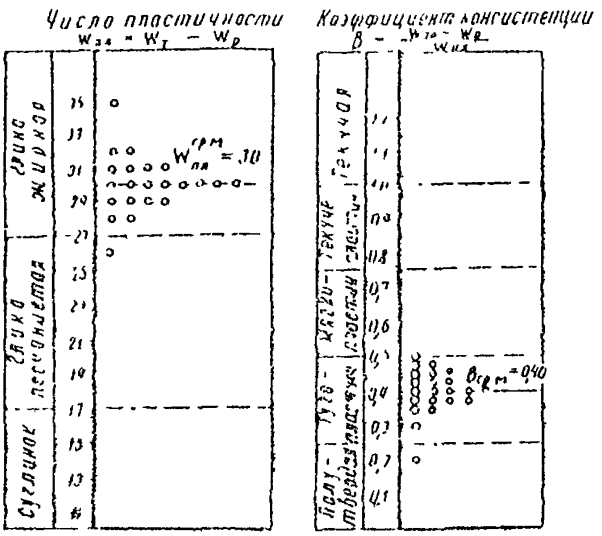


Рис.20. Графики рассеяния значений основных классификационных показателей ($W_{пл}$ и B) глинистого грунта

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 строят осредненную кривую накопленной частоты значений того или иного показателя (рис.21), по которой, знал число определений этого показателя (число экспериментальных точек), определяют его гарантированное расчетное значение для данного слоя руководствуясь рекомендациями табл.12.

78. 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 дополнительное бурение

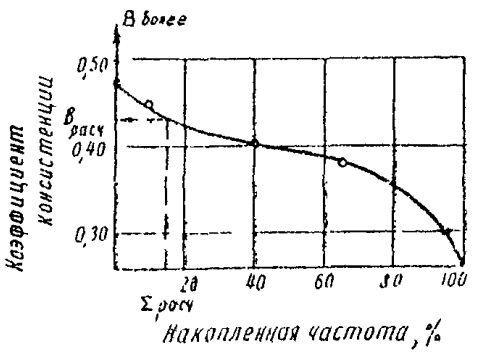


Рис.21. Интегральная кривая для определения расчетного значения коэффициента консистенции; число определений – 20

Таблица I2

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

Число определений	I0	I0-I5	I6-20	2I-25	26-35	36-50	5I-75	>75
Накопленная частота, которой соответствуют гарантированное значение при надежности 99%	0	I0	I5	20	25	30	35	40

Примечание. При определении гарантированных значений влажности и коэффициента консистенции накопленная частота, указанная в таблице, соответствует случаям превышения гарантированного значения.

с целью уточнения расположения границ отдельных слоев и отбора необходимого количества монолитов, предназначаемых 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 консистенции.

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 откосе или его основании, 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 водоносным, необходимо до испытаний подвергнуть образцы водонасыщению; если грунтовая толща имеет явно выраженную трещиноватость, то необходимо наряду с испытанием на сдвиг по случайно взятой плоскости провести испытания по поверхностям, разде-

ляющим грунтовые блоки; если толща 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

$$S_{\rho wG} = \rho\, tg\varphi_w + C_{wG}$$

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.

$$C_{wG} = \Sigma_{wG} + C_C \quad ,$$

где Σ_{wG} – часть полного сцепления, имеющая водно-коллоидную природу;

C_C – сцепление, обусловленное жесткими связями.

Величина коэффициента водонасыщения устанавливается по формуле

$$G = \frac{W\,\gamma_0}{\mathcal{E}\,\Delta} \quad ,$$

где W – влажность в долях единицы;

γ_0 – удельный вес;

$\mathcal{E}$ – коэффициент пористости;

Δ – удельный вес воды.

82. Для определения значений сдвиговых характеристик грунтов, слагающих 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 пп. 76-78.

83. Для оценки сопротивляемости сдвигу грунта, предназначаемого 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 изготовляются путем трамбования или формовки образцы при оптимальной влажности и требуемой плотности, устанавливаемой в соответствии со СНиП II-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 водонасыщен полностью или не полностью.

Испытание 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 сопротивляемость сдвигу определяется уравнением

$$S_{pw} = p \operatorname{tg} \varphi_w + c_w ,$$

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 φ_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 приложения 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 мессурой, носит затухающий характер, что устанавливается само-

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 завершенным в случае получения незатухающей деформации, заканчивающейся "срывом" 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 "срыв", пробы следует отбирать из обоих половинок образца.

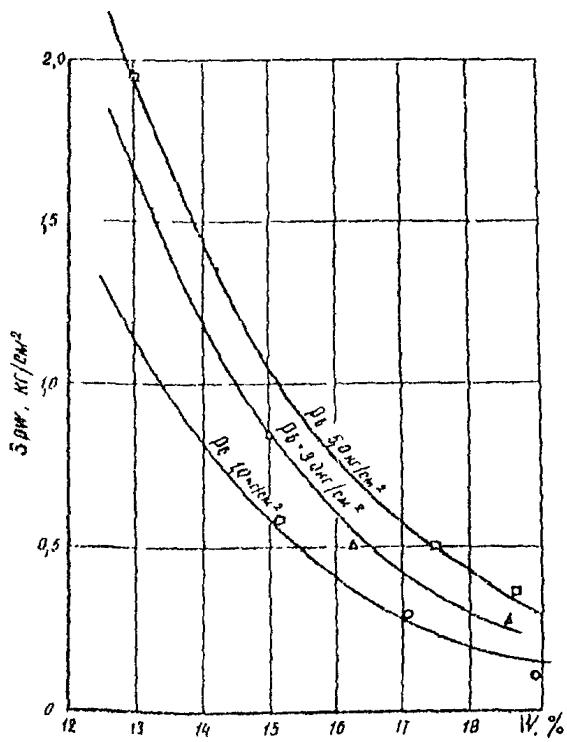


Рис.22. Зависимость сопротивляемости грунта сдвигу от влажности при различных нагрузках

90. Результати 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 - сопротивляемость 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 сопротивляемости грунта сдвигу при данной нормальной нагрузке от влажности.

Полученный график перестраивают в график зависимости сопротивляемости сдвигу от нормальной нагрузки ($S_{pw} = f(p)$) для различных влажностей (рис.23). Последние зависимости принимаются прямолинейными (через экспериментальные точки проводят прямые), причем угол наклона каж-

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.

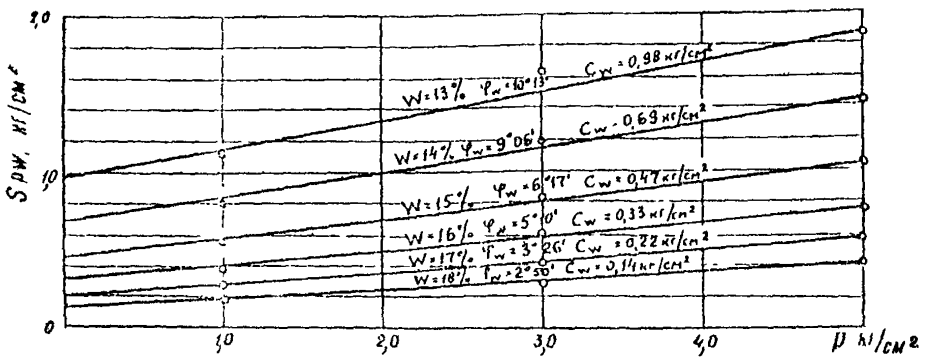


Рис.23. Зависимость сопротивляемости грунта сдвигу от нагрузки при различных влажностях

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.

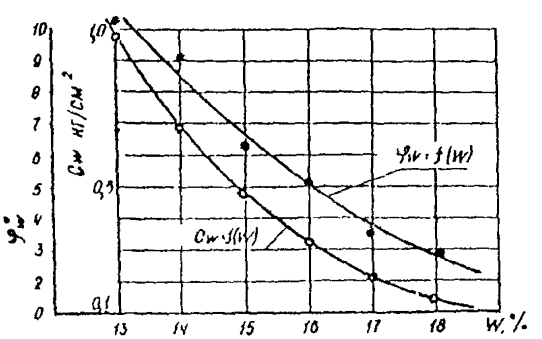


Рис.24. Зависимость угла внутреннего трения и сцепления от влажности

91. Величина структурного сцепления может быть определена сопоставлением результатов испытаний на сдвиг образцов с ненарушенной структурой и образцов, предварительно разрезанных по плоскости 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 $\delta_{pw} = f(W)$ часто превращается в прямолинейную, что упрощает осреднение и экстраполяцию, а также позволяет получить искомую зависимость при меньшом количестве образцов (рис.25).

