ПРАВИЛА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

С.-ПЕТЕРБУРГ
1998

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТОПЛИВА И ЭНЕРГЕТИКИ РФ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА –
МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВНИМИ

Утверждено:

Госгортехнадзором РФ
16 марта 1998 г.

Согласовано:

с Министерством топлива
и энергетики РФ
Введено в действие с 1 января 1999 г.

ПРАВИЛА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

С.-Петербург
1998

УДК 622.271.3.001.1

Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб., 1998. – 208 с. (Минтопэнерго РФ. РАН. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).

Правила разработаны ВНИМИ на основе большого объема фактического материала по изучению характера проявлений деформаций прибортовых массивов и отвалов в различных горно-геологических условиях, лабораторных и аналитических исследований процессов деформирования откосов, анализа эффективности инженерно-технических мероприятий по повышению устойчивости бортов, уступов и отвалов.

Правила содержат методы оценки устойчивости откосов, определения максимальных параметров устойчивых бортов, уступов и отвалов на разрезах, а также рекомендации инженерно-технических мероприятий для повышения устойчивости откосов.

В Приложениях приведены графики предельных параметров бортов, уступов и отвалов, примеры необходимых расчетов и каталоги физико-механических свойств вмещающих угольные пласты пород и отвальной смеси.

Правила предназначены для использования горными предприятиями, проектными, научно-исследовательскими организациями угольной промышленности.

Правила разработаны впервые.

Ил. 102, табл. 30, библиогр. 45.

РЕДАКЦИОННАЯ КОМИССИЯ:

И. Ф. Петров (председатель), *В. С. Зимич* (зам. председателя), *А. М. Навитний* (зам. председателя), *Т. К. Пустовойтова, А. Я. Савченко, В. М. Савин, А. А. Белинкин, А. Л. Вирула, В. Е. Дроздов, А. Ф. Пастушенков, В. П. Шорохов, Б. Г. Афанасьев, В. Н. Попов*

СОСТАВИТЕЛИ:

Г. Л. Фисенко, *Т. К. Пустовойтова, А. М. Мочалов, Э. Л. Галустьян, А. Н. Гурин, С. В. Кагермазова, И. И. Ермаков, С. П. Бряков, Б. Г. Афанасьев, Ю. А. Норватов, В. И. Пушкарев, С. А. Ишутин, Н. А. Кутепова, Ю. С. Козлов*

© Государственный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ. 1998.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящие правила регламентируют способы оценки устойчивости бортов разрезов, отвалов и методы расчетов максимальных параметров устойчивых бортов, уступов и отвалов, а также меры по предупреждению оползневых явлений и борьбы с ними.

2. Требования к надежности оценки устойчивости бортов разрезов с увеличением их глубины и сроков службы, учитывая опасность для горного предприятия деформирования прибортовых массивов в этих условиях, повышаются.

Меры предупреждения оползневых явлений и борьбы с ними должны обеспечивать безопасность, экономическую и экологическую целесообразность разработки полезных ископаемых открытым способом.

3. Для надежного прогноза устойчивости откосов необходимы исходные данные, характеризующие горно-геологические условия поля разреза.

Факторы, влияющие на устойчивость бортов разрезов, изложены в разд. 2, дополнительные факторы, учитывающие особенности условий устойчивости отвалов, приведены в разд. 9.

Требования к изученности инженерно-геологических условий угольных месторождений для определения устойчивости бортов разрезов и уступов изложены в «Методическом пособии по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом» (Л.: Недра, 1986. – 112 с.).

В период строительства и эксплуатации разрезов инженерно-геологические условия уточняются на основании изучения деформаций бортов разрезов, детального изучения физико-механических свойств горных пород, их трещиноватости, условий залегания слоев пород по мере их вскрытия, тектонического строения массива.

4. Правила оценки устойчивости откосов и определения максимальных параметров бортов разрезов, уступов и отвалов в зависимости от горно-геологических условий на разрезах изложены в разделах 3, 5 и 9. Влияние воды на напряженное состояние массива в схемах расчета устойчивости откосов оценивается учетом действующих сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления.

5. В приложениях 1, 3, 4, 5 Правил приведены графики предельных параметров бортов и уступов в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях. Учитывая схематизированность этих условий и определенные допущения, сделанные при расчетах упомянутых графиков, для принятого варианта параметров откоса необходимо производить контрольную оценку устойчивости откоса по представленной в табл. 3.1 и разд. 5 соответствующей схеме расчета.

Приведенные в указанных приложениях графики применимы при определенных условиях, указанных в п. 5.3.6 настоящих Правил.

6. Наиболее надежным способом оценки фактического состояния откосов при принятых параметрах бортов разрезов и уступов является контроль за деформациями прибортового массива, которые не должны превышать для рассматриваемых условий предельно допустимых величин.

Метод оценки устойчивости бортов по их деформациям и прогноз смещений земной поверхности прибортовых массивов горных пород по их деформационным свойствам приведены в разд. 7.

Требования к методике и периодичности наблюдений за деформациями откосов на разрезах изложены в «Методических указаниях по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости» (Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.).

7. Выбор эффективных инженерно-технических противооползневых мероприятий определяется геологическими условиями прибортового массива горных пород и причинами возникших деформаций.

Рекомендации соответствующих инженерно-технических мероприятий, повышающих устойчивость откосов, изложены в разд. 8.

8. Настоящие Правила предназначены для технического решения вопросов устойчивости откосов на всех стадиях освоения месторождений: от проектирования и строительства угольных разрезов до погашения в них работ. Требования к периодичности необходимой контрольной оценки устойчивости бортов разрезов изложены в разд. 3.

9. Отступления от настоящих Правил допускаются только при согласовании с органами Госгортехнадзора на основании заключения специализированной организации, имеющей соответствующую лицензию.

1. ОБОЗНАЧЕНИЯ

H – высота борта разреза (карьера), м;

H_{90} – высота вертикальной трещины отрыва, м;

$H_в$ – предельная высота вертикального откоса, м;

$H'_в$ – высота вертикального откоса при подрезке слоев, м;

H_0 – предельная высота устойчивого отвала, м;

H' – условная высота промежутка высачивания, м;

a – ширина призмы возможного обрушения борта (откоса уступа, отвала) по земной поверхности (верхней площадке уступа, отвала), м;

h' – глубина, при которой возникают площадки скольжения на контакте (глубина трещин отрыва), м;

α – угол наклона борта, угол откоса уступа, угол откоса отвала, (...°);

β – угол падения слоев и поверхностей ослабления массива, угол наклона основания отвала (слабого контакта в основании отвала), (...°);

$\varepsilon = (45° - \varphi/2)$ – угол между направлением наибольшего главного напряжения и площадкой скольжения, (...°);

$\omega = (45° + \varphi/2)$ – угол наклона поверхности скольжения в верхней части, (...°);

γ – плотность (объемный вес) горной породы, т/м^3, г/см^3;

$\gamma_в$ – вес единицы объема воды (плотность воды), г/см^3;

W – естественная влажность (весовая) пород, %;

C – сцепление породы, кг/см^2;

C_0 – сцепление пород в образце (монолите), кг/см^2;

$C_м$ – сцепление пород в массиве, т/м^2;

C' – сцепление пород по контактам поверхностей ослабления, т/м^2;

C_n – сцепление (расчетная величина) в массиве, измененное на величину коэффициента запаса устойчивости, т/м^2;

σ_0 – прочность пород на одноосное сжатие, т/м^2;

$\sigma_р$ – сопротивление пород отрыву, т/м^2;

$f_{кр} = \sigma_0/100$ – коэффициент крепости пород по М. М. Протодьяконову;

λ – коэффициент структурного ослабления массива;

n – коэффициент запаса устойчивости борта, откоса уступа, отвала;

a' – коэффициент, зависящий от прочности пород в монолитном образце и характера трещиноватости;

$\ell_т$ – средний размер структурных блоков, м;

φ – угол внутреннего трения породы, (...°);

φ' – угол трения по поверхностям ослабления, (...°);

φ_n – угол внутреннего трения (расчетная величина), измененный на величину коэффициента запаса устойчивости, (...°);

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

L – общая длина поверхности скольжения (расчетной поверхности) призмы возможного обрушения, м;

ℓ_i – длина отрезков вероятной поверхности скольжения (длина основания блока), м;

P_i – вес отдельного блока, на которые разбивается призма возможного обрушения вертикальными гранями, т;

N_i – нормальная составляющая веса отдельного блока, т;

T_i – касательная составляющая веса отдельного блока, т;

j_i – угол наклона площадки, являющейся основанием отдельного блока, (...°);

R_i – силы реакции по площадкам поверхности скольжения, т;

D_i – сила гидростатического давления, т;

k – коэффициент, характеризующий обводнение прибортового массива;

E_i – силы реакции между смежными блоками (равнодействующие сил трения и сцепления), действующие по боковым поверхностям отдельного блока, т;

θ, θ' – углы излома поверхности скольжения, (...°);

ψ – угол излома поверхности скольжения на границе со слабым слоем, (...°);

τ – касательные напряжения по заданной площадке, т/м^2;

σ_n – нормальные напряжения по заданной площадке, т/м^2;

τ_{max} – максимальное значение общего сопротивления сдвигу отвальной массы (горной породы), т/м^2;

$K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/сут;

ξ – предельная (критическая) величина относительного смещения по поверхности разрушения;

υ_0 – скорость смещения, мм/сут;

τ' – относительное сопротивление пород сдвигу;

J – угол наклона депрессионной кривой (...°);

$\alpha_{ест}$ – угол естественного откоса горных пород, (...°).

2. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ

Все факторы, влияющие на устойчивость бортов разрезов, можно разделить на четыре группы (рис. 2.1):

– инженерно-геологические;
– гидрогеологические;
– физико-географические;
– горно-технические.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

К наиболее существенным инженерно-геологическим факторам относятся [1, 2]:

1. Структурно-тектоническое строение массива. Условия залегания угольных пластов и вмещающих пород, наличие тектонических нарушений, трещин большого протяжения, поверхностей древних оползней и т. д.

От пространственной ориентировки крупных поверхностей ослабления в массиве горных пород (слоистости, сланцеватости, разрывных тектонических нарушений, поверхностей древних оползней) в значительной степени зависят положение и форма поверхностей скольжения, что, в свою очередь, определяет схему расчета устойчивости бортов. Этот фактор является одним из решающих при оценке устойчивости откосов, сложенных осадочными слоистыми породами при направлении падения слоев и нарушений в сторону открытой горной выработки, так как по таким поверхностям ослабления сцепление незначительно, а углы трения существенно меньше, чем по другим направлениям.

2. Прочность горных пород в прибортовом массиве.

Основными характеристиками прочности пород в массиве при оценке устойчивости откосов являются показатели сопротивления сдвигу или срезу (сцепление и коэффициент внутреннего трения), которые определяются генезисом пород, степенью литификации осадочных пород, их литолого-петрографическими особенностями (минеральным и гранулометрическим составами, структурой и текстурой в образце, составом цемента в осадочных сцементированных породах, плотностью сложения в рыхлых несвязных породах – песках, галечниках, гравелистых породах, плотностью сложения и влажностью в мягких связных – глинистых породах); сцепление в массиве всех трещиноватых пород зависит от прочности (сцепления) пород в образце, интенсивности и характера трещиноватости пород (формы и размера структурных блоков), а также сцепления пород по контактам слоев и другим поверхностям ослабления.


Факторы, влияющие на устойчивость бортов разрезов
Инженерно-геологические
Генетический тип пород, литолого-петрографический состав (вещественный состав, структура, текстура, состав цемента), прочность пород в образце
Условия залегания пород, строение массива
Прочность пород в массиве
Склонность пород к изменению свойств во времени (набухание, разуплотнение, выщелачивание, выветриваемость)
Гидрогеологические
Характер обводнения прибортового массива
Питание водоносных горизонтов
Физико-географические
Климатические условия
Орогидрографические условия
Геокриологические условия
Сейсмичность района
Горно-технические
Способ вскрытия, технология горных работ
Форма выемки в плане, высота и профиль борта
Подработка массива подземными выработками

Рис. 2.1

3. Характеристики сопротивления сдвигу по контактам пород и другим поверхностям ослабления, которые зависят от характера контакта и контактирующих поверхностей (контакты открытые, закрытые, с заполнителем; поверхности ровные, неровные, гладкие, шероховатые).

4. Деформационные характеристики пород, их длительная прочность.

5. Склонность пород в откосах к изменению свойств во времени (набухание, разуплотнение, выветривание, выщелачивание).

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Влияние гидрогеологических факторов сводится к следующим трем направлениям [3, 4]:

1. Изменение напряженного состояния прибортового массива горных пород: гидродинамическое давление и гидростатическое взвешивание.

Суммарное влияние гидростатического взвешивания и гидродинамического давления проявляется как гидростатическое давление, действующее по поверхности скольжения и направленное по нормали к ней; гидростатическое давление снижает эффективные напряжения в массивах горных пород и способствует уменьшению сил, удерживающих массивы в устойчивом состоянии; гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление оказывают существенное воздействие на устойчивость борта в целом при условии, что значительная часть призмы возможного оползания находится ниже депрессионной (пьезометрической) кривой, или же при больших перепадах напоров в прибортовой зоне вблизи откоса; кроме силового воздействия гидростатические и гидродинамические силы способствуют набуханию и снижению прочности глинистых пород, вскрываемых горными работами.

2. Снижение прочности пород, склонных к набуханию.

Значительное влияние на снижение прочности пород в процессе отработки полезного ископаемого оказывают поверхностные и подземные воды; под влиянием поверхностных вод (в основном дождевых и талых, а также подземных, стекающих по поверхности откосов при отсутствии организованного их отвода) песчано-глинистые породы разуплотняются, увлажняются и набухают, что может приводить к оползанию слагаемых ими уступов.

3. Механический вынос и снос – поверхностная эрозия, оплывание, суффозия и другие фильтрационные деформации.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

К этой группе факторов относятся климатические условия, орогидрография участка разреза и прилегающей к нему территории, сейсмичность района, наличие и характер распространения многолетнемерзлых пород.

К климатическим факторам, оказывающим влияние на устойчивость откосов, относятся: количество атмосферных осадков, характер дождей, мощность снегового покрова и продолжительность его таяния (с этим фактором связано питание водоносных горизонтов, развитие деформаций); температурный режим района, глубина сезонного промерзания и оттаивания пород оказывают влияние на интенсивность выветривания слабостойких пород, образование осыпей и разрушение берм; режим ветров, их сила, продолжительность и направление влияют на устойчивость песчаных откосов и на выветривание пород.

Рельеф района существенно влияет на характер стока атмосферных осадков и обводнение пород в окрестности разреза.

ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

К основным факторам этой группы относятся: способы ведения буровзрывных работ, форма выемки в плане, высота и профиль борта, параметры элементов уступов, подработка прибортового массива пород подземными горными выработками при комбинированном способе отработки месторождения.

На устойчивость откосов уступов, сложенных скальными и полускальными породами, и на величину углов наклона бортов наибольшее влияние оказывают способ производства буровзрывных работ, параметры уступов и берм (ширина берм, частота их расположения). Степень влияния взрывных работ на уменьшение прочности массива горных пород зависит от способа взрывания, расстояния от места взрыва и структуры массива.

На устойчивость рыхлых или выветрелых пород, склонных к набуханию или размоканию, влияют профиль площадок уступов, обеспечивающий сток дождевых и талых вод, и своевременная заоткоска уступов.

Форма выемки в плане определяет наличие в различных горно-геологических условиях сил бокового распора, влияющих на предельные параметры устойчивых откосов.

Подработка бортов разрезов подземными горными выработками приводит к уменьшению прочности массива, что необходимо учитывать при определении общих углов наклона бортов или углов откосов уступов. Это влияние зависит от системы разработок, свойств горных пород и характера их деформаций при подработке.

В зависимости от структурного и литологического строения массива горных пород степень влияния перечисленных выше факторов на устойчивость бортов различна.

Исходя из основных факторов, оказывающих влияние на устойчивость откосов, ВНИМИ разработал классификацию массивов горных пород по их склонности к деформациям (разд. 3).

Объем и методика инженерно-геологических работ определяются в зависимости от степени сложности геологического строения месторождения, а также стадии его освоения (разведка, проектирование, строительство и эксплуатация). Рекомендации об этом содержатся в «Методическом пособии по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом» (Л.: Недра, 1986).

Методика гидрогеологических исследований зависит от гидрогеологических условий месторождения и содержится в специальной литературе [4, 5].

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

3.1. Устойчивость бортов, уступов и отвалов на разрезах обеспечивается при условиях, когда отношение удерживающих сил, действующих по наиболее напряженной (наиболее слабой) поверхности в прибортовом массиве, к сдвигающим силам по этой поверхности составляет не менее величины нормативного коэффициента запаса устойчивости, т. е. выполняется условие:

$$\frac{\operatorname{tg}\varphi\sum N + CL + A}{\sum T + B} \geq n_H ,$$

где $\operatorname{tg}\varphi\Sigma N + CL$ – сумма сил трения и сцепления, удерживающих откос; ΣT – суммы касательных сил, сдвигающих откос; A – другие силы, удерживающие откос; B – другие силы, сдвигающие откос; n_H – коэффициент запаса устойчивости.

3.2. Величина коэффициента запаса устойчивости устанавливается в зависимости от достоверности исходных геологических данных, используемых в расчетах, технологии разработки месторождения и категории охраняемого объекта. Правила выбора величины коэффициента запаса изложены в разд. 6.

3.3. Оценка устойчивости бортов разрезов, отвалов (оценка соотношения сил) и определение максимальных параметров устойчивых откосов производятся расчетом по методам и схемам, учитывающим геологические условия месторождения и напряженное состояние прибортового массива.

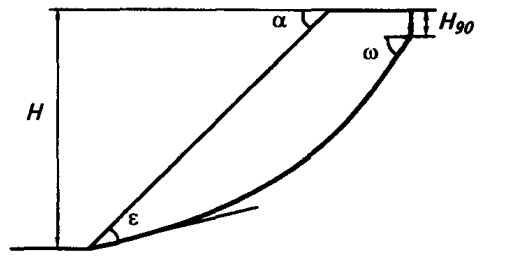
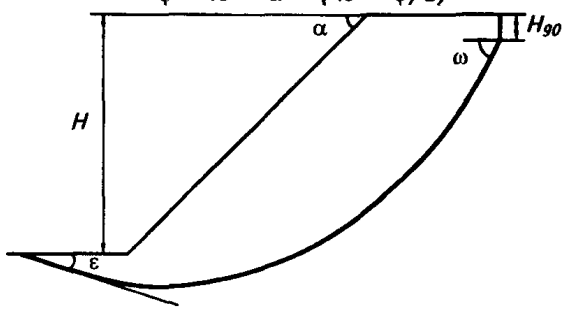
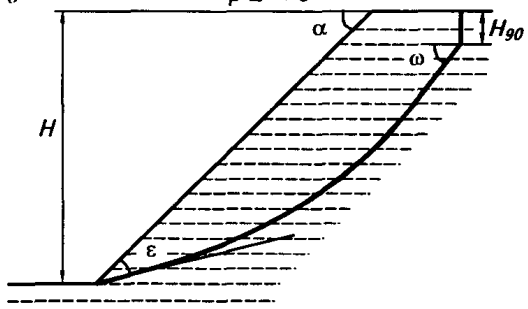
Методы расчета устойчивости откосов, учитывающие напряженное состояние реальных прибортовых и отвальных породных массивов, и схемы расчета, соответствующие характеру их деформирования в различных горно-геологических условиях, представлены в табл. 3.1 и разделах 5, 9.

Изложенные методы расчета при своей относительной простоте обеспечивают необходимую точность и надежность результатов.

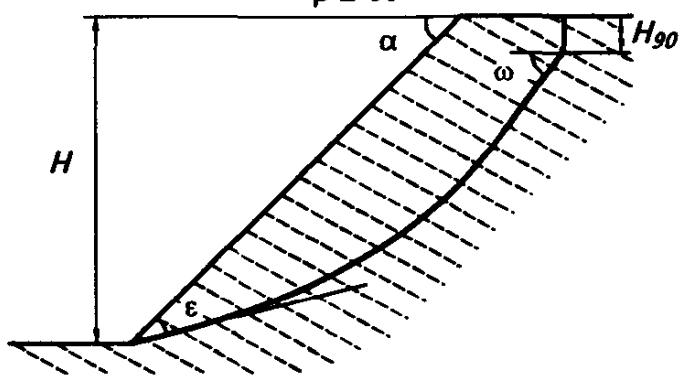
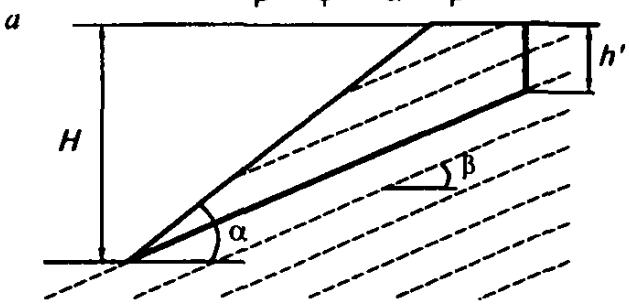
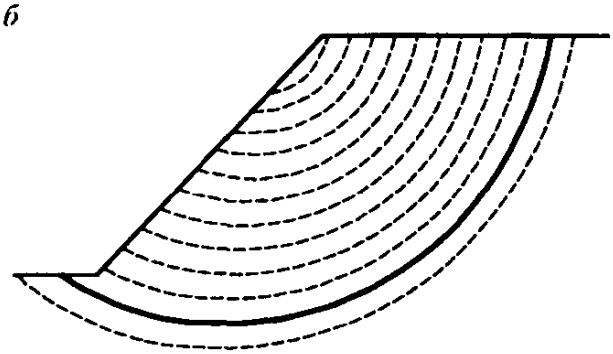
3.4. Основными показателями прочности горных пород для расчетов устойчивости откосов являются характеристики сопротивления сдвигу (срезу) – сцепление C и угол внутреннего трения φ. Наряду с этими характеристиками, используются также характеристики сопротивления сдвигу пород по поверхностям ослабления (по контактам слоев, тектоническим нарушениям и т. п.) – сцепление C' и угол трения φ'.

Таблица 3.1

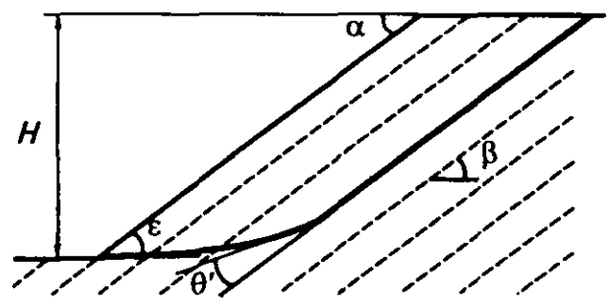
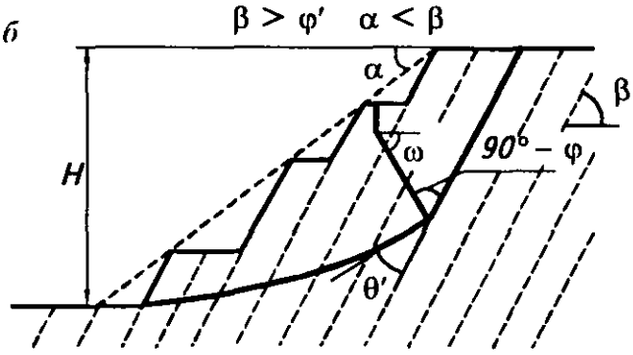
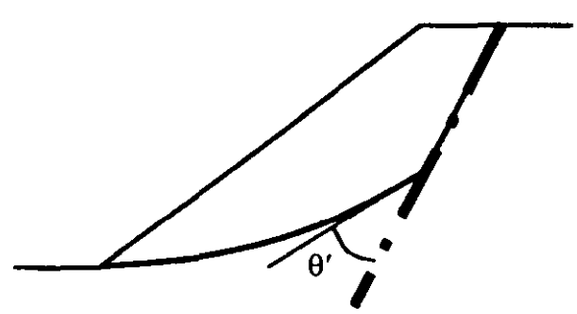
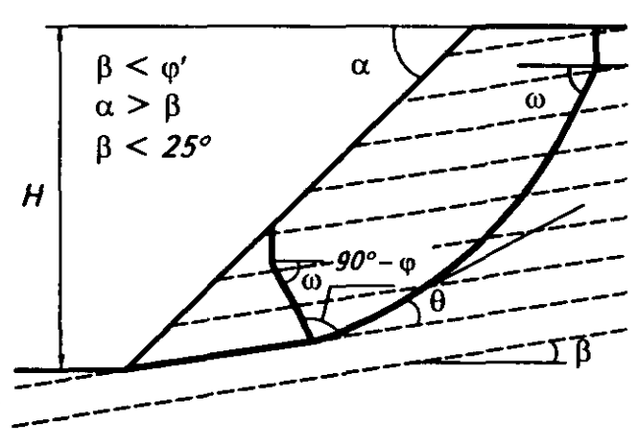
Типовые схемы расчета устойчивости бортов разрезов

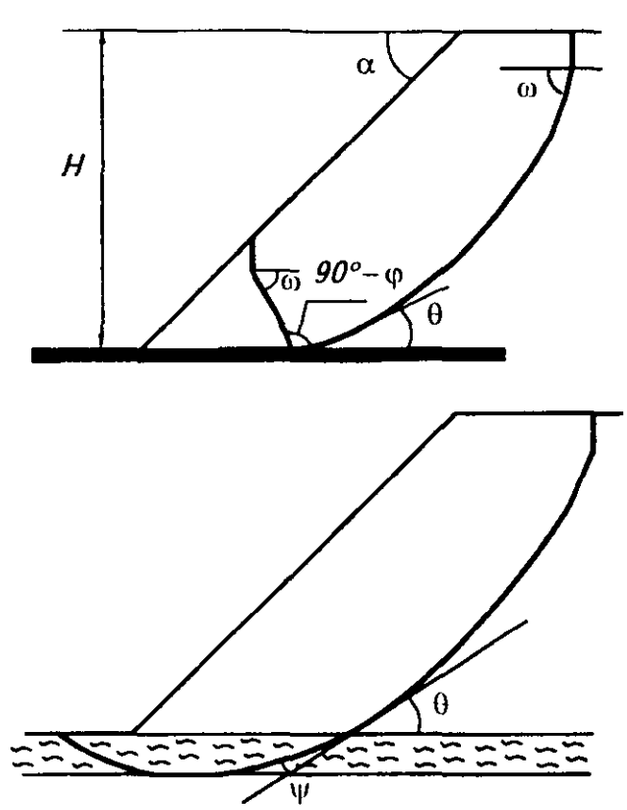
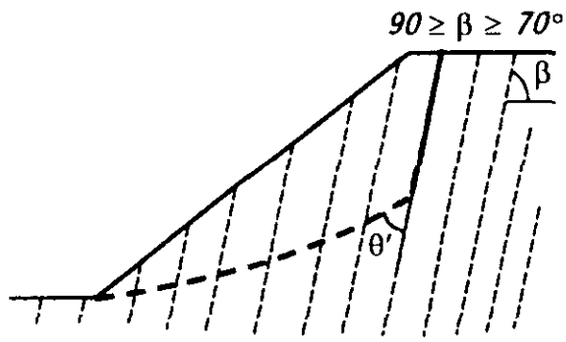
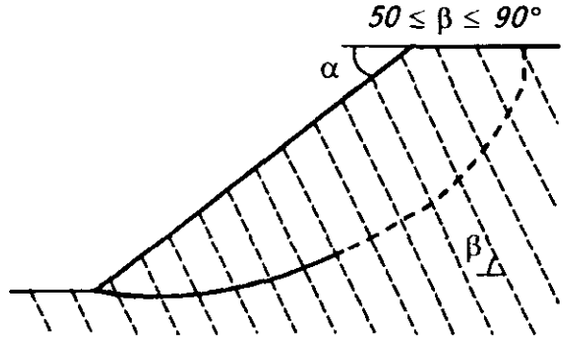
Горно-геологические условия прибортового массива	Расчетные схемы (схемы деформирования откосов)	Пункты разд. 5 с методикой расчета
Отсутствие неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления:	**I группа методов расчета**	
а) однородный (квазиизотропный) откос	*а* $\varphi > 13°$  $\varphi < 13°$ $\alpha < (45° - \varphi/2)$ 	5.2.1–5.2.4
б) слоистая толща с углом падения слоев $\beta \pm < 5°$ при отсутствии слабых пластичных слоев	*б* $\beta \pm < 5°$ 	5.2.5

Продолж. табл. 3.1

Горно-геологические условия прибортового массива	Расчетные схемы (схемы деформирования откосов)	Пункты разд. 5 с методикой расчета
в) слоистая толща при наклонном несогласном с наклоном борта залегании слоев $\beta \le 50°$	*в* $\beta \le 50°$ 	5.2.5
Наличие естественных поверхностей ослабления, влияющих на устойчивость бортов: 1. Поверхность скольжения полностью совпадает с поверхностью ослабления массива: а) наклонные согласно залегающие с откосом поверхности ослабления ($\alpha > \beta > \varphi'$)	**II группа методов расчета** $\beta > \varphi'$ $\alpha > \beta$ *а* 	5.3.3; 5.3.4
б) мульдообразное залегание слоев, согласное с откосом	*б* 	5.3.11

Продолж. табл. 3.1

Горно-геологические условия прибортового массива	Расчетные схемы (схемы деформирования откосов)	Пункты разд. 5 с методикой расчета
2. Поверхность скольжения частично совпадает с поверхностью ослабления: а) уступ, заоткошенный по наслоению, $\beta > \varphi'$, $\alpha = \beta$	*а* $\beta > \varphi'$ $\alpha = \beta$ 	5.3.5–5.3.7
б) наклонное и крутое согласное с откосом залегание слоев $\alpha < \beta < 70°$, $\beta > \varphi'$	*б* $\beta > \varphi'$ $\alpha < \beta$ 	5.3.8; 5.3.9
в) тектоническое нарушение при согласном залегании с бортом	*в* 	
г) пологое залегание естественных поверхностей ослабления при $\beta < \varphi'$, $\beta < 25°$, $\alpha > \beta$	*г* 	5.3.10

Горно-геологические условия прибортового массива	Расчетные схемы (схемы деформирования откосов)	Пункты разд. 5 с методикой расчета
д) горизонтальный или пологозалегающий контакт (пластичный пропласток или слой) или тектоническое нарушение, залегающие в основании борта: – подрезанные горными работами; – расположенные ниже подошвы борта	*д*  	5.3.10
Крутое и вертикальное залегание слоев: а) крутое согласное с наклоном борта залегание слоев при $90 > \beta > 70°$	**III группа методов расчета** *а*  	5.3.12; 5.3.13
б) несогласное с наклоном борта падение слоев $50 \le \beta \le 90°$	*б*  	

В случае, если в геологических материалах прочностные характеристики представлены сопротивлением пород одноосному сжатию σ_o или коэффициентом крепости по М. М. Протодьяконову ($f_{кр} \approx \sigma_0 /100$), переход к сцеплению осуществляется по формуле:

$$C = (\sigma_0/2)\,\mathrm{tg}(45°-\varphi/2),$$

где φ – определяется по таблице (Прил. 17).

Для пластичных пород в расчетах используется полный паспорт прочности, представленный графиком зависимости нормальных и касательных напряжений.

3.5. Принятые для расчетов устойчивости откосов характеристики прочности должны учитывать структурную нарушенность пород в массиве. Способы определения исходных показателей прочностных характеристик пород в трещиноватом, многослойном массиве изложены в разд. 6.1 настоящих Правил.

3.6. Из физических характеристик для расчетов необходим объемный вес пород γ, а для анализа данных о прочности массива – влажность пород W.

Объемный вес пород в многослойном массиве при небольшой изменчивости его значений в каждом слое определяется как средневзвешенный по мощности слоев в целом для всей призмы возможного обрушения по каждому расчетному профилю. При изменчивости с глубиной объемных весов более чем на 10 % средневзвешенные значения определяются отдельно для призмы упора и призмы активного давления.

3.7. Для обводненных откосов наиболее важным гидрогеологическим показателем, который необходимо учитывать в расчетах, являются напоры в пределах призмы возможного обрушения (оползания), характеризующиеся положением депрессионной или пьезометрической поверхностей в этих пределах на рассчитываемый момент времени (определенный год эксплуатации, конец отработки месторождения и т. д.).

3.8. При оценке устойчивости откосов или определении предельных параметров устойчивых откосов используют расчетные характеристики прочности пород, которые получаются путем введения (деления) в исходные характеристики прочности нормативного коэффициента запаса устойчивости; при этом расчеты выполняются на условие предельного равновесия потенциальной призмы обрушения (прибортового массива).

3.9. Расчетам должно предшествовать районирование поля разреза по условиям устойчивости бортов на основе анализа геологических и горно-технических факторов, изложенных в разд. 2.

Поле разреза по указанным факторам делят на участки, каждый из которых имеет относительно выдержанное литологическое, структурно-тектоническое строение и однородные гидрогеологические условия. При районировании следует учитывать также пересеченность рельефа земной поверхности поля разреза и глубину отработки месторождения.

3.10. Особого внимания требуют участки, на которых прибортовой массив имеет наибольшую склонность к деформациям.

К таким участкам следует относить:

а. Борта, расположенные в лежачем боку месторождения. В этих условиях в бортах разреза имеются естественные поверхности ослабления (слоистость, контакты пород и т. д.), падение которых направлено в сторону выемки и которые при определенных обстоятельствах могут реализоваться в поверхности скольжения. Кроме того, естественное дренирование прибортового массива на участке с таким залеганием пород весьма затруднительно и могут сохраняться высокие напоры;

б. Борта, в пределах которых расположены ослабленные зоны или тектонические нарушения, неблагоприятно ориентированные относительно выемки;

в. Борта, в сложении которых участвуют пластичные глинистые породы, даже в том случае, если их удельный вес в общем объеме пород незначителен;

г. Борта, сложенные породами с различными фильтрационными и емкостными параметрами водоносных горизонтов и характеризующиеся особо сложными гидрогеологическими условиями (в процессе ведения горных работ осушения пород не происходит).

3.11. На участках, склонных к деформациям, необходимо закладывать маркшейдерские наблюдательные станции для систематических инструментальных наблюдений за состоянием бортов разрезов. Требования к конструкции реперов, расстоянию между ними, их расположению и методике наблюдений, зависящие от цели и необходимой точности измерений, изложены в специальной литературе [7, 8].

3.12. По результатам маркшейдерских наблюдений принимается решение о необходимости применения противооползневых мероприятий, в качестве которых в зависимости от факторов, вызывающих нарушения баланса сил, действующих в откосе, могут быть использованы: выполаживание борта, дренаж прибортового массива, изменение направления развития горных работ, искусственное укрепление откосов и другие инженерно-технические мероприятия (разд. 8).

Следует иметь в виду, что при наличии в основании бортов и отвалов слабых пластичных прослойков обрушению бортов и отвалов предшествуют прогрессирующие во времени осадки верхней площадки без заметных подвижек призмы упора. В подобной ситуации необходимо остановить производство горных работ и получить заключение специализированной организации о возможности и условиях их продолжения.

3.13. Противооползневые мероприятия необходимо осуществлять на стадии установившегося равновесия сдвигающих сил и внутренних сил сопротивления сдвигу прибортового массива (равновесная стадия), которая предшествует активной стадии деформирования и характеризуется величинами допустимых деформаций.

3.14. Для предварительного прогноза развития деформаций бортов угольных разрезов в различных инженерно-геологических условиях может быть использована классификация массивов горных пород по склонности к деформациям в бортах разрезов, разработанная ВНИМИ, в основу которой заложено структурно-тектоническое строение угольных месторождений (табл. 3.2). Данные таблицы позволяют дать качественную оценку склонности массивов горных пород к деформациям в бортах угольных разрезов.