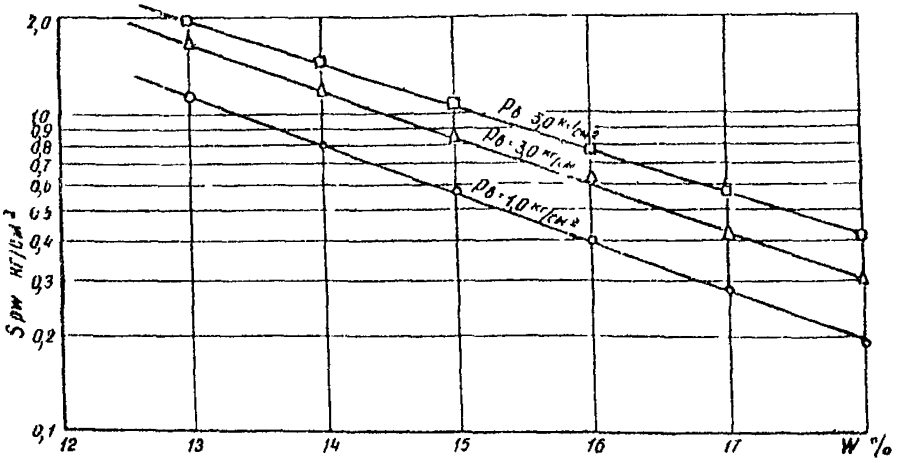


Рис.25. Зависимость сопротивляемости грунта сдвигу от влажности при различных нагрузках (в полулогарифмическом масштабе)

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 стабилометрических 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 быстром темпе (3–10 мин.) в условиях закрытой системы.

Испытания не полностью водонасыщенных образцов

95. В отличие от испытания полностью водонасыщенных образцов, при испытании не полностью водонасыщенных образцов $G \geq 0{,}95$ 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 $S_{pw6} - f(W)$ 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 сопротивляемости сдвигу от нагрузки и через эти точки проводят линию, выражающую зависимость $S_{pw} - f(p)$, по которой и определяются значения φ_w и C_w.

При этом различия в величинах объемного веса скелета грунта не должны, как правило, превышать $\pm 0{,}02$ г/см^3, а отклонения во влажности для образцов с нарушенной структурой 0,5-1,0%, для образцов с ненарушенной структурой $\pm 1 \div 2\%$ (большие значения соответствуют грунтам с большим числом пластичности).

При проведении 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 мессурой. Полученные значения плотности и влажности принимаются за расчетные при определении φ_w и C_w по соответствующим кривым.

Приложение I

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 I4 м – I:I,75; в нижней части – I: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 грунтовые воды, 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 30^0 ($\beta_\varphi = 27^0$), и в основании откоса залегает песок с $\varphi = 30^0$, то при $H = 20,6$ м прохождение кривой скольжения вне подошвы откоса маловероятно.

Центр критической дуги скольжения найден по указаниям п.2I 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 I0 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 (46).

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

Таблица I

Расчетные значения физико-механических характеристик грунтов
(автомобильная дорога Полтава-Ахтырка, Въезд на 136-й км)

Описание горизонтов	Мощность слоя h, м	Пределы пластичности			Удельный вес, г/см³	$W_{пр}$	T_w т/м³	φ_w^0	C_w т/м²
		$W_т$	$W_р$	число пластичности					
Глина бурого-палевой окраски с прожилками и пятнами карбонатов	3,2	36,9	16,0	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	16°	4,2
Супесь зеленовато-желтая с сизыми и охристыми пятнами	1,5	28,4	20,7	7,7	2,60	24,9	1,81	22°	3,0
Супесь светло-желтая, с сизыми пятнами, переслаивается с тонкозернистым песком	1,2	27,8	21,0	6,8	2,71	23,5			
Глина жирная, оливково-сизой окраски (третичная)	2,2	50,6	19,0	31,6	2,69	25,1	1,97	0°	6,0
Песок среднезернистый желтого-белый с тонкими прослойками супеси	0,7	1,7	Не связен	0	2,66	23,0	1,90	39°	0
Среднезернистый песок с тонкими прослойками глины и суглинка	1,3	33,3	15,8	17,5	2,73	21,7	1,97	19°	5,2
Песок тонкозернистый палевого цвета	2,2	26,3	Не связен	0	2,68	5,7	1,61	30°	0

Таблица 2

Расчетная таблица для дуги скольжения с центром в точке O_1

№ блоков	$\sin\alpha = \frac{x}{R}$, $R = 46{,}0$ м	α°	$\cos\alpha$	Ω м²	$Q = \Omega\gamma$ т/м	$N = Q\cos\alpha$ т/м	$T = Q\cdot\sin\alpha$ т/м	$\ell\cdot c$ т/м	Ω_b м²	$B = c\frac{\Omega_b}{\sin\alpha}$
1	$\frac{37{,}4}{46{,}0} = 0{,}814$	54°30′	0,581	4,9	9,4	5,46	7,65	4,6 x 3,2 = 14,7		
2	$\frac{31{,}8}{46{,}0} = 0{,}692$	43°48′	0,722	59,5	111,1	80,2	76,9	10,9 x 4,2 = 45,8		
3	$\frac{26{,}9}{46{,}0} = 0{,}585$	35°48′	0,811	40,5	73,3	59,4	42,9	4,65 x 3,0 = 13,9	5,12	6,32
4	$\frac{23{,}2}{46{,}0} = 0{,}505$	30°20′	0,863	40,3	79,5	68,5	40,1	4,3 x 6,0 = 25,8	14,05	16,3
5	$\frac{20{,}6}{46{,}0} = 0{,}448$	26°36′	0,894	15,2	24,5	21,9	11,0	1,55 x 0 = 0	7,35	8,23
6	$\frac{18{,}5}{46{,}0} = 0{,}403$	23°46′	0,915	29,8	58,7	53,7	23,6	3,1 x 5,2 = 16,1		
7	$\frac{13{,}6}{46{,}0} = 0{,}296$	17°13′	0,955	71,6	115,0	110,0	34,0	7,9 x 0 = 0		
8	$\frac{8{,}0}{46{,}0} = 0{,}174$	10°01′	0,985	23,4	37,7	37,1	6,56	3,1 x 0 = 0		
9	$\frac{3{,}6}{46{,}0} = 0{,}0783$	4°30′	0,997	40,1	64,5	64,3	5,05	6,5 x 0 = 0		
10	$\frac{-3{,}1}{46{,}0} = -0{,}0675$	3°52′	0,998	27,3	44,0	43,9	−2,97	10,1 x 0 = 0		
							$\Sigma T = 244{,}78$	$\Sigma \ell\cdot c = 116{,}3$		

$$n = \frac{5{,}46\cdot 0{,}466 + 80{,}2\cdot 0{,}286 + (59{,}4-6{,}32)\cdot 0{,}404 - 0 + (21{,}9-8{,}23)\cdot 0{,}81 - 53{,}7\cdot 0{,}344 + 10{,}0\cdot 0{,}577}{244{,}79} +$$

$$+ \frac{37{,}1\cdot 0{,}577 + 64{,}3\cdot 0{,}577 + 43{,}9\cdot 0{,}577 + 116{,}3}{244{,}79} = \frac{339{,}39}{244{,}79} = 1{,}38$$

$$+\frac{37{,}1\cdot 0{,}577+64{,}3\cdot 0{,}577+48{,}9\cdot 0{,}577+116{,}3}{244{,}79} = \frac{339{,}38}{244{,}79} = 1{,}38$$