3.15. При ведении горных работ на деформирующихся участках борта инструментальными маркшейдерскими наблюдениями устанавливается степень опасности фиксируемых деформаций путем сравнения их с прогнозируемыми предельно допустимыми деформациями для этого участка. Указанный прогноз для откосов, сложенных слабыми породами, может быть произведен по методике, изложенной в разд. 7 настоящих Правил. По этой же методике может быть произведен ориентировочный прогноз деформаций откоса, сложенного трещиноватыми породами. Инструментальные маркшейдерские наблюдения, позволяющие судить о характере деформирования участка, являются обязательными.

Методика проведения маркшейдерских наблюдений регламентируется «Инструкцией по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» [7].

3.16. Определение максимальных параметров устойчивых бортов, уступов и отвалов – задача не только экономическая, но в такой же степени экологическая, так как ее надежное решение позволяет сводить до минимума площади отчуждаемой земной поверхности под горные отводы и отвалы.

Для решения этой задачи на всех стадиях освоения месторождений должны максимально использоваться возможности внутреннего отвалообразования, а оптимальная высота яруса и угол наклона устойчивых внешних отвалов должны оцениваться путем сравнительного анализа затрат на их рекультивацию.

3.17. С целью предупреждения катастрофических деформаций на угольных разрезах, проекты разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом на всех стадиях их освоения (строительства, эксплуатации, реконструкции, консервации и погашения горных работ, ликвидации разрезов), решения по корректировке проектов и т. д., составленные проектными, производственными или другими организациями, должны в обязательном порядке проходить геомеханическую экспертизу. Заключение об обоснованности принятых параметров бортов разрезов, откосов уступов и отвалов по условиям их устойчивости может выдавать только специализированная организация, имеющая соответствующую лицензию Госгортехнадзора РФ.

Таблица 3.2

Классификация слоистых массивов горных пород по их склонности к деформациям в бортах разрезов

Условия залегания слоев			Относительная характеристика допустимых деформаций (ориентировочные значения допустимых скоростей смещения, мм/сут*)	Возможная ширина зоны распространения деформаций поверхности вблизи разреза	Условия и причины возникновения деформаций бортов и уступов
Группа	Угол падения слоев β	Направление падения слоев относительно борта			
I	Крутое моноклинальное, складчатое залегание 60–90° 50–90°	Согласное Несогласное	Наибольшие (~8–10) Большие (~6–8)	До 1,5–2 высоты борта	1. Разгрузка тектонических напряжений 2. Консервация высоких напоров в прибортовом массиве 3. Подрезка контактов слоев в лежачем боку месторождения
II	Наклонное моноклинальное, мульдообразное залегание 25–60° 25–50°	Согласное Несогласное	Малые** (~2–4) Небольшие (~4–6)	До 0,8–1,2 высоты борта	1. Консервация напоров в прибортовом массиве, чаще в лежачем боку месторождения 2. Наличие в бортах, расположенных в лежачем боку месторождения, слабых контактов 3. Подрезка поверхностей ослабления
III	Пологое, горизонтальное, слабо-волнистое залегание 0–25°	Согласное Согласное Несогласное	Небольшие** (~4–6) Малые*** (~2–4) Небольшие (~4–6)	До 0,7–1,5 высоты борта	1. Наличие и подрезка слабых контактов слоев или слабых прослоев 2. Сохранение напоров в лежачем боку месторождения 3. Разуплотнение и набухание глинистых пород в уступах 4. Фильтрационные деформации (поверхностная эрозия, оплывание, суффозия и т. д.)

* Значения допустимых деформаций должны определяться для конкретных горно-геологических условий.
** При неподрезанных контактах слоев.
*** При подрезанных контактах слоев.

3.18. При проявлении в процессе эксплуатации месторождений деформаций уступов, бортов или отвалов следует обращаться в специализированные организации для получения рекомендаций по оптимальным мероприятиям, повышающим устойчивость откосов.

3.19. Считать необходимым после подвигания фронта горных работ на разрезе на расстояние более 100 м или понижения горных работ на глубину более 50 м производить сравнение фактически наблюдаемых и представленных в проекте отработки месторождения инженерно-геологических и гидрогеологических условий прибортовых массивов.

При отклонении указанных условий от принятых в проекте следует провести анализ влияния этих изменений на устойчивость откосов и при необходимости произвести корректировку проектных решений.

3.20. Для выполнения п. 3.19 геолого-маркшейдерская служба предприятия в процессе эксплуатации месторождения должна проводить систематические структурные съемки горного массива в забоях выработок, фиксировать участки выхода подземных вод в обнажениях, наблюдать за их сезонными перемещениями.

3.21. Ответственность за своевременное и качественное выполнение работ по наблюдениям за состоянием уступов, бортов, отвалов на действующем предприятии и оперативное решение по обеспечению их устойчивости возлагается на технического руководителя предприятия (главного инженера, технического директора и т. п.).

3.22. При выборе схемы вскрытия угольных пластов и направления развития горных работ должно учитываться их влияние на устойчивость бортов въездных и разрезных траншей, рабочих бортов и внутренних отвалов. Способы такого учета изложены в разд. 8.

4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА РАЗРЕЗАХ

Абсолютное смещение горных пород – перемещение одной части горного массива относительно другой, неподвижной его части; определяется путем инструментальных маркшейдерских измерений, упрощенных наблюдений и характеризуется вектором смещения.

Активная стадия развития деформаций откосов – период с момента появления видимых признаков разрушения массива горных пород до начала стадии затухания деформаций.

Анизотропная горная порода – горная порода, свойства которой в различных направлениях неодинаковы; ярко выраженной механической анизотропией обладают многие осадочные породы (сланцы, глины), прочность которых вкрест наслоения в несколько раз выше, чем по наслоению.

Борт разреза (карьера)* – боковая поверхность, ограничивающая разрез. Профиль **б.р.** в вертикальной плоскости может быть плоским, выпуклым, вогнутым и ломаным; в плане – прямолинейным и криволинейным. Различают рабочие и постоянные (нерабочие) **б.р.**; характеризуется борт разреза высотой и углом наклона.

Бровка уступа – линия пересечения поверхности откоса уступа (яруса отвала) с поверхностью верхней или нижней площадок, ограничивающих уступ по высоте, соответственно называемая верхней и нижней бровкой.

Вектор смещения – направленный отрезок, изображающий в некотором масштабе абсолютное смещение отдельной точки дневной поверхности или массива горных пород в пространстве на определенный момент времени.

Величина сдвига горных пород (угол сдвига) – отношение разности абсолютных смещений отдельных точек массива к расстоянию между ними по нормали к направлению смещения.

Величина смещения оползня (обрушения) – горизонтальное проложение пути, пройденного смещенными породами от нижней бровки откоса по направлению смещения.

---

* В дальнейшем все, что касается угольных разрезов, относится и к карьерам.

Вертикальные деформации – деформации земной поверхности или массива горных пород в вертикальной плоскости.

Время стояния откоса – промежуток времени, в течение которого откос находится в нерабочем состоянии.

Высота деформированного откоса – разность между максимальной и минимальной высотными отметками откоса до нарушения его устойчивости.

Гидродинамическая сила – объемная сила, направление которой совпадает с направлением потока, а величина равна градиенту потока, умноженному на объем потока в пределах рассматриваемого массива.

Гидроотвал – намывное сооружение, сформированное в результате планомерного складирования вскрышных пород, разрабатываемых средствами гидромеханизации, в емкость, заранее подготовленную путем строительства ограждающих дамб.

Горизонтальные деформации – характеризуют изменение положения точек земной поверхности или массива горных пород в плане.

График (паспорт) прочности горной породы – график зависимости разрушающих касательных напряжений от нормальных, характеризующий сопротивление сдвигу, сцепление, угол внутреннего трения и сопротивление отрыву горной породы.

Деформация горных пород – изменение формы и объема горных пород под действием различных сил.

Динамическая нагрузка – кратковременное силовое воздействие на массив горных пород, вызванное работой горнотранспортного оборудования, сейсмическим воздействием взрывных работ или землетрясением.

Закол – визуально прослеживаемая трещина в откосе, на верхней площадке уступа или земной поверхности, образовавшаяся в результате развития деформаций откоса.

Заоткоска уступа – работы по приданию уступу угла, обеспечивающего устойчивость откоса в его предельном положении.

Изотропная горная порода – горная порода, механические свойства которой в различных направлениях одинаковы.

Интенсивность трещиноватости – величина, обратная среднему размеру (в метрах) элементарного блока породы, ограниченного смежными трещинами трех наиболее интенсивных систем.

Исходный репер – см. Репер.

Контурное взрывание – способ заряжания и взрывания зарядов в оконтуривающих шпурах (скважинах), обеспечивающий получение

относительно ровной поверхности выработки с минимальными нарушениями сплошности пород за пределами ее проектного профиля.

Коэффициент запаса устойчивости – отношение суммы всех сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме всех сдвигающих сил, стремящихся вывести его из равновесия; действие этих сил во всех инженерных методах расчета устойчивости откосов переносится на расчетную или потенциальную (наиболее напряженную) поверхность скольжения.

Коэффициент структурного ослабления – соотношение прочности горных пород в массиве и образце.

Критическая деформация бортов разрезов – величина предельного значения относительного сдвига, соответствующего разрушению породы.

Маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов (бортов разрезов) – процесс маркшейдерских измерений, вычислений и графических работ для своевременного выявления параметров сдвижения горных пород, установления формы оползня, характера его развития во времени и пространстве.

Маркшейдерская наблюдательная станция – совокупность реперов, заложенных по определенной системе на земной поверхности, уступах борта разреза или отвала с целью изучения, посредством систематических инструментальных маркшейдерских измерений, закономерностей деформирования горных пород в откосах.

Надподошвенные оползни отвалов – смещение песчано-глинистых пород, размещаемых на устойчивом основании; поверхность скольжения полностью формируется в насыпном массиве.

Наиболее напряженная поверхность – поверхность в примыкающем к борту (откосу уступа или отвала) массиве, верхней своей частью выходящая на земную поверхность (верхнюю площадку уступа или отвала), а нижней – в подошву (нижнюю бровку) борта (откоса уступа или отвала), по которой коэффициент запаса устойчивости борта (откоса уступа или отвала) является минимальной величиной из всех вычисленных по ряду расчетных поверхностей коэффициентов запаса устойчивости.

Обрушение – отрыв и быстрое смещение вниз горных пород (блоков и пачек пород), слагающих откос, сопровождающееся дроблением смещающегося массива по поверхности, совпадающей с различного рода нарушениями сплошности массива.

Опасные деформации горных пород – деформации отвалов, уступов и бортов разрезов, а также прилегающей к разрезу территории, способные вызвать аварии горно-транспортного оборудования и угрожающие безопасности работ на разрезах.

Оплывание – процесс переноса и переотложения грунтовых частиц подземными водами, вытекающими на откос в песчаных отложениях в пределах промежутка высачивания; формируются языки оплывания в основании фильтрующих откосов.

Оползень – медленное смещение масс горных пород, слагающих откос (нередко и его основание), происходящее в виде скользящего движения между смещающимися породами и неподвижным массивом. Является наиболее крупным по размерам видом нарушения устойчивости откосов. **О.** связан, главным образом, с наличием в толще горных пород слабых увлажненных слоев, контактов, даек, тектонических нарушений.

Опорный репер – см. Репер.

Осыпь – накопление продуктов осыпания горных пород у основания откоса. **О.** характерны для всех видов горных пород и затрагивают, как правило, приповерхностную часть крутых откосов. **О.** способствуют выполаживанию общего угла наклона борта разреза за счет уменьшения площадок (берм) уступов.

Откос – наклонная или вертикальная поверхность открытой горной выработки или искусственной насыпи (отвала).

Поверхность скольжения – поверхность в массиве борта разреза (откоса уступа или отвала), являющаяся геометрическим местом точек максимальных относительных сдвигов горных пород и отделяющая смещающуюся часть от основной неподвижной части массива горных пород.

Погашение уступов – оформление рабочих уступов на предельном контуре.

Подошвенные (контактные) оползни – оползни отвалов, возникающие при размещении отвальных пород на горизонтальном или наклонном слоистом основании с падением слоев согласно откосу и низким сопротивлением сдвигу по контактам слоев; поверхность скольжения в призме упора проходит по ослабленному контакту.

Подподошвенные оползни отвалов – возникают при размещении отвалов на слабом основании (заболоченных участках или обводненных пластичных породах лежачего бока). Основным внешним признаком этих оползней, по которому они отличаются от надподошвенных и подошвенных оползней, является наличие вала выпирания пород оползня, возникающего перед откосом отвала.

Подтопленный откос – откос открытой горной выработки, нижняя часть которого находится в зоне затопления.

Полный вектор смещения – см. Вектор смещения.

Потенциальная (расчетная) поверхность скольжения – поверхность в массиве, примыкающем к борту разреза (откосу

уступа или отвала), по которой производится оценка (прогноз) устойчивости откосов.

Предварительное щелеобразование – проходка защитной щели (экранирующей, экрано-врубовой отрезной) путем взрывания зарядов в сближенных контурных скважинах до подхода фронта рабочих уступов к предельному контуру разреза с целью снижения деформаций массива за контуром погашения.

Предельная высота вертикального откоса – максимальная высота откоса, при которой вертикальное обнажение устойчиво.

Предельная деформация борта – наибольшая величина сдвига пород, слагающих борт разреза, предшествующая активной стадии развития деформаций.

Предельная деформация сдвига – относительная деформация сдвига, установленная лабораторными испытаниями пород или натурными наблюдениями, по достижении которой наступает разрушение породы. П.д.с. может быть достигнута в течение короткого времени при большом напряжении и больших скоростях ползучести или в течение длительного времени при меньшем напряжении и меньших скоростях ползучести.

Прибортовой массив – часть массива горных пород, заключенная между бортом разреза и поверхностью, ограничивающей область возможных микроподвижек в массиве в период скрытой стадии развития оползня (обрушения). Параметры прибортового массива зависят от прочностных и структурных характеристик горного массива.

Пригрузка откоса – отсыпка упорной призмы вдоль фронта откоса с целью предотвращения его деформаций.

Призма активного давления – верхняя часть призмы возможного обрушения, оконтуренная крутым участком наиболее напряженной поверхности со значениями углов наклона, превышающими величину угла внутреннего трения массива; на этом участке внешние сдвигающие призму силы превышают внутренние силы сопротивления смещению.

Призма возможного обрушения борта разреза (откоса уступа, отвала) – часть массива горных пород (отвальных масс), заключенная между бортом разреза (откосом уступа или отвала) и наиболее напряженной поверхностью в массиве.

Призма упора – нижняя часть призмы возможного обрушения, оконтуренная пологим участком наиболее напряженной поверхности со значениями углов наклона, меньшими величины угла внутреннего трения массива; на этом участке внутренние силы сопротивления смещению призмы превышают внешние сдвигающие силы.

Противооползневые мероприятия – комплекс профилактических мер, направленных на предупреждение, локализацию и предотвращение опасных деформаций (не только оползневых) откосов отвалов, уступов и бортов разреза.

Профильная линия – часть маркшейдерской наблюдательной станции в виде прямой или ломаной линии, по которой расположены реперы для наблюдения за деформациями горных пород.

Рабочий репер – см. Репер.

Расчетные характеристики – показатели физико-механических свойств горных пород, используемые при расчете устойчивости.

Репер – закрепленная в натуре (на земной поверхности, в массиве горных пород или в горной выработке) маркшейдерская точка с известными координатами. Различают глубинные, исходные, опорные и рабочие реперы.

Сила гидростатического давления – совместное действие гидростатического взвешивания и гидродинамической силы, распределенное по вероятной поверхности скольжения и направленное по нормали к ней.

Скорость смещения точек массива – величина смещения рабочих реперов маркшейдерской наблюдательной станции за определенный промежуток времени по направлению вектора смещения.

Скрытая стадия развития оползня – период от начала развития микроподвижек в массиве до появления видимых признаков формирования оползня (появление трещин на земной поверхности, выпирание пород в основании борта разреза и т. д.). Скорость смещения точек массива к концу скрытой стадии 1–10 мм/сутки.

Стадия затухания оползня – период смещения оползневых масс с уменьшающейся скоростью до полного прекращения смещения.

Суффозия механическая – процесс механического выноса мелких частиц под влиянием гидродинамических сил при фильтрации подземных вод в массивах рыхлых песчаных пород, неоднородных по гранулометрическому составу.

Трещина отрыва – верхняя вертикальная часть поверхности скольжения.

Угол внутреннего трения горных пород – угол, тангенс которого равен коэффициенту внутреннего трения породы (угол наклона прямолинейной части графика сдвига горной породы к оси нормальных напряжений).

Угол естественного откоса – наибольший угол, который может быть образован откосом свободно насыпанной горной массы в состоянии равновесия с горизонтальной плоскостью; зависит от круп-

ности и формы частиц породы, шероховатости их поверхности, а также от плотности и влажности породы.

Угол наклона борта разреза – угол в плоскости, нормальной к простиранию борта разреза, образованный горизонтом с условной поверхностью, проходящей через верхнюю и нижнюю бровки разреза.

Угол откоса уступа – угол в плоскости, нормальной к простиранию уступа, между линией, соединяющей верхнюю и нижнюю бровки уступа, и ее проекцией на горизонтальную плоскость.

Угол откоса яруса отвала – угол в плоскости, нормальной к простиранию откоса отвала, между линией, соединяющей верхнюю и нижнюю бровки яруса отвала, и ее проекцией на горизонтальную плоскость. В большинстве случаев это угол естественного откоса горных пород.

Фильтрационные деформации откосов – деформации, вызываемые подземными водами: оплывание, суффозия, фильтрационный вынос вдоль трещин.

Ширина зоны деформирования земной поверхности – расстояние от верхнего контура разреза до границы, за которой микродеформации не проявляются.

Ширина зоны заколов – расстояние от верхнего контура (бровки) разреза (уступа) до наиболее удаленного от него закола или трещины.

Ширина призмы возможного обрушения – участок земной поверхности или площадки уступа между бровкой и контуром потенциальной поверхности скольжения.

Эквивалентный угол наклона бортов выпуклого и вогнутого профилей – фиктивный угол наклона борта разреза плоского профиля той же высоты, при котором объем вскрыши, необходимый для его оформления, эквивалентен объемам вскрыши при оформлении бортов выпуклого и вогнутого профилей.

5. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ

5.1. МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ГОРНЫХ ПОРОД

5.1.1. Существующие методы расчета устойчивости откосов базируются на теории предельного равновесия "сыпучей среды", включающей также и предельное равновесие связной среды с трением, к которой относится массив горных пород [3, 10, 11, 12, 13, 14].

Основное условие предельного равновесия по любой площадке в откосах горных пород имеет вид:

$$\tau = f(\sigma_n), \tag{5.1}$$

где τ и σ_n – касательные и нормальные напряжения по заданной площадке.

В однородном откосе элементарные площадки скольжения возникают с глубины

$$H_{90} = \frac{\sigma_0}{\gamma} = \frac{2C}{\gamma}\operatorname{ctg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right). \tag{5.2}$$

В неоднородном откосе они возникают при напряжениях

$$\sigma_1 = \sigma_0 = 2C\operatorname{ctg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right), \tag{5.3}$$

где σ_0 – прочность пород на одноосное сжатие; C – сцепление породы; φ – угол внутреннего трения породы; γ – вес единицы объема горных пород (объемный вес).

5.1.2. По принципу определения параметров устойчивого откоса можно выделить [3]:

а. Методы, предусматривающие построение контура откоса, являющегося внешней границей зоны, во всех точках которой удовлетворяется условие предельного равновесия;

б. Методы, предусматривающие построение в массиве откоса поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие предельного равновесия.

Для практического использования в расчетах устойчивости откосов применяют методы, основанные на том, что предельное напряженное состояние в откосе удовлетворяется по внутренней наиболее напряженной поверхности.

5.1.3. Прочность и условия залегания пород, ориентировка крупных естественных поверхностей ослабления в массиве горных пород относительно простирания откоса предопределяют характер деформирования бортов карьеров и, следовательно, форму потенциальной поверхности скольжения и выбор схем расчета их устойчивости.

5.1.4. Положение наиболее напряженной поверхности скольжения в откосе определяется, как правило, расчетом, основанным на сопоставлении удерживающих и сдвигающих усилий, возникающих по потенциальным поверхностям скольжения под действием сил веса вышележащих пород, сопротивления их срезу (сдвигу), сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления.

Та из нескольких (не менее трех) рассматриваемых потенциальных поверхностей скольжения, по которой отношение удерживающих и сдвигающих усилий минимально, и является наиболее напряженной потенциальной поверхностью скольжения.

5.1.5. Для оценки условий равновесия массив, оконтуренный потенциальной поверхностью скольжения, разбивается на расчетные блоки, размеры которых определяются из условия, что участки поверхности скольжения их основания могут быть представлены прямолинейными отрезками.

Для каждого из выделенных блоков составляется уравнение баланса сил, принимаемых в расчет.

Методы расчетов, основанные на теории предельного равновесия, различаются в зависимости от ориентировки боковых граней расчетных блоков, принимаемых в расчет сил и способа их суммирования.

5.1.6. *Метод алгебраического сложения сил* основан на алгебраическом сложении удерживающих и сдвигающих сил по потенциальной поверхности скольжения (рис. 5.1.1).

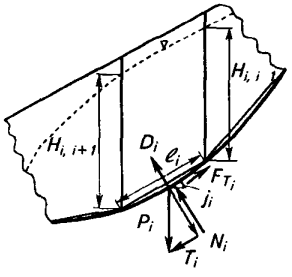


Рис. 5.1.1

При этом в расчет принимаются следующие силы:

N_i, T_i – соответственно нормальная и касательная составляющие веса расчетного блока:

$N_i = P_i \cos j_i$; $T_i = P_i \sin j_i$;

D_i – сила гидростатического давления, направленная перпендикулярно основанию расчетного блока и численно равная произведению среднего значения гидростатического давления $\gamma_в H_{ср_i}$ на протяженность обводненной части блока ℓ'_i:

$$D_i = \gamma_в H_{ср_i} \ell'_i, \qquad (5.4)$$

где

$$\gamma_в H_{ср_i} = \gamma_в \frac{H_{i,i-1} + H_{i,i+1}}{2}; \qquad (5.5)$$

F_{T_i} – силы сопротивления срезу (сдвигу) по основанию блока:

$$F_{T_i} = N_i \operatorname{tg}\varphi_i + C_i \ell_i, \tag{5.6}$$

где φ_i, C_i – расчетные характеристики прочности пород.

Общее уравнение равновесия, определяющее разность удерживающих и сдвигающих сил по потенциальной поверхности скольжения, по методу алгебраического сложения сил имеет вид:

$$\Delta T = \sum_i \left[(N_i - D_i) \operatorname{tg}\varphi_i + C_i \ell_i - T_i \right]. \tag{5.7}$$

Если по наиболее напряженной поверхности разность удерживающих и сдвигающих сил ΔT равна нулю, то массив находится в предельном состоянии.

5.1.7. Коэффициент запаса устойчивости откоса n по методу алгебраического сложения сил определяется для наиболее напряженной поверхности скольжения по формуле:

$$n = \frac{\sum_i \left[(N_i - D_i) \operatorname{tg}\varphi_i + C_i \ell_i \right]}{\sum_i T_i}. \tag{5.8}$$

5.1.8. Метод алгебраического сложения сил может быть использован, если потенциальная поверхность скольжения имеет вид плавной кривой.

Этот метод не учитывает реакции между блоками и исходит из того, что призма возможного обрушения деформируется как единое целое. Это приводит к тому, что коэффициент запаса, рассчитанный методом алгебраического сложения сил, заведомо меньше фактического, а степень этого несоответствия зависит от высоты откоса, его угла и углов внутреннего трения пород и может колебаться от 3 до 20 %.

При небольшой высоте откосов (до 100 м) и небольших значениях углов внутреннего трения пород ($\varphi < 20°$) этот метод дает достаточно надежные результаты.

5.1.9. Метод алгебраического сложения сил применяется также при оценке устойчивости откосов в слабых водонасыщенных горных породах глинистого и песчано-глинистого состава, когда в условиях всестороннего сжатия при определенных величинах напряжений прочностные характеристики данных разностей не могут быть представлены постоянными величинами φ и C, так как у этих пород сопротивление сдвигу перестает возрастать при росте нормальных напряжений.

Оценку устойчивости откосов по наиболее слабой поверхности в этом случае производят, пользуясь общим сопротивлением сдвигу горных пород в каждой точке наиболее напряженной поверхности скольжения без разделения на силы трения и сцепления. Общее сопротивление сдвигу определяется путем испытаний пород на срез при различных

нормальных напряжениях и построения графика сопротивления сдвигу для каждого слоя породы [3, 14].

Оценка устойчивости откоса в этом случае производится сравнением эпюры предельно допустимых касательных напряжений и эпюры касательных напряжений в рассматриваемом откосе по формуле:

$$\sum \tau_{доп} / \sum \tau_{сдв} \geq 1, \qquad (5.9)$$

где $\sum \tau_{доп}$ – сумма допустимых касательных напряжений, взятых с графиков сопротивления сдвигу при соответствующих нормальных напряжениях; $\sum \tau_{сдв}$ – сумма сдвигающих напряжений, возникающих по наиболее слабой поверхности, являющихся касательными составляющими веса пород по этой поверхности.

Пример расчета коэффициента запаса устойчивости по изложенной схеме для конкретного откоса приведен в Прил. 2.

5.1.10. Наиболее универсальным для оценки устойчивости бортов и откосов в реальных горно-геологических условиях является *метод векторного сложения сил* (метод многоугольника сил), учитывающий реакции между блоками, на которые по определенным признакам разбивается призма возможного обрушения [3, 14].

При расчете методом многоугольника сил точность расчета зависит от расположения границ между смежными блоками и от направления реакции между ними. Достаточная точность расчетов достигается, когда границы между блоками принимают подобно расположению второго семейства поверхностей скольжения при расчете методом предельно напряженного состояния, т. е. под углом (90° – φ) к первому семейству поверхностей скольжения (рис. 5.1.2).

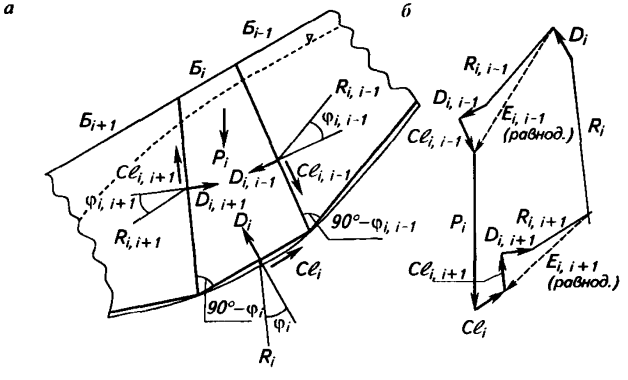


Рис. 5.1.2. Схема многоугольника сил:

а – силы, действующие на расчетный блок горных пород Бi; *б* – многоугольник сил

При этом в расчет принимаются следующие силы:

P_i – вес рассматриваемого блока;

$C\ell_{i,\,i+1}$, $C\ell_{i,\,i-1}$, $C\ell_i$ – силы сцепления, направленные параллельно соответствующим границам блока;

$R_{i,\,i+1}$, $R_{i,\,i-1}$, R_i – реакции по границам блока;

$D_{i,\,i+1}$, $D_{i,\,i-1}$, D_i – силы гидростатического давления по границам блока.

Силы гидростатического давления вычисляются по формулам (5.4), (5.5). Сложение векторов всех сил, действующих на призму возможного обрушения, разбитую на расчетные блоки, можно выполнить в аналитическом или графическом виде. Пример графического сложения векторов (построения многоугольника сил) и определения результирующей невязки ΔF приведен на рис. 5.2.2.

5.1.11. Для откоса, находящегося в предельном устойчивом состоянии с заданным коэффициентом запаса, многоугольник сил, построенный по наиболее напряженной поверхности скольжения для всей призмы возможного обрушения, должен замыкаться. Это означает, что его устойчивость обеспечивается с коэффициентом запаса, близким к введенному в прочностные характеристики пород.

Если при расчете многоугольник сил не замыкается, т. е. существует невязка сил ΔF, то устойчивость откоса не соответствует принятому коэффициенту запаса. Для определения коэффициента запаса устойчивости откоса в этом случае необходимо повторить расчет по наиболее напряженной поверхности скольжения при других значениях коэффициентов запаса, введенных в прочностные характеристики. Это позволит построить график зависимости невязок ΔF от коэффициентов запаса n (рис. 5.1.3) и получить искомый коэффициент запаса.



Рис. 5.1.3. График зависимости $\Delta F = f(n)$

5.1.12. Оценку степени устойчивости существующего однородного откоса с фактическими параметрами с удовлетворительной точностью можно произвести, используя графики зависимости H от α (Прил. 1). Для этого в характеристики прочности пород, слагающих откос, вводят необходимый коэффициент запаса n_1, и для полученных значений C_{n_1} и φ_{n_1} определяют предельный угол наклона устойчивого борта при заданной высоте.

Если полученное значение угла наклона борта существенно не отличается от фактического (до 5°), то искомый коэффициент запаса n_Φ можно определить по формуле:

$$n_\phi = \frac{n_1 \operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_\phi}, \qquad (5.10)$$

где n_ϕ, n_1 – определяемый и введенный в прочностные характеристики пород в массиве коэффициенты запаса устойчивости; α_ϕ, α_1 – фактический и полученный по графику углы наклона борта.

5.2. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПРИ ОТСУТСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ

5.2.1. В однородном откосе в общем случае форму поверхности скольжения, по которой производится сравнение сдвигающих и удерживающих сил, принимают плавной криволинейной, близкой к круглоцилиндрической. Построение такой поверхности (рис. 5.2.1, *а*) основано на том, что площадки скольжения возникают на глубине H_{90} – по формуле (5.2) и наклонены при этом под углом (45° + φ/2) к горизонту; на свободную поверхность откоса поверхность скольжения выходит под углом (45° – φ/2) [3].

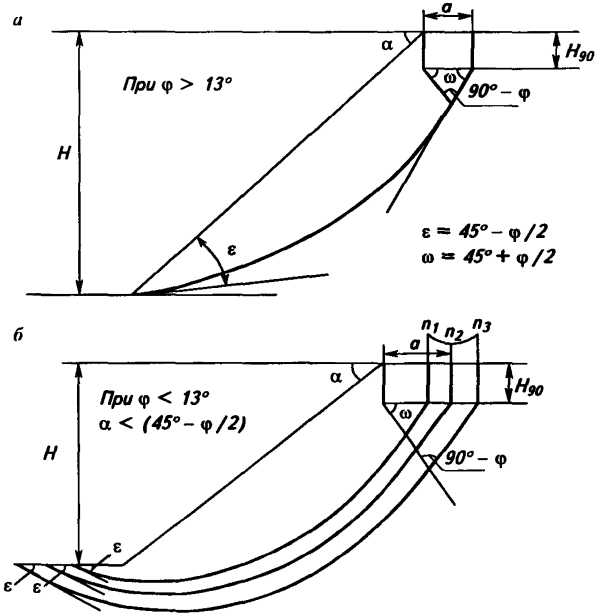


Рис. 5.2.1. Построение поверхности скольжения в однородном откосе

В породах с углом внутреннего трения $\varphi < 13°$ и углом откоса $\alpha < (45° - \varphi/2)$ (откос находится в предельном равновесии) поверхность скольжения выходит в основание откоса под углом $(45° - \varphi/2)$ на некотором расстоянии от нижней бровки откоса (см. рис.5.2.1, *б*).

Положение наиболее напряженной поверхности, по которой отношение удерживающих и сдвигающих усилий минимально, определяется расчетом, как минимум по трем поверхностям скольжения.

При построении поверхности скольжения в исходные характеристики прочности пород предварительно вводится коэффициент запаса.

Расчет устойчивости однородного откоса может быть произведен методом алгебраического сложения сил (рис. 5.1.1) при $\varphi < 20°$ или методом многоугольника сил (рис. 5.1.2). Пример расчета однородного обводненного откоса методом многоугольника сил приведен на рис. 5.2.2.

5.2.2. В реальных условиях полностью осушенные откосы встречаются редко. Чаще всего они обводнены, и подземные воды могут оказывать существенное влияние на устойчивость бортов, уступов и отвалов на разрезах [3, 4, 5, 15, 16].

Степень этого влияния зависит от уровней подземных вод, которые формируются при дренирующем воздействии разреза и должны определяться в каждом конкретном случае гидрогеологическими службами разрезов или специализированными организациями [4, 5].

Если в прибортовом массиве формируется единый безнапорный водоносный горизонт, то при оценке устойчивости откосов с небольшой погрешностью плавную поверхность уровней в пределах призмы возможного обрушения можно представить на разрезе ломаной линией, состоящей из двух прямых (линия ABC на рис. 5.2.2).

Параметры линии ABC (H', J) выбираются таким образом, чтобы значения сил гидростатического давления D_i, действующих на призму возможного обрушения и вычисленных по формулам (5.4), (5.5), максимально соответствовали фактическим.

5.2.3. Определение максимальной высоты вертикального откоса $H_в$, сложенного однородными породами, производится по формуле:

$$H_в = H_{90}\left(1+\sqrt{\frac{\sigma_{p_л}}{C_л}\operatorname{ctg}\left(45° - \frac{\varphi_л}{2}\right)}\right), \qquad (5.11)$$

где $H_{90} = \frac{2C_л}{\gamma}\operatorname{ctg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$ – глубина трещины отрыва, м; $C_л$ – расчетная величина сцепления пород, т/м^2; γ – объемный вес пород в массиве, т/м^3; $\varphi_л$ – расчетная величина угла внутреннего трения горных пород, (...°); $\sigma_{p_л}$ – расчетная величина удельного сопротивления отрыву горных пород, т/м^2.

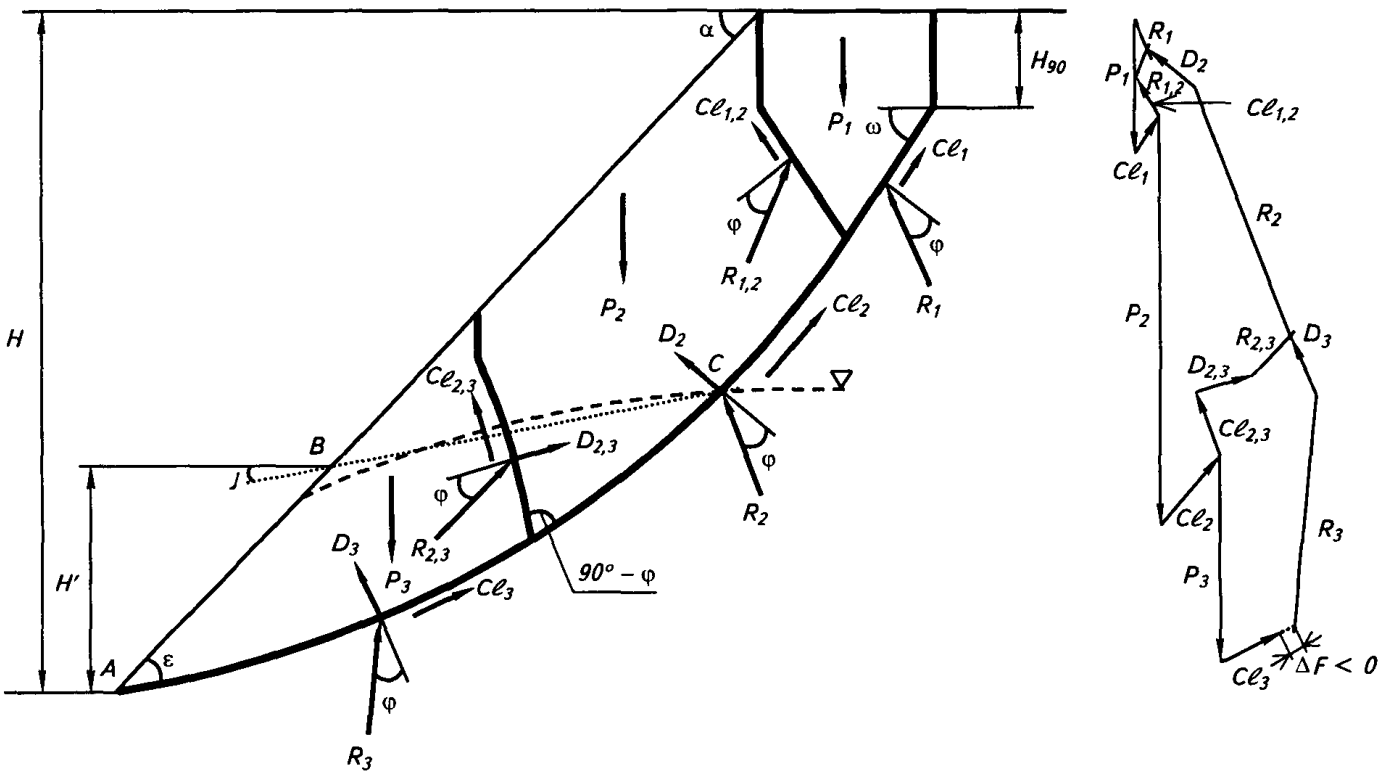


Рис. 5.2.2. Схема расчета обводненного изотропного откоса методом многоугольника сил

Расчетная ширина призмы обрушения вертикального откоса определяется по формуле:

$$a = H_{90}\sqrt{\frac{\sigma_{p_n}}{C_n}\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2}\right)}. \qquad (5.12)$$

5.2.4. Предельные параметры устойчивых бортов разрезов и уступов можно получить, пользуясь специально рассчитанными графиками. С этой целью для условий однородного откоса методом многоугольника сил ВНИМИ построены графики зависимости между высотой плоского откоса H и углом его наклона α для различных углов внутреннего трения φ и сцепления C пород, по которым можно оценивать устойчивость борта с заданными параметрами или определять допустимые параметры борта при заданном коэффициенте запаса устойчивости (Прил. 1).