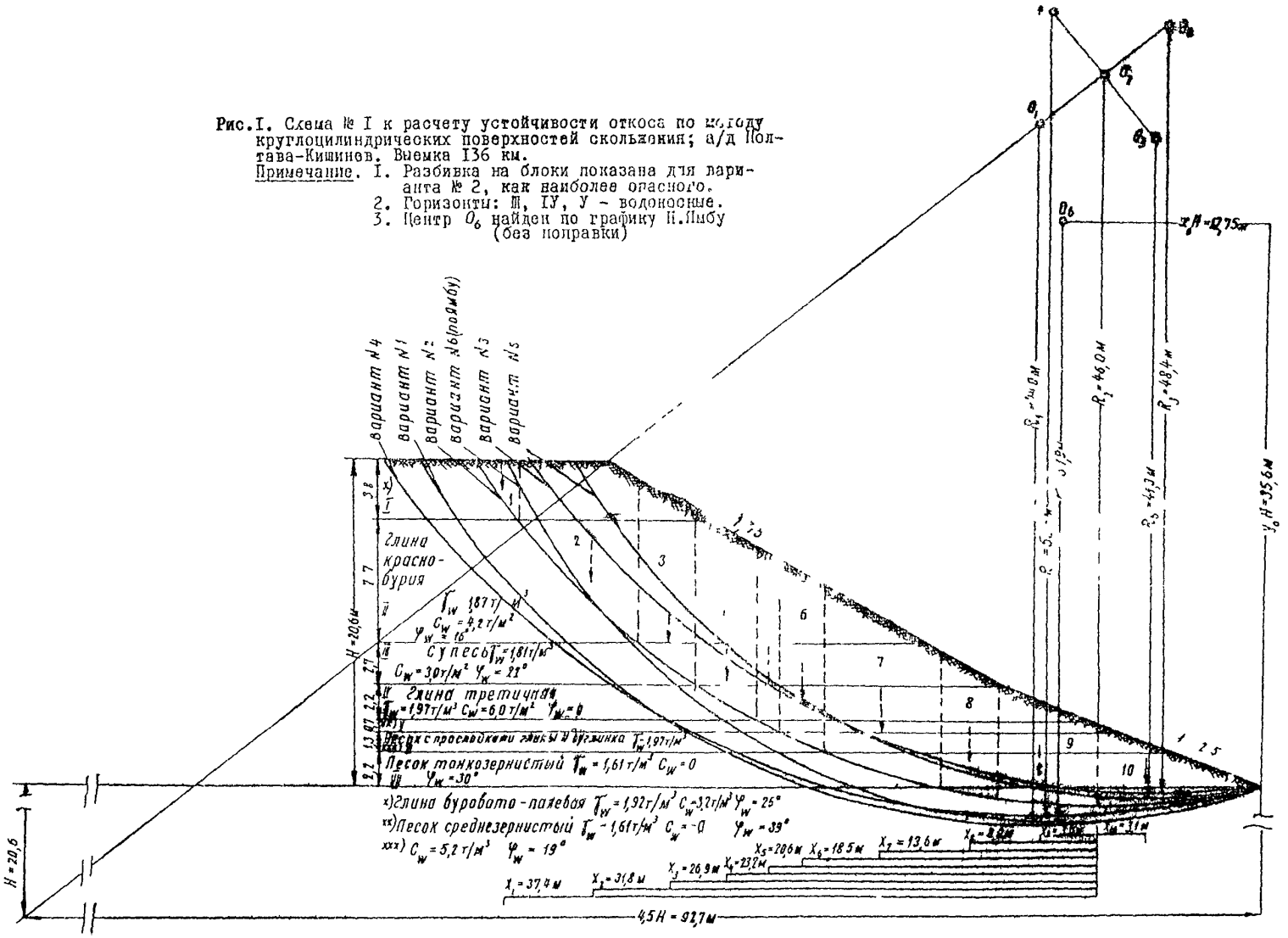


Рис.I. Схема № I к расчету устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения; а/д Полтава-Кишинев. Выемка I36 км.

Примечание. I. Разбивка на блоки показана для варианта № 2, как наиболее опасного.
2. Горизонты: III, IУ, У – водоносные.
3. Центр O_6 найден по графику Н.Ямбу (без поправки)

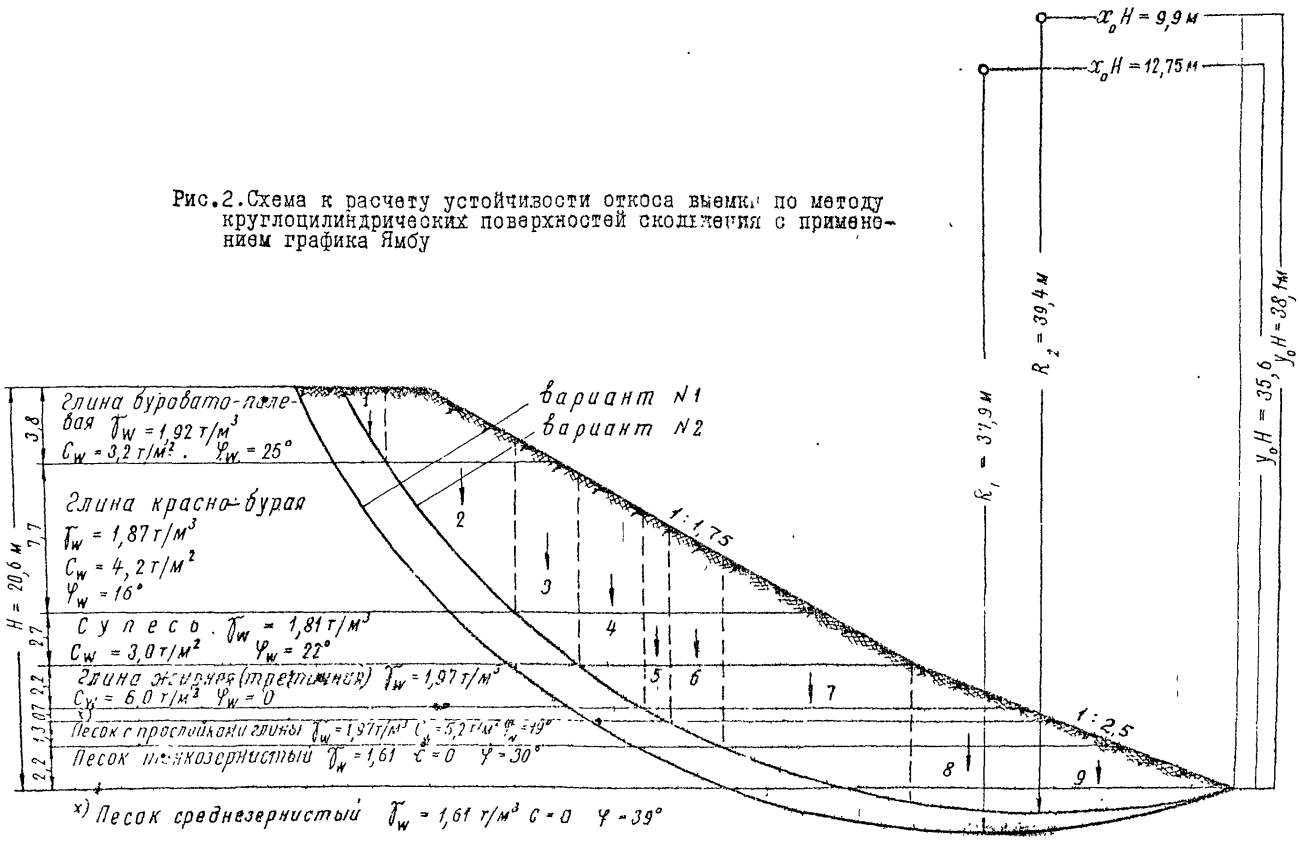


Рис.2. Схема к расчету устойчивости откоса выемки по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с применением графика Ямбу

x) Песок среднезернистый $\gamma_w = 1,61$ т/м³ $C = 0$ $\varphi = 39°$

Процесс отыскания центра критической дуги скольжения, как отмечено в п.27, значительно упрощается при использовании графика Ямбу.

Хотя этот график построен лишь для простого по очертанию и однородного по высоте откоса, можно применять его для рассматриваемого случая, определив средневзвешенные значения расчетных характеристик грунта:

1. Объемный вес грунта

$$\gamma_{w_{ср}} = \frac{1,92\cdot3,8+1,87\cdot7,7+1,81\cdot2,7+1,97\cdot2,2+1,61\cdot0,7}{20,6} + \frac{1,97\cdot1,3+}{20,6}$$

$$\frac{+1,61\cdot2,2}{20,6} = \frac{38,16}{20,6} = 1,85 \text{ т/м}^3$$

2. Сцепление

$$C_{w_{ср}} = \frac{3,2\cdot3,8+4,2\cdot7,7+3,0\cdot2,7+6,0\cdot2,2+5,2\cdot1,3}{20,6} = \frac{72,51}{20,6} = 3,52 \text{ т/м}^2$$

3. Коэффициент внутреннего трения

$$\operatorname{tg}\varphi_{w_{ср}} = \frac{0,466\cdot3,8+0,286\cdot7,7+0,404\cdot2,7+0,81\cdot0,7+0,344\cdot1,3+}{20,6}$$

$$\frac{+0,577\cdot2,2}{20,6} = \frac{7,35}{20,6} = 0,357$$

Вычисляем величину $\lambda_{ср}$:

$$\lambda_{ср} = \frac{\gamma_{w_{ср}} H \operatorname{tg}\varphi_{ср}}{C_{ср}} = \frac{1,85\cdot20,6\cdot0,357}{3,52} = 3,87.$$

Принимая откос за простой, со средним углом наклона к горизонту $\beta_{ср} = 27^0$, по графику Ямбу при $\lambda = 3,87$ находим координаты центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения:

$x_0 = 0,62$; $x_0 H = 0,62\cdot20,6 = 12,75$ м;

$y_0 = 1,73$; $y_0 H = 1,73\cdot20,6 = 35,6$ 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 ($n = 1,38$), 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