Такие графики рассчитаны для различных условий обводнения откосов, характеризующихся коэффициентом k:

$$k = H'/H, \qquad (5.13)$$

где H' – условная высота промежутка высачивания (см. рис. 5.2.2).

5.2.5. В многослойной толще при горизонтальном и близком к нему ($\beta \pm < 5^\circ$) залегании слоев наличие этих естественных поверхностей ослабления практически не влияет на форму поверхности скольжения, и ее построение производят в соответствии с п. 5.2.1. Оценка устойчивости откосов в этом случае аналогична описанным в пп. 5.2.2, 5.2.3 и для нее могут быть использованы графики, приведенные в Прил. 1. При этом средние значения расчетных физико-механических характеристик должны быть определены с учетом удельного веса сопротивления сдвигу каждого инженерно-геологического комплекса (слоя) в общем сопротивлении сдвигу по наиболее напряженной поверхности скольжения (подраздел 6.1).

Исключение составляют случаи, когда в многослойной толще залегают слабые пластичные слои, которые независимо от условий их залегания формируют участок поверхности скольжения в этом слое. Схема расчета, которая применима для этих условий, приведена в п. 5.1.6.

5.3. РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ В СЛОИСТОЙ ТОЛЩЕ

5.3.1. Массив горных пород, в большинстве своем, содержит природные (естественные) поверхности ослабления (контакты слоев, трещины большого протяжения, тектонические нарушения и др.), прочность вдоль которых значительно ниже, чем вкрест простирания, и которые, в определенных условиях, частично или полностью формируют поверхности скольжения.

Угол падения естественных поверхностей ослабления и ориентировка их относительно простирания борта разреза или откоса уступа определяют схему расчета устойчивости откоса.

5.3.2. Схема расчета высоты вертикального откоса $H'_в$ при неблагоприятном залегании поверхностей ослабления (направление падения их в сторону выемки), если $\beta > \varphi'$ (расчет предельной высоты подрезки слоев), представлена на рис. 5.3.1.

Высота вертикального откоса вычисляется по формуле:

$$H'_в = h' + \sqrt{\frac{2\sigma_p h'}{\gamma} \operatorname{tg}\beta \operatorname{ctg}(\beta - \varphi')}\,, \qquad (5.14)$$

где

$$h' = \frac{C' \cos\varphi'}{\gamma \cos\beta \sin(\beta - \varphi')}\,, \qquad (5.15)$$

h' – глубина, при которой возникают площадки скольжения на контакте (глубина трещины отрыва), м; C' – сцепление пород по контактам, т/м²; φ' – угол трения по контактам пород, (...°); β – угол падения слоев пород, (...°); σ_p – удельное сопротивление отрыву пород, т/м².

Схема применима при условии $h' \le H_{90}$ и $H_в' \le H_в$.

Примечание. Трещина отрыва не образуется, если σ_p по этой трещине больше сопротивления сдвигу по поверхности ослабления в пределах призмы возможного обрушения (см. рис. 5.3.1).

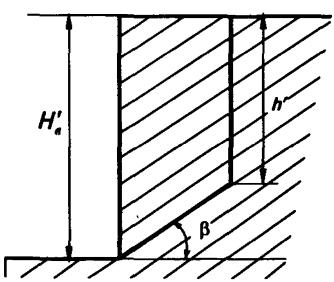


Рис. 5.3.1. Схема расчета высоты вертикального откоса при наличии поверхностей ослабления

5.3.3. Схема расчета высоты уступа или небольшого по высоте участка борта при падении поверхности ослабления согласно с откосом под углом более угла трения ($\beta > \varphi'$) и угле откоса уступа большем угла падения поверхности ослабления ($\alpha > \beta$) представлена на рис. 5.3.2.

Высота откоса вычисляется по формуле:

$$H = \frac{C' \cos\varphi'}{\gamma \cos\beta \sin(\beta - \varphi')\left(1 - \sqrt{\operatorname{ctg}\alpha \operatorname{tg}\beta}\right)}\,. \qquad (5.16)$$

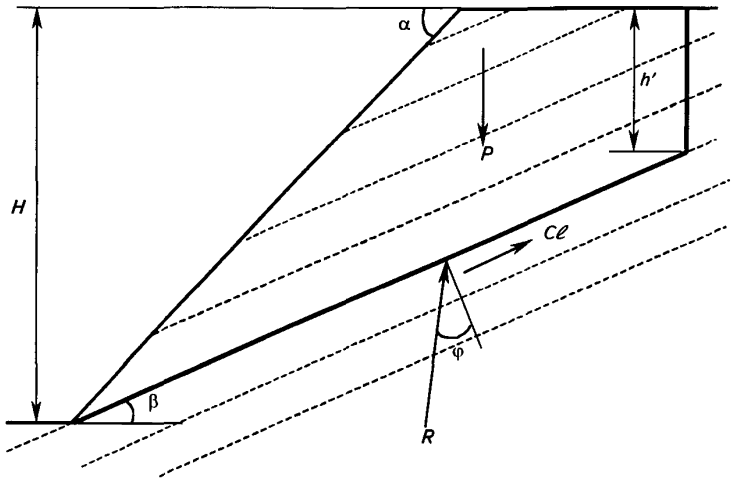


Рис. 5.3.2

5.3.4. Для борта, расположенного в лежачем боку месторождения, когда сопротивление сдвигу по контактам пород не позволяет подрезать слои на большом протяжении борта ($\varphi' < \beta$), определение максимальных параметров бортов следует производить в следующем порядке:

1) рассчитывается предельная высота устойчивого плоского борта при заоткоске его по наслоению ($\alpha = \beta$);

2) определяется наиболее рациональная конструкция борта для заданной глубины отработки угольных пластов, исходя из допустимой высоты откоса при $\alpha = \beta$, ширины и количества необходимых транспортных берм ($\alpha_{общ} < \alpha < \beta$);

3) производится оценка устойчивости борта принятого профиля.

5.3.5. Схема расчета предельной высоты уступа или участка борта при заоткоске его по наслоению ($\alpha = \beta$), когда угол трения по наслоению $\varphi' < \beta$.

При заоткоске уступов по наслоению их устойчивость определяется не только углом падения слоев и сопротивлением сдвигу по слабым прослойкам, но и сопротивлением срезу пород в нижней части уступа. Верхняя часть поверхности скольжения формируется вдоль слоистости или контактов пород, форма нижней части поверхности скольжения на участке среза пород близка к круглоцилиндрической, а ориентировка в пространстве определяется углами ε и θ'. Значения этих углов в соответствии с теорией предельного равновесия в сыпучей среде вычисляются следующим образом:

$$\varepsilon = 45° - \frac{\varphi}{2};\ \theta' = 45° - \frac{1}{2}(\varphi - \varphi') - \frac{1}{2}\arcsin\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}. \qquad (5.17)$$

Деформирование уступов в рассматриваемых условиях сопровождается образованием поверхности скольжения второго семейства под углом (90° – φ) к основной. Схематическое изображение потенциальной поверхности скольжения, возникающей в рассматриваемых условиях, обозначения и направление действия сил приведены на рис. 5.3.3, *а*.

Для схематизированных инженерно-геологических условий в Прил. 3 приведены графики зависимости предельной высоты уступа, заоткошенного по наслоению, при различных значениях β и условиях обводнения прибортового массива *k*, рассчитанные по приведенной схеме.

5.3.6. Представленные в Прил. 3 графики применимы при условиях:

1) если поверхности ослабления (контакты пород, слоистость и т. д.) могут быть представлены в виде плоскости;

2) простирание поверхностей ослабления отличается от простирания поверхности откоса не более чем на 20°;

3) сопротивления срезу (сдвигу) вмещающих пород в прибортовом массиве могут быть представлены параметрами *C* и φ, *C'* и φ', при этом *C*/*C'* = 10;

4) гидрогеологическая обстановка в прибортовом массиве приближенно представлена в виде единого водоносного горизонта, обводнение массива характеризуется коэффициентом *k*.

В связи с тем, что при расчете графиков, приведенных в Приложениях 3–5, сделаны определенные допущения (плоский профиль борта, упрощенные гидрогеологические условия и др.), для окончательной оценки устойчивости рассматриваемого борта необходимо выполнить контрольный расчет по соответствующей схеме.

5.3.7. В тех случаях, когда инженерно-геологические и гидрогеологические условия рассматриваемого прибортового массива не соответствуют п. 5.3.6, необходимо рассчитывать допустимую высоту откоса при α = β методом многоугольника сил (п. 5.1.10). Положение наиболее напряженной поверхности скольжения, как правило, совпадает с контактом слоев в почве относительного водоупора (рис. 5.3.3, *б*).

Существенное значение приобретают силы гидростатического давления. Это объясняется тем, что в процессе ведения горных работ водоносные горизонты не вскрываются и в прибортовом массиве сохраняются значительные остаточные напоры. В условиях, приведенных на рис. 5.3.3, *б*, силы гидростатического давления вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{1}{2}\gamma_B H(A)\ell_{AF}; \\ D_{1,2} &= \frac{1}{2}\gamma_B\left[H(A)+H(B)\right]\ell_{AB} + \frac{1}{2}\gamma_B H(B)\ell_{BD}; \\ D_2 &= \frac{1}{2}\gamma_B\left[H(A)+H(C)\right]\ell_{AC} + \frac{1}{2}\gamma_B H(C)\ell_{OC}. \end{aligned} \qquad (5.18)$$

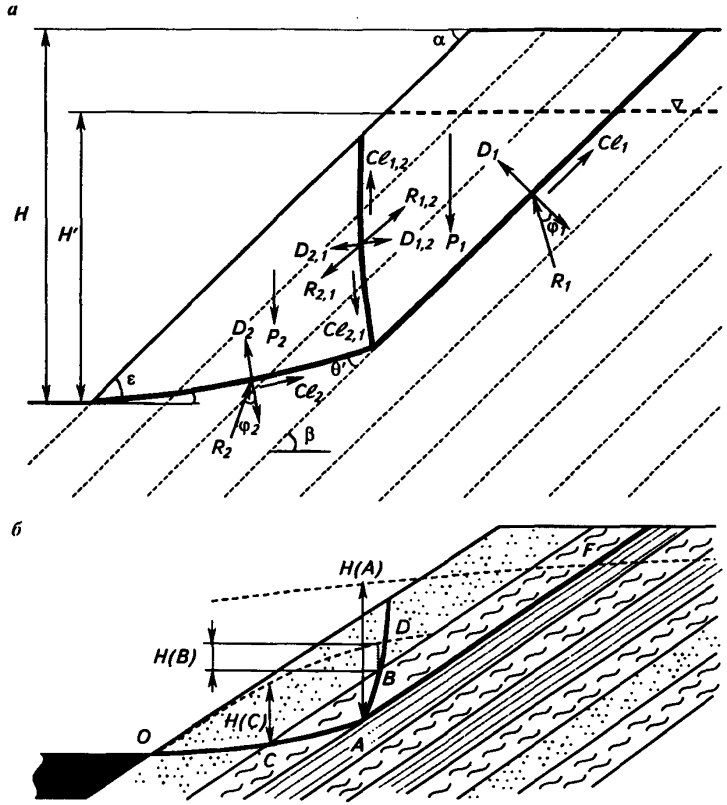


Рис. 5.3.3. Схемы к расчету предельной высоты уступа (борта), заоткошенного по наслоению

Если принятая для расчета устойчивости высота борта H_1 не соответствует необходимому коэффициенту запаса (есть невязка в многоугольнике ΔF_1), то следует сделать еще аналогичный расчет при другой высоте откоса H_2, и при наличии невязок ΔF_2 допустимую предельную высоту откоса H при принятом коэффициенте запаса определяют из уравнения:

$$H = H_1 \pm \frac{\Delta F_1}{\Delta F_1 - \Delta F_2}(H_1 - H_2). \qquad (5.19)$$

5.3.8. Схема расчета максимальных параметров устойчивых откосов при наклонном и крутом залегании слоев с падением в сторону выработанного пространства при $\alpha < \beta < 70°$.

В этих условиях в предельном состоянии в массиве формируется поверхность скольжения, которая в верхней части совпадает с естественной поверхностью ослабления, а в нижней части имеет форму монотонной криволинейной поверхности (рис. 5.3.4). В точке излома поверхности скольжения (точка A), где выполняется условие специального предельного равновесия, эти участки поверхности скольжения образуют угол θ' (см. формулу 5.17), а под углом $(90° - \varphi)$ к ней формируются поверхности скольжения второго семейства ($AC, A'C'$).

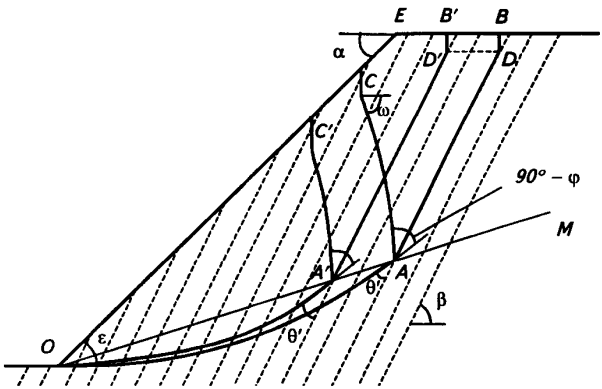


Рис. 5.3.4. Схема расчета устойчивости борта при согласном наклонном и крутом залегании слоев ($\alpha < \beta < 70°$)

Расчет устойчивости борта по построенной таким образом поверхности скольжения производят методом векторного сложения сил (многоугольника сил). При этом оценку устойчивости производят по нескольким (не менее трех) поверхностям ослабления, из которых определяется минимальное значение разности сил ΔF_{min}. Определение коэффициента запаса по наиболее напряженной поверхности производят так, как описано в п. 5.1.12.

5.3.9. По результатам расчетов устойчивости откосов методом многоугольника сил (векторного сложения), произведенных для наиболее распространенных значений физико-механических характеристик углевмещающих пород, построены графики зависимости высоты откоса, определяемой через безразмерный показатель A, от разности угла падения слоев и угла его откоса при разных условиях обводнения, приведенные в Прил. 4 (требования п. 5.3.6 сохраняются).

Графики предназначены для определения предельных параметров устойчивых бортов (откосов) плоского профиля при углах наклона борта меньше, чем угол падения слоев в сторону выработанного пространства ($\alpha < \beta$), при угле трения по поверхности ослабления (контактам слоев, тектоническим нарушениям, слоистости), меньшем угла их

падения ($\varphi' < \beta$), и величине напоров подземных вод, не превышающих отметки поверхности откосов (соблюдаются условия п. 5.3.6).

Определение допустимых параметров устойчивых бортов (H и α) для конкретных инженерно-геологических и гидрогеологических условий прибортового массива, не указанных в графиках, осуществляется линейной интерполяцией (или экстраполяцией) численных значений безразмерного показателя A или угла наклона борта α.

5.3.10. Схема расчета предельных параметров устойчивого откоса при пологом залегании естественных поверхностей ослабления (слоистости, контактов пород, тектонических нарушений и т. д.) при $\beta < \varphi'$; $\beta < 25°$.

В этих условиях в предельном состоянии формируется поверхность скольжения, которая в нижней части массива совпадает с наиболее слабым контактом слоев, в верхней части – имеет форму монотонной криволинейной поверхности, близкой к круглоцилиндрической (рис. 5.3.5).

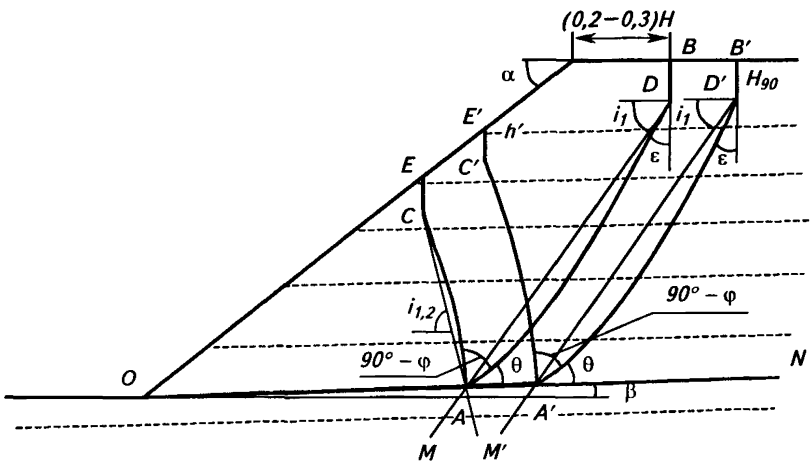


Рис. 5.3.5. Схема расчета устойчивости откоса при пологом залегании слоев ($\alpha > \beta$; $\beta \le \varphi'$)

В точке A, где выполняется условие специального предельного равновесия, основная поверхность скольжения претерпевает излом под углом θ:

$$\theta = 45° + \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\right), \qquad (5.20)$$

а под углом ($90° - \varphi$) к ней формируется поверхность скольжения второго семейства.

В верхней части откоса, в месте выхода поверхности скольжения на земную поверхность образуется вертикальная площадка отрыва высотой H_{90}, см. формулу (5.2).

В месте выхода поверхности скольжения второго семейства на поверхность откоса также образуется вертикальная площадка отрыва h', близкая по величине к H_{90}.

Порядок построения расчетной поверхности скольжения с учетом указанных закономерностей следующий.

Из произвольной точки B на земной поверхности, расположенной на расстоянии $(0{,}2 - 0{,}3)H$ от верхней бровки откоса, в масштабе разреза откладывают отрезок BD, соответствующий вертикальной площадке отрыва. Из точки D под углом $i_1 = \frac{1}{2}(\theta + \beta + 45° + \varphi/2)$ к горизонту проводят линию DM. Из нижней бровки откоса (точка O) проводят линию ON, параллельную слоистости. Точка A, являющаяся линией пересечения этих прямых, и точка D соединяются плавной линией, по форме близкой к окружности и образующей углы, равные $(45° - \varphi/2)$, с вертикальной площадкой отрыва в точке D и θ – с наслоением в точке A. Из точки A под углом $i_{1,2}$, равным $\frac{1}{2}(135° + \frac{3}{2}\varphi - \theta - \beta)$, к горизонту проводят линию скольжения второго семейства AC, имеющую в месте выхода на поверхность откоса вертикальную площадку CE.

Расчет устойчивости по поверхности скольжения, построенной таким образом, выполняют методом векторного сложения сил (многоугольника сил, см. рис. 5.1.2).

Определенное в результате расчета значение разности (невязки) сил ΔF характеризует устойчивость массива горных пород по этой поверхности скольжения.

В дальнейшем расчет выполняют в порядке, аналогичном изложенному в п. 5.1.11.

По результатам расчетов устойчивости откосов в рассматриваемых условиях построены графики, предназначенные для определения максимально допустимых параметров и приведенные в Прил. 5 (требования п. 5.3.6 сохраняются).

Если инженерно-геологические, гидрогеологические и горно-технические условия конкретного откоса заметно отличаются от аналогичных условий, для которых эти графики рассчитаны, то предельные параметры откоса должны определяться расчетом. Представленные графики в этом случае могут быть использованы для выбора исходных значений H и α.

5.3.11. Схема расчета устойчивости откосов при мульдообразном залегании пород, когда поверхность скольжения на всем своем протяжении формируется по естественной поверхности ослабления (контактам пород, слоев), имеющей значительную кривизну.

Расчет выполняется методом геометрического сложения действующих по поверхности ослабления сил, условие предельного равновесия при котором имеет вид [17]:

$$\sum T_i b_i = \operatorname{tg}\varphi' \sum (N_i - D_i) b_i + C' \sum \ell_i b_i + \sum T_i' b_i , \qquad (5.21)$$

где T_i' – касательная составляющая веса пород в блоке, направленная в противоположную смещению сторону; b_i – переходные коэффициенты.

Расчеты устойчивости проводятся аналогично методу алгебраического сложения сил, дополнительно лишь требуется определение переходных коэффициентов b_i, которые находятся графическим способом следующим образом.

Из произвольно выбранной точки полюса *О* (рис. 5.3.6, *а*) проводятся лучи *О–1*, *О–2* и т. д., параллельные отрезкам поверхности скольжения в каждом блоке. Из произвольной точки *А* на луче *О–1* под углом (90° – φ′) к лучу *О–2* проводится до пересечения с ним прямая *АВ*. Аналогичным построением находятся точки *С*, ... , *D*, *Е* на остальных лучах, выходящих из точки *О*. Переходные коэффициенты b_i определяются отношениями $b_1 = OE/OA$, $b_2 = OE/OB$, ..., $b_{(n-1)} = OE/OD$, $b_n = OE/OE = 1$.

В расчетах устойчивости откосов по фиксированной поверхности скольжения могут встретиться случаи, когда часть поверхности имеет выпуклую со стороны призмы обрушения форму. В этих условиях при переходе силы с одного участка на другой возникает нормальная составляющая, уменьшающая нормальные силы от веса следующего блока. Тогда при определении переходного коэффициента графическим способом вместо угла (90° – φ′) берется угол (90° + φ′).

Для круглоцилиндрической и близкой к ней по форме поверхности скольжения кривая *АВ...DE* (рис. 5.3.6, *а*) представляет собой логарифмическую спираль и коэффициенты b_i в связи с этим вычисляются по формуле:

$$b_i = e^{-\Delta j_i \operatorname{tg}\varphi'}, \qquad (5.22)$$

где Δj_i – разность углов наклона оснований рассматриваемого и конечного блоков ($\Delta j_i = j_i - j_n$).

Определение коэффициентов b_i для данных условий можно проводить с целью упрощения расчетов по графику (рис. 5.3.6, *б*).

5.3.12. Схема расчета устойчивости и определения допустимых параметров борта (участка борта) при крутом согласном (90 > β > 75°) и несогласном (50 < β ≤ 90°) падении слоев [18, 19, 20].

В предельном состоянии слоев в массиве формируется плавная поверхность обрушения, состоящая из двух участков. При падении слоев в сторону массива в его нижней части формируется сплошная поверхность скольжения, пересекающая слои горных пород, по форме близкая к круглоцилиндрической. Она выходит в нижнюю бровку под углом (45° – φ/2) к поверхности откоса. В верхней части откоса происходит разрушение каждого отдельного слоя по площадкам, ориентировка которых определяется условием специального предельного равновесия (см. п. 5.3.5).

Угол наклона отдельных площадок μ на контакте слоев определяется по формуле:

$$\mu = 90° - \beta + \varphi + \theta'. \qquad (5.23)$$

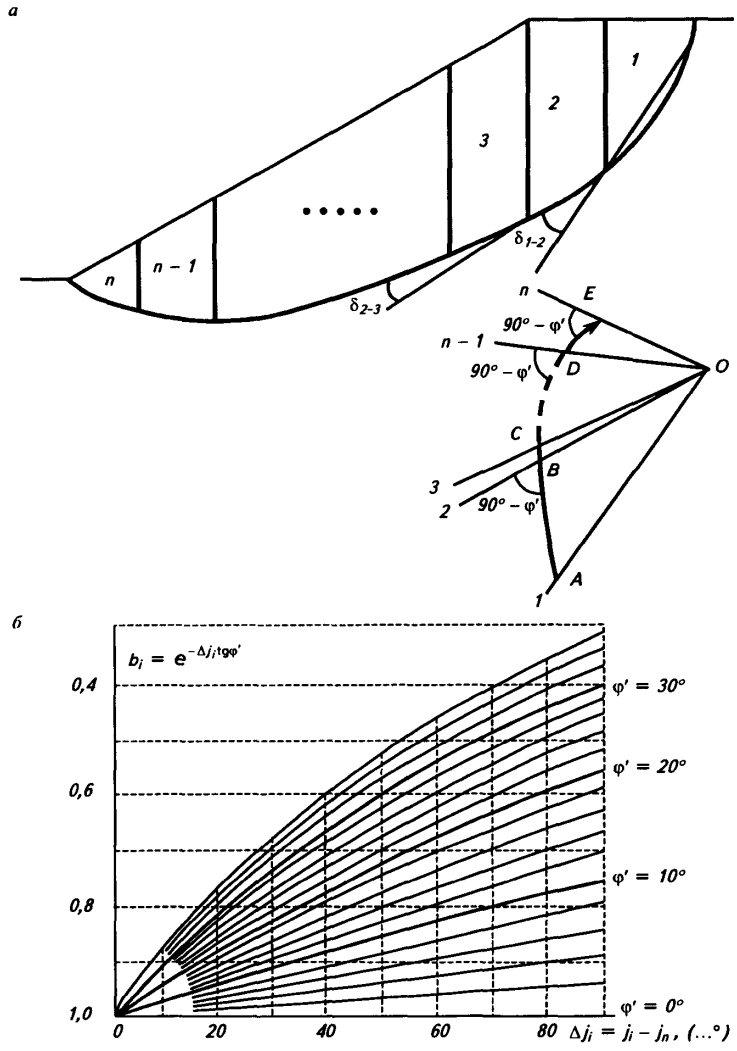


Рис. 5.3.6. Определение переходных коэффициентов для поверхностей ослабления произвольной (*а*) и круглоцилиндрической (*б*) форм

Формирующаяся в верхней части откоса общая поверхность разрушения не совпадает с направлением площадок в каждом слое и имеет форму плавной, близкой к плоской, поверхности. Результирующий угол наклона этого участка *j* определяется из условия равновесия при проскальзывании по контактам слоев и монотонно изменяется от значений, равных углу трения φ′ при вертикальном залегании слоев, до значений, соответствующих углу наклона нормали к слоям при углах их падения β, равных 45–50°.

5.3.13. При прогнозировании развития деформаций откосов в массиве с крутопадающей слоистостью можно пользоваться полученными при моделировании [20] графиками поправок к углам наклона изотропных откосов (рис. 5.3.7). Разные стадии проявления деформаций

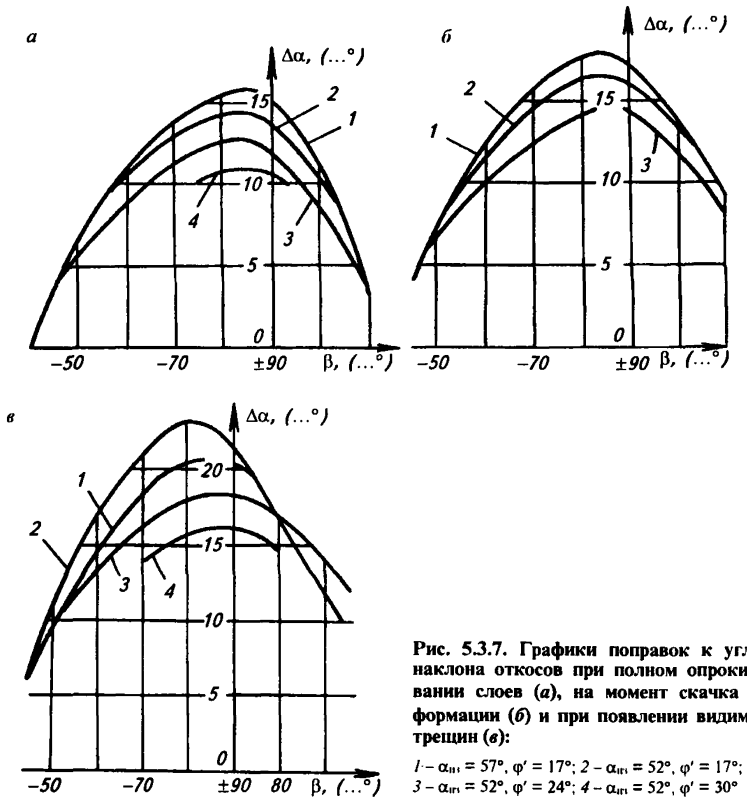


Рис. 5.3.7. Графики поправок к углам наклона откосов при полном опрокидовании слоев (*а*), на момент скачка деформации (*б*) и при появлении видимых трещин (*в*):

1 – $\alpha_{\text{пл}} = 57°$, $\varphi' = 17°$; *2* – $\alpha_{\text{пл}} = 52°$, $\varphi' = 17°$; *3* – $\alpha_{\text{пл}} = 52°$, $\varphi' = 24°$; *4* – $\alpha_{\text{пл}} = 52°$, $\varphi' = 30°$

откосов здесь соответствуют полному опрокидыванию слоев, скачку деформаций (смещения 0,5–2 м и ширина заколов 0,3 – 0,6 м при H = = 100 м; смещения 1,0–4,0 м и ширина заколов 0,5–1,0 м при H = 200 м; относительные деформации за призмой обрушения $(5–10)\cdot10^{-3}$) и появлению в пределах призмы обрушения видимых трещин (смещения 0,1–0,2 м при Н=100 м; смещения 0,2–0,4 м при H = 200 м; относительные деформации в призме обрушения $(2–6)\cdot10^{-3}$).

Порядок пользования графиками простой: для заданных значений γ, C, φ и H (Прил. 1) определяют угол наклона изотропного откоса $\alpha_{из}$. На соответствующем графике по известным величинам $\alpha_{из}$, φ' и β определяют поправку $\Delta\alpha$ за слоистость и по формуле:

$$\alpha_{сл} = \alpha_{из} - \Delta\alpha$$

находят искомый угол наклона рассчитываемого откоса. Слабое влияние углов наклона откосов на величину поправки $\Delta\alpha$ позволяет без существенной погрешности пользоваться графиками в диапазоне углов ±10°. При углах наклона откосов $\alpha_{из} < 42°$ определение поправки $\Delta\alpha$ по графикам (см. рис. 5.3.7) приводит к некоторому увеличению запаса устойчивости.

5.4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ БОРТОВ С УЧЕТОМ ИХ КРИВОЛИНЕЙНОСТИ В ПЛАНЕ

5.4.1. Устойчивость вогнутых в плане бортов разрезов выше устойчивости прямолинейных в плане бортов за счет дополнительного сопротивления смещению призмы обрушения, создаваемого силами бокового распора.

Степень влияния сил бокового распора зависит от конфигурации борта в плане, геологического строения прибортового массива, соотношения протяженности борта и его высоты [21, 22, 23].

5.4.2. Расчет параметров плоских откосов при их круглой (близкой к окружности) конфигурации в плане (при условии, что отклонения радиусов кривизны контуров разреза понизу и поверху не должны превышать 15 % от среднего значения радиуса) производят в такой последовательности.

По одной из разработанных расчетных схем для прямолинейного в плане откоса плоского профиля (см. п. 5.1.6 –5.1.13), соответствующей инженерно-геологическим условиям рассчитываемого борта, определяют угол его наклона – $\alpha_{пл}$.

Затем по графику зависимости поправки к углу наклона откоса от радиуса кривизны нижней бровки выемки (рис. 5.4.1) определяют поправку к углу $\alpha_{пл}$ за кривизну борта в плане – $\Delta\alpha$.

Порядок вычисления поправки $\Delta\alpha$ следующий:

1. По расчетным характеристикам φ_n, C_n, γ вычисляют величину H_{90}, а на плане горных работ определяют средний радиус кривизны нижней бровки борта по дну разреза R_H и рассчитывают условную величину $R' = R_H/H_{90}$.

2. По графику поправок (см. рис. 5.4.1) для значения R' определяют поправку $\Delta\alpha$; искомый угол наклона борта определяют путем прибавления поправки $\Delta\alpha$ к рассчитанному $\alpha_{пл}$:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha.$$

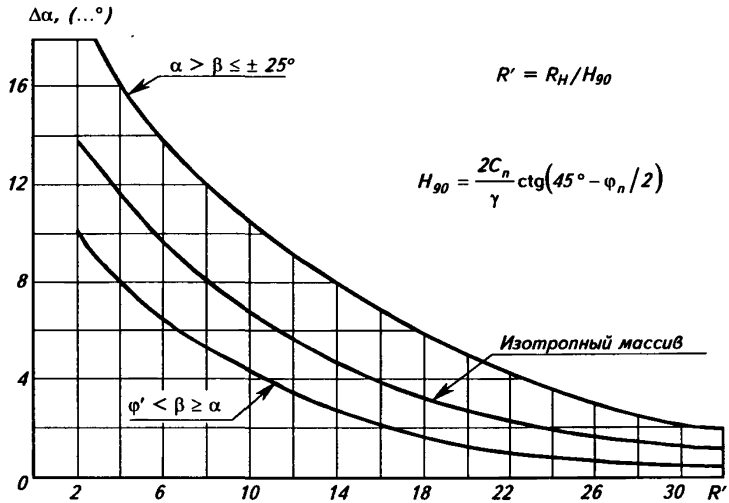


Рис. 5.4.1. График зависимости поправки к углу наклона откоса от радиуса кривизны нижней бровки выемки

5.4.3. Схема расчета параметров прямолинейных участков бортов, примыкающих к закруглениям.

Расчет по данной схеме выполняется в такой последовательности:

а) определяют условную длину ℓ'_0 зажатого участка, эквивалентного закруглению:

$$\ell'_0 = \operatorname{ctg}\varphi_n + R'\operatorname{tg}(50° - \varphi_n),$$

где $R' = R_H/H_{90}$ – условный радиус закругления по нижней бровке борта; R_H – радиус закругления по нижней бровке (по дну) борта;

б) вычисляют общую длину зажатого участка:

$$\ell' = \ell'_0 + \ell'_1,$$

где $\ell'_1 = \ell / H_{90}$ – условная длина прямолинейного участка; ℓ – длина прямолинейного участка;

в) по графику поправок (рис. 5.4.2) определяют поправку $\Delta\alpha$ к углу наклона $\alpha_{пл}$, соответствующую ℓ' и φ_n – углу внутреннего трения массива пород;

г) вычисляют угол наклона зажатого закруглением прямолинейного участка:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha,$$

где $\alpha_{пл}$ – угол наклона прямолинейного участка, определенный по графику плоского откоса (Прил. 1).

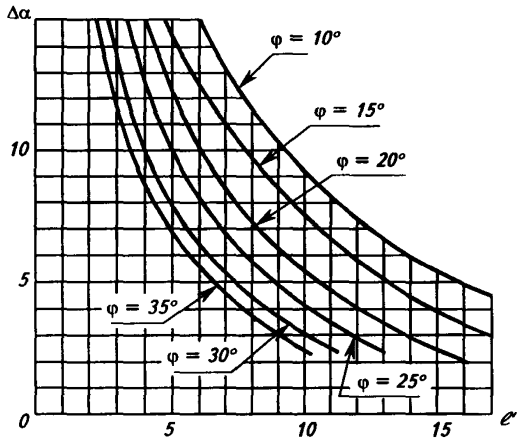


Рис. 5.4.2. График поправок к углу наклона прямолинейного в плане откоса в зависимости от длины зажатого участка

5.4.4. Схема расчета параметров выпуклых в плане бортов.

Поправка $\Delta\alpha$ за кривизну (выпуклость) борта в плане при определении параметров бортов по этой схеме определяется по графикам зависимости $\Delta\alpha$ от условного радиуса кривизны верхней бровки борта (рис. 5.4.3). Угол наклона выпуклого в плане борта плоского профиля принятой высоты H вычисляют по формуле:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha,$$

где $\alpha_{пл}$ – угол наклона прямолинейного в плане борта плоского профиля той же высоты, установленный по графику плоского откоса (Прил. 1).

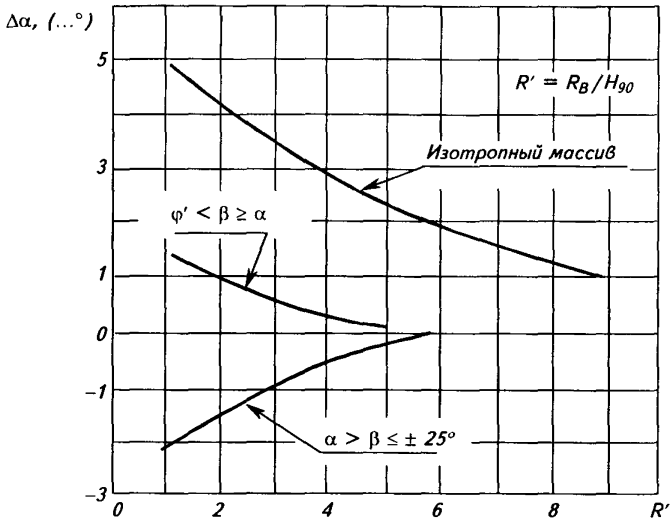


Рис. 5.4.3. График поправок к углу наклона выпуклого в плане откоса в зависимости от кривизны верхней бровки

5.4.5. Схема расчета параметров бортов разрезов эллипсоидальной формы.

Схема применима также для разрезов с криволинейными вогнутыми в плане бортами, у которых для отдельных участков можно подобрать свои радиусы закругления поверху и понизу.

Порядок определения параметров бортов разрезов эллипсоидальной формы следующий:

а) для всех участков криволинейного в плане борта определяют центры радиусов закруглений (для разреза эллипсоидальной формы, в частности, выделяется четыре участка, причем для двух симметрично расположенных участков радиусы закругления одинаковы, рис. 5.4.4);

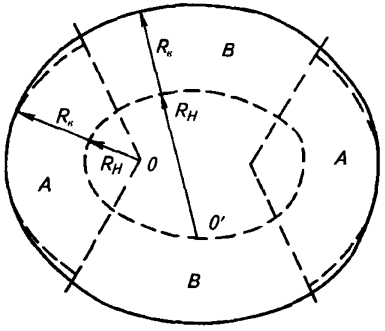


Рис. 5.4.4. Схема разреза эллипсоидальной формы

б) по характеристикам $\varphi_д$, $C_д$, γ определяют величину H_{90} и условный радиус закругления по подошве разреза $R' = R_H/H_{90}$ для каждого вычисленного участка;

в) по графику зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом (Прил. 1) определяют угол наклона борта плоского профиля – $\alpha_{пл}$;

г) по графику зависимости поправки к углу наклона прямолинейного в плане борта от радиуса кривизны нижней бровки выемки (см. рис. 5.4.1) определяют поправку за кривизну борта $\Delta\alpha$ для всех участков по известным значениям R';

д) угол наклона криволинейных участков бортов разрезов определяют по формуле:

$$\alpha_i = \alpha_{пл} + \Delta\alpha_i;$$

е) верхняя бровка криволинейного участка борта проводится радиусом:

$$R_в = R_H + H \operatorname{ctg} (\alpha_{пл} + \Delta\alpha_i);$$

ж) контур разреза плавно сглаживается путем постепенного увеличения угла наклона борта, начиная от величины его на участке с большим радиусом кривизны до величины угла наклона борта на участке с меньшим радиусом закругления, как показано на рис. 5.4.4.

5.4.6. Схема расчета параметров бортов разрезов на сопряжении закруглением двух прямолинейных участков.

Определение параметров бортов по данной схеме выполняется в такой последовательности (рис. 5.4.5):

1) по графику поправок (см. рис.5.4.1) по относительному радиусу кривизны $R' = R_H/H_{90}$ определяют поправку $\Delta\alpha$;

2) при $\Delta\alpha > 10°$ угол наклона в среднем сечении закругления (*OC* на рис. 5.4.5) определяют по формуле:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha \sin \delta/2,$$

где δ – угол между направлениями простирания сопряженных прямолинейных бортов; на остальных сечениях закругления угол наклона принимается переменным – от $\alpha_{пл}$ на границе с прямолинейным участком борта до α на среднем сечении закругления;

3) при $\Delta\alpha < 10°$ для средней части закругления на участке от сечения *OD* до сечения *OB*, расположенных к крайним сечениям прямолинейных участков *AO* и *OE* под углом 45° (рис. 5.4.5), угол наклона борта принимается равным $\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha$; между сечениями *OB* и *OA*, *OD* и *OE* – угол наклона плавно уменьшается от $\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha$ до $\alpha_{пл}$.

5.4.7. В слоистом массиве, где сцепление по контактам слоев, как правило, значительно меньше сцепления в массиве, степень влияния боковых сил, возникающих за счет криволинейности контура разреза в плане, при одинаковом радиусе его кривизны зависит от углов наклона слоев и ориентировки их

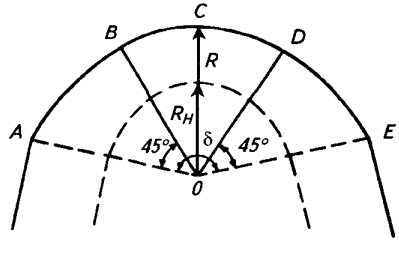


Рис. 5.4.5. Сопряжение двух прямолинейных участков борта закруглением

относительно контура выемки. По величине угла наклона слоев месторождения делятся на три группы по залеганию пород для учета степени влияния боковых сил:

1) горизонтальное и пологое – угол падения слоев 0–20°;

2) наклонное и крутое – угол падения слоев 20–80°;

3) весьма крутое и вертикальное – угол падения слоев 80–90°.

Методика учета сил бокового распора при оценке устойчивости откосов в слоистом массиве для каждой из выделенных групп на различных участках борта приведена в Прил. 6.

5.4.8. Наиболее выгодным с экономической точки зрения в большинстве случаев является выпуклый профиль борта. При этом целесообразность откосов выпуклого профиля с увеличением глубины возрастает. Кроме экономической выгоды, оформление выпуклого профиля борта при подходе его к проектному контуру технически проще, чем плоского, так как верхняя часть пологая и по наклону чаще всего близка к наклону рабочего борта.

Условия применения выпуклого борта практически неограничены. Исключение составляют случаи, когда в нижней части борта залегают породы менее прочные, что бывает не часто. Чаще же в верхней части борта породы более выветрелые, а следовательно, более слабые, поэтому выпуклый борт более рационален, так как в этом случае в более слабых породах участок борта пологий, а в нижней части, где влияние процесса выветривания значительно меньше, более крутой.

Порядок определения параметров выпуклого борта следующий:

а) для принятых средневзвешенных физико-механических характеристик массива горных пород, в которые введен необходимый коэффициент запаса (φ_n, C_n, γ), по формуле (5.2) определяется H_{90};

б) для нескольких значений условных высот $H' = H/H_{90}$ и значения угла внутреннего трения φ_n определяется соответствующее заложение выпуклого профиля откоса L' по графику, приведенному на рис. 5.4.6;

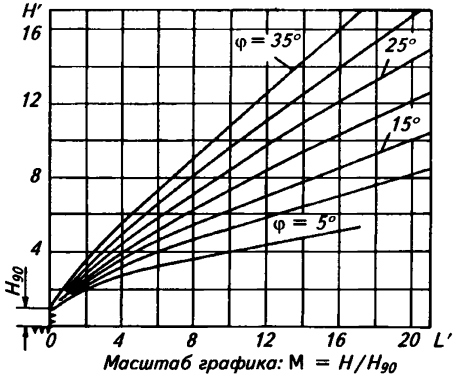


Рис. 5.4.6. График предельных очертаний откосов выпуклого профиля

в) производится перерасчет условных значений H' и L' в действительные

$$H = H'H_{90}, \quad L = L'H_{90};$$

г) построенный таким образом выпуклый профиль борта в нижней части выполаживается до максимального технически возможного угла.

Для уточнения коэффициента запаса устойчивости построенного борта производят поверочные расчеты методом многоугольника сил. На рис. 5.4.7 приведены примеры схем поверочных расчетов при различных условиях залегания пород в прибортовом массиве.

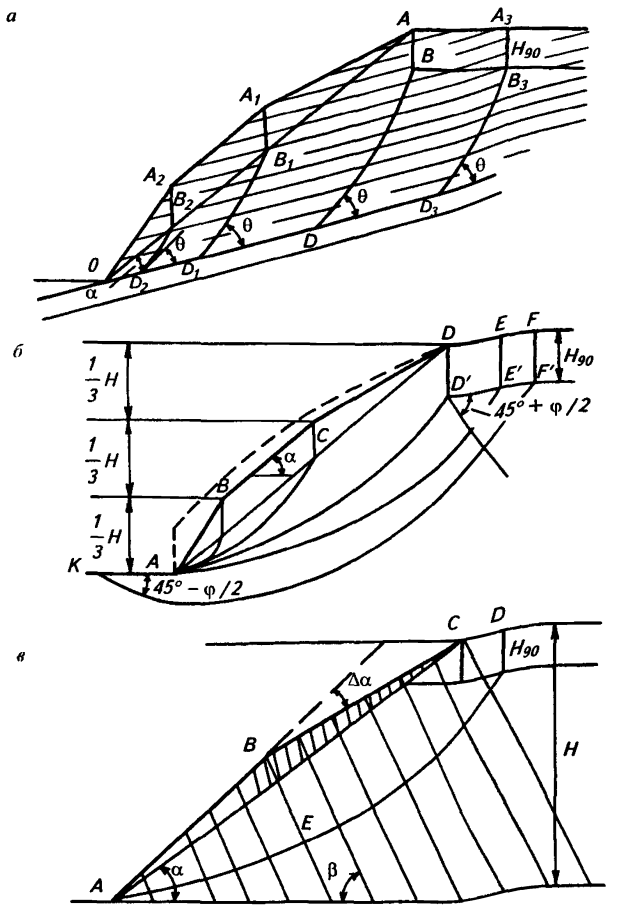


Рис. 5.4.7

6. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

6.1. ИСХОДНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОД

6.1.1. Прочностные свойства трещиноватого массива значительно отличаются от прочности монолитного образца, в первую очередь, это относится к сцеплению пород. Угол внутреннего трения, полученный по испытаниям образцов, с достаточной степенью достоверности может быть перенесен на трещиноватый массив.

Переход от сцепления пород в образце C_0 к сцеплению в массиве $C_м$ может быть осуществлен с помощью коэффициента структурного ослабления λ:

$$C_м = \lambda C_0. \tag{6.1}$$

Величина коэффициента структурного ослабления массива зависит от целого ряда факторов, связанных с характером структурного строения массива, его однородностью и прочностью пород [3, 24]. Значения λ по данным ВНИМИ для наиболее распространенных углевмещающих породных массивов приведены в Прил. 17.

Величина сцепления пород в массиве приближенно может быть определена по формуле:

$$C_м = \frac{C_0 - C'}{1 + a' \ln\left(\frac{H}{\ell_т}\right)} + C', \tag{6.2}$$

где C' – сцепление по контактам между блоками пород, т/м^2; H – высота борта, м; $\ell_т$ – средний размер блоков, м; a' – коэффициент, зависящий от прочности пород в монолитном образце и характера их трещиноватости (табл. 6.1).

В дальнейшем по мере накопления сведений о неоднородности массива, как по прочности, так и по характеру трещиноватости, коэффициент структурного ослабления должен быть уточнен и сцепление в массиве должно быть определено с большей достоверностью.

6.1.2. Наиболее надежным способом определения сопротивления сдвигу пород в массиве является способ обратных расчетов по съемке участков искусственных или естественных обрушений. Этот метод основан на том, что до момента обрушения равновесие пород в откосе описывается соотношением:

$$\sum_1 T_i \geq f \sum_1 N_i + C \sum \ell_i . \qquad (6.3)$$

После обрушения массива, когда силы сцепления по поверхности скольжения перестают действовать, равновесие обрушившихся масс наступает тогда, когда сдвигающие силы уравновешиваются только силами трения, т. е.

$$\sum_2 T_i \leq f \sum_2 N_i . \qquad (6.4)$$

Таким образом, решаются два уравнения с двумя неизвестными.

Таблица 6.1

Значения коэффициента a' для различных пород

Породы и характер трещиноватости	Сцепление в монолите, кг/см²	a'
Слабоуплотненные и слаботрещиноватые песчано-глинистые отложения; сильновыветрелые, полностью каолинизированные изверженные породы	4–9	0,5
Уплотненные песчано-глинистые породы, в основном нормальносекущей трещиноватости	10–20	2
Сильно каолинизированные изверженные породы	30–80	2
Уплотненные песчано-глинистые породы с развитой кососекущей трещиноватостью, каолинизированные изверженные породы	30–80	3
Средней прочности слоистые породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	100–150 150–170 170–200	3 4 5
Прочные породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	200–300 > 300	6 7
Прочные изверженные породы с развитой кососекущей трещиноватостью	> 200	10

Метод обратных расчетов применим при условии, что длина оползневого участка не менее чем в 2–3 раза превышает его высоту. При этом в расчетах можно не принимать во внимание сопротивление отрыву, так как характеристика эта в трещиноватом массиве достаточно мала, учет же гидростатического давления для обводненного откоса обязателен.

Значения физико-механических характеристик наиболее распространенных углевмещающих трещиноватых пород приведены в Прил. 17. Каталог составлен на основании анализа исследований прочностных

свойств пород, проведенных ВНИМИ на подавляющем числе действующих угольных разрезов России и стран СНГ.

6.1.3. Сопротивление сдвигу по поверхностям ослабления зависит от характеристики контактирующих поверхностей (характер контакта, степень шероховатости и морфология контактирующих поверхностей, наличие заполняющего материала и т. д.). Величина сцепления C', как показывают полевые определения, колеблется от 0 до 20 т/м². Угол трения φ' в зависимости от перечисленных выше условий изменяется от 7 до 36°.

Обобщенные данные значений C' и φ' для контактов пород и поверхностей ослабления угленосных отложений представлены в таблицах 3, 4 Прил. 17.

6.1.4. Оценка исходных физико-механических характеристик пород, входящих в уравнения равновесия, зависит от степени их однородности и условий залегания в прибортовом массиве.

Для однородного массива исходными характеристиками являются средние арифметические значения показателей сопротивления сдвигу

$$\overline{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \tau_i}{N} \text{ или } \overline{C} = \frac{\sum_{i=1}^{N} C_i}{N}, \ \overline{\varphi} = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^{N} \operatorname{tg}\varphi_i}{N}, \qquad (6.5)$$

где $\overline{\tau}$, $\overline{C}$, $\overline{\varphi}$ – средние значения соответственно сопротивления сдвигу, сцепления и угла внутреннего трения; τ_i, C_i, φ_i – частные значения этих же показателей; N – количество частных значений.

При этом резко отклоняющиеся значения, искажающие статистические характеристики, должны быть исключены.

6.1.5. В реальных условиях прибортовой массив представляет собой многослойную толщу с различными прочностными характеристиками слоев. Учитывая, что раздельный учет всех слоев пород затрудняет расчеты устойчивости, не повышая их точности, породы объединяют в отдельные инженерно-геологические комплексы, характеризующиеся сходством условий их образования, залегания и физико-механических свойств.

Объединение производится на основании сравнения паспортов прочности пород $\tau_i = f(\sigma_n)$ для смежных слоев по формуле:

$$A = \frac{\sqrt{\sum (\Delta\tau_i)^2}}{2N\tau_{ср}} 100\%, \qquad (6.6)$$

где $\Delta\tau_i$ – разность между ординатой графика сопротивления сдвигу слоя и ординатой кривой общего графика сопротивления сдвигу при данной нормальной нагрузке; N – число ступеней нагрузки; $\tau_{ср}$ – ордината

средней кривой в точке, соответствующей среднему значению нормальных нагрузок, при которых производились испытания.

При расхождении между графиками сопротивления сдвигу A не более 5 % слои можно объединять в общий график, характеризующий единый инженерно-геологический комплекс.

Таким же образом A определяется, если прочность пород представлена двумя показателями C и φ:

$$A = \frac{\sqrt{\sum(\Delta C_i)^2}}{2NC_{ср}}100\,\%, \quad A = \frac{\sqrt{\sum(\Delta \mathrm{tg}\varphi_i)^2}}{2N\mathrm{tg}\varphi_{ср}}100\,\%, \qquad (6.7)$$

где C_i – сцепление одного слоя; $C_{ср}$ – усредненное сцепление, характеризующее инженерно-геологический комплекс пород; N – количество объединяемых слоев.

6.1.6. Для определения средних значений показателей прочности по всей наиболее напряженной поверхности скольжения (в частности, при использовании предложенных графиков зависимости параметров откосов), после того как определены C и φ для всех комплексов пород, составляющих призму возможного обрушения, используют формулы:

$$C_{ср} = \frac{C_1\ell_1 + C_2\ell_2 + \ldots + C_к\ell_к}{L}; \qquad (6.8)$$

$$\mathrm{tg}\varphi_{ср} = \frac{\mathrm{tg}\varphi_1\sigma_1\ell_1 + \mathrm{tg}\varphi_2\sigma_2\ell_2 + \ldots + \mathrm{tg}\varphi_к\sigma_к\ell_к}{\sum_{i=1}^{N}\sigma_i\ell_i}, \qquad (6.9)$$

где ℓ_1, ℓ_2, …, $\ell_к$ – длина отрезков вероятной поверхности скольжения, пересекающей выделенный комплекс пород; L – общая длина поверхности скольжения; σ_1, σ_2, …, $\sigma_к$ – средние величины нормальных напряжений по соответствующим отрезкам поверхности скольжения.

Следует обратить внимание, что взвешивание усредненной характеристики прочности пород производится по длине отрезков поверхности скольжения, так как удельный вес сопротивления сдвигу слоя пород зависит не только от его мощности, но и от положения его в откосе.

6.2. ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА

6.2.1. Коэффициент запаса устойчивости n представляет собой отношение суммы всех удерживающих откос сил к сумме всех сдвигающих сил:

$$n = \frac{\mathrm{tg}\varphi\sum N + CL + A}{\sum T_{сдв} + B}, \qquad (6.10)$$

где $\mathrm{tg}\varphi\sum N + CL$ – сумма сил трения и сцепления, удерживающих откос; A – другие силы, удерживающие откос; $\sum T_{\text{сдв}}$ – сумма касательных сил, сдвигающих откос; B – другие силы, сдвигающие откос.

6.2.2. При расчетах устойчивости бортов разрезов коэффициент запаса вводится в средневзвешенные характеристики сопротивления сдвигу толщи слоев, пересекаемых потенциальной поверхностью скольжения, т. е. устойчивое равновесие по поверхности скольжения с коэффициентом запаса n рассматривается как предельное равновесие с новыми характеристиками прочности пород, уменьшенными в n раз:

$$C_{\text{п}} = \frac{C_{i_{\text{ср}}}}{n} \text{ и } \varphi_{i_{\text{п}}} = \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}\varphi_{i_{\text{ср}}}}{n}, \tag{6.11}$$

которые и являются расчетными.

6.2.3. В общем случае коэффициент запаса устойчивости бортов является функцией от частных коэффициентов и при их независимости друг от друга может быть представлен в виде произведения:

$$n = n_1 n_2 \ldots n_{\text{к}}. \tag{6.12}$$

При этом частные коэффициенты характеризуют невозможность учета на данном этапе каких-либо факторов, влияющих на устойчивость бортов, или учет некоторых из них с неизбежной погрешностью.

Величину коэффициента запаса устойчивости откосов определяет ряд факторов, среди которых основными являются:

– надежность определения механических характеристик пород (угла внутреннего трения и сцепления, а также угла трения и сцепления по естественным поверхностям ослабления);

– погрешности определения положения наиболее напряженной поверхности скольжения;

– способ учета гидрогеологических факторов;

– точность способа расчета устойчивости откосов.

Кроме того, немаловажную роль при выборе коэффициента запаса играет наличие на земной поверхности в пределах призмы возможного обрушения охраняемых зданий и сооружений.

Таким образом, при возможности оценки перечисленных выше частных коэффициентов и в зависимости от категории охраняемого сооружения необходимый коэффициент запаса определяется в каждом конкретном случае.

6.2.4. Проведенная для различных условий оценка необходимого коэффициента запаса устойчивости бортов показала, что в зависимости от надежности исходных данных и категории охраняемых сооружений он изменяется, как правило, в пределах 1,1–1,5.

Величины коэффициента запаса в зависимости от стадии освоения месторождения и способа получения исходных характеристик, входящих в расчеты, могут быть приняты соответствующими приведенным в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Рекомендуемые величины коэффициента запаса устойчивости *n* в зависимости от надежности исходных геологических данных

Стадия освоения месторождения (степень надежности исходных данных)	*n*		Примечание
	Нерабочий борт (срок стояния > 10 лет)	Рабочий борт	
Проектирование (по данным бурения скважин и методом аналогий)	1,5	≥1,4	При трещиноватых, тектонически нарушенных вмещающих породах
	1,3	≥1,2	При слабых песчано-глинистых разностях
Эксплуатация (по данным изучения массива пород в обнажениях и анализу деформаций)	1,3	≥1,2	–
Ликвидация (постановка борта в предельное положение по данным длительных инструментальных наблюдений за состоянием откосов)	1,2	≥1,1	–

Если слагающие откос породы представлены глинистыми разностями и за исходные характеристики прочности в расчеты принимается предел ползучести этих пород, то коэффициент запаса может быть принят равным единице ($n = 1$).

Обеспечение устойчивости бортов с различными коэффициентами запаса полностью не исключает деформирование прибортового массива, так как перераспределение напряжений при проведении выработок вызывает определенные деформации пород, но при этом они не достигают критических величин. Это необходимо учитывать в тех случаях, когда в непосредственной близости от борта находятся охраняемые объекты высокой категории. Ориентировочные величины ожидаемых деформаций при различных коэффициентах запаса устойчивости приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Прогнозируемые деформации прибортового массива

Коэффициент запаса устойчивости n	Состояние земной поверхности в пределах призмы возможного обрушения	Примечание
≥ 1,3	Прибортовой массив испытывает преимущественно упругие деформации, относительные горизонтальные деформации не превышают $1 \cdot 10^{-3}$	Величина деформаций находится в пределах точности маркшейдерских измерений
< 1,3–1,2	Появляются трещины, общие смещения поверхности прибортовых массивов при высоте борта более 100 м достигают 200–300 мм. Относительные горизонтальные деформации могут достигать $(2–5) \cdot 10^{-3}$	Смещения, затухающие во времени
< 1,2–1,1	Появляются заколы, горизонтальные деформации могут достигать $30 \cdot 10^{-3}$, а общие величины смещений – 1,5–2 м	Деформации преимущественно затухают во времени

Примечание. При крутом залегании горных пород ($\beta > 50°$) в слоистом массиве значительные деформации поверхности в пределах призмы возможного обрушения неизбежны и при $n \geq 1,3$, хотя общая устойчивость обеспечивается, смещения прибортового массива, предшествующие обрушению бортов глубоких разрезов, могут достигнуть весьма значительных величин порядка 5–10 м.

6.2.5. Для определения предельных параметров уступов величина коэффициента запаса устойчивости должна составлять не менее 1,5, так как в этом случае наиболее напряженная поверхность скольжения практически полностью располагается в зоне влияния процессов выветривания, разуплотнения и буровзрывных работ, проводимых в разрезе.

7. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ ПО ИХ ДЕФОРМАЦИЯМ

7.1. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ ПО НАБЛЮДАЕМЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ

7.1.1. Оценка устойчивости бортов разрезов по наблюдаемым деформациям в условиях, когда отсутствуют поверхности ослабления, формирующие поверхности скольжения, осуществляется в такой последовательности [8, 28]:

1. Предварительно определяют прочностные (сцепление и угол внутреннего трения) и деформационные характеристики горных пород – функциональную зависимость между напряжениями и деформациями:

$$\tau' = \tau_i/\tau_{пр} = f(\gamma_{сд}),$$

где $\gamma_{сд}$ – деформация сдвига (равно может быть деформация растяжения или сжатия); τ_i – частное значение сдвигающего напряжения (при испытании пород в срезных приборах); $\tau_{пр}$ – предельное напряжение сопротивления сдвигу породы.

2. Строят паспорт прочности и паспорт деформации породы, определяющие соответственно функциональные зависимости: $\tau = f(\sigma_н)$ и $\tau' = f(\gamma_{сд})$.

Для слоистых откосов строят паспорта прочности и деформации пород характерных слоев и, кроме того, обобщенный паспорт деформации слоистого массива – $\tau'_{ср} = f(\gamma_{сд})$, позволяющий определять предельную деформацию, по достижении которой общая сопротивляемость сдвигу слоистого массива начинает уменьшаться и массив разрушается [28].

Значение $\tau'_{ср}$ вычисляют по формуле:

$$\tau'_{ср} = \frac{\sum \tau_{пр} \ell_i \tau'_i}{\sum \tau_{пр_i} \ell_i}, \qquad (7.1)$$

где $\tau'_{ср}$ – средневзвешенное значение относительного сопротивления сдвигу слоистого массива для определенной деформации сдвига; τ'_i – относительное сопротивление сдвигу породы при той же деформации; $\tau_{пр_i}$ – предельное сопротивление сдвигу породы слоя, снятое с паспорта прочности для среднего значения нормальных напряжений на

поверхности скольжения в пределах слоя, т/м^2; ℓ_i – интервал поверхности скольжения в пределах слоя пород, м.

Паспорт деформации горной породы представлен на рис. 7.1, а на рис. 7.2 – паспорта деформаций трех различных типов пород и обобщенный график зависимости между относительным сопротивлением сдвигу трехслойного массива и его деформациями.

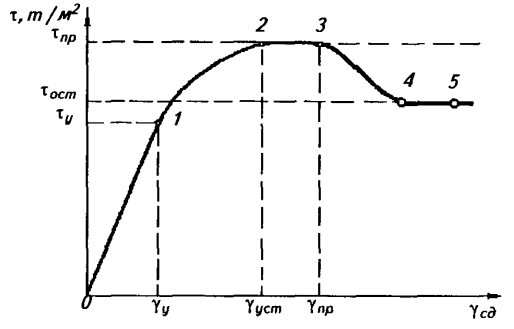


Рис. 7.1. Паспорт деформации горной породы

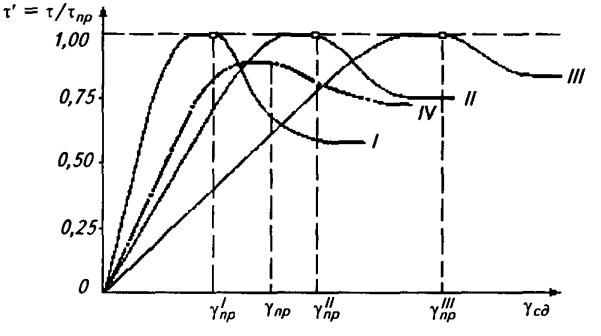


Рис. 7.2. Паспорта деформаций различных пород (*I*, *II*, *III*) и обобщенный график зависимости между относительным сопротивлением сдвигу слоистого (трехслойного) массива и его деформациями (*IV*)

3. По смещениям реперов профильной линии на поверхности прибортового массива, устанавливаемым маркшейдерскими наблюдениями, вычисляют величину деформаций, например, сдвига прибортовой зоны массива горных пород. Сдвиг на интервале между соседними реперами наблюдательной профильной линии, заложенной нормально простиранию борта, вычисляют по формуле:

$$\gamma_{сд} = \frac{b_{n+1} - b_n \cos(\alpha_{n+1} - \alpha_n)}{\ell \sin \alpha_{n+1}}, \qquad (7.2)$$

где b_n и b_{n+1} – полные смещения предыдущего и последующего (расположенного ближе к верхней бровке борта) реперов; α_n и α_{n+1} – углы наклона к горизонту векторов смещений тех же реперов; ℓ – горизонтальное расстояние между реперами.

4. Вычисляют коэффициент запаса устойчивости борта разреза по наиболее напряженной поверхности как отношение суммы сил, удерживающих призму возможного обрушения в равновесии – $F_{уд}$, представляющих собой внутренние силы сопротивления горного массива деформированию и разрушению, к сумме внешних сдвигающих сил – $F_{сдв}$, стремящихся вывести ее из состояния равновесия:

$$n = \frac{\sum F_{уд}}{\sum F_{сдв}} .$$

Величину внутренних сил $F_{уд}$ сопротивления слоистого массива вычисляют по формуле:

$$F_{уд} = \sum \tau_{пр_i} \ell_i \tau'_i ,$$

где $\tau_{пр_i}$ – предельное сопротивление сдвигу породы слоя, соответствующее нормальному напряжению на поверхности скольжения в пределах слоя и снятое с паспорта прочности породы слоя; τ'_i – относительное сопротивление сдвигу породы слоя, соответствующее предельному сдвигу; ℓ_i – протяженность участка поверхности скольжения в слое породы.

Сумму сдвигающих сил $F_{сдв}$, действующих по поверхности скольжения, вычисляют по формуле:

$$F_{сдв} = \sum P_i \sin j_i ,$$

где P_i – вес блоков, на которые разбита призма обрушения вертикальными гранями; j_i – угол наклона площадки скольжения в основании блока.

5. На паспорте деформации породы в однородном массиве $\tau' = f(\gamma_{сд})$ и группы слоев в слоистом $\tau'_{ср} = f(\gamma_{сд})$ находят величину деформации $\gamma_{опр}$, соответствующую уровню напряженности по наиболее напряженной поверхности оцениваемого борта разреза, численно выражающемуся величиной $1/n$ (здесь n – вычисленный коэффициент запаса устойчивости борта).

Поскольку максимальный сдвиг в прибортовом массиве приурочен к наиболее напряженной поверхности скольжения, уровень напряженности на которой определяется величиной обратной коэффициенту запаса, т. е. $1/n$, величину максимального сдвига, вычисленного по результатам натурных наблюдений, сравнивают с величиной $\gamma_{опр}$, снятой с паспорта деформации при том же уровне напряженности.

Если вычисленный коэффициент запаса устойчивости борта соответствует реальному, то максимальная деформация сдвига γ_{max}, вычисленная по результатам натурных наблюдений, должна совпадать с деформацией сдвига $\gamma_{опр}$, снятой с паспорта деформации при том же уровне напряженности.

При несовпадении величины γ_{max} с величиной $\gamma_{опр}$ определяют уровень напряженности τ' или $\tau'_{ср}$ (в слоистом массиве), соответствующий γ_{max}, обратная величина которого характеризует коэффициент запаса устойчивости исследуемого борта.

7.1.2. Приближенную оценку состояния устойчивости бортов разрезов по наблюдаемым смещениям прибортовых массивов, представленных слабыми породами, основанную на подобии схем деформирования испытываемых пород в срезных приборах и прибортовых массивов в натурных условиях, осуществляют в последовательности, изложенной в Прил. 9.

7.2. РАСЧЕТ СИЛ, СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ АКТИВНО РАЗВИВАЮЩИЕСЯ ОПОЛЗНИ В ОДНОРОДНЫХ МАССИВАХ СЛАБЫХ ПОРОД

7.2.1. Расчет сил, необходимых для стабилизации активно развивающихся оползней, осуществляется по формуле [26]:

$$\Delta F_{изб} = F_{сдв} - F_{дл} = (F_{ст} - F_{дл})\left(\frac{\vartheta_0}{a}\right)^{\frac{1}{b}}. \qquad (7.3)$$

Вычисленная величина $\Delta F_{изб}$, представляющая собой избыток сдвигающих сил над внутренними силами долговременной сопротивляемости сдвигу прибортового массива, воздействует на прибортовой массив по поверхности вероятного разрушения и вызывает смещение призмы обрушения со скоростью ϑ_0. При устранении этого избытка смещение прекращается.

7.2.2. Формулу можно применять, если натурными испытаниями зафиксирована установившаяся скорость смещения потенциальной призмы обрушения и предварительно определены коэффициенты a и b.

Указанные коэффициенты определяют путем лабораторных испытаний пород прибортового массива, в котором развивается оползень, из зависимости:

$$\vartheta_0 = a\left(\frac{\Delta\tau}{\Delta\tau_0}\right)^b, \qquad (7.4)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от свойств горных пород; коэффициент a имеет размерность скорости;

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{сдв} - \tau_{дл}}{\tau_{ст}}; \quad \Delta\tau_0 = \frac{\tau_{ст} - \tau_{дл}}{\tau_{ст}};$$

$\tau_{сдв}$ – действующее сдвигающее напряжение; $\tau_{дл}$ – напряжение на пределе длительной прочности породы; $\tau_{ст}$ – напряжение стандартной (кратковременной) прочности породы.

7.2.3. При равенстве уровней напряженности на потенциальной поверхности скольжения развивающегося оползня и на поверхности потенциального разрушения испытываемой породы, в которой проходит поверхность скольжения оползня, т. е. при

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{сдв} - \tau_{дл}}{\tau_{ст}} = \frac{F_{сдв} - F_{дл}}{F_{ст}} \qquad (7.5)$$

относительные скорости смещения в образце и в массиве одинаковы. На основе (7.5) силы, которые надо добавить к удерживающим силам или на которые надо уменьшить сдвигающие силы, могут быть вычислены также по формуле:

$$\Delta F_{изб} = F_{сдв} - F_{дл} = \Delta\tau F_{ст}.$$

7.3. ПРОГНОЗ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ НЕТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ИХ ДЕФОРМАЦИОННЫМ СВОЙСТВАМ

7.3.1. Прогноз смещений земной поверхности борта разреза выполняют после установления схемы деформирования прибортового массива и исследования прочностных и деформационных свойств горных пород, слагающих прибортовой массив.

Характер деформирования (схема деформирования) прибортового массива определяется, в основном, его геологическим строением, структурой и прочностными свойствами горных пород [8, 24].

7.3.2. В однородном (квазиизотропном) прибортовом массиве зона деформаций по земной поверхности распространяется на значительное расстояние от верхней бровки борта, достигая 1,5H (H – высота борта), и плавно сокращается с глубиной от поверхности к основанию откоса (рис. 7.3).

Деформации в основании откоса распространяются на расстояние, приблизительно равное 0,3H от нижней бровки откоса. Изолинии смещений имеют плавный криволинейный вид и форму, подобную форме поверхности скольжения; изолиния нулевых смещений заглубляется ниже подошвы борта на глубину около 0,3H, а изолиния максимального смещения выходит на борт на высоте (0,2–0,3)H от его нижней бровки.