№ блоков	$\sin\alpha = \frac{x}{R}$, $R = 37{,}9$ м	α°	$\cos\alpha$	Ω, м²	$Q = \Omega \cdot \gamma$, т/м	$N = Q\cos\alpha$, т/м	$T = Q \cdot \sin\alpha$, т/м	$l \cdot c$, т/м	Ωb, м²	$\Phi \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$, т/м
1	$\frac{33{,}35}{37{,}9} = 0{,}880$	61°42'	0,474	3,4	6,54	3,1	5,75	4,2 x 3,2 = 13,4		
2	$\frac{29{,}25}{37{,}9} = 0{,}772$	50°34'	0,634	44,4	83,0	52,5	64,1	9,6 x 4,2 = 40,3		
3	$\frac{25{,}45}{37{,}9} = 0{,}672$	42°13'	0,740	32,5	58,9	43,5	39,6	4,0 x 3,0 = 12,0	3,92	5,3
4	$\frac{22{,}6}{37{,}9} = 0{,}596$	36°36'	0,803	34,8	68,6	55,1	40,9	3,65 x 6,0 = 21,9	11,0	13,7
5	$\frac{20{,}8}{37{,}9} = 0{,}544$	32°58'	0,839	13,6	21,9	18,4	11,9	1,3 x 0 = 0	5,78	6,9
6	$\frac{18{,}9}{37{,}9} = 0{,}499$	30°00'	0,866	28,5	56,1	48,6	28,0	2,7 x 5,2 = 14,0		
7	$\frac{15{,}35}{37{,}9} = 0{,}405$	23°54'	0,914	59,3	95,5	87,1	38,85	5,35 x 0 = 0		
8	$\frac{8{,}55}{37{,}9} = 0{,}2275$	13°09'	0,974	94,4	152,0	148,0	34,6	9,4 x 0 = 0		
9	$\frac{1{,}95}{37{,}9} = 0{,}0515$	2°57'	0,998	30,0	48,3	48,1	2,48	3,75 x 0 = 0		
10	$\frac{-3{,}95}{37{,}9} = -0{,}104$	5°58'	0,994	51,2	82,5	82,0	−8,59	13,1 x 0 = 0		

$\Sigma T = 256{,}39$ $\Sigma l \cdot c = 101{,}6$

$$\Pi = \frac{3{,}1 \cdot 0{,}468 + 52{,}5 \cdot 0{,}286 + (43{,}5 - 5{,}3) \cdot 0{,}404 + 0 + (18{,}4 - 8{,}9) \cdot 0{,}81 + 48{,}6 \cdot 0{,}344 + 87{,}1 \cdot 0{,}577 +}{256{,}39}$$

$$\frac{+ 148{,}0 \cdot 0{,}577 + 48{,}1 \cdot 0{,}577 + 82{,}0 \cdot 0{,}577 + 101{,}6}{256{,}39} = \frac{341{,}54}{256{,}39} = 1{,}33$$

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,

$$C'_{w\varphi} = \frac{3,2\cdot4,2+4,2\cdot9,6+3,0\cdot4,0+6,0\cdot3,65+0\cdot I,3+5,2\cdot2,7+}{4,2+9,6+4,0+3,65+I,3+2,7+}$$

$$\frac{+0\cdot5,35+0\cdot9,5+0\cdot3,75+0\cdot I3,I}{+5,35+9,5+3,75+I3,I} = \frac{I0I,6}{57,I5} = I,78 \text{ т/м}^2.$$

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

Вновь вычисляем величину λ_{φ} :

$$\lambda_{\varphi} = \frac{I,85\cdot20,6\cdot0,357}{I,78} = 7,65.$$

По графику Н.Ямбу при $\lambda = 7,65$ и $\beta_{\varphi} = 27^0$ находим

$x_o = 0,48$; $y_o = I,85$.

Вычисляем: $x_o H = 0,48\cdot20,6 = 9,9$ м;

$y_o H = I,85\cdot20,6 = 38,I$ м.

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

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

Примечание. Введение в расчет средневзвешенного значения $tg\,\varphi_{w\varphi}$ 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 слою 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 описания не вызывает. Наименьший коэффициент запаса устойчивости получился равным I,55.

Таблица 4

Определение уточненного значения коэффициента запаса устойчивости при применении метода Янбу

№ бло-ков	$\sin\alpha = \frac{x}{R}$, R = 39,4 м	α°	$\cos\alpha$	Ω м²	$Q = \Omega\gamma$ т/м	$N = Q\cos\alpha$ т/м	$T = Q\sin\alpha$ т/м	$l \cdot c$ т/м	Ω_β м²	$\beta + \varphi = \frac{2i}{\cos\alpha}\Delta$ т/м
1	$\frac{33,8}{39,4}$ = 0,858	59°06'	0,5135	4,2	8,1	4,16	6,85	4,4 x 3,2 = 14,1		
2	$\frac{29,3}{39,4}$ = 0,744	48°05'	0,668	45,3	84,7	56,5	63,0	10,1 x 4,2 = 42,5		
3	$\frac{24,05}{39,4}$ = 0,634	39°21'	0,773	29,9	54,1	41,8	34,3	4,2 x 3,0 = 12,6	4,3	5,56
4	$\frac{21,7}{39,4}$ = 0,551	33°28'	0,834	32,8	64,5	53,7	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	26°18'	0,8965	26,7	52,6	47,1	23,3	3,1 x 5,2 = 18,1		
7	$\frac{11,7}{39,4}$ = 0,297	17°16'	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'	0,997	27,0	43,5	43,4	-3,3	10,0 x 0 = 0		

ΣT = 215,85 $\quad \Sigma l \cdot c$ = 109,3

$$n = \frac{4,15 \cdot 0,466 + 56,5 \cdot 0,288 + (41,8 - 5,58) \cdot 0,404 + 0 + (18,1 - 7,86) \cdot 0,81 + 47,1 \cdot 0,344 + 127,0 \cdot 0,577 +}{215,85}$$

$$\frac{+ 66,2 \cdot 0,577 + 43,4 \cdot 0,577 + 109,3}{215,65} = \frac{302,88}{215,85} = 1,40$$

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)

Поскольку рассматриваемый откос выемки представлен разничными 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 n = I,0.

Как видим, для обеспечения условия равноустойчивости крутизна откоса должна быть уменьшена, начиная с глубины H= IO 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 м²	$P=FT$ т/м	α°	$tg\alpha$	φ_p°	$\alpha-\varphi_p$	$tg(\alpha-\varphi_p)$	$H=P\,tg\alpha$	$R=P\,tg(\alpha-\varphi_p)$	$T=H-R$
I	4,0	9,2I	56°47'	I,527	47°53'	8°54'	0,I56	I4,I	I,43	I2,67
2	37,5	70,I	56°47'	I,527	28°42'	28°05'	0,534	I07,0	37,4	69,6
3	20,7	37,5	56°47'	I,527	28°54'	27°53'	0,529	57,4	I9,8	37,6
4	80,I	I57,8	4°37'	0,0809	I9°48'	-I5°II'	-0,27I	I2,8	-42,8	55,6
5	70,2	I38,3	4°37'	0,0809	37°26'	-32°49'	-0,645	II,2	-89,2	I00,4
6	5,7	II,2	4°37'	0,0809	78°08'	-37°3I'	-3,379	0,9	-37,8	38,7
								$\Sigma H = 203,4$		$\Sigma T = 3I4,47$

№ слоев	γ_w	$P_{no}\cdot\ldots$	$tg\varphi$	C_w	$\frac{C}{P_{no}}$	$F_p=tg\varphi+\frac{C}{P_{no}}$
I	I,92	2,6·I,92 = 5,0	0,466	3,2	0,640	I,I06
2	I,87	3,8·I,92+4,7·I,87=I6,I	0,287	4,2	0,26I	0,548
3	I,8I	2,5·I,92+7,7·I,87+ +I,3·0,8I = 20,25	0,404	3,0	0,I48	0,552
4	I,97	I6,68	0	6,0	0,360	0,360
5	I,97	7,84	0	6,0	0,765	0,765
6	I,97	I,26	0	6,0	4,76	4,76

$$n = \frac{3I4,47}{203,4} = I,55$$

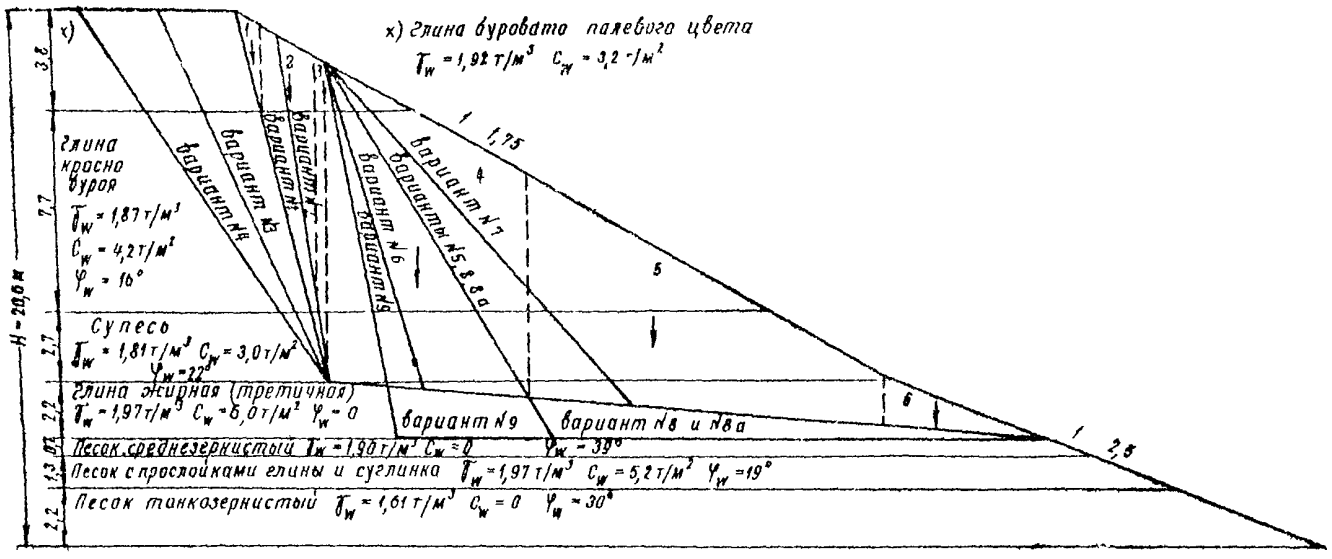


Рис.3. Схема к расчету устойчивости откоса выемки по методу горизонтальных сил (Маслова-Берера)
(Варианты плоских поверхностей скольжения)