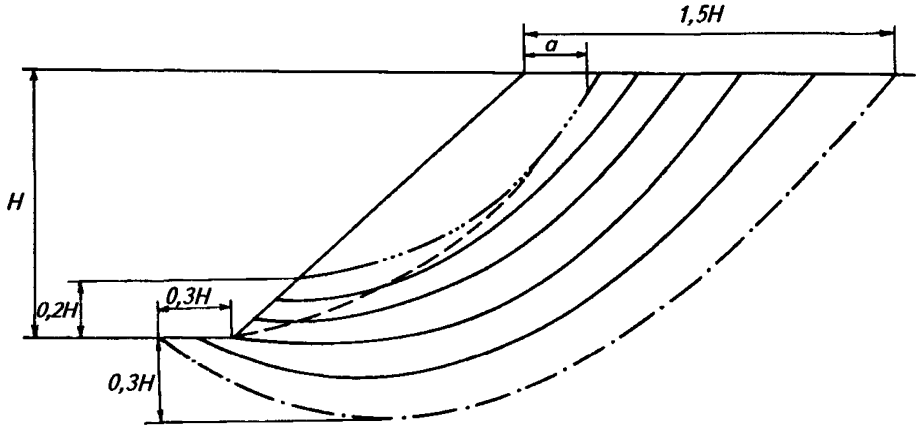


Рис. 7.3. Положение изолиний смещения в однородном (квазиизотропном) массиве:

— ··· — ··· — ··· – изолинии максимальных смещений; — · — · — · — – то же, нулевых

7.3.3. По каждой изолинии смещения методом алгебраического сложения сил производится расчет коэффициента запаса устойчивости по схеме, изложенной в пп. 5.1.6, 5.2.1.

После построения на профиле графика изменения коэффициента запаса земная поверхность прибортовой зоны разбивается на интервалы, тяготеющие к той или иной изолинии смещения. Ширина интервалов выбирается так, чтобы в их пределах коэффициент запаса устойчивости изменялся не более чем на 0,1.

7.3.4. Смещение всего интервала, тяготеющего к изолинии, происходит по направлению этой изолинии, а величина сдвига зависит от деформационных свойств породного массива и коэффициента запаса устойчивости.

При этом величина относительного сдвига $\gamma_{сд}$ в пределах выделенного интервала принимается постоянной и определяется по паспортам деформаций и прочности, исходя из уровня напряженности по изолиниям смещения.

Порядок расчета смещений земной поверхности в прибортовой зоне для конкретных горно-геологических условий приведен в Прил. 10.

7.3.5. Если прибортовой массив ослаблен в основании борта горизонтальным или пологозалегающим контактом, то развитие деформаций в нем отмечается рядом характерных признаков (см. рис. П.8.5). В этих условиях уже в скрытую стадию развития оползня-надвига в прибортовом массиве формируются клин активного давления *BCDE* и призма упора *ABE*, которые легко устанавливаются по направлению векторов смещения наблюдательных реперов (рис. 7.4).

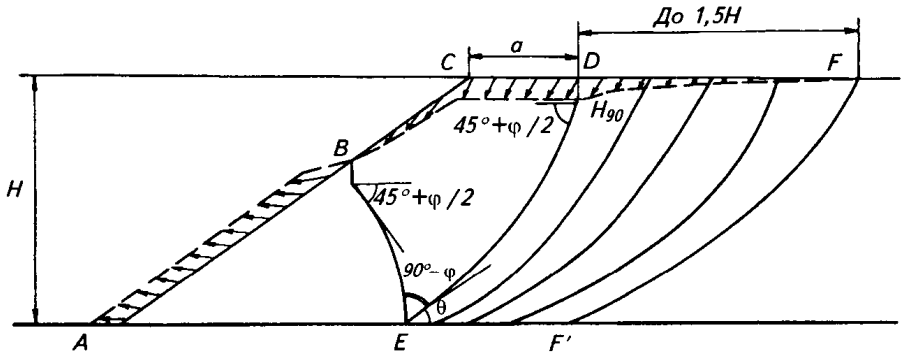


Рис. 7.4. Схема деформирования прибортового массива разреза, ослабленного в основании борта подработанным горными работами горизонтальным или пологозалегающим контактом

Зона деформаций за пределами призмы обрушения по поверхности прибортового массива распространяется на величину до 1,5H, а изолинии смещения в зоне $EDFF'$ (см. рис. 7.4) имеют плавный криволинейный вид. Ширина призмы обрушения a изменяется в различных условиях от 0 до (0,4–0,6)H.

7.3.6. Порядок расчета смещений земной поверхности прибортового массива при развитии оползня-надвига аналогичен описанному для однородного откоса; пример расчета смещений прибортового массива в этих условиях приведен в Прил. 10.

8. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ

8.1. СХЕМЫ ВСКРЫТИЯ И КОНСТРУКЦИИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ В ЛЕЖАЧЕМ БОКУ, РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПО УСЛОВИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ

8.1.1. При разработке пластов, залегание которых близко к горизонтальному ($\beta \leq 5°$), величина угла β практически не влияет на устойчивость бортов. В проекте должны предусматриваться меры по предупреждению деформаций откосов, связанных с неравнопрочностью массива горных пород в границах отрабатываемого месторождения.

В процессе проектирования следует:

– при наличии на выемочных полях протяженных ослабленных зон раскраивать участки (выемочные блоки) с таким расчетом, чтобы борта разреза пересекали эти зоны в поперечном направлении, а локальные участки, сложенные менее прочными породами, не попадали (по возможности) на предельный контур разреза (рис. 8.1, *а*);

– предусматривать отработку запасов каждого участка (блока) в направлении от более крепких пород к слабым с тем, чтобы время стояния менее устойчивых участков бортов было сведено к минимуму (рис. 8.1, *б*);

– на участках с аномальным залеганием слоев корректировать направление подвигания фронта горных работ, переходя от параллельного к веерному и диагональному подвиганию, что обеспечит более пологие углы наклона слоев, подрезаемых бортом (рис. 8.1, *в*). Величину угла поворота фронта горных работ определяют расчетом при заданном угле наклона подрезаемых контактов.

8.1.2. При разработке пологих пластов ($\beta = 6–15°$) по бестранспортной технологии деформациям чаще всего подвержены нерабочий борт, нагруженный отвалом, борт разрезной траншеи и внутренний отвал*.

Устойчивость нерабочего борта в этих условиях можно повысить, пригрузив породой его нижнюю часть. Варианты с отсыпкой упорной призмы приведены в Прил. 11.

8.1.3. Полого- и наклоннозалегающие пласты ($\beta > 16°$) разрабатывают по транспортной технологии. В зависимости от физико-механических свойств пород и состояния контактов между слоями возможны следующие варианты расположения вскрывающих выработок и конструкций борта в лежачем боку месторождения.

---

* Способы предупреждения оползней отвалов, разд. 9.

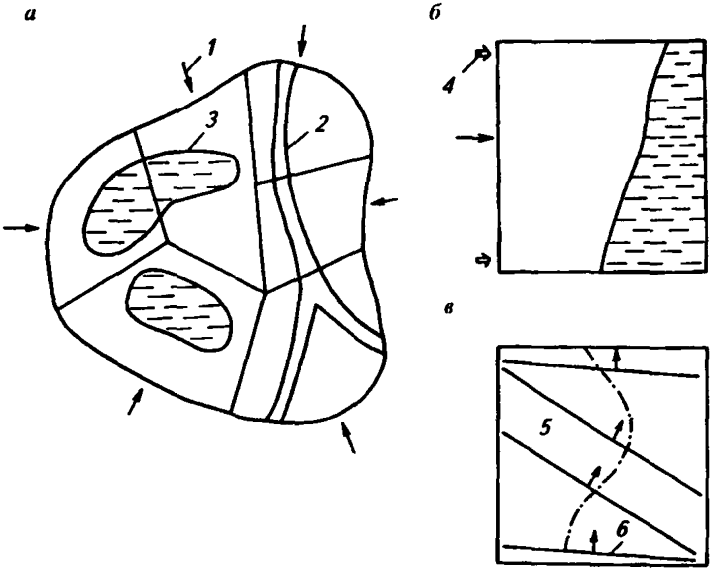


Рис. 8.1. Схемы раскройки разрабатываемых участков горизонтальных пластов и порядок их отработки при наличии:

а – протяженной ослабленной зоны (*2*); *б* – сочетания прочных и слабых пород (*3*); *в* – аномального залегания слоев (*5*).

1 – направление разработки; *4* – фланговые траншеи внешнего заложения; *6* – направление подвигания фронта горных работ

1. Расчетами установлено, что $\alpha_{пр} \geq \beta$. В этом случае вскрытие пласта осуществляют капитальными траншеями внешнего заложения у выходов пласта под наносы, а нерабочий борт по возможности совмещают с почвой пласта. При необходимости устройства транспортных берм они могут быть врезными при $\beta < \varphi'$, либо насыпными (рис. 8.2). Если подрезка контактов не допускается (обычно при $\beta > 20°$), то откос над врезной бермой, либо берму с подрезанными контактами необходимо укреплять.

2. Расчетами установлено, что $\alpha_{пр} < \beta$. Следовательно, необходимо наличие разгрузочных берм. Ими могут быть капитальные транспортные и другие бермы.

Для оптимизации угла наклона борта ($\alpha = \alpha_{пр}$), в зависимости от допустимости подрезки контактов слоев, бермы могут быть врезными (см. рис. 8.2) или нарезными (рис. 8.3).

3. Вопрос о необходимости предохранительных (улавливающих) берм и их конструктивном исполнении должен решаться в каждом конкретном случае в зависимости от величин углов β, φ' и α с учетом вероятности осыпеобразования. Ширина бермы во всех случаях должна обеспечивать возможность механизированной ее очистки от осыпи [29]. Целесообразность применения той или иной конструкции борта определяется технико-экономическими расчетами.

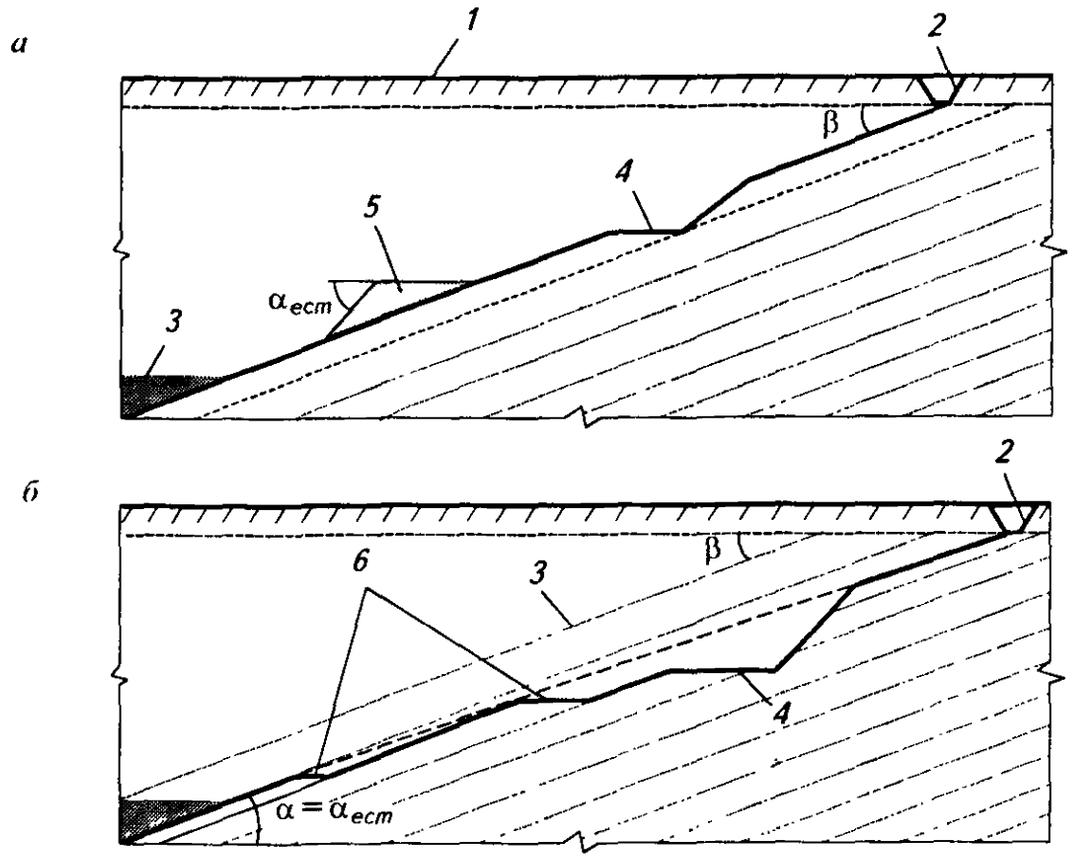


Рис. 8.2. Поперечные сечения пологого пласта (*3*), вскрываемого капитальными выработками (*2*):

а – борт с врезной (*4*) и насыпной (*5*) бермами; *б* – борт с врезной (*4*) и нарезными (*6*) бермами; *1* – наносы; β, α, $\alpha_{пр}$, $\alpha_{ест}$ – углы соответственно залегания пласта, наклона борта (проектный и предельный), естественного откоса

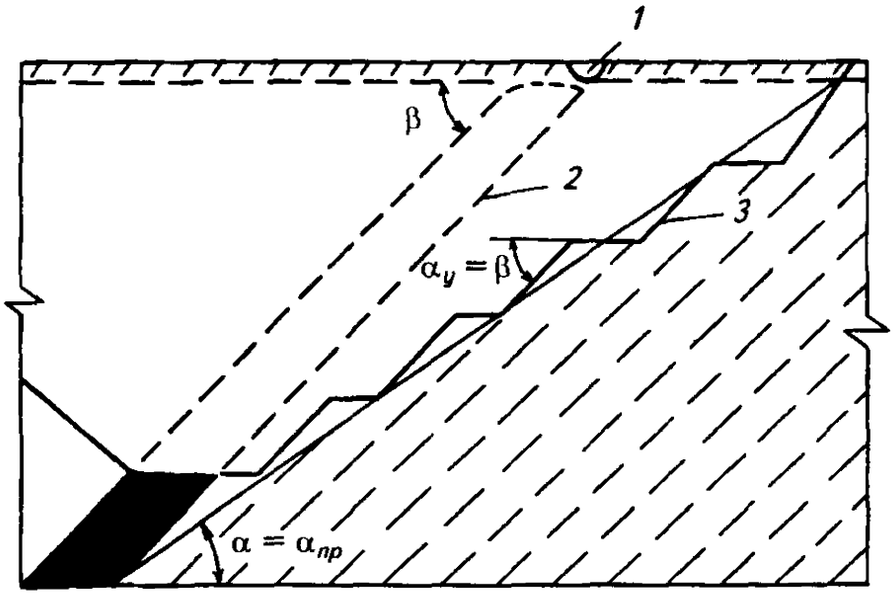


Рис. 8.3. Поперечное сечение наклонного пласта (*2*), вскрываемого временной выработкой (*1*), и конструкция борта (*3*) с нарезными бермами:

α_y – угол откоса уступа (обозначения остальных углов см. на рис. 8.2)

8.1.4. Наклонно- и крутозалегающие пласты предпочтительнее вскрывать временными траншеями, располагаемыми у выходов пласта под наносы.

В тех случаях, когда возможно расслоение массива в уступах и опрокидывание слоев (при $\beta > 50°$), заоткоску уступов следует производить под углом $\alpha_y < \beta$. Варианты конструкций бортов приведены на рис. 8.4.

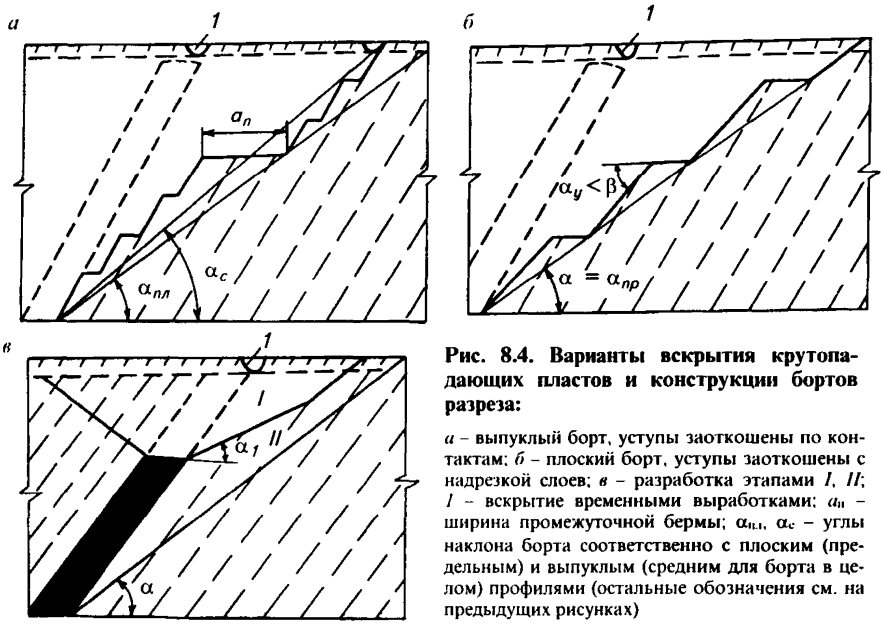


Рис. 8.4. Варианты вскрытия крутопадающих пластов и конструкции бортов разреза:

а – выпуклый борт, уступы заоткошены по контактам; *б* – плоский борт, уступы заоткошены с надрезкой слоев; *в* – разработка этапами *I*, *II*; *1* – вскрытие временными выработками; $a_п$ – ширина промежуточной бермы; $\alpha_{пл}$, α_c – углы наклона борта соответственно с плоским (предельным) и выпуклым (средним для борта в целом) профилями (остальные обозначения см. на предыдущих рисунках)

Мероприятия по повышению надежности устойчивости бортов глубоких разрезов включают [30]:

– вскрытие временными траншеями;

– разработку месторождения этапами с формированием временных нерабочих бортов.

8.1.5. Мульдообразное залегание пластов включает элементы пологого, наклонного и крутого залегания на различных участках мульды. Соответственно этому залеганию применяют приведенные для различных групп месторождений схемы вскрытия.

Выбор схемы вскрытия и направления разработки обусловливается размерами мульды, ее формой, условиями залегания пластов, рельефом местности (Прил. 12). При центральном расположении вскрывающих выработок разработку ведут в направлении восстания пласта. Если горные породы склонны к оползанию, то целесообразно использовать

управляемое оползнеобразование с целью повышения производительности вскрышного оборудования.

При изменчивости залегания угольных пластов в отрабатываемом блоке устойчивость рабочего борта и внутреннего отвала можно повысить путем варьирования направления подвигания фронта работ. Необходимую величину угла поворота фронта работ определяют расчетом [31].

8.1.6. Как показывает анализ причин деформирования бортов капитальных и разрезных траншей в процессе их проходки, основными из них являются:

– неудачный, с точки зрения устойчивости откосов, выбор места заложения траншеи;

– нагружение бортов траншеи породами вскрыши и оборудованием сверх допустимого предела;

– несоответствие параметров борта траншеи прочностным характеристикам пород;

– обводненность массива горных пород.

Место заложения капитальной траншеи на месторождении со сложными геологическими и инженерно-геологическими условиями существенно влияет на устойчивость как ее бортов, так и проходимой затем разрезной траншеи. При наличии на поле разреза участков с различным залеганием слоев имеется возможность выбрать вариант с более благоприятными условиями для устойчивости бортов траншеи.

Такие условия обеспечиваются в следующих случаях:

– ось траншеи пересекает антиклинальную складку (рис. 8.5, *а*);

– ось траншеи ориентирована перпендикулярно или под углом к направлению падения слоев (падение несогласное, рис. 8.5, *б*, либо согласное, рис. 8.5, *в*, с наклоном дна траншеи).

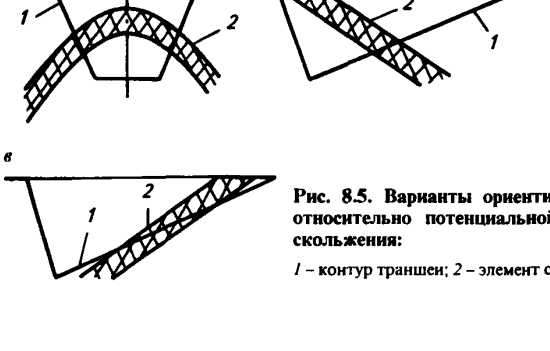


Рис. 8.5. Варианты ориентирования оси траншеи относительно потенциальной поверхности (зоны) скольжения:

1 – контур траншеи; *2* – элемент слоистости

8.2. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В РЕАЛЬНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

8.2.1. Выбор инженерно-технических мероприятий зависит от их целевого назначения и горно-геологических условий участка борта.

8.2.2. Для защиты законтурного массива от воздействия взрывов в скальных и полускальных породах угольных месторождений (в основном висячего бока) следует применять контурное взрывание по специальным технологиям, диагональные схемы коммутации взрывной сети, короткозамедленное взрывание и рассредоточенные заряды в приконтурных блоках [31].

Контурное взрывание осуществляется путем:

– предварительной проходки экранно-отрезных щелей и создания буферных зон до приближения горных работ к границе разреза на 30–50 м;

– гладкого откола зарядами ВВ в наклонных сближенных скважинах последнего ряда взрываемого приконтурного блока (Прил. 13).

8.2.3. Взрывы в приконтурных зонах разреза должны производиться по специальному проекту (паспорту), утвержденному в установленном порядке.

8.2.4. Подвалку борта (уступа) контрфорсом из крепких пород рекомендуется применять для повышения устойчивости откосов, склонных к оползанию (рис. 8.6, *а*, *б*). Она может быть постоянной (нерабочий борт) и временной (рабочий борт). Необходимость в последней может возникнуть при разработке в направлении восстания слоев (аномальное залегание, крылья мульд и др.).

Параметры упорной призмы или контрфорса при плоской поверхности сдвига (рис. 8.6, *б*) определяют исходя из дефицита удерживающих сил. Борт находится в предельном равновесном состоянии, $n = 1$ (запас введен в прочностные характеристики пород) при условии:

$$P(\sin\beta - \cos\beta\,\mathrm{tg}\varphi') - C'L - \sigma_p h_{тр} = P_0 f\,, \qquad (8.1)$$

где P – масса потенциальной призмы оползания; $h_{тр}$ – высота трещины отрыва; σ_p – удельное сопротивление отрыву; P_0 – эффективное давление, создаваемое навалом породы; f – коэффициент трения в основании (или теле) навала; C', φ' – соответственно сцепление и угол трения в зоне сдвига; L – длина поверхности скольжения.

В тех случаях, когда сдвиг предполагается по гипотетической криволинейной поверхности скольжения (см. рис. 8.6, *а*), контрфорс рассматривается как призма упора в типичной призме возможного обрушения. Общее сопротивление сдвигу определяют методами, изложенными в разд. 5.

8.2.5. Для предотвращения выноса и переотложения фильтрующимся потоком мелких частиц рыхлых песчаных отложений и обеспечения устойчивости откосов в границах промежутка высачивания,

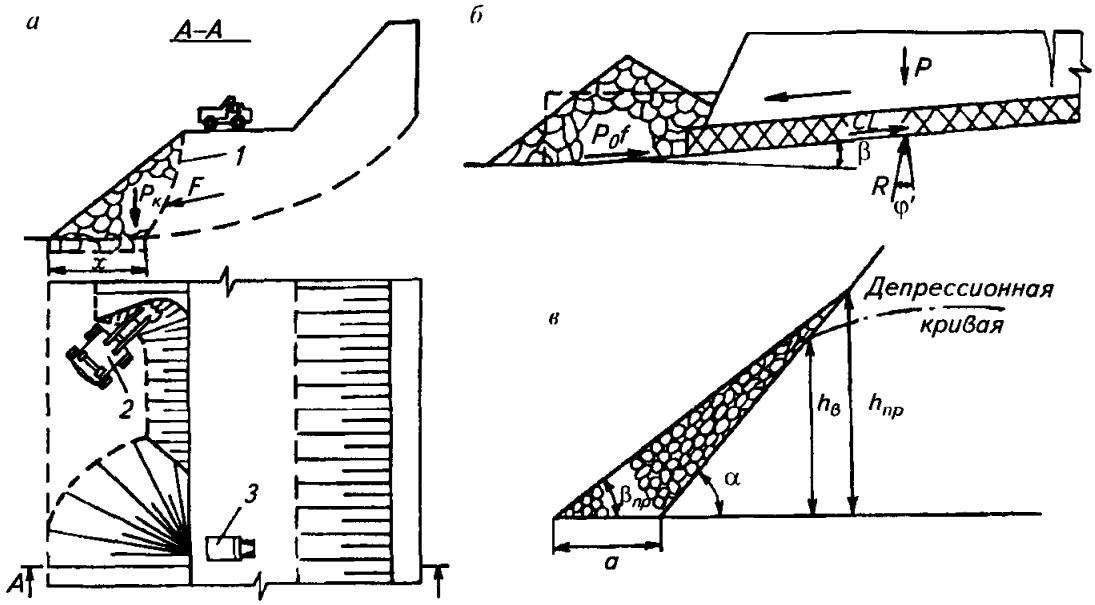


Рис. 8.6. Схемы повышения устойчивости откосов путем их пригрузки:

а – последовательность отсыпки контрфорса (*1*) автосамосвалом (*3*) в забое экскаватора (*2*); *б* – временная пригрузка рабочего борта; *в* – пригрузка фильтрующим материалом обводненного уступа (остальные обозначения см. в п. 8.2)

рекомендуется пригружать откос гравийно-щебеночным материалом в виде призмы (см. рис. 8.6, *в*) в сочетании с водоприемной канавой. Параметры пригрузочной призмы зависят от коэффициентов фильтрации пород в откосе $K_ф$ и пригрузки $k_{пр}$, высоты высачивания $h_в$ и ожидаемых притоков q_0.

Высота пригрузки $h_{пр}$ должна быть больше высоты высачивания и приближенно может составлять (1,1–1,2) $h_в$.

Высоту высачивания $h_в$ определяют по наблюдениям или аналитически [3, 15]. Ширина основания призмы зависит от угла откоса укрепляемого уступа α и угла естественного откоса пригрузки $\beta_{пр}$, величина которого близка к величине угла внутреннего трения использованного в ней материала:

$$a = h_{пр}(\operatorname{ctg}\beta_{пр} - \operatorname{ctg}\alpha). \qquad (8.2)$$

8.2.6. Принцип укрепления неустойчивых откосов механическими способами основан на перераспределении напряжений в массиве горных пород. Воспринимая давление призмы обрушения, укрепительные конструкции и сооружения передают его устойчивой части массива, находящейся вне зоны сдвига. Необходимым условием применения механических способов укрепления откосов является наличие прочного, устойчивого массива за поверхностью (или зоной) скольжения или же в основании откоса [32].

Расчет устойчивости укрепляемых откосов включает определение:

– ожидаемого давления горных пород на крепь (см. Прил. 14);

– параметров элемента крепи.

8.2.7. В отдельных условиях устойчивость бортов и уступов разрезов, откосов отвалов может быть повышена за счет дренажных мероприятий. Обеспечение общей устойчивости бортов глубоких разрезов достигается при принудительном снижении напоров водоносных пластов, залегающих в лежачем боку месторождения (в прибортовом массиве или в подошве разреза) и экранированных относительными водоупорами. Необходимая величина понижения напоров определяется расчетом устойчивости борта.

Наряду с повышением эффективных напряжений и соответствующих удерживающих сил снижение гидростатических давлений в прибортовых массивах и в подошве разрезов обеспечивает предотвращение набухания глинистых пород (снижение их прочности). Снижение напоров водоносных пластов, характеризующихся относительно высокой проводимостью (более 10 $м^2$/сут) может быть обеспечено за счет применения водопонижающих скважин. Для снижения напоров в слабопроницаемых пластах эффективным техническим средством являются самоизливающие горизонтальные, вертикальные или наклонные скважины. Самоизливающие скважины могут оборудоваться в виде ярусов по мере углубки разреза. Расстояния между ярусами определяются расчетом устойчивости бортов разрезов.

Для ограничения фильтрационных деформаций рыхлых песчано-глинистых (покровных) отложений наряду с фильтрующими пригрузками могут быть использованы контурные системы заградительного дренажа, представленные водопонижающими скважинами, а в особо сложных условиях – подземными дренажными комплексами. На нерабочих бортах могут быть использованы горизонтальные самоизливающие скважины. Ограничение водопритоков к фильтрующим откосам определяется предварительной оценкой длины языков оплывания с учетом технологических параметров горных работ.

Обеспечение устойчивости внутренних отвалов достигается осушением подошвы с применением дренажных траншей, заполняемых фильтрующим материалом или снижением напоров водоносных пластов, экранированных водоупорами малой мощности.

9. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ

9.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ

Для решения вопроса устойчивости отвалов на разрезах, кроме перечисленных в разд. 2, необходимо детально изучить следующие факторы:

– процентное соотношение во вскрыше отдельных литологических разностей;

– сопротивление сдвигу отвальных пород;

– прочностные свойства пород основания отвалов, включая характеристики сопротивления сдвигу по контактам отвал–основание или контактам в породах основания отвалов;

– технологию отвалообразования.

Из наблюдаемых на отвалах видов деформаций – оползней, осыпей, просадок и оплывин наиболее опасным и широко распространенным видом являются оползни. Основной причиной оползней является несоответствие параметров отвалов несущей способности отвальной массы и пород основания отвалов. В зависимости от положения нижней границы поверхности скольжения оползни разделяют на три типа – надподошвенные, контактные и подподошвенные.

Надподошвенные оползни отвалов характеризуются плавной криволинейной поверхностью скольжения, образующейся в теле отвала и выходящей в нижнюю бровку откоса, аналогично изображенной на рис. 5.2.1, *а*.

Контактные оползни (иногда их называют подошвенными) характеризуются ломаной поверхностью скольжения, проходящей по контакту отвал–основание или контакту между слоями в породах основания (рис. 9.1.1).

Подподошвенные оползни возникают при размещении отвалов на основании, породы которого обладают низкой несущей способностью, или в этих породах сохраняются высокие напоры. Они характеризуются плавной криволинейной поверхностью скольжения, захватывающей породы основания, и образованием вала выпирания у нижней бровки откоса (рис. 9.1.2).

Данными видами оползней определяются и схемы расчета устойчивости отвалов, соответствующие конкретной схеме возможной деформации отвала.

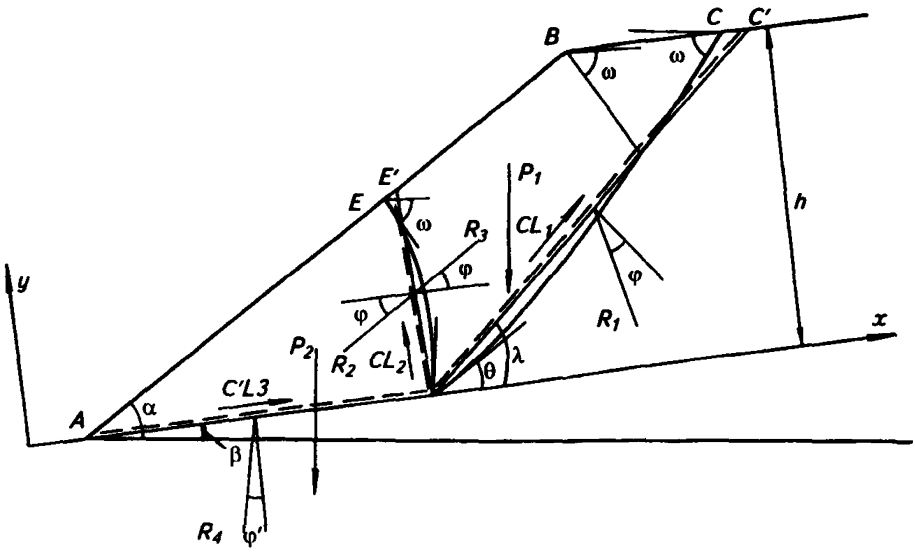


Рис. 9.1.1. Потенциальная поверхность скольжения и схема к расчету устойчивости отвала на слабом контакте отвал–основание

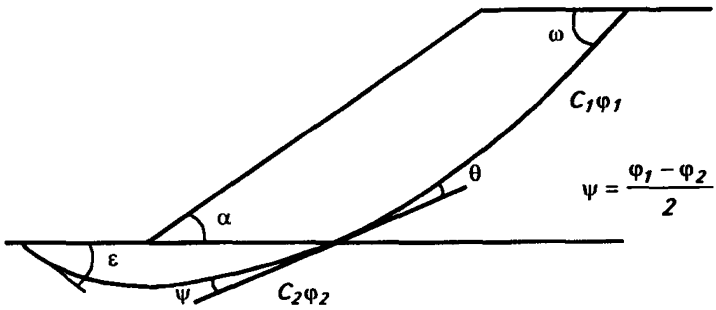


Рис. 9.1.2. Потенциальная поверхность скольжения в теле отвала при наличии в его основании слабого слоя

Горно-геологические условия отвалообразования, встречающиеся в практике открытых горных работ, могут быть сведены к следующим:

– отвалы прочных или слабых пород на прочном основании;

– то же, на наклонном слоистом основании;

– то же, на слабом слое (подподошвенный тип оползня).

Расчеты предельных параметров внешних и внутренних отвалов производятся с коэффициентом запаса, величина которого зависит от многих факторов, в том числе:

– погрешности методов расчета, включая и погрешности самих расчетов;

– погрешности определения основных расчетных характеристик сопротивления сдвигу отвальной смеси;

– изменения этих характеристик с течением времени под влиянием различных факторов;

– погрешности определения объемного веса отвальных пород, составляющих призму возможного обрушения [3].

Погрешности за счет других факторов оказываются значительно меньше. Так, погрешность определения средней величины объемного веса пород, составляющих призму возможного обрушения, не превышает 2–3 %, погрешности методов расчета – 3–5 %, погрешность определения основных расчетных характеристик зависит от способа их определения.

Рекомендуемые значения коэффициента запаса устойчивости приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Рекомендуемые значения коэффициента запаса устойчивости для различных условий отвалообразования

Отвалообразующие породы	Тип отвала	Основание отвала	Рекомендуемый коэффициент запаса устойчивости
Скальные и полускальные породы	Внешний Внутренний	Прочное Слоистое	1,05 1,05*–1,10
Рыхлые песчано-глинистые породы	Внешний Внутренний	Прочное Слоистое Прочное Слоистое	1,10 1,10*–1,20 1,10*–1,15 1,20
Слабые глинистые породы	Внешний Внутренний	Прочное Слабое, слоистое Прочное Слоистое	1,20 1,20*–1,30 1,20 1,20*–1,30
Скальные, полускальные. Рыхлые песчано-глинистые породы	Нагруженный	Любое	1,10*–1,20 1,20*–1,30

* Допустимо при использовании в расчетах показателей физико-механических свойств пород отвалов и их оснований, определенных методом обратных расчетов или натурными испытаниями.

9.1.1. Устойчивость отвалов прочных пород на прочном основании

Параметры отвалов, расположенных на прочном основании, определяются физико-механическими свойствами отвальной массы.

Прочными породами называются скальные и полускальные породы различного состава, величина сцепления в куске которых превышает 200 т/м^2 или величина сопротивления одноосному сжатию более 800 т/м^2.

Прочное основание отвалов может быть представлено скальными, полускальными и песчано-гравелистыми породами, не имеющими четко выраженной слоистости, слабых контактов и слабых прослойков. Основание, имеющее угол наклона до 10°, является горизонтально-пологим; при углах наклона более 10° – наклонным.

Расчеты устойчивости отвалов прочных пород на прочном горизонтально-пологом основании показывают, что высота яруса таких отвалов может быть практически не ограничена.

При размещении на горизонтально-пологом основании максимальную высоту отвалов устанавливают технико-экономическими расчетами с учетом удорожания транспортирования при увеличении высоты отвала, расходов на устройство и поддержание транспортных путей, возможности применения мощного оборудования на высоких отвалах и их рекультивации.

Оценка устойчивости отвалов прочных пород, расположенных на наклонном прочном основании, производится методом многоугольника сил по ряду поверхностей скольжения в соответствии с п. 5.1.10. Построение потенциальных поверхностей скольжения показано на рис. 5.2.1.

9.1.2. Устойчивость отвалов слабых пород на прочном основании

В практике разработки угольных месторождений чаще всего встречаются два типа отвальных смесей: отвалообразующие породы, близкие по своим прочностным свойствам и резко отличающиеся по прочности.

В первом случае сопротивление сдвигу таких смесей определяют как средневзвешенную величину совокупности физико-механических характеристик пород нарушенной структуры, составляющих отвал.