Примечание. Разбивка на блоки показана для варианта № I

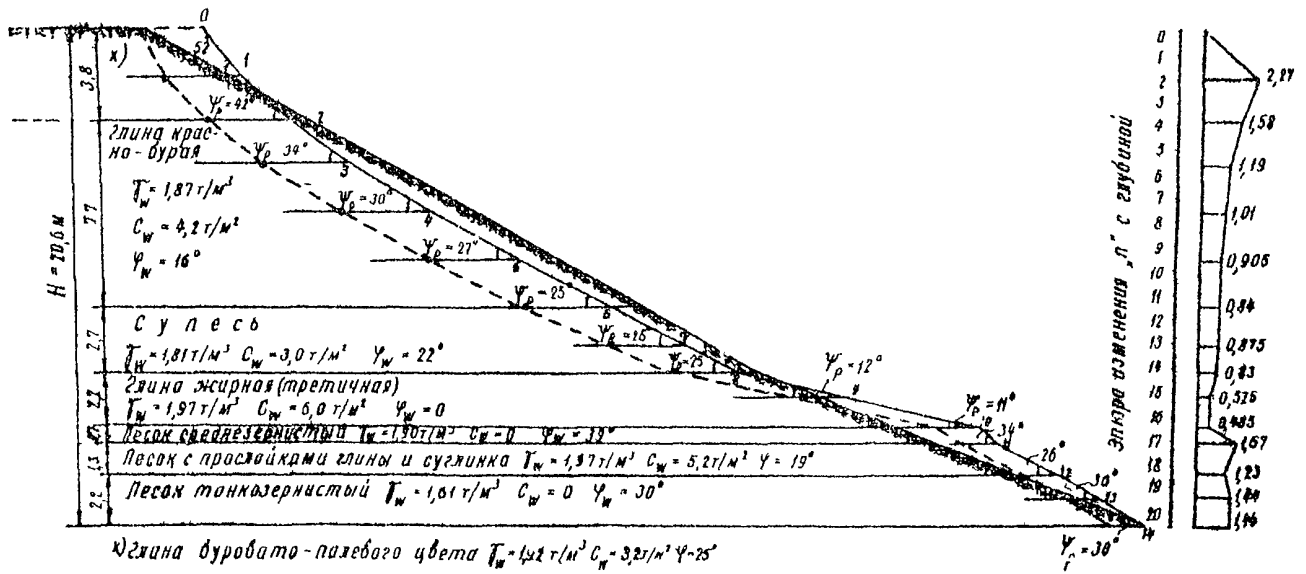


Рис.4. Схема к расчету устойчивости откоса выемки по методу F_p

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 I36-м км)

№ точек	$h_и$	γ_w т/м2	γh т/м2	$P_{пр}$ т/м2	Z м	$\gamma_{рас}=\frac{P_{пр}}{Z}$	φ	$tg\,\varphi$	$\beta=\frac{\gamma_в}{\gamma_w}$	$tg\varphi_в=\beta tg\varphi$	C_w т/м2	$\frac{c}{P_{пр}}$	$F_p=tg\varphi+\frac{c}{P_{пр}}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	2,0	I,92	3,84	3,84	2,0	I,92	25°	0,466	-	-	3,2	0,833	I,299
2	I,8	I,92	3,46	7,30	3,8	I,92	25°	0,466	-	-	3,2	0,438	0,904
3	I,8	I,87	3,37	I0,67	5,6	I,9I	I6°	0,286	-	-	4,2	0,394	0,680
4	2,0	I,87	3,74	I4,4I	7,6	I,90	I6°	0,286	-	-	4,2	0,292	0,578
5	2,0	I,87	3,74	I8,I5	9,6	I,89	I6°	0,286	-	-	4,2	0,23I	0,5I7
6	I,9	I,87	3,55	2I,70	II,5	I,89	I6°	0,286	-	-	4,2	0,I93	0,479
7	I,6	I,8I	2,90	24,60	I3,I	I,88	22°	0,404	0,936	0,378	3,0	0,I22	0,500
8	I,I	I,8I	I,99	26,59	I4,2	I,87	22°	0,404	0,900	0,363	3,0	0,II3	0,476
9	I,0	I,97	I,97	28,56	I5,2	I,88	0	0	0,87	0	6,0	0,2I0	0,2I0
I0	I,2	I,97	2,37	30,93	I6,4	I,88	0	0	0,84	0	6,0	0,I94	0,I94
II	0,7	I,6I	I,I3	32,06	I7,I	I,87	39°	0,8I0	0,825	0,668	0	0	0,668
I2	I,3	I,97	2,56	34,62	I8,4	I,88	I9°	0,344	-	-	5,2	0,I50	0,494
I3	I,0	I,6I	I,6I	36,23	I9,4	I,86	30°	0,577	-	-	0	0	0,577
I4	I,2	I,6I	I,93	38,I6	20.6	I,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°	$F_p = tg\psi_p$	ψ_p°	$n = \frac{tg\psi_p}{tg\alpha}$
0	0	0	0	0	0	0
I	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	I,299	$52^0 25'$	2,27
2	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,904	$42^0 07'$	I,58
3	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,680	$34^0 I2'$	I,I9
4	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,578	$30^0 0I'$	I,0I
5	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,5I7	$27^0 20'$	0,905
6	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,479	$25^0 36'$	0,84
7	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,500	$26^0 36'$	0,875
8	I:I,75	0,572	$29^0 46'$	0,476	$25^0 27'$	0,83
9	I:2,5	0,400	$2I^0 48'$	0,2I0	$II^0 52'$	0,525
I0	I:2,5	0,400	$2I^0 48'$	0,I94	$II^0 00'$	0,485
II	I:2,5	0,400	$2I^0 48'$	0,668	$33^0 45'$	I,67
I2	I:2,5	0,400	$2I^0 48'$	0,494	$26^0 I8'$	I,23
I3	I:2,5	0,400	$2I^0 48'$	0,577	$30^0 00'$	I,44
I4	I:2,5	0,400	$2I^0 43'$	0,577	$30^0 00'$	I,44

Приложение 2

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: $\gamma_w = 1{,}80$ т/м^3, $C_w = 8{,}0$ т/м^2; $\varphi_w = 20^0$

грунты основания –глина жирная: $\gamma_w = 1{,}90$ т/м^3 $\varphi_w = 10^0$

$C_w = 3{,}0$ т/м^2;

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

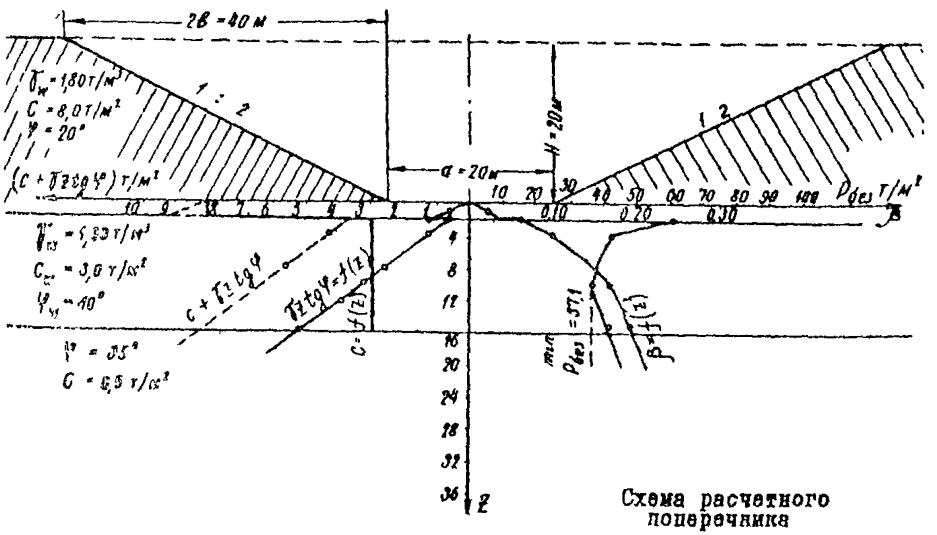


Схема расчетного поперечника

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

$$K_{без} = \frac{P_{без}}{P_o}, \qquad (1)$$

где $P_{без}$ – безопасная нагрузка для данного горизонта;

P_o – проектная нагрузка на основание, определяемая по формуле

$$P_o = \gamma_{ср} \cdot h \qquad (2)$$

$\gamma_{ср}$ – средневзвешенный объемный вес грунта откоса;

h – высота откоса.

I. Вычисляем P_o :

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

2. Вычисляем $P_{без}$:

$$P_{без} = \frac{c + \gamma_{ср} z \cdot tg\varphi}{\beta} . \qquad (3)$$

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 $\frac{a}{\delta} = \frac{20}{20} = 1$;

б) строим график изменения сопротивляемости сдвигу по глубине ($c + \gamma_{ср} z\, tg\varphi$);

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

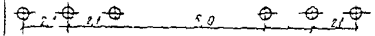
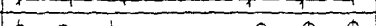
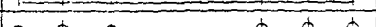
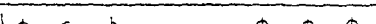
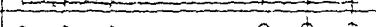
Получили $P_{без} = 37{,}1$ т/м^2

3. Вычисляем коэффициент безопасности:

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

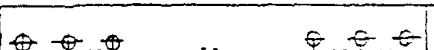
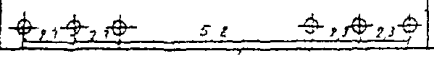
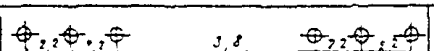
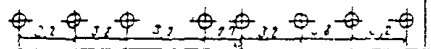
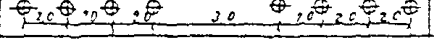
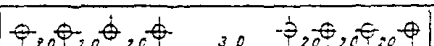
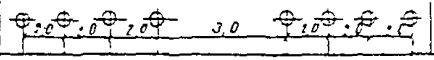
$K_{без} > 1$, следовательно, нарушение устойчивости откоса в форме скола при проездке маловероятно.

Расчетные нагрузки тепловозов

Тип тепловоза	Осевая формула	Схема нагрузки	Нагрузка на ось, т	Нагрузка на 1 пог.м, т	Сцепной вес, т	Конструкционная скорость, км/час
Существующие типы						
ТЭ-7	$2(3_0-3_0)$		2I,0	I5,0	I26,0	I40
ТЭ-I0	3_0-3_0		23,0	I6,4	I38,0	I00
ТЭП-60	3_0-3_0		2I,I3	I3,7	I26,8	I60
Типы ближайшей перспективы						
ТЭ-I0	3_0-3_0		23,0	I6,4	I38,0	I00
ТЭП-60	3_0-3_0		2I,I3	I3,7	I26,8	I60
ТЭ	3_0-3_0		23,0	I6,4	I38,0	I20
ТЭ	3_0-3_0		22,0	I5,7	I32,0	I20
Типы отдаленной перспективы						
ТЭ	3_0-3_0		24,5	I7,5	I47,0	I20
ТЭ	3_0-3_0		32,0	22,8	I92,0	I20

Приложение 4

Расчетные нагрузки электровозов

Тип локомотива	Система питания	Осевая формула	Схема нагрузки	Нагрузка на ось, т	Нагрузка на 1пог.м пути	Сцепной вес, т	Конструкционная скорость, км/час
Существующие типы							
ВЛ-23	постоянная	3_0+3_0		23,0	I5,6	I38	I00
ВЛ-8	постоянная	$2(2_0+2_0)$		23,0	I4,4	92	90
ВЛ-60	переменная	3_0-3_0		23,0	I5,0	I38	II0
Типы ближайшей перспективы							
ВЛ-23	постоянная	3_0-3_0		23,0	I5,6	I38	I00
ВЛ-8	постоянная	$2(2_0+2_0)$		23,0	I4,4	92	90
	переменная	$2_0-2_0-2_0-2_0$		23,0	I5,3	I84	I20
Типы отдаленной перспективы							
	переменная	$2_0-2_0-2_0-2_0$		28,0	I8,6	224	I20
	переменная	$2_0-2_0-2_0-2_0$		32,0	2I,3	256	I20

Приложение 5

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

Дороги I-II категории							Дороги III-IV категории
Нормативный документ	СНиП II-Д.I-62		Приказ МПС № I23/ЦЭ от 4 окт.I963 г.				СНиП II-Д.I-62
Характеристика верхнего строения	Р-65 деревянные шпалы I840 шт/км толщина балласта под шпалой $h_б$ = 25/20	Р-65 ж.б.шпалы I840 шт/км $h_б$ = 30/20	Тяжелый тип		Особо тяжелый тип		Р-43 деревянные шпалы I600 шт/км $h_б$ = 30
			Р-65 деревянные шпалы I840 шт/км $h_б$ = 30/20	Р-65 железобетонные шпалы I840 шт/км $h_б$ = 35/20	Р-65 деревянные шпалы I840 шт/км $h_б$ = 35/20	Р-65 железобетонные шпалы I840 шт/км $h_б$ = 40/20	
Нагрузка на I пог.м,т	4,6	5,5	5,3	6,2	6,2	7,I	3,7

Примечание. Объемный вес балластных материалов принят по СНиП (сметные нормы IУ т.5 43-64 § 3 ст.I9)

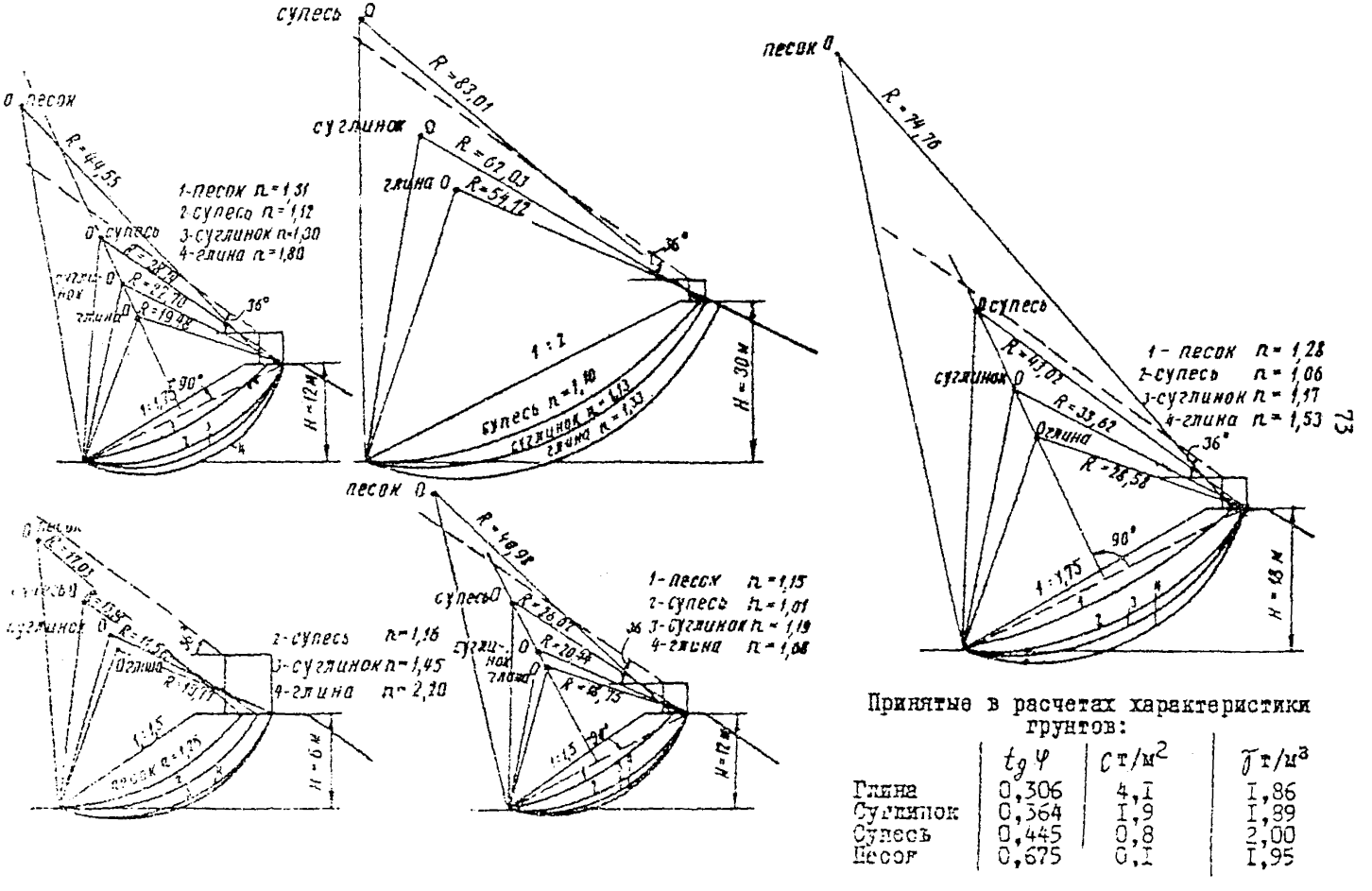
для щебня - I,77 т/м^3
для песка - 2,08 т/м^3