При втором типе смеси, например, представленном смесью прочных пород с каким-либо глинистым заполнителем, сопротивление сдвигу изменяется в иной пропорции, и наибольшее влияние на нее будут оказывать породы с более низкими физико-механическими свойствами.

При содержании в отвалообразующих породах от 15 до 40 % глинистого заполнителя происходит снижение сопротивления сдвигу – от сопротивления сдвигу прочных пород до сопротивления сдвигу глинистого заполнителя (рис. 9.1.3).

Максимальная высота устойчивых отвалов слабых пород на прочном основании ограничивается значением, при котором сопротивление смеси сдвигу достигает максимума – $\tau = max$.

В диапазоне напряжений от 0 до точки σ_1 (рис. 9.1.4), характеризующей напряжение, при котором начинается разворот и разрушение отдельных кусков пород вдоль поверхности скольжения, сопротивление сдвигу будет определяться только углом трения, близким к углу естественного откоса.

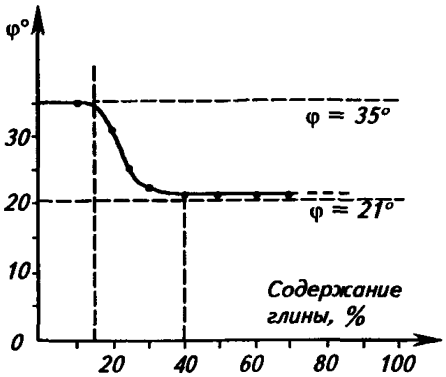


Рис. 9.1.3. Зависимость изменения угла внутреннего трения отвальной смеси от содержания глины

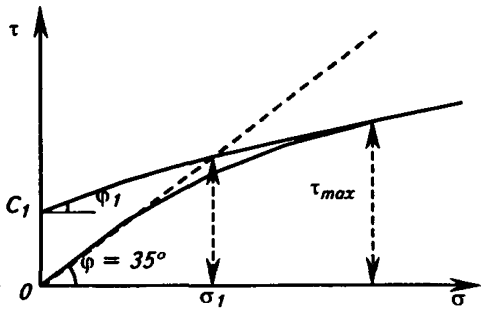


Рис. 9.1.4. Схема, иллюстрирующая формирование сопротивления сдвигу по поверхности скольжения для пород различной прочности

При напряжениях $\sigma > \sigma_1$ процесс уплотнения с увеличением сопротивления пород сдвигу происходит до тех пор, пока нижняя часть массива отвала не перейдет в двухфазное состояние и сопротивление сдвигу смеси достигнет максимума. Высота отвала при этом является предельной.

Расчет устойчивости отвалов слабых пород на прочном основании производят методом касательных напряжений по общему сопротивлению сдвигу. Пример расчета приведен в Прил. 2.

Предельную высоту отвалов, сложенных слабыми породами, можно определить по графику (рис. 9.1.5).

9.1.3. Устойчивость отвалов на наклонном слоистом основании

Отсыпка отвалов на слоистое основание, с точки зрения устойчивости, является одним из наиболее сложных вариантов отвалообразования.

Степень влияния слабого контакта или слоя в основании отвала на параметры устойчивых отвалов определяется соотношением физико-механических свойств отвальных пород, угла наклона контакта или слоя и показателей сопротивления сдвигу по ним.

В Прил. 16 приведены результаты расчетов параметров устойчивых отвалов, отсыпанных на слоистое наклонное основание, при наиболее распространенных прочностных характеристиках сопротивления сдвигу в свежеотсыпанных отвалах как прочных, так и слабых пород: $\alpha \approx \varphi$; $C = 2{,}0$ т/м^2; $C' \approx 2{,}0$ т/м^2; $\gamma \approx 1{,}75$–$1{,}95$ т/м^3 (Прил. 16, табл. 2). Углы падения поверхностей ослабления в основании отвала приняты в пределах $\beta = 0$–$15°$, при $15 \le \varphi' \le 25°$.

Поверочные расчеты устойчивости отвалов, расположенных на наклонном слоистом основании, производят методом многоугольника сил по ряду поверхностей скольжения.

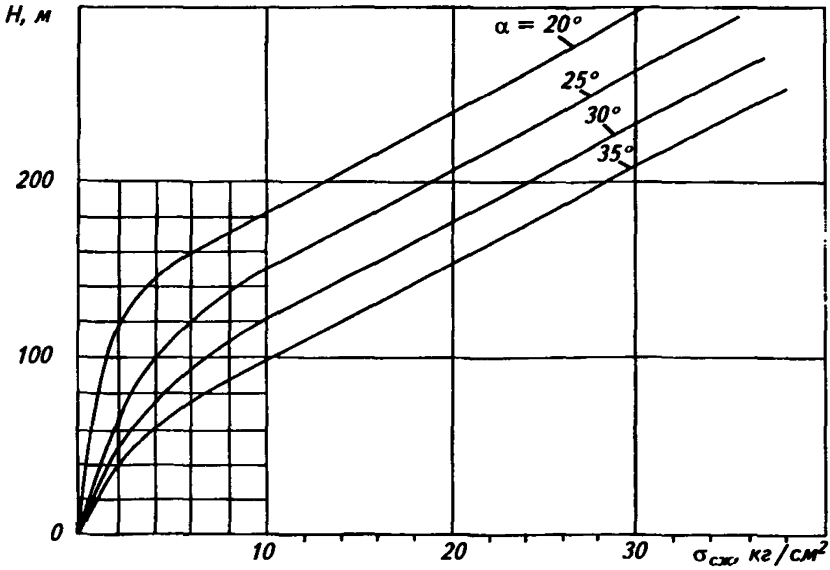


Рис. 9.1.5. Обобщенный график зависимости высоты устойчивого отвала от временного сопротивления сжатию пород в куске и результирующего угла откоса отвала

9.1.4. Устойчивость отвалов прочных и слабых пород на слабом основании

В случае, если мощность слабого слоя в основании отвалов значительна, поверхность скольжения деформирующегося отвала, сложенного из прочных или слабых пород, проходящая по слабому слою, значительно искривляется (см. рис. 9.1.2), что необходимо учитывать при расчете. Чем больше мощность слабого слоя в основании отвала, тем существеннее отличие этой схемы деформирования от схемы деформирования с учетом слабого контакта в основании отвала. Особенно это проявляется в случае отсыпки слабых пород на слабое основание, когда потенциальная поверхность скольжения имеет максимальную кривизну и захватывает значительный объем пород основания. Расчет устойчивости отвала в этом случае выполняют методом многоугольника сил или методом касательных напряжений.

В Прил. 16 (табл. 3 и рис. П.16.2, *а*, *б*) представлены результаты расчетов предельных параметров устойчивых отвалов на слабом основании при различных расчетных характеристиках, которые показывают, что высота отвала мало зависит от величины вторичного сцепления, образующегося в теле отвала после отсыпки, независимо от того, сложен он слабыми или прочными породами, а определяется прочностными характеристиками слабого основания.

При наличии в почве отработанных наклонных угольных пластов относительно мощных водоупоров (более 3–5 м) создаются условия для сохранения высоких остаточных напоров в подугольных водоносных горизонтах, которые могут существенно влиять на устойчивость отвалов; в этих случаях необходимо принимать меры по их снижению.

Данные графиков и таблиц, приведенных в Прил. 16, позволяют дать предварительные рекомендации по определению параметров устойчивых отвалов. Различное сочетание инженерно-геологических, гидрогеологических и горно-технических условий могут в различной степени внести коррективы в предварительные результаты.

9.1.5. Устойчивость гидроотвалов

На устойчивость намывных отвалов (гидроотвалов), наряду с вышеперечисленными, оказывает влияние также ряд специфических факторов, определяемых способом отвалообразования:

– непостоянные свойства намывных пород, изменяющиеся как в пространстве, так и во времени в зависимости от условий и интенсивности протекания процессов фильтрационной консолидации;

– непостоянное во времени напряженное состояние пород намывного массива, определяемое развитием порового давления, которое, в свою очередь, зависит от интенсивности ведения строительных и гидроотвальных работ;

– неоднородное строение намывного массива, вызванное закономерным изменением состава пород вследствие фракционирования пульпы при намыве.

Оценка устойчивости гидроотвалов в периоды проектирования, строительства, эксплуатации и, возможно, дальнейшего использования в качестве основания различных сооружений требует:

– изучения состава, состояния (напряженного и физического) и свойств намывных пород;

– прогнозирования напряженного состояния и физико-механических свойств намывных массивов при изменении параметров гидроотвального сооружения;

– контролирования состояния и свойств намывных пород на различных этапах существования гидроотвала.

Инженерно-геологические исследования на гидроотвалах включают комплекс полевых и лабораторных работ по изучению состава, состояния и свойств пород намывного массива, естественного основания и дамб, а также опытно-промышленные эксперименты по изучению условий консолидации отложений гидроотвалов [37].

Исследования гидроотвалов на стадии эксплуатации следует производить на каждом этапе увеличения высоты сооружения перед строительством очередной дамбы или отдельных ее ярусов (очередей). Если намывное сооружение формируется одним ярусом в течение всего

периода эксплуатации или намывается с небольшой интенсивностью, то данные исследования необходимо выполнять не реже чем раз в пять лет.

Для прогнозирования напряженного состояния пород гидроотвалов следует использовать аналитические зависимости теории консолидации, а в сложных условиях – применять математическое моделирование. Оценку изменения свойств пород гидроотвалов осуществляют в лабораторных условиях постановкой специальных экспериментов, моделирующих различное напряженное состояние пород.

Расчеты устойчивости гидроотвалов рекомендуется производить методом алгебраического сложения сил по плавной криволинейной поверхности скольжения с учетом действия сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления (Прил. 16.6). В случаях, когда откос гидроотвала сложен породами с высокой ($K_\phi > 10^{-1}$ м/сут) или низкой ($K_\phi < 10^{-5}$ м/сут) проницаемостью, расчеты можно выполнять без учета изменения порового давления.

Оценку состояния устойчивости гидроотвалов следует производить ежегодно перед началом сезона намыва и выполнением строительных работ по формированию дамб наращивания с привлечением специализированных организаций.

Для контролирования состояния и свойств пород намывных сооружений необходима организация системы гидрогеомеханического контроля, включающая измерение давлений по специальным датчикам, заложенным в намывной массив, и деформаций поверхности гидроотвала маркшейдерскими методами. Регламент выполнения данных работ определен нормативно-методическими документами ВНИМИ [37].

9.2. ПОДРЕЗКА ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ОТВАЛОВ НА ПРОЧНОМ ОСНОВАНИИ

Параметрами подрезки отвалов при ее необходимости (например, для увеличения емкости выработанного пространства при внутреннем отвалообразовании, выемки оползшей массы на оползневых участках и проведения технологических дорог) являются высота $H_п$ и угол откоса $\alpha_п$, которые зависят от физико-механических свойств отвальной массы: сцепления C, угла внутреннего трения φ и плотности γ.

При вертикальной подрезке ее высоту рассчитывают по формуле (5.2):

$$H_{90} = \frac{2C_п}{\gamma}\operatorname{ctg}\left(45° - \varphi_п/2\right).$$

При подрезке под заданным углом $\alpha_п$ = 40–80° высоту рассчитывают по формуле:

$$H_{\text{п}} = H_0' H_{90},$$

где H_0' – условная высота подрезки, определяемая по графику, приведенному в Прил. 16 на рис. П.16.3; H_{90} – высота вертикального откоса, рассчитываемая по формуле (5.2) или определяемая по графикам, приведенным в Прил. 16 на рис. П.16.4, *а*, *б*, если плотность отвальной массы γ составляет 1,8–2,0 т/м³.

Подрезка отвалов, сложенных крепкими скальными и полускальными породами и характеризующихся только углом внутреннего трения (сцепление практически отсутствует – сыпучая среда), недопустима.

9.3. РАЗГРУЗКА АВТОСАМОСВАЛОВ ПОД ОТКОС ОТВАЛА

При расположении автосамосвала вблизи верхней бровки отвала для его разгрузки непосредственно под откос (табл. 9.2) возможно образование криволинейной поверхности скольжения под задним мостом автосамосвала на глубине от 3 до 10 м.

Таблица 9.2

Минимальная ширина бермы безопасности при разгрузке автосамосвалов непосредственно под откос

Марка автосамосвала	Минимальная ширина бермы безопасности, м
Белаз-548	1,5
Белаз-549	2,0
Белаз-7519	2,5
Камацу	2,9
Юклид	3,0
Юнит Риг	3,4

Технические характеристики автосамосвалов, применяемых в настоящее время на угольных разрезах, приведены в Прил. 16 (табл. 4). При разгрузке автосамосвалов непосредственно под откос для оценки устойчивости отвала необходимы следующие характеристики: полный вес автосамосвала, ширина задней колеи, диаметр заднего колеса, расстояние между осью заднего колеса и нижней точкой поднятого кузова. Расчетными характеристиками являются нагрузка на задний мост и вес заднего моста на 1 м по простиранию яруса отвала в пределах задней колеи автосамосвала.

Нагрузка на задний мост составляет две трети полного веса автосамосвала. Вес заднего моста на 1 м отвала по протяженности в пределах задней колеи автосамосвала рассчитывают по формуле:

$$\Delta P = P_{зм}/a_к,$$

где $P_{зм}$ – нагрузка на задний мост автосамосвала; $a_к$ – ширина задней колеи.

9.4. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ, НАГРУЖЕННЫХ ГОРНОТРАНСПОРТНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Устойчивость нагруженных отвалов, а также безопасная эксплуатация на отвалах тяжелого горнотранспортного оборудования осуществляется при одновременном выполнении следующих условий:

– обеспечения несущей способности пород под опорными элементами при работе оборудования;

– обеспечения устойчивости отвала с учетом веса оборудования [16].

Деформации отвалов, связанные с работой на них тяжелого оборудования, наблюдаются на отвалах, сложенных слабыми песчано-глинистыми породами с низкими показателями сопротивления сдвигу.

При наличии оборудования вблизи верхней бровки откоса отвала нарушение устойчивости чаще всего происходит путем образования малых призм оползания, вес которых соизмерим с весом оборудования, потенциальная поверхность скольжения при этом выходит на поверхность откоса отвала.

Форма и размеры поверхности скольжения в теле отвала зависят от угла наклона откоса и расстояния от линии приложения нагрузки до верхней бровки откоса. К верхней площадке откоса поверхность скольжения выходит под углом, близким к ω, а к поверхности откоса – ε. Поверхность скольжения имеет форму, близкую к круглоцилиндрической. Метод построения поверхности скольжения при расчете устойчивости нагруженного отвала приведен на рис. 9.4.1.

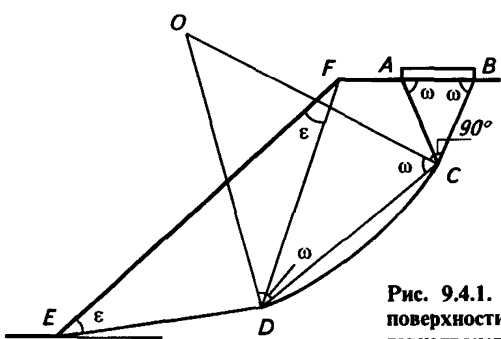


Рис. 9.4.1. Метод построения потенциальной поверхности скольжения в отвале, нагруженном горнотранспортным оборудованием

Расчет устойчивости отвала, нагруженного оборудованием, производится в такой последовательности [16]:

1) Вводят в характеристики сопротивления сдвигу отвальной смеси коэффициент запаса n в соответствии с табл. 9.1.

Определяют несущую способность пород под опорными элементами оборудования по формуле:

$$q_0 = \frac{b}{4}\gamma N_\gamma + C_n N_C + qN_q, \qquad (9.1)$$

где q_0 – несущая способность отвальных пород при двустороннем выдавливании основания; b – размер опорных поверхностей оборудования (ширина лыжи или диаметр базы экскаватора); q – интенсивность пригрузки на поверхности отвала; N_γ, N_C, N_q – коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения отвальных пород, сцепления и частично от формы зоны разрушения (табл. 5, Прил. 16.7).

Если пригрузка поверхности отвала, или прочный слой (например, слой мерзлых пород, подсыпка гравия) отсутствуют, то $qN_q = 0$. Коэффициент запаса несущей способности пород при статической нагрузке на поверхность отвала определяется как q_0/q_n, где q_n – удельная нагрузка под опорными элементами оборудования, либо: $q_0/q_{мп}$, где $q_{мп}$ – удельная нагрузка под опорными элементами оборудования с учетом внецентренной нагрузки при выполнении рабочих операций (черпание, поворот, разгрузка).

Величину $q_{мп}$ определяют по формуле:

$$q_{мп} = q_n + \frac{LP}{W}, \qquad (9.2)$$

где P – вес ковша с породой или максимальное усилие на режущей кромке ковша; L – максимальный радиус черпания; W – момент сопротивления опорных поверхностей тяжелого оборудования относительно их симметрии.

Величина W определяется в зависимости от формы опорных поверхностей:

$$W = \frac{\pi r^3}{4},$$

где r – радиус базы экскаватора,

$$W = \frac{b\ell^2}{6},$$

где b и ℓ – соответственно ширина и длина опорной поверхности.

Если коэффициент запаса несущей способности отвальных пород меньше единицы, то в этом случае для обеспечения возможности работы оборудования на отвалах необходимо применение специальных мероприятий.

Пример расчета коэффициента запаса несущей способности пород отвала приведен в Прил. 16.7.

2) Проводят поверочные расчеты устойчивости отвала с учетом дополнительной нагрузки. Для этого на схеме отвала проводят ряд потенциальных поверхностей скольжения при различных положениях опорных поверхностей оборудования (рис. П.16.8) и определяют по ним коэффициент запаса устойчивости по формуле (6.10).

Если по какой-либо поверхности коэффициент запаса устойчивости меньше единицы, то увеличивают расстояние от опорного элемента оборудования до верхней бровки откоса отвала и повторяют поверочные расчеты.

Пример расчета устойчивости нагруженного отвала приведен в Прил. 16.7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ И УСТУПОВ В ОДНОРОДНОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД (ПРИ ОТСУТСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ)

I. Для указанных условий методом многоугольника сил произведены расчеты и построены графики зависимости между высотой плоского откоса H и его углом наклона α для различных углов трения φ и сцепления пород в массиве C (рисунки П.1.1–П.1.4), по которым можно оценить устойчивость борта с заданными параметрами или определить максимальные параметры борта при заданном коэффициенте запаса устойчивости.

Масштаб вертикальной оси графика определяется отношением: $A/H = \gamma/C$, т. е. искомая высота борта по графику определяется из выражения: $H = AC/\gamma$.

Такие графики рассчитаны для различных условий обводнения откосов k:

$$k = \frac{H'}{H},$$

где H' – условная высота промежутка высачивания.

На рис. П.1.2–П.1.4 приведены указанные графики для k, равного 0,2; 0,5; 0,8.

Определение допустимых по условию устойчивости параметров плоского откоса для отличающихся от принятых к расчетам инженерно-геологических и гидрогеологических условий осуществляется последовательной линейной интерполяцией (экстраполяцией) численных значений безразмерного комплекса A или угла откоса α, определяемых по графикам (см. рис. П.1.1–П.1.4) для углов трения φ и условий обводнения k, близких по значению к расчетным.

Порядок определения допустимых параметров однородного плоского откоса по графикам П.1.1–П.1.4 рассмотрен на примерах.

Пример 1

Необходимо определить допустимую высоту борта с углом его наклона $\alpha = 36°$ при обводнении прибортового массива, характеризующегося $k = 0{,}4$, и следующих исходных расчетных характеристиках: $\gamma = 2{,}1$ т/м^3; $C = 18$ т/м^2; $\varphi = 26°$.

1. По графикам, приведенным на рис. П.1.2 ($k_2 = 0{,}2$) и П.1.3 ($k_3 = 0{,}5$), определяем значения безразмерного комплекса A, соответствующего $\varphi = 26°$:

$$A_2 = 47;\ A_3 = 38{,}5.$$

2. Вычисляем среднее значение комплекса A, соответствующее условиям обводнения $k = 0{,}4$:

$$A_{2,3} = A_3 + \frac{A_2 - A_3}{k_2 - k_3}(k - k_3) = 38{,}5 + \frac{47 - 38{,}5}{0{,}2 - 0{,}5}(0{,}4 - 0{,}5) = 41{,}3.$$

3. Вычисляем искомую допустимую высоту откоса:

$$H = \frac{A_{2,3}C}{\gamma} = \frac{41{,}3 \cdot 18}{2{,}1} = 354\ (\text{м}).$$

Пример 2

Определить допустимый угол наклона борта высотой $H = 45$ м при условии обводнения прибортового массива $k = 0{,}1$ и следующих исходных расчетных характеристиках: $\gamma = 2{,}0$ т/м^3; $C = 6$ т/м^2; $\varphi = 20°$.

1. Вычисляем значение комплекса A, соответствующего исходным расчетным характеристикам:

$$A = \frac{\gamma H}{C} = \frac{2 \cdot 45}{6} = 15.$$

2. По графикам, приведенным на рис. П.1.1 ($k = 0$) и П.1.2 ($k_2 = 0{,}2$), определяем значения допустимых углов наклона борта, соответствующих $\varphi = 20°$:

$$\alpha_1 = 48{,}4°; \quad \alpha_2 = 47{,}6°.$$

3. Вычисляем искомое значение допустимого угла наклона борта:

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{k_1 - k_2}(k - k_1) = 48{,}4 + \frac{48{,}4 - 47{,}6}{0 - 0{,}2}(0{,}1 - 0) = 48°.$$

II. Для решения большого числа практических задач необходимо знать ширину призмы возможного обрушения a борта в целом или его участка.

С целью определения ширины призмы возможного обрушения a для большого диапазона изменения высоты борта H, угла его наклона α, угла внутреннего трения пород φ, слагающих откос, и условий его обводнения рассчитаны графики, приведенные на рисунках П.1.5–П.1.7. Последовательность операций определения ширины призмы возможного обрушения a по графикам рассмотрена на примере.

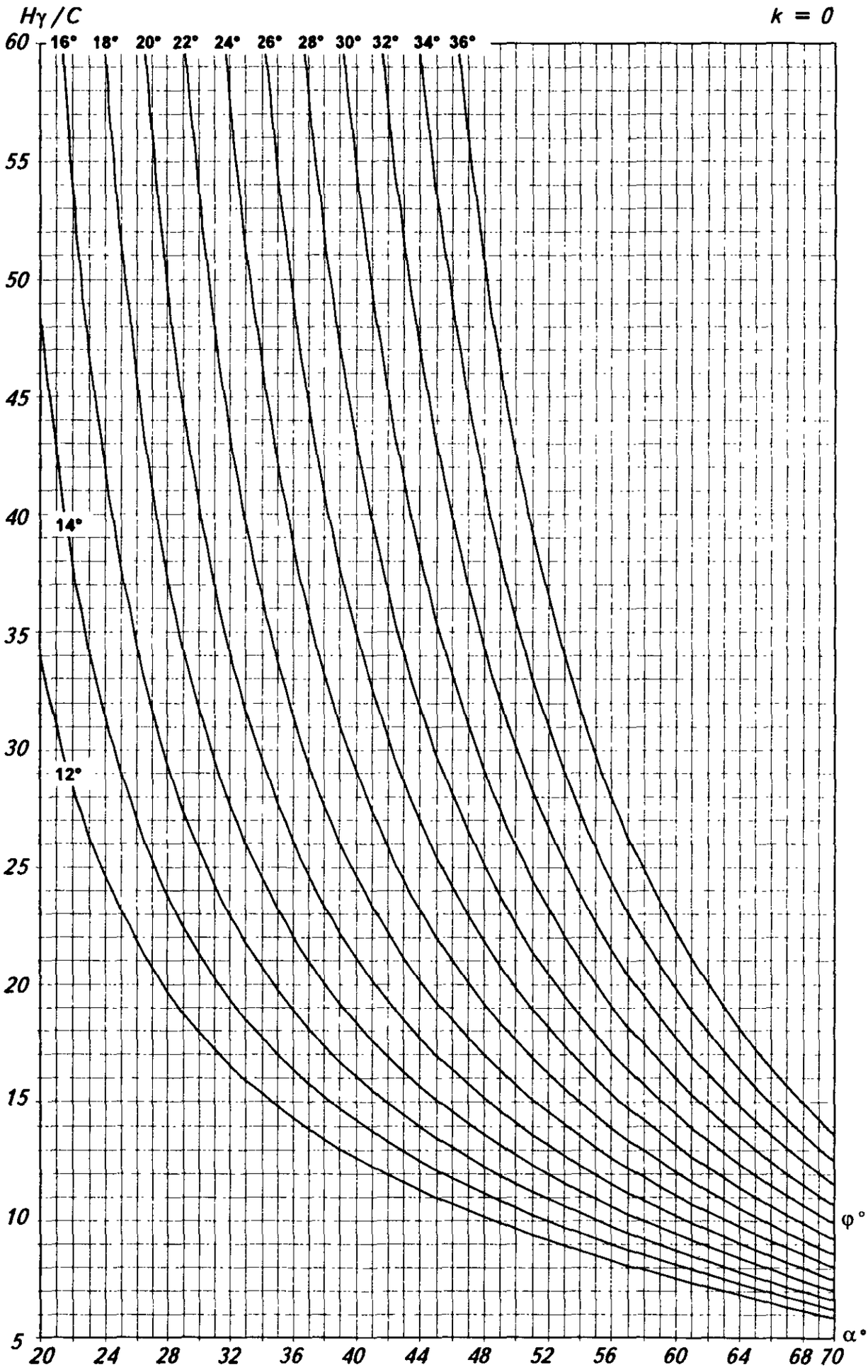

Hγ / C
k = 0
16° 18° 20° 22° 24° 26° 28° 30° 32° 34° 36°
14°
12°
60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5
20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 70
φ°
α°

Рис. П.1.1

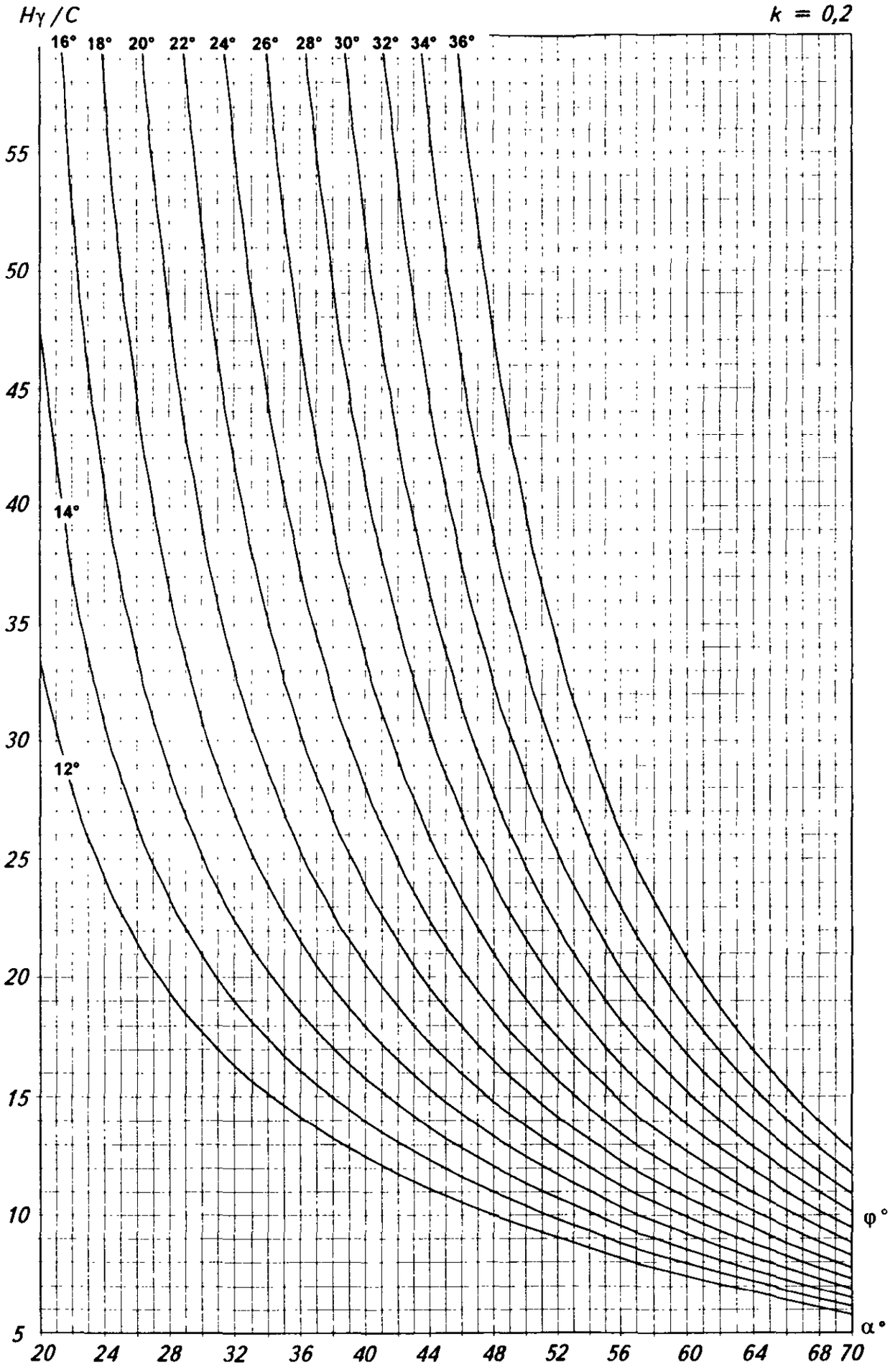

Hγ / C
k = 0,2
16° 18° 20° 22° 24° 26° 28° 30° 32° 34° 36°
14°
12°
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 70
φ °
α °

Рис. П.1.2

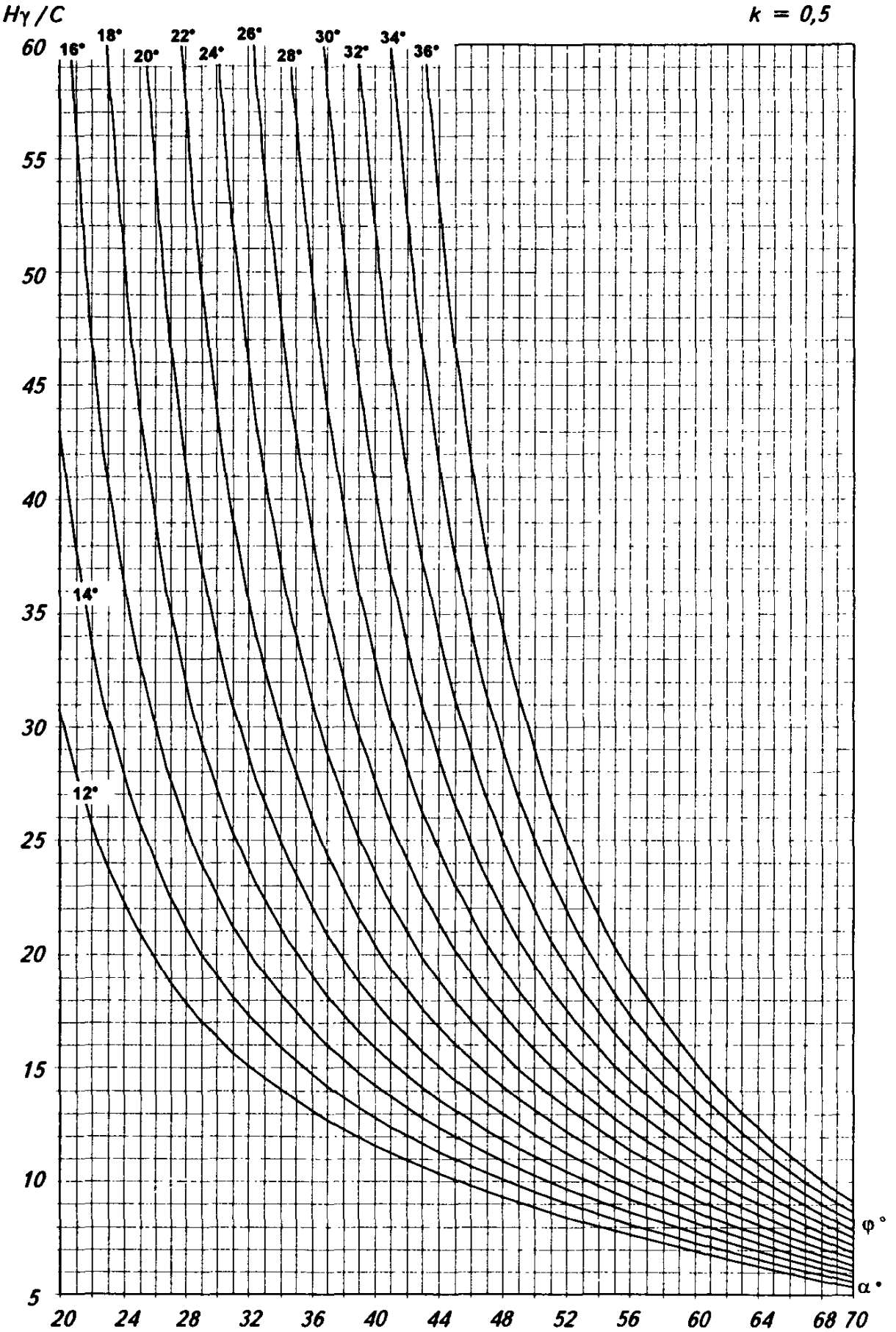

Hγ / C
k = 0,5
16°
18°
20°
22°
24°
26°
28°
30°
32°
34°
36°
14°
12°
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
70
φ °
α °

Рис. П.1.3

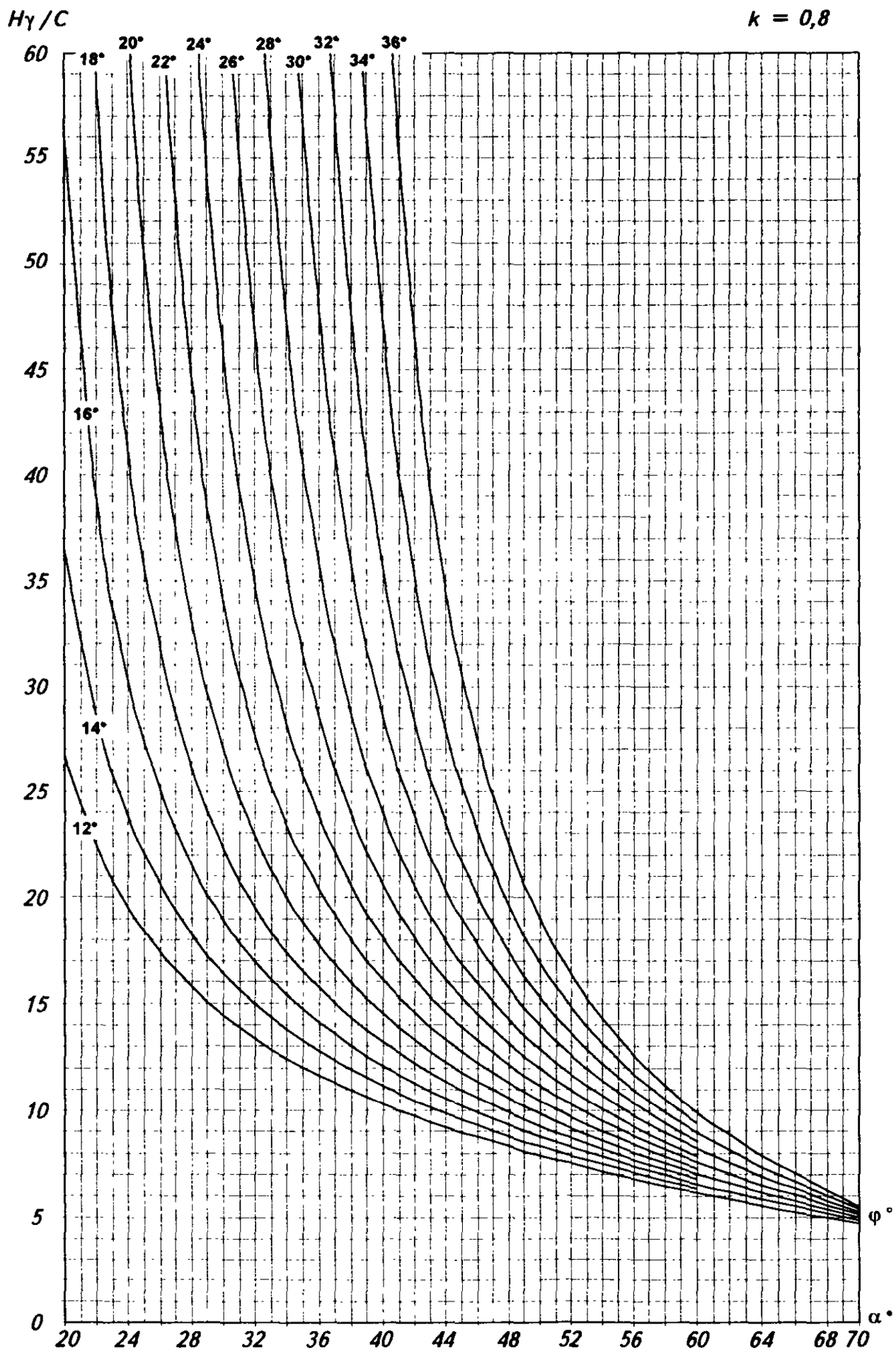

Hγ / C
k = 0,8
18°
20°
22°
24°
26°
28°
30°
32°
34°
36°
16°
14°
12°
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
70
φ °
α °