Приложение 6

Категория дороги	Нормативный документ		Толщина балласта под шпалой[x]	Ширина балластной призмы поверху, м	Приведенная ширина балластной призмы, м
Ш-IУ	СНиП П-Д.I-62		30/ -	3,I0	3,8
I-П	СНиП П-Д.I-62		25/20	3,20	4,2
	СНиП П-Д.I-62		30/20	3,20	4,3
	Приказ МПС №123/цз от 4 окт. 1963г.	тяжелый тип	30/20	3,40	4,4
	Приказ МПС №123/цз от 4 окт. 1963г.	тяжелый тип	35/20	3,40	4,5
	Приказ МПС №123/цз от 4 окт. 1963г.	особо тяжелый тип	35/20	3,60	4,7
	Приказ МПС №123/цз от 4 окт. 1963г.	особо тяжелый тип	40/20	3,60	4,8

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

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

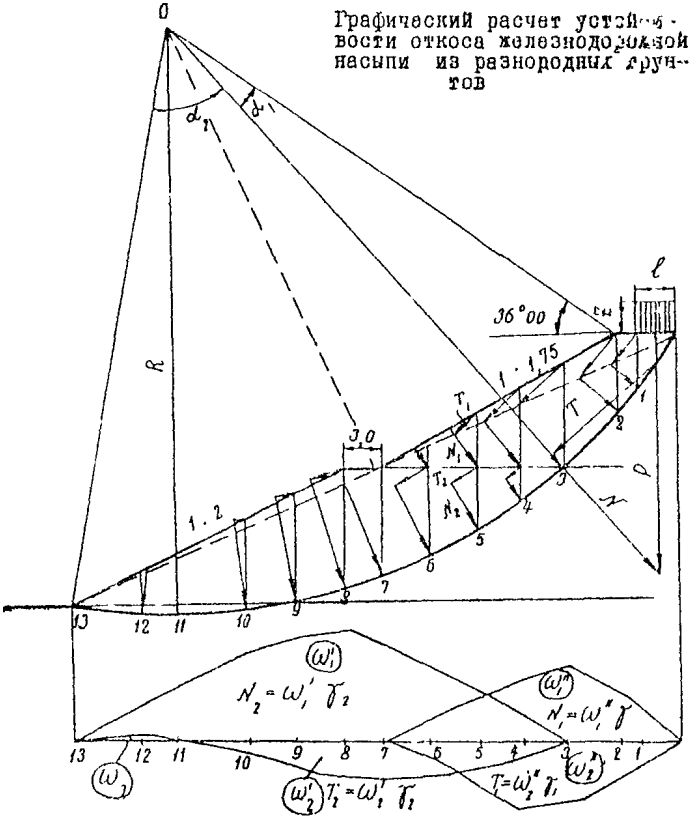


Принятые в расчетах характеристики грунтов:

	$tg\varphi$	C т/м^2	γ т/м^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



$$n = \frac{\Sigma N_1 \cdot tg\varphi_1 + c\alpha_1 + \Sigma N_2\ tg\varphi_2 + c\ \alpha_2 + T_{уд}}{\Sigma T_1 + \Sigma T_2 + T};$$

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

$$\Sigma T_{сдв} = \Sigma T_1 + \Sigma T_2 + T,$$

$$T_{уд} = \omega_3 \quad \gamma_2,$$

где n – 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 (P);

$f_1 = tg\varphi_1$ – коэффициент внутреннего трения верхнего слоя грунта;

$f_2 = tg\varphi_2$ – коэффициент внутреннего трения нижнего слоя грунта;

γ_1 – объемный вес верхнего слоя грунта, т/м^3;

γ_2 – объемный вес нижнего слоя грунта, т/м^3;

c_1 – удельное сцепление верхнего слоя грунта, т/м^2;

c_2 – удельное сцепление нижнего слоя грунта, т/м^2;

$\mathcal{L}$ – длина поверхности скольжения, м;

R – радиус кривой скольжения, м;

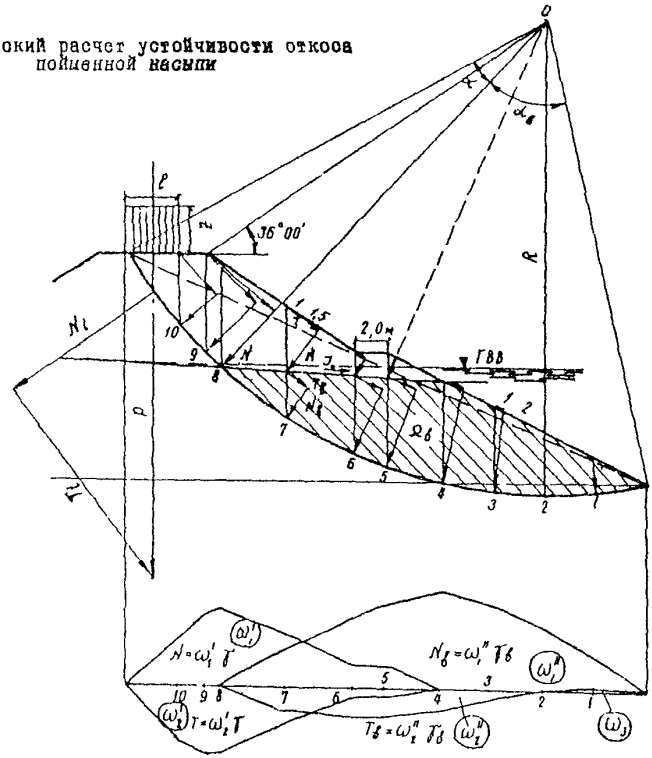
α_1 – центральный угол, определяющий поверхность скольжения верхнего слоя грунта;

α_2 – центральный угол, определяющий поверхность скольжения нижнего слоя грунта;

ω – площади фигур, ограниченные линиями нормальных или тангенциальных сил и горизонтальной линией.

Приложение 9

Графический расчет устойчивости откоса пойменной **насыпи**



$$R = \frac{\Sigma N \ tg\varphi + c\mathcal{L} + T_{y\partial}}{\Sigma T_{c\partial\delta} + D},$$

$$\Sigma N \ tg\varphi = \Sigma\left(N + N_l\right)f + \Sigma N_б \ f_б ,$$

$$c \ \mathcal{L} = \frac{\pi R}{180}\left(c_\alpha + c_б \alpha_б\right)$$

$$\Sigma T_{c\partial\delta} = \Sigma T + \Sigma T_б + T_l , \quad T_{y\partial} = \omega , \quad T_б , \quad D = J_o \quad \Omega_б ,$$

где R – коэффициент устойчивости насыпи;

N, T – нормальная и тангенциальная составляющие веса грунта, находящегося в состоянии естественной влажности, т;

$N_в, T_в$ – нормальная и тангенциальная составляющие веса грунта, находящегося в воде, т;

N_i, T_i – нормальная и тангенциальная составляющие нагрузки на основную площадку (p);

D – гидродинамическая сила фильтрующейся из насыпи воды;

$f = tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта, находящегося в состоянии естественной влажности;

$f_в = tg\varphi_в$ – коэффициент внутреннего трения грунта, находящегося в воде;

γ – объемный вес грунта в состоянии естественной влажности, т/м^3;

$\gamma_в$ – объемный вес грунта во взвешенном состоянии, т/м^3;

C – удельное сцепление грунта в состоянии естественной влажности, т/м^2;

$C_в$ – удельное сцепление грунта, находящегося в воде, т/м^2;

$\mathcal{L}$ – длина поверхности скольжения, м;

R – радиус кривой скольжения, м;

α – центральный угол, определяющий поверхность скольжения грунта, находящегося в условиях естественной влажности;

$\alpha_в$ – центральный угол, определяющий поверхность скольжения грунта, находящегося в воде;

J_0 – средний уклон кривой депрессии;

$\Omega_в$ – площадь отсека ниже кривой депрессии, м^2;

ω – площади фигур, ограниченные линиями нормальных или тангенциальных сил и горизонтальной линией.

Приложение 10

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

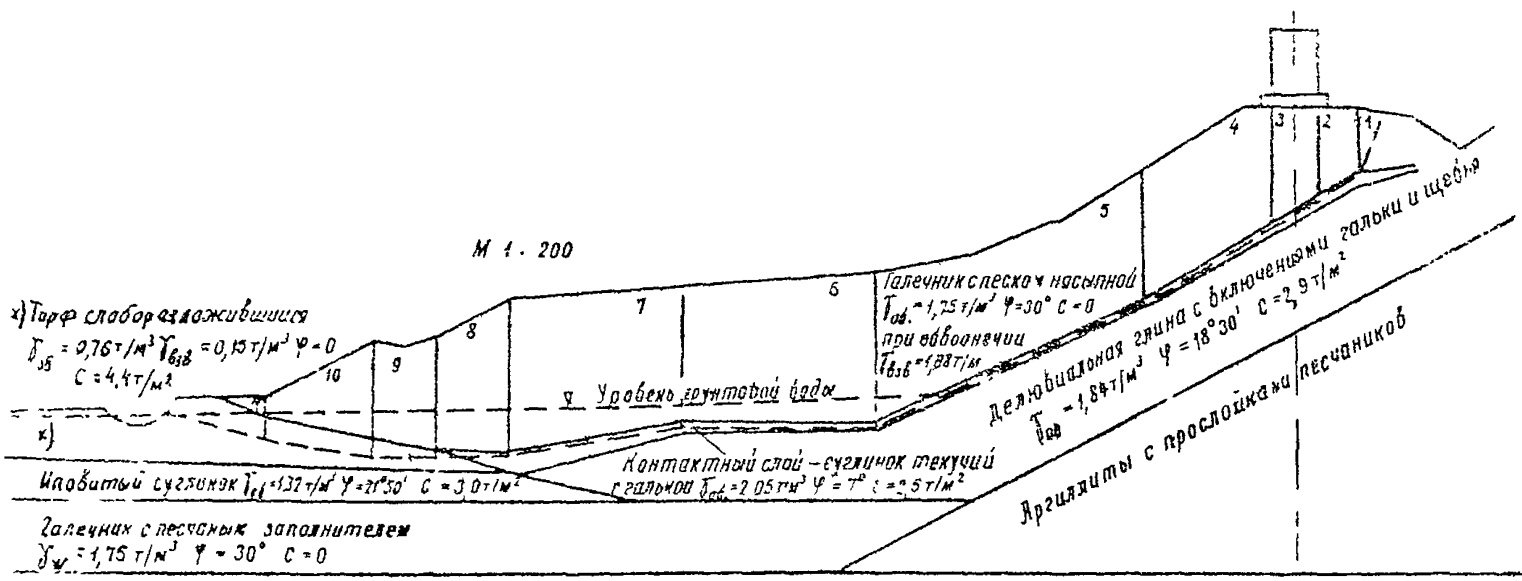
На рисунке представлен поперечный разрез насыпи с контрабанкетом, отсыпанной на косогоре. Наименование грунтов тела насыпи и основания приведены на схеме. По контакту насыпи с косогором имеется прослойка слабого грунта (суглинок с галькой, находящийся в текучем состоянии), которая и предопределяет возможную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



Таблица

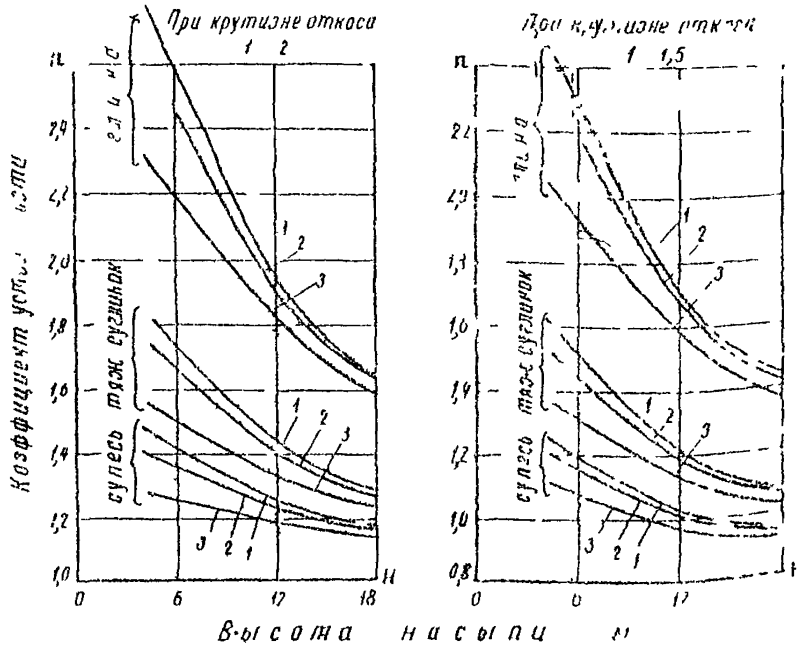
№ слоя	φ° / c т/м²	α°	$\alpha - \varphi$	$P = \omega \cdot \bar{\gamma}$ т	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$T_{сдв} = P\sin\alpha$ т	Удерживающие силы: $T_{уд} = P\sin\alpha$ т	$N = P\cos\alpha$ т	$N \cdot tg\varphi$ т	$c \cdot l$	$\cos(\alpha-\varphi)$	$\cos\varphi$	$\frac{\cos\varphi}{\cos(\alpha-\varphi)}[9]+[11]+$	$[8] \cdot [15]$ т
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7
I	30° / 0	68°	38°	5,07	0,927	0,375	4,7	-	I,9	I,I	-	0,788	0,866	I,I0	I,2I	5,2
2	7° / 2,5	35°	28°	23,3	0,574	0,8I9	I3,4	-	I9,I	2,4	8,5	0,883	0,992	I,I2	I2,?	I5,0
3	7° / 2,5	30°30'	23°30'	64,9	0,508	0,862	33,0	-	56,0	6,9	9,0	0,9I7	0,992	I,08	I9,2	35,7
4	7° / 2,5	29°	22°	I33,I	0,485	0,875	64,5	-	II6,5	I4,3	24,5	0,927	0,992	I,07	4I,5	69,0
5	7° / 2,5	24°	I7°	254,0	0,407	0,9I4	I03,2	-	232,0	28,5	47,0	0,956	0,992	I,04	89,0	I07,0
6	7° / 2,5	0°	-7°	I97,0	0	I,00	-	-	I97,0	24,2	3I,8	0,992	0,992	I,00	56,0	0
7	7° / 2,5	8°30'	I°30'	I5I,0	0,I48	0,989	22,3	-	I49,0	I8,3	28,2	I,00	0,992	0,992	46,I	22,I
8	7° / 2,5	0°	-7°	62,0	0	I,00	-	-	62,0	7,6	II,0	0,992	0,992	I,00	I8,6	-
9	0° / 4,4	0°	0°	45,5	0	I,00	-	-	45,5	-	I8,5	I,00	I,00	I,00	I8,5	-
I0	0° / 4,4	-I0°	-I0°	32,6	0,I74	0,985	-	5,7	32,I	-	34,0	0,985	I,00	I,02	40,5	-
II	0° / 4,4	-I4°	-I4°	4,4	0,242	0,970	-	I,I	4,3	-	29,5	0,970	I,00	I,03	3I,6	-

$$n = \frac{\Sigma 372,4}{\Sigma 254,0} = I,47$$

Σ 372,4 Σ 254,0

Приложение 11

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



Условные обозначения:

1 – P = 16 кг/м^2 – погонная поездная нагрузка,
2 – P = 21 кг/м^2 то же
3 – P = 28 кг/м^2 "

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

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бабков В.Ф.** Орнатский Н.В., Маслов Н.Н., Иванов П.Л. Вопросы дорожного строительства на У Международном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению. М., Автотрансиздат, 1963.
2. Дранников А.И. Инженерная геология. Киев, Госстройиздат УССР, 1959.
3. *Емельянова* Е.П. О причинах и факторах оползневых процессов. В сб."Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Труды Всегингео. М., Госгеолтехиздат, 1959.
4. Казарновский В.Д. Оценка устойчивости насыпей на слабых грунтах. Журн. "Автомобильные дороги", 1966, № 1.
5. Коншин Г.Г. Определение напряжений в земляном полотне. Журн. "Транспортное строительство", 1965, № 3.
6. Корженевский И.В., Лоенко 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., Автотрансиздат, 1961.
11. Маслов Н.Н., Котов М.Ф., Зинохина 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. Ордунц К.С. Пойменные насыпи на подходах к мостам. М., Трансжелдориздат, 1938.
14. Палъгунова 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.,Пек 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.И. 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 железных дорог. М., Изд-во "Транспорт", 1965.

23. Чугаев Р.Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения. М., 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. М., Изд-во "Энергия", 1965.

26. Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. М., Трансжелдориздат, 1953.

27. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. М., Трансжелдориздат, 1961.

28. Шахунянц Г.М. Расчет устойчивости склонов и откосов против 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 опыта 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 II-Д.I-62. Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. М., Госстройиздат, 1963.

33. Строительные нормы и правила II-Д.5-62. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. М., Госстройиздат, 1963.

34. Строительные нормы и правила II-4.4-62. Плотины земляные насыпные. М., Госстройиздат, 1963.

35. Строительные нормы и правила II-А.10-62. Строительные конструкции и основания. М., Госстройиздат, 1963.

36. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200-62). М., Трансжелдориздат, 1962.

gost.e-ecolog.ru