Рис. П.1.4

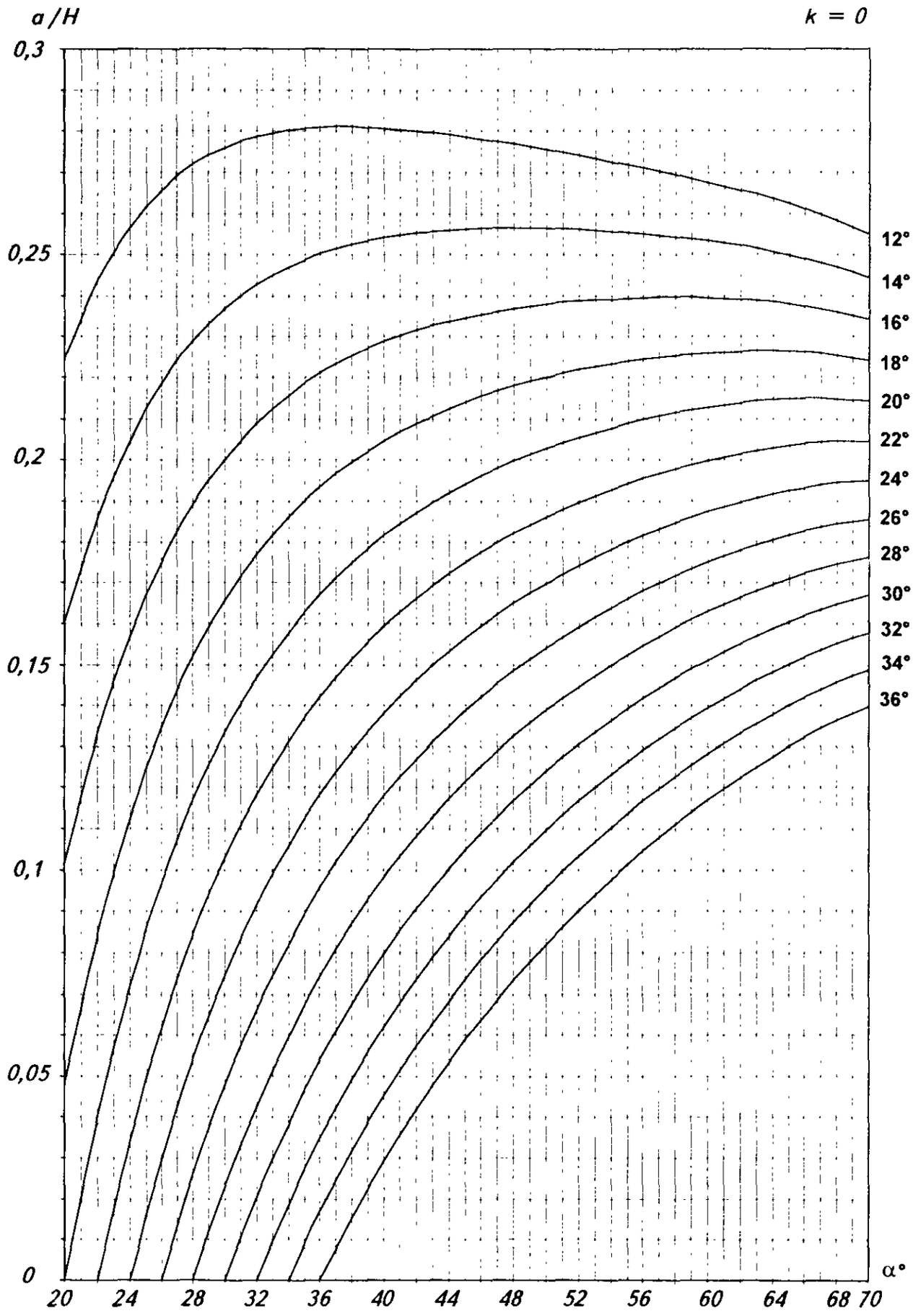

a / H
k = 0
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
70
α°
12°
14°
16°
18°
20°
22°
24°
26°
28°
30°
32°
34°
36°

Рис. П.1.5

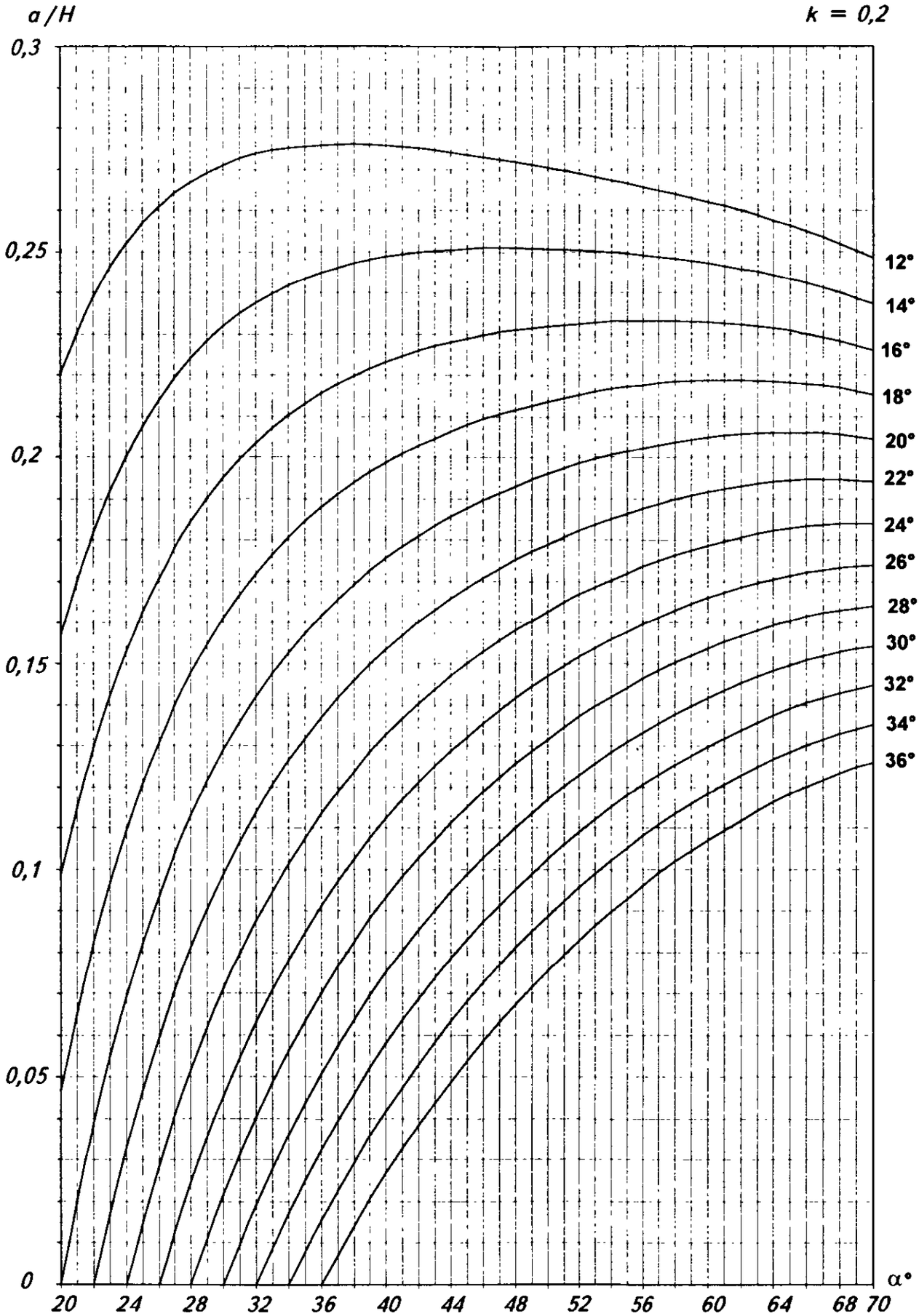

a / H
k = 0,2
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
12°
14°
16°
18°
20°
22°
24°
26°
28°
30°
32°
34°
36°
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
70
α°

Рис. П.1.6

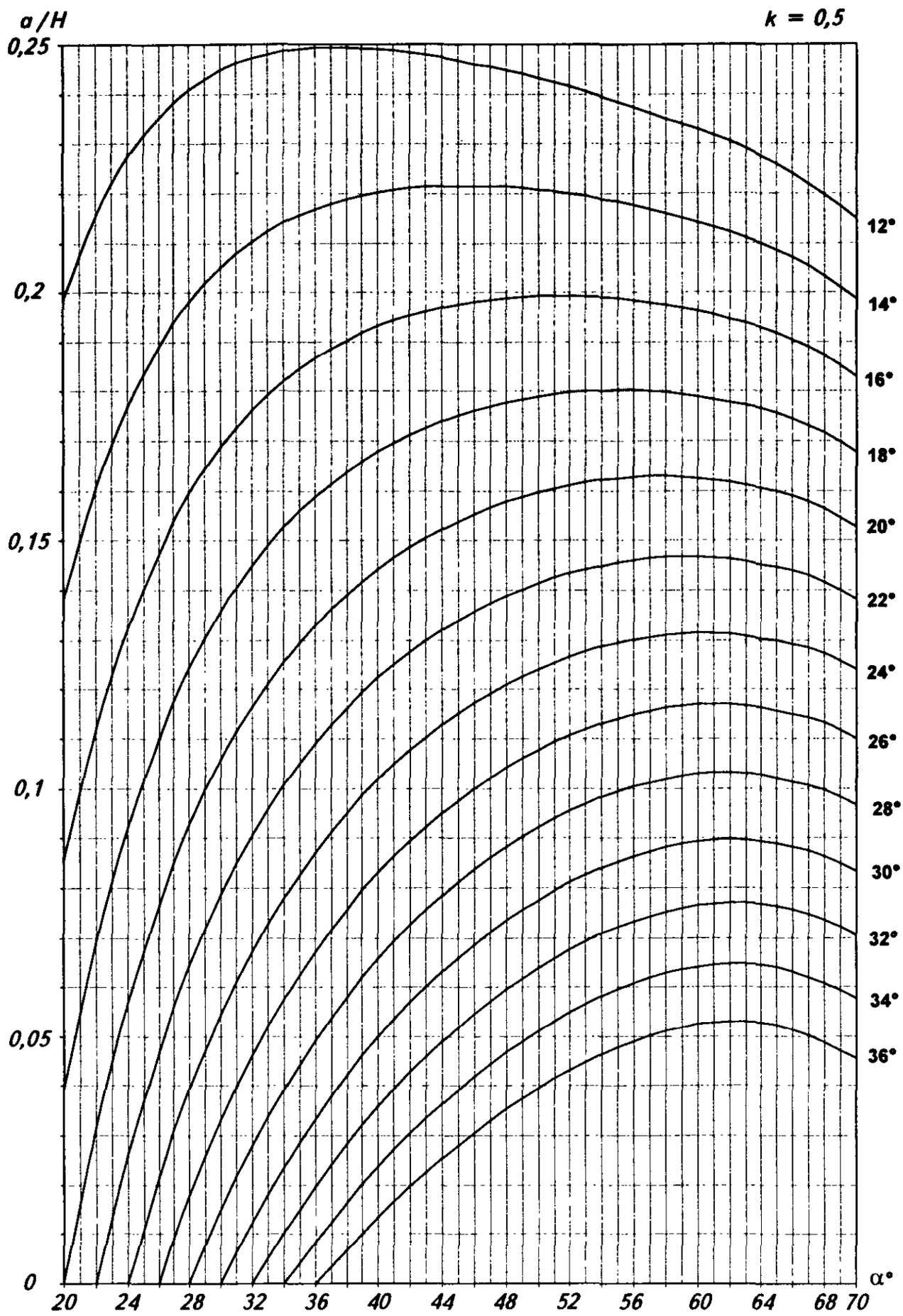

a / H
k = 0,5
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
70
α°
12°
14°
16°
18°
20°
22°
24°
26°
28°
30°
32°
34°
36°

Рис. П.1.7

Пример 3

Необходимо определить a при высоте борта H = 354 м, угле наклона его α = 36°, коэффициенте обводнения k = 0,4 и исходных расчетных характеристиках: γ_n = 2,1 т/м³; C = 18 т/м² ; φ = 26°.

1. По графикам, приведенным на рис. П.1.6 (k_6 = 0,2) и П.1.7 (k_7 = = 0,5), определяем значение отношения a/H, соответствующее углу внутреннего трения φ = 26° и α = 36°;

$$\left(\frac{a}{H}\right)_6 = 0{,}092\,, \quad \left(\frac{a}{H}\right)_7 = 0{,}067\,.$$

2. Вычисляем среднее значение комплекса a/H, соответствующее исходному коэффициенту обводнения k = 0,4:

$$\left(\frac{a}{H}\right)_{6,7} = \left(\frac{a}{H}\right)_7 + \frac{\left(\frac{a}{H}\right)_7 - \left(\frac{a}{H}\right)_6}{k_7 - k_6}(k - k_7) = 0{,}067 + \frac{0{,}067 - 0{,}092}{0{,}5 - 0{,}2}(0{,}4 - 0{,}5) = 0{,}075\,.$$

3. Определяем искомую ширину призмы возможного обрушения a:

$$a = H\left(\frac{a}{H}\right)_{6,7} = 354 \cdot 0{,}075 \approx 26{,}7\,(\text{м})\,.$$

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКИХ ОТКОСОВ В УСЛОВИЯХ, КОГДА СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ПРЕДСТАВЛЕНО РАЗДЕЛЬНО ПОКАЗАТЕЛЯМИ *C* И φ (ПЛАСТИЧНЫЕ ПОРОДЫ)

Расчет устойчивости откосов по общему сопротивлению сдвигу производится следующим образом (рис. П.2.1):

1) В откосе с принятыми параметрами* по наиболее напряженной поверхности определяют касательные τ_c и нормальные σ_n напряжения по формулам:

$$\sigma_n = h_i \gamma \cos^2 j_i - \frac{D_i}{\ell_i},$$

$$\tau_c = \frac{1}{2} h_i \gamma \sin 2 j_i,$$

где h_i – высота отдельного столбика, на которые разбита призма возможного обрушения, м; j_i – угол наклона основания столбика, (...°); D_i – сила гидродинамического давления в столбике (расчетном блоке); ℓ_i – длина основания расчетного блока;

2) Расчетная поверхность развертывается в горизонтальную прямую, где отмечаются границы оснований столбиков, на которые разбита призма возможного обрушения; в середине основания столбиков по оси ординат откладываются отрезки, соответствующие касательным напряжениям τ_c, концы которых соединяют плавной кривой; площадь, ограниченная осью абсцисс и этой кривой, выражает сумму сдвигающих сил, действующих по расчетной поверхности;

3) По паспортам прочности пород при соответствующих нормальных напряжениях σ_n определяют τ_y, величины которых откладывают по оси ординат в тех же точках, что и τ_c, и соединяют плавной кривой; площадь этой эпюры является суммой удерживающих сил;

4) Отношение суммы всех удерживающих сил к сумме всех сдвигающих сил по наиболее напряженной поверхности ослабления составляет коэффициент запаса устойчивости:

$$n = \frac{\sum \tau_y}{\sum \tau_c}.$$

---

* Ориентировочные параметры бортов могут быть определены по графику (рис. П.1.1 Прил. 1) для характеристик *C* и φ, приближенно соответствующих паспорту прочности пород.

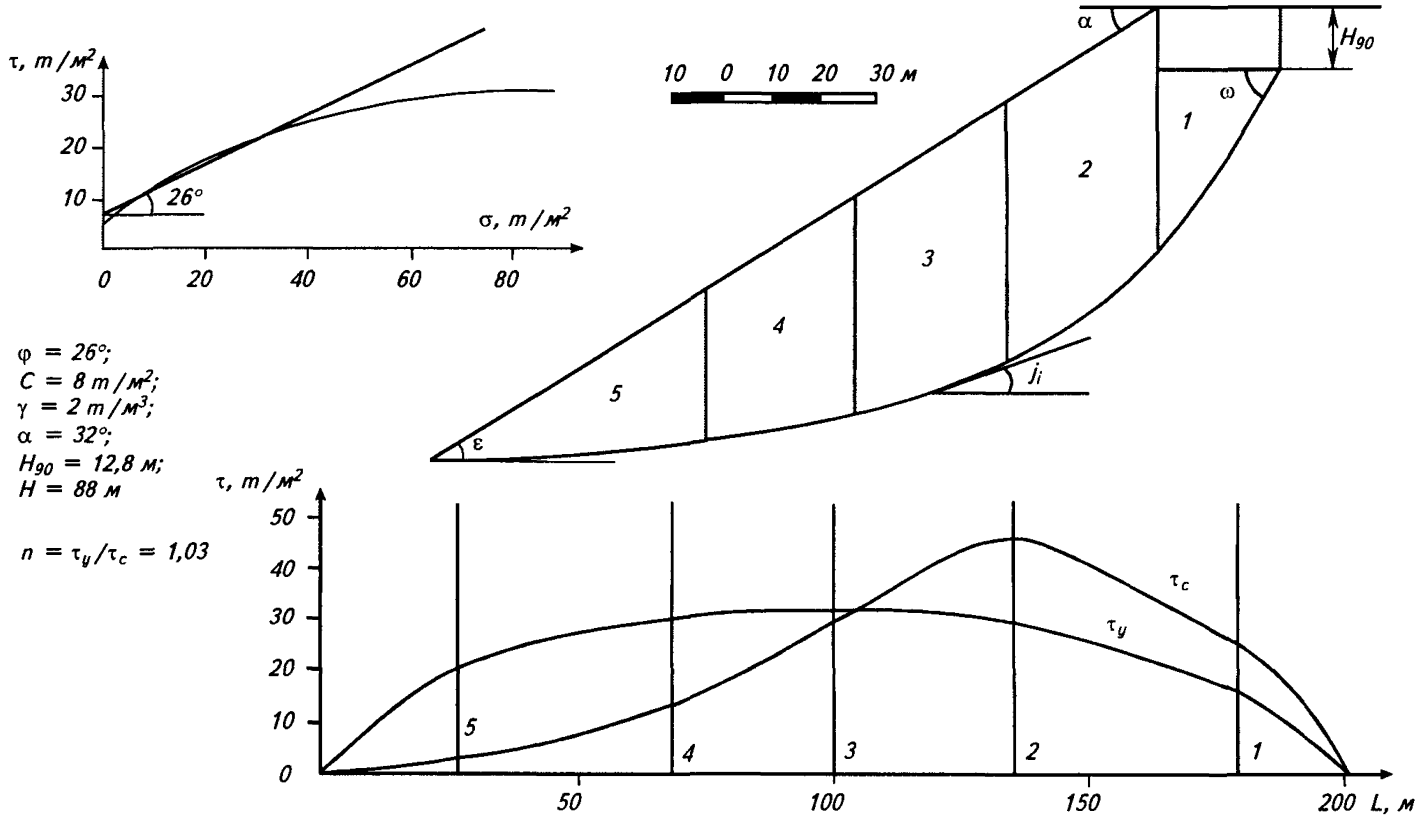


Рис. П.2.1. Пример расчета коэффициента запаса устойчивости откоса по общему сопротивлению пород сдвигу (*1–5* – номера блоков)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ УСТОЙЧИВЫХ ПЛОСКИХ ОТКОСОВ ПРИ ЗАОТКОСКЕ ИХ ПО НАСЛОЕНИЮ ($\alpha = \beta$)

Для наиболее распространенных инженерно-геологических условий методом многоугольника сил рассчитаны графики, позволяющие определить максимальную высоту устойчивого уступа (борта) при заоткоске его по наслоению для различных значений β и условий обводнения прибортового массива k, которые приведены на рисунках П.3.1–П.3.6.

Масштаб графиков по вертикальной оси: $A = \gamma H/C$, где H – искомая высота борта.

Расчеты произведены при различных значениях углов трения по поверхностям ослабления ($\varphi' = 8$; 12; 16; 20°), углов внутреннего трения пород вкрест слоистости ($\varphi = 25$; 30°) и условиях обводнения прибортового массива ($k = 0{,}2$; 0,5; 0,8).

Определение предельной высоты уступа при $\alpha = \beta$ с использованием указанных выше графиков показано на примере.

Пример 1

Определить максимальную высоту устойчивого уступа, заоткошенного по наслоению, при угле падения слоев $\beta = 30°$ и следующих расчетных характеристиках: $\gamma = 2{,}0$ т/м³; $C_п = 8$ т/м²; $\varphi_п = 22°$; $\varphi'_п = 9°$ и $k = 0{,}6$.

1. По графикам (рисунки П.3.3–П.3.6) определяют значения комплекса A_i при $\varphi'_п = 9°$ и $\beta = 30°$, соответствующие углам внутреннего трения вкрест слоистости 25 и 30° ($A_3 = 6{,}6$; $A_4 = 7{,}4$; $A_5 = 6{,}2$; $A_6 = 6{,}8$).

2. Вычисляют значения комплексов $A_{3,4}$ и $A_{5,6}$, соответствующие расчетному углу внутреннего трения $\varphi_п = 22°$:

$$A_{3,4} = A_3 - \frac{A_4 - A_3}{\mathrm{tg}30 - \mathrm{tg}25}\left(\mathrm{tg}25 - \mathrm{tg}\varphi_п\right) = 6{,}6 - \frac{7{,}4 - 6{,}6}{0{,}111}0{,}062 \approx 6{,}2\ ;$$

$$A_{5,6} = A_5 - \frac{A_6 - A_5}{\mathrm{tg}30 - \mathrm{tg}25}\left(\mathrm{tg}25 - \mathrm{tg}\varphi_п\right) = 6{,}2 - \frac{6{,}8 - 6{,}2}{0{,}111}0{,}062 \approx 5{,}9\ .$$

3. Вычисляют среднее значение комплекса $A_{ср}$, соответствующее исходным расчетным характеристикам:

$$A_{ср} = A_{5,6} - \frac{A_{5,6} - A_{3,4}}{k_{5,6} - k_{3,4}}\left(k_{5,6} - k\right) = 5{,}9 - \frac{5{,}9 - 6{,}2}{0{,}8 - 0{,}5}(0{,}8 - 0{,}6) \approx 6{,}1\ .$$

4. Вычисляют допустимую высоту уступа, заоткошенного по наслоению:

$$H = A_{ср}\frac{C_п}{\gamma} = \frac{6{,}1 \cdot 8}{2} \approx 24\ \text{(м)}.$$

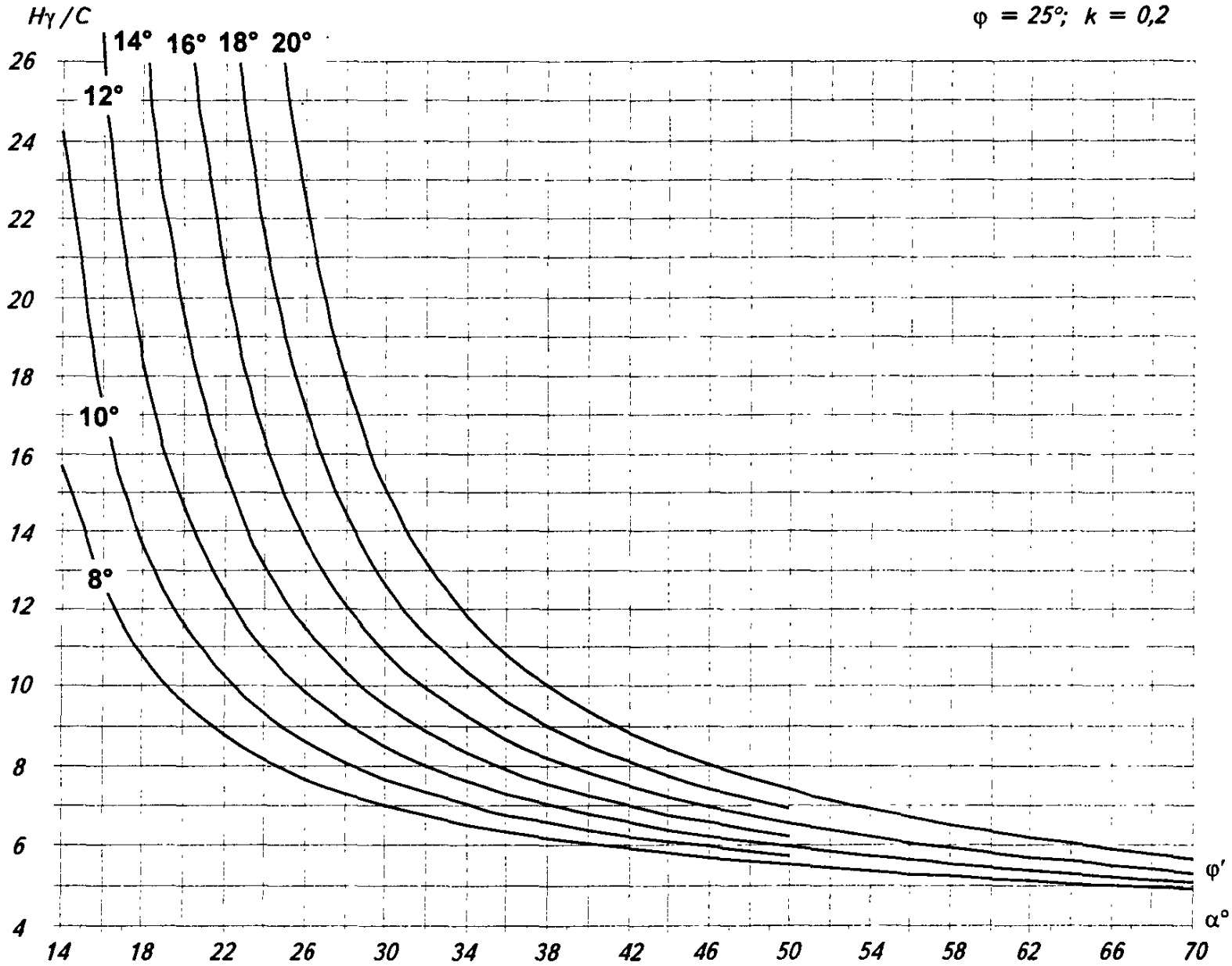

Hγ / C
φ = 25°; k = 0,2
14° 16° 18° 20°
12°
10°
8°
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
14 18 22 26 30 34 38 42 46 50 54 58 62 66 70
φ'
α°

Рис. П.3.1

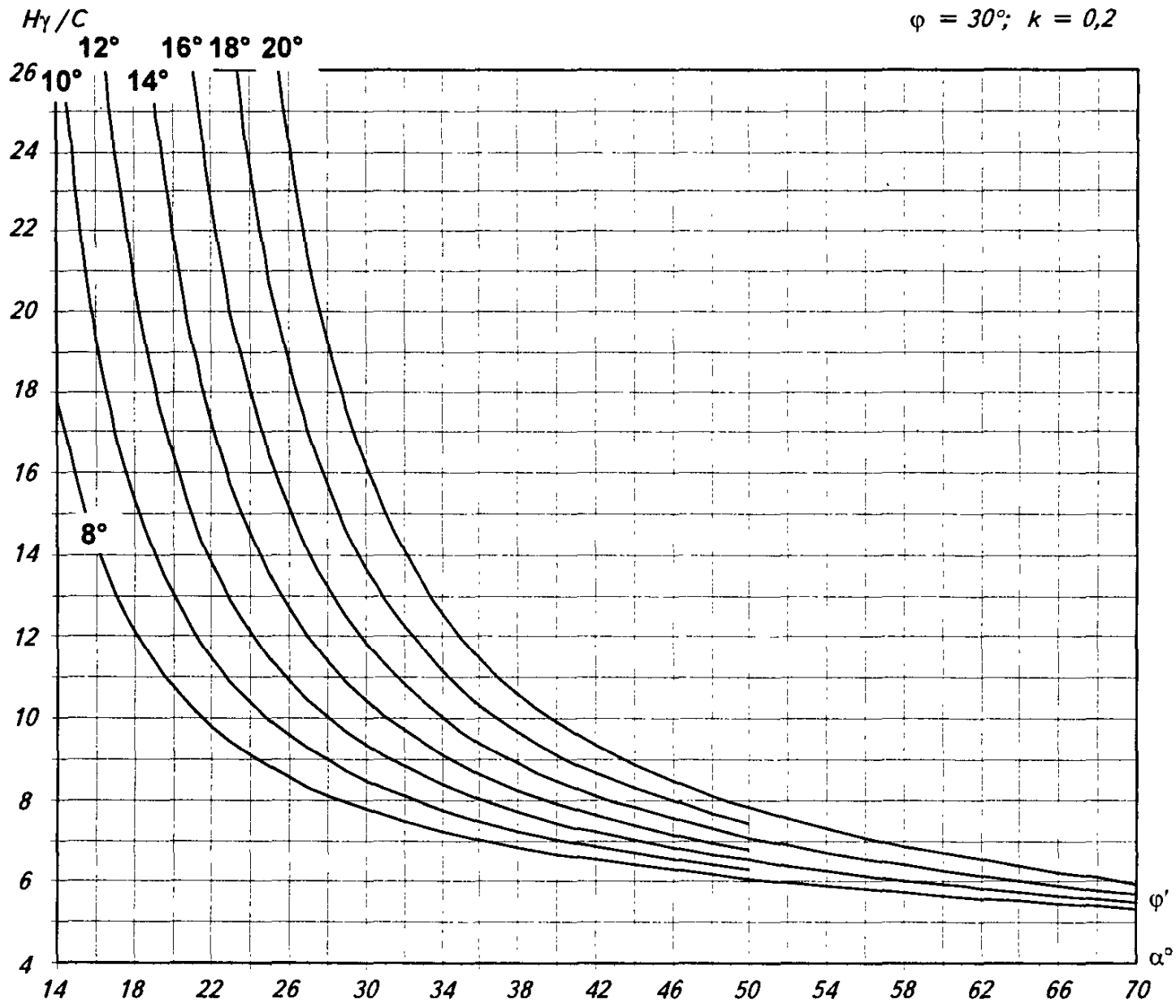

Hγ/C
φ = 30°; k = 0,2
8°
10°
12°
14°
16°
18°
20°
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
14
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
62
66
70
φ'
α°

Рис. П.3.2

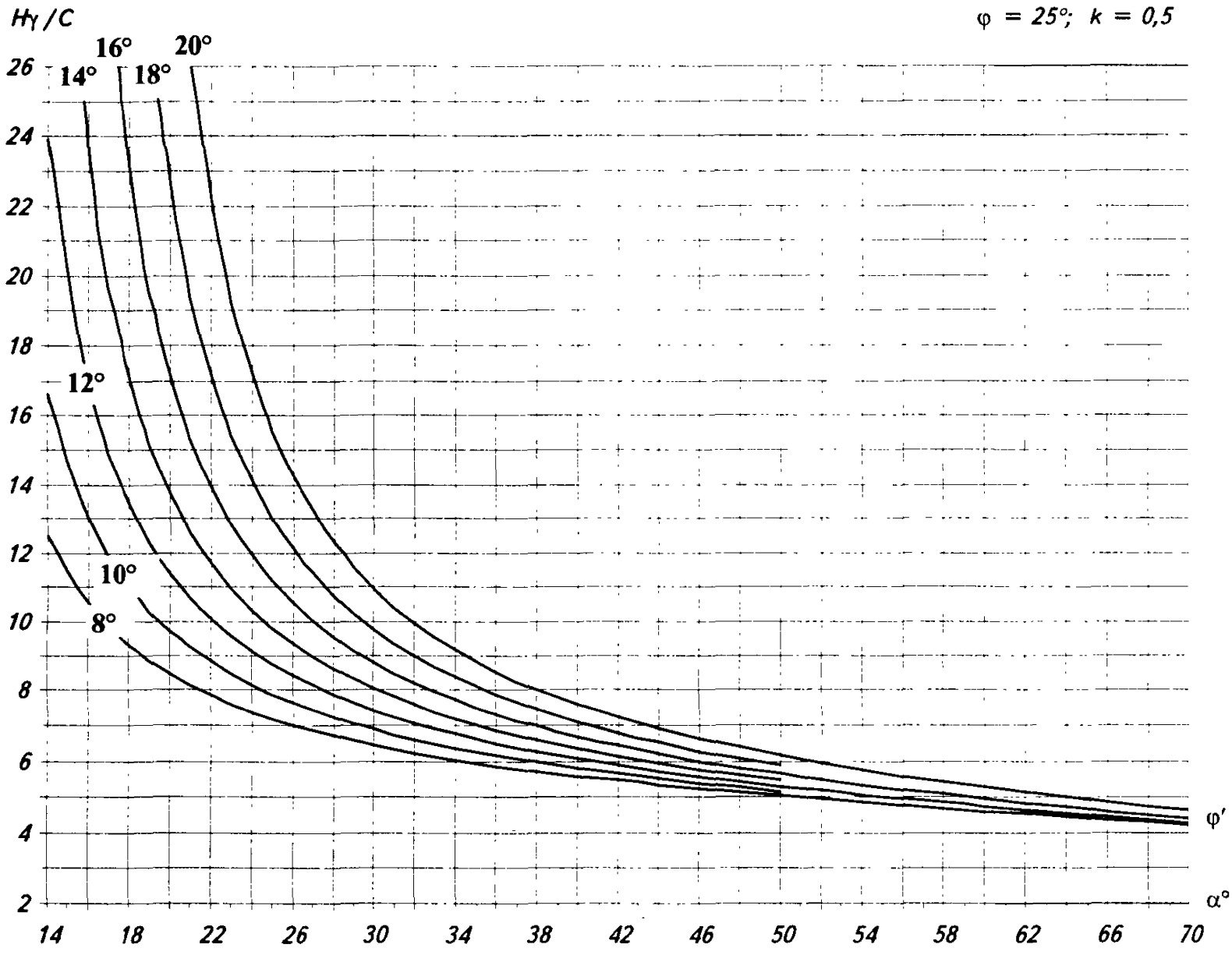

Hγ / C
φ = 25°; k = 0,5
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
14°
16°
18°
20°
12°
10°
8°
φ′
α°
14
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
62
66
70

Рис. П.3.3

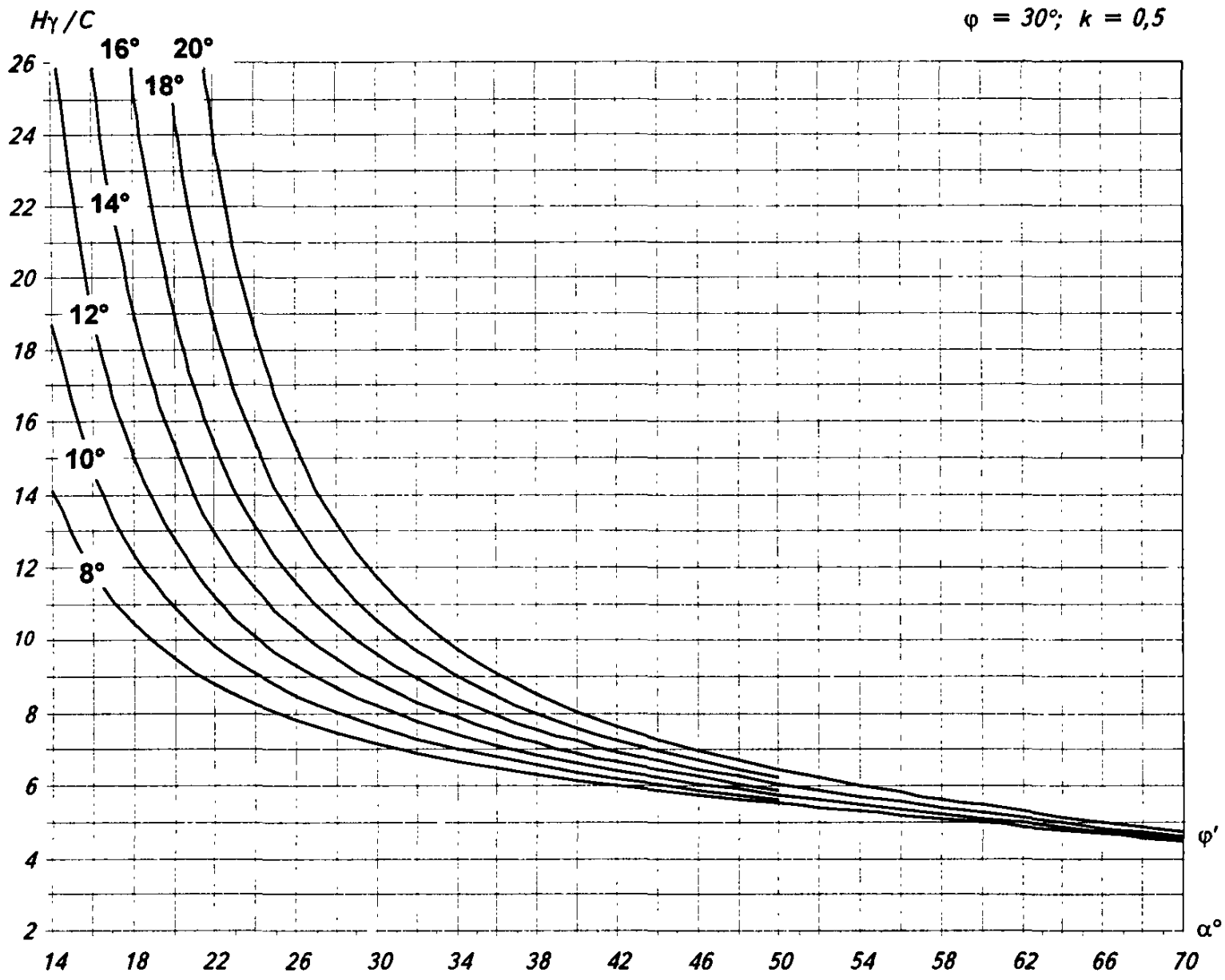

Hγ / C
φ = 30°; k = 0,5
16°
20°
18°
14°
12°
10°
8°
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
14
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
62
66
70
φ′
α°

Рис. П.3.4

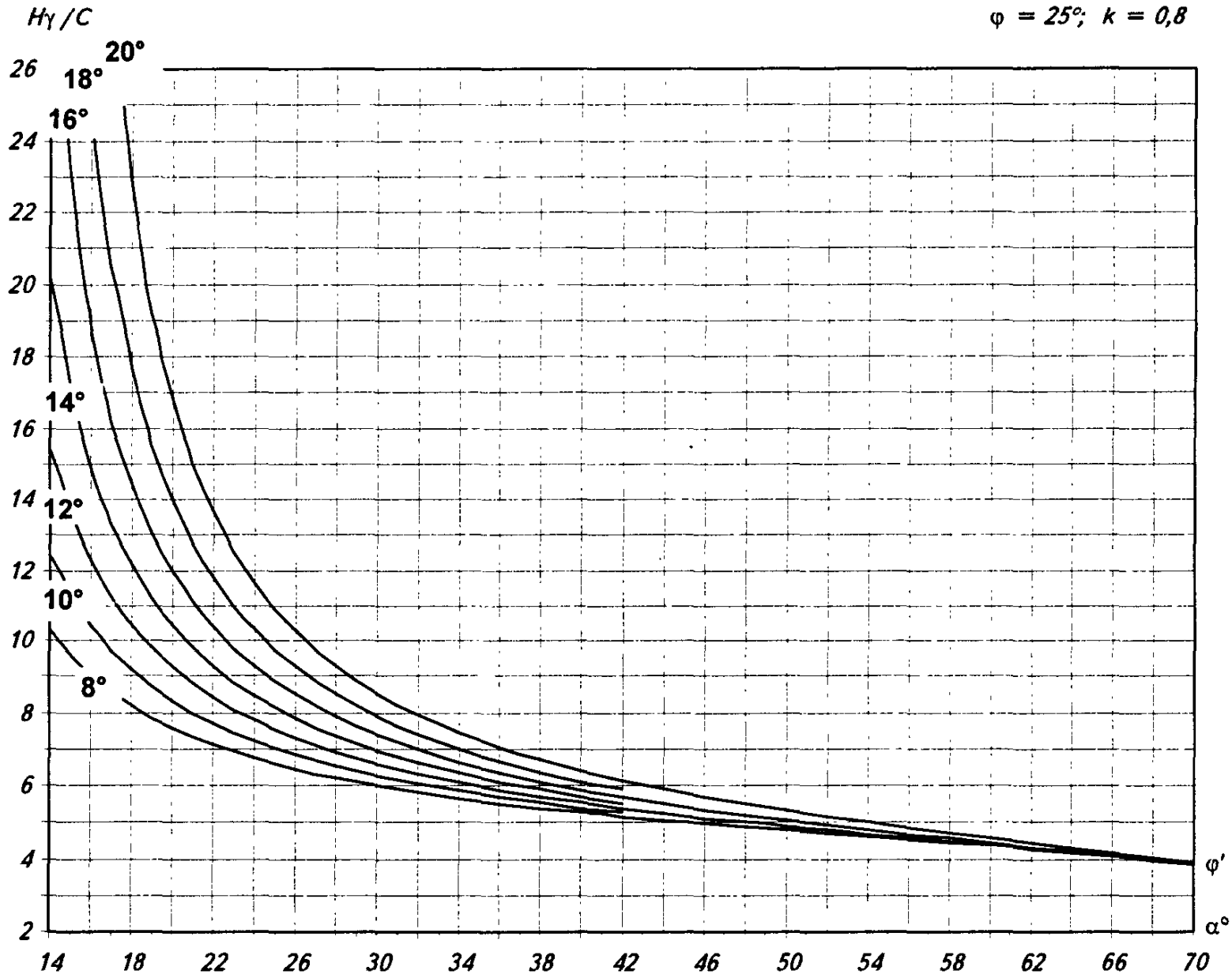

Hγ / C
φ = 25°; k = 0,8
20°
18°
16°
14°
12°
10°
8°
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
14
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
62
66
70
φ'
α°

Рис. П.3.5

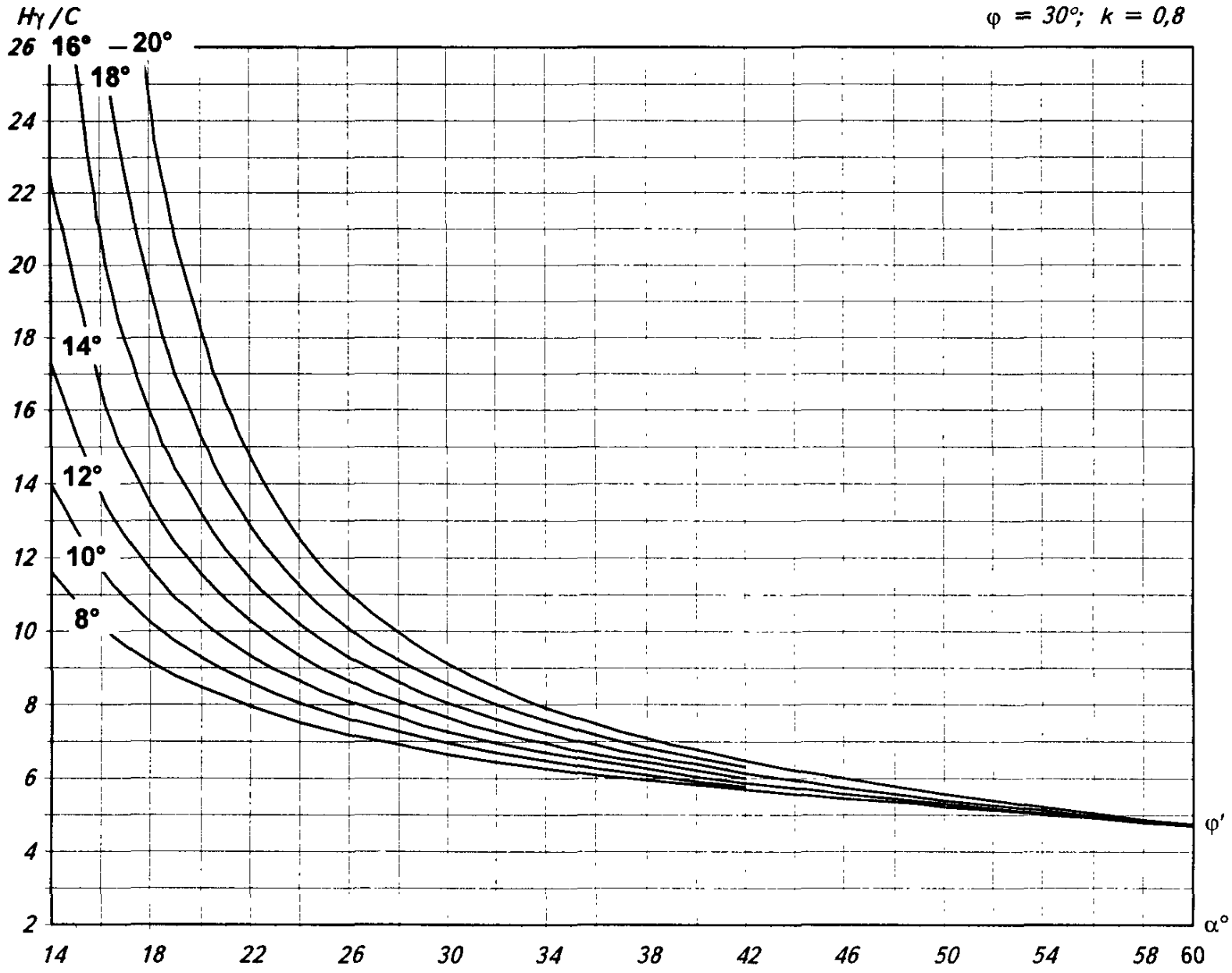

Hγ / C
φ = 30°; k = 0,8
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
16°
20°
18°
14°
12°
10°
8°
φ′
α°
14
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
60

Рис. П.3.6

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ ПЛОСКИХ ОТКОСОВ ПРИ НАКЛОННОМ И КРУТОМ ЗАЛЕГАНИИ СЛОЕВ С ПАДЕНИЕМ ИХ В СТОРОНУ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ УСЛОВИИ $\alpha < \beta < 70°$

На основании результатов расчетов устойчивости бортов методом векторного сложения сил для указанных условий по схеме, представленной на рис. 5.3.4, построены графики зависимости высоты борта и его угла наклона от углов падения слоев, прочности пород и определенных условий их обводнения в пределах призмы возможного обрушения (рисунки П.4.1–П.4.16).

Порядок пользования графиками, представленными на рисунках П.4.1–П.4.16, показан на примерах.

Пример 1

Определить допустимый угол наклона борта высотой H = 200 м при угле падения слоев β = 42° и следующих расчетных характеристиках: γ = 2,0 т/м^3; $C_п$ = 12 т/м^2; $\varphi_п$ = 25°; $\varphi'_п$ = 14°; k = 0,8.

1. Показатели двух из рассматриваемых в примере расчетных характеристик ($\varphi_п$ = 25, k = 0,8) совпадают с аналогичными характеристиками, использованными при построении графиков, приведенных на рисунках П.4.15, П.4.16, поэтому для определения допустимого угла наклона борта следует пользоваться этими графиками.

2. Для рассматриваемых расчетных характеристик вычисляют значения безразмерного комплекса A:

$$A = \frac{H\gamma}{C_п} = \frac{200 \cdot 2}{12} = 33{,}3 .$$

3. По графикам П.4.15, П.4.16 определяют значения допустимого угла наклона борта α_{15}, α_{16}, соответствующие углу падения слоев β = 42° и вычисленному значению комплекса A:

$$\beta - \alpha_{15} = 19{,}7°; \quad \alpha_{15} = 42 - 19{,}7 = 22{,}3°;$$
$$\beta - \alpha_{16} = 18{,}6°; \quad \alpha_{16} = 42 - 18{,}6 = 23{,}4°.$$

4. Вычисляют среднее значение допустимого угла наклона борта α, соответствующее исходному расчетному значению угла трения по контакту φ' = 14°:

$$\alpha_{ср} = \alpha_{15} + \frac{\alpha_{16} - \alpha_{15}}{\mathrm{tg}15° - \mathrm{tg}10°}(\mathrm{tg}14° - \mathrm{tg}10°) = 22{,}3 + \frac{23{,}4 - 22{,}3}{0{,}092}0{,}073 \approx 23{,}2°.$$

Пример 2

Определить допустимый угол наклона борта, при тех же условиях, что рассмотрены в примере 1, за исключением обводнения прибортового массива, которое в данном примере характеризуется $k = 0{,}6$.

1. Для определения допустимого угла наклона борта α, помимо графиков П.4.15 и П.4.16 ($k = 0{,}8$), необходимо также использовать графики П.4.11 и П.4.12, соответствующие условию обводнения прибортового массива $k = 0{,}5$.

2. По графикам П.4.11–П.4.12, П.4.15–П.4.16 определяют, как изложено в пп. 2–4 Примера 1, средние значения допустимого угла наклона борта $\alpha_{11,12}$ $\alpha_{15,16}$:

$$\alpha_{11,12} = \alpha_{11} + \frac{\alpha_{12} - \alpha_{11}}{\mathrm{tg}15° - \mathrm{tg}10°}(\mathrm{tg}14° - \mathrm{tg}10°) = 23{,}8 + \frac{25{,}3 - 23{,}8}{0{,}092}0{,}073 = 25° ;$$

$$\alpha_{15,16} = 23{,}2°.$$

3. Вычисляется искомое значение допустимого угла наклона борта α:

$$\alpha = \alpha_{11,12} + \frac{\alpha_{15,16} - \alpha_{11,12}}{k_{15,16} - k_{11,12}}\left(k - k_{11,12}\right) = 25° + \frac{23{,}2 - 25}{0{,}8 - 0{,}5}(0{,}6 - 0{,}5) = 24{,}4° .$$

Пример 3

Определить допустимую высоту борта при угле его наклона $\alpha = 32°$, угле падения слоев $\beta = 50°$ и следующих расчетных характеристиках: $\gamma = 2{,}1$ т/м^3; $C_п = 15$ т/м^2; $\varphi_п = 23°$; $\varphi'_п = 15°$ и $k = 0{,}5$.

1. Для определения допустимой высоты борта в рассматриваемых условиях необходимо использовать графики П.4.10, П.4.12, построенные при тех же значениях φ' и k, что исходные расчетные характеристики.

2. По графикам П.4.10, П.4.12 определяют значения комплекса A, соответствующие углу наклона борта $\alpha = 32°$ и углу падения слоев $\beta = 50°$ ($\beta - \alpha = 18°$):

$$A_{12} = 21{,}3; \quad A_{10} = 29{,}9.$$

3. Вычисляют среднее значение комплекса A, соответствующее углу трения пород $\varphi = 23°$:

$$A = A_{12} + \frac{A_{10} - A_{12}}{\mathrm{tg}30° - \mathrm{tg}25°}(\mathrm{tg}23° - \mathrm{tg}25°) = 21{,}3 + \frac{29{,}9 - 21{,}3}{0{,}557 - 0{,}466}(0{,}425 - 0{,}466) = 18{,}1 .$$

4. Вычисляют искомое значение допустимой высоты борта:

$$H = \frac{CA}{\gamma} = \frac{15 \cdot 18{,}1}{2{,}1} = 129 \text{ (м)}.$$

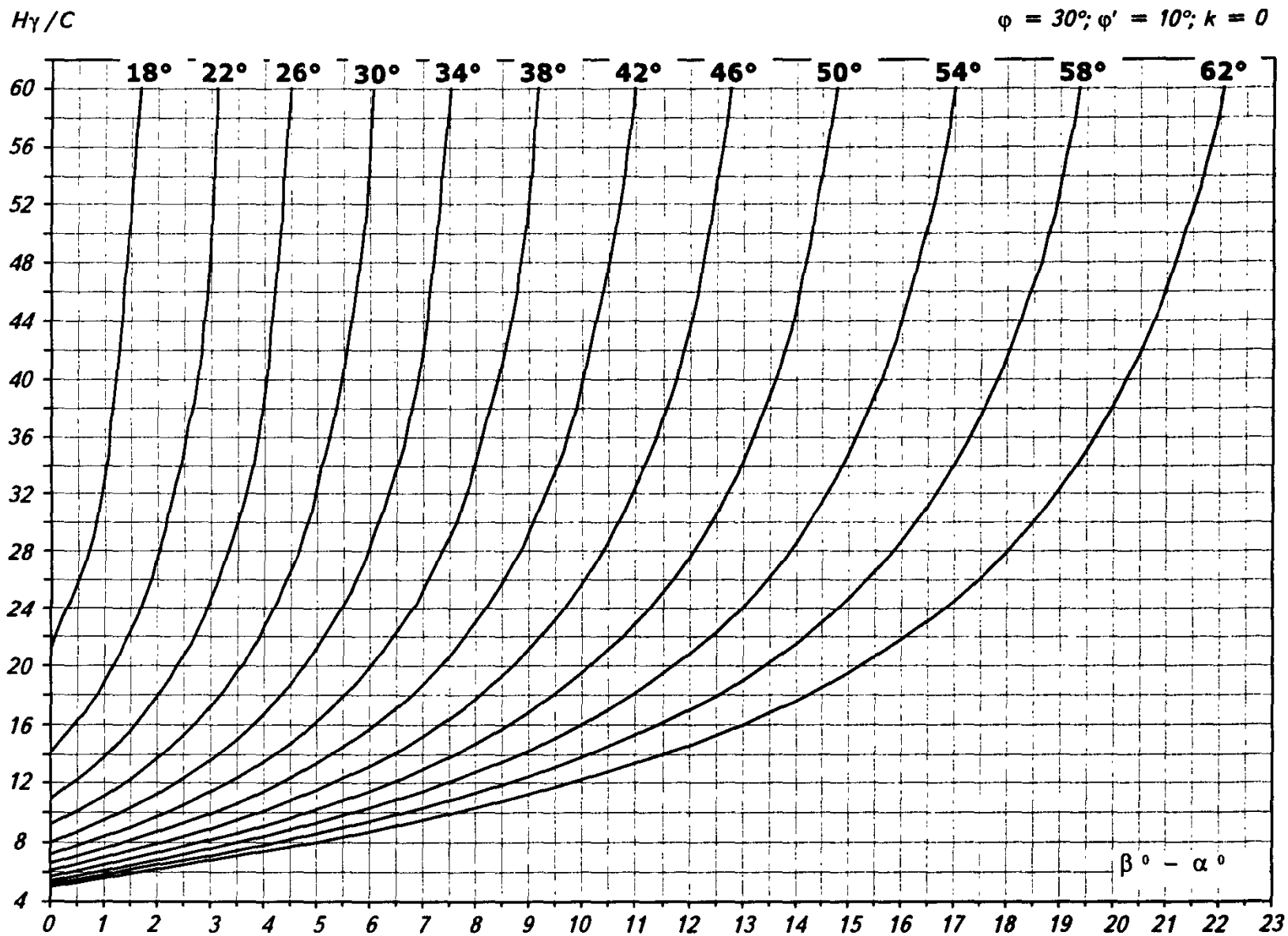

Hγ / C
φ = 30°; φ' = 10°; k = 0
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
β ° – α °

Рис. П.4.1

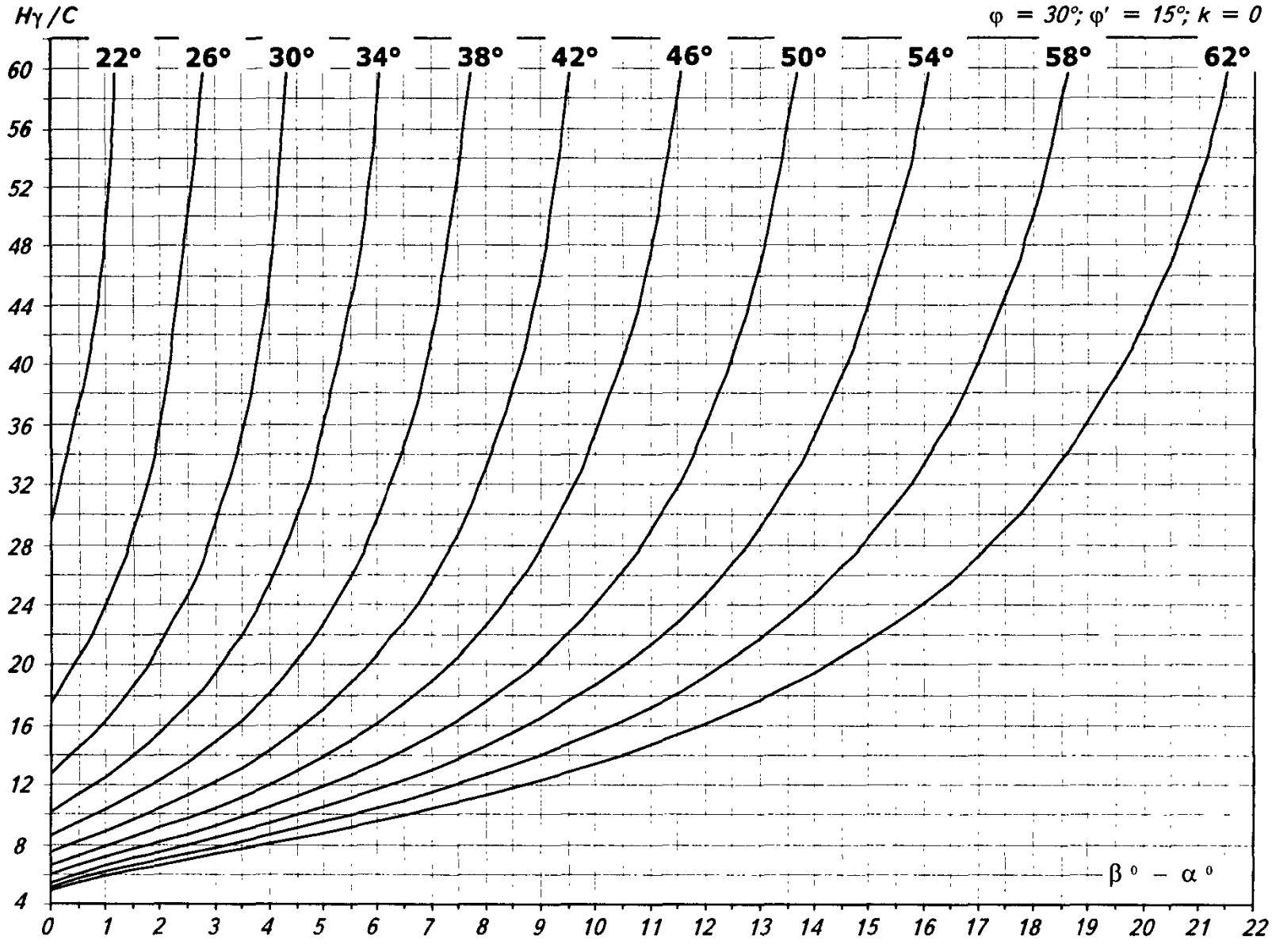

Hγ / C
φ = 30°; φ' = 15°; k = 0
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
β ° – α °

Рис. П.4.2

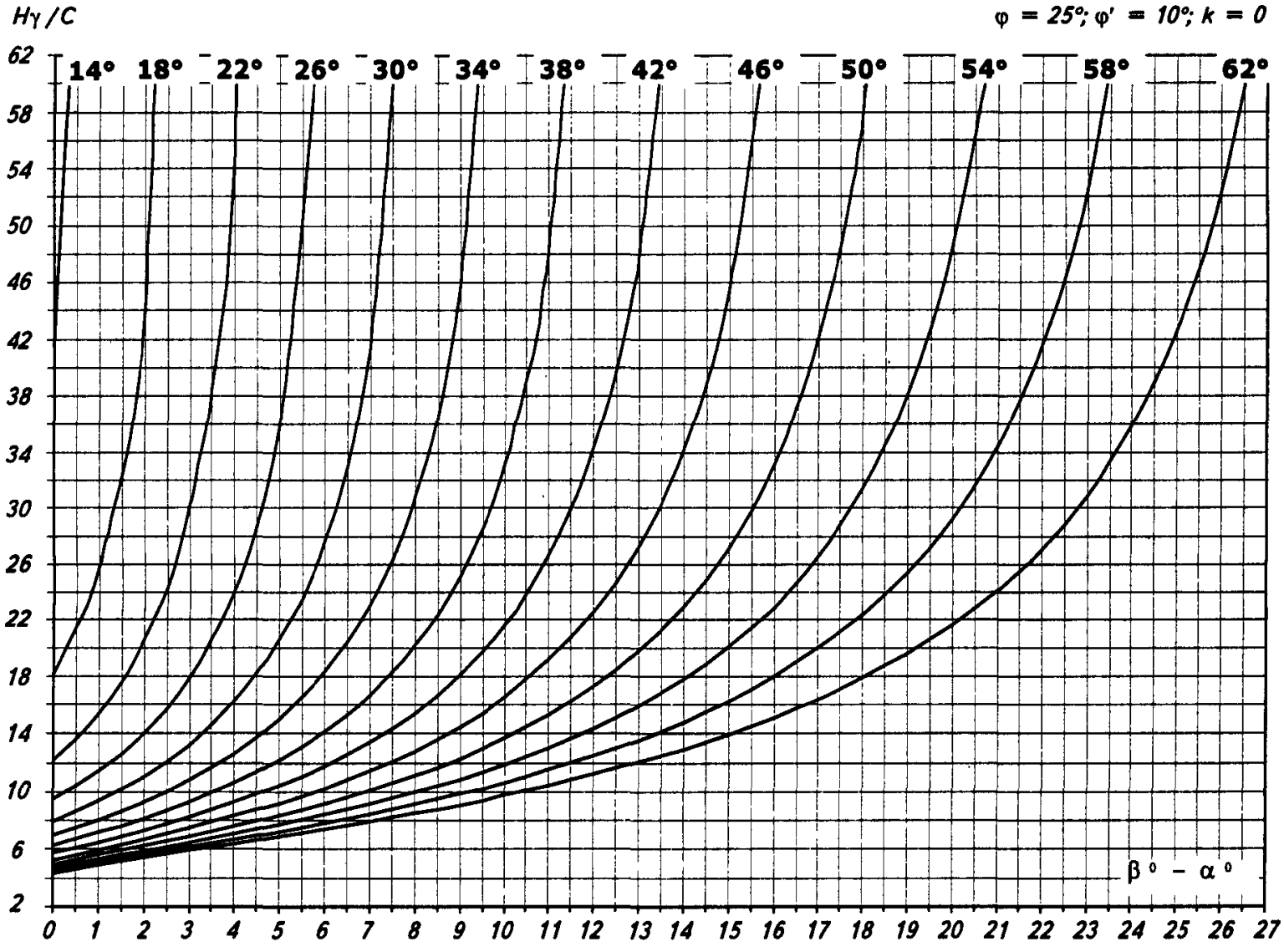

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 10°; k = 0
14°
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
62
58
54
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
2
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
β° – α°

Рис. П.4.3

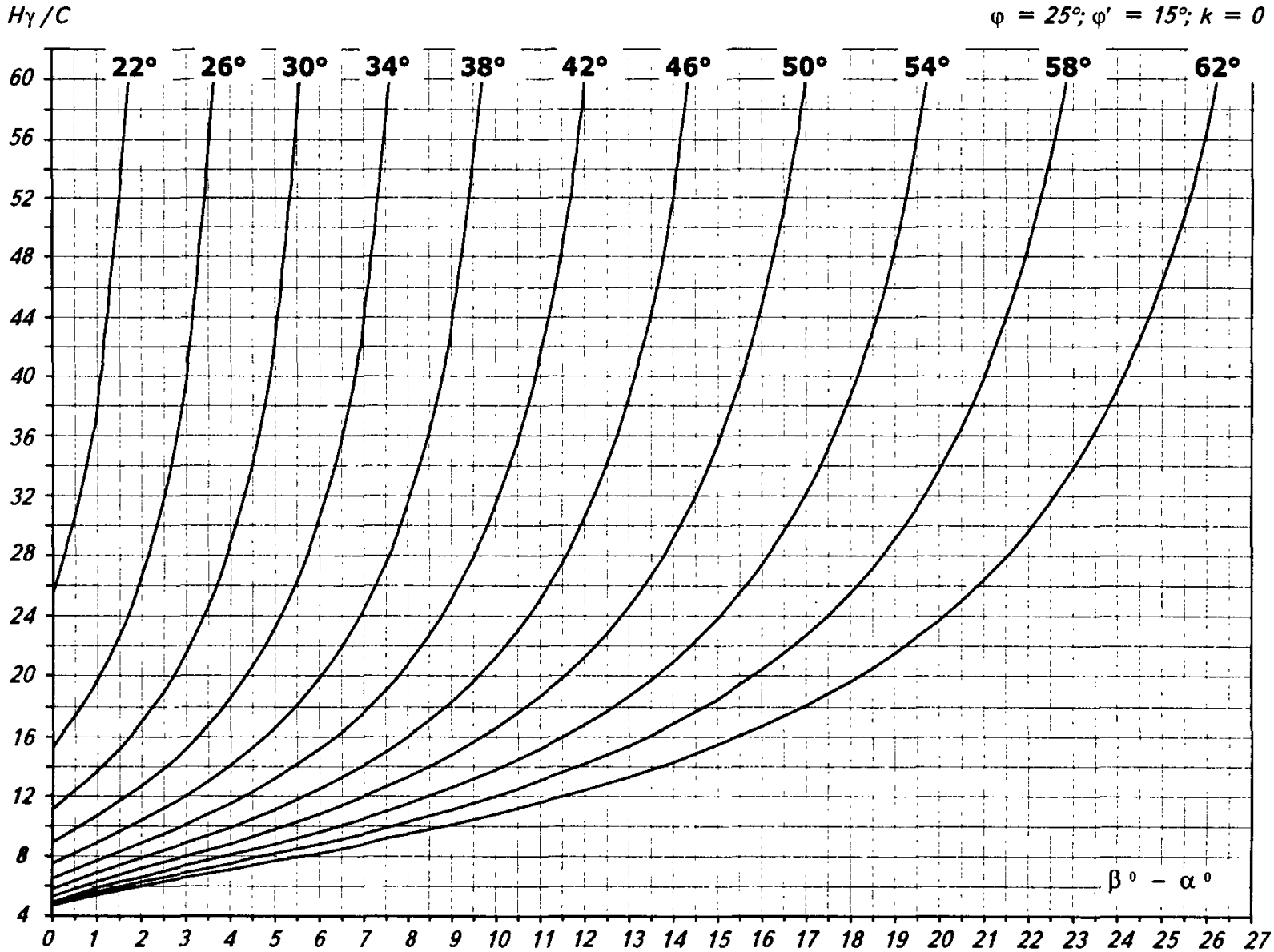

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 15°; k = 0
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
β° − α°

Рис. П.4.4

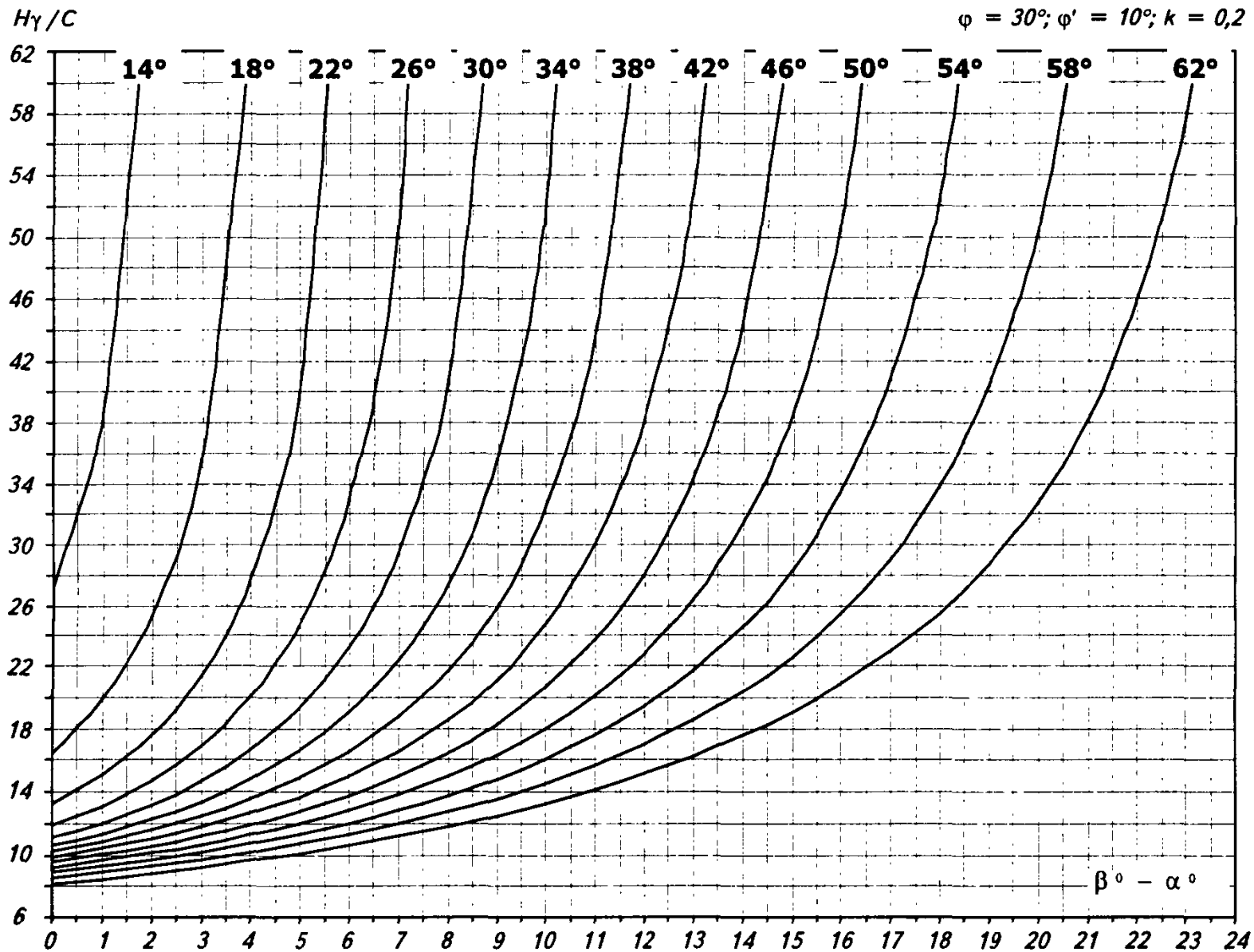

Hγ / C
φ = 30°; φ' = 10°; k = 0,2
14°
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
62
58
54
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
β° − α°

Рис. П.4.5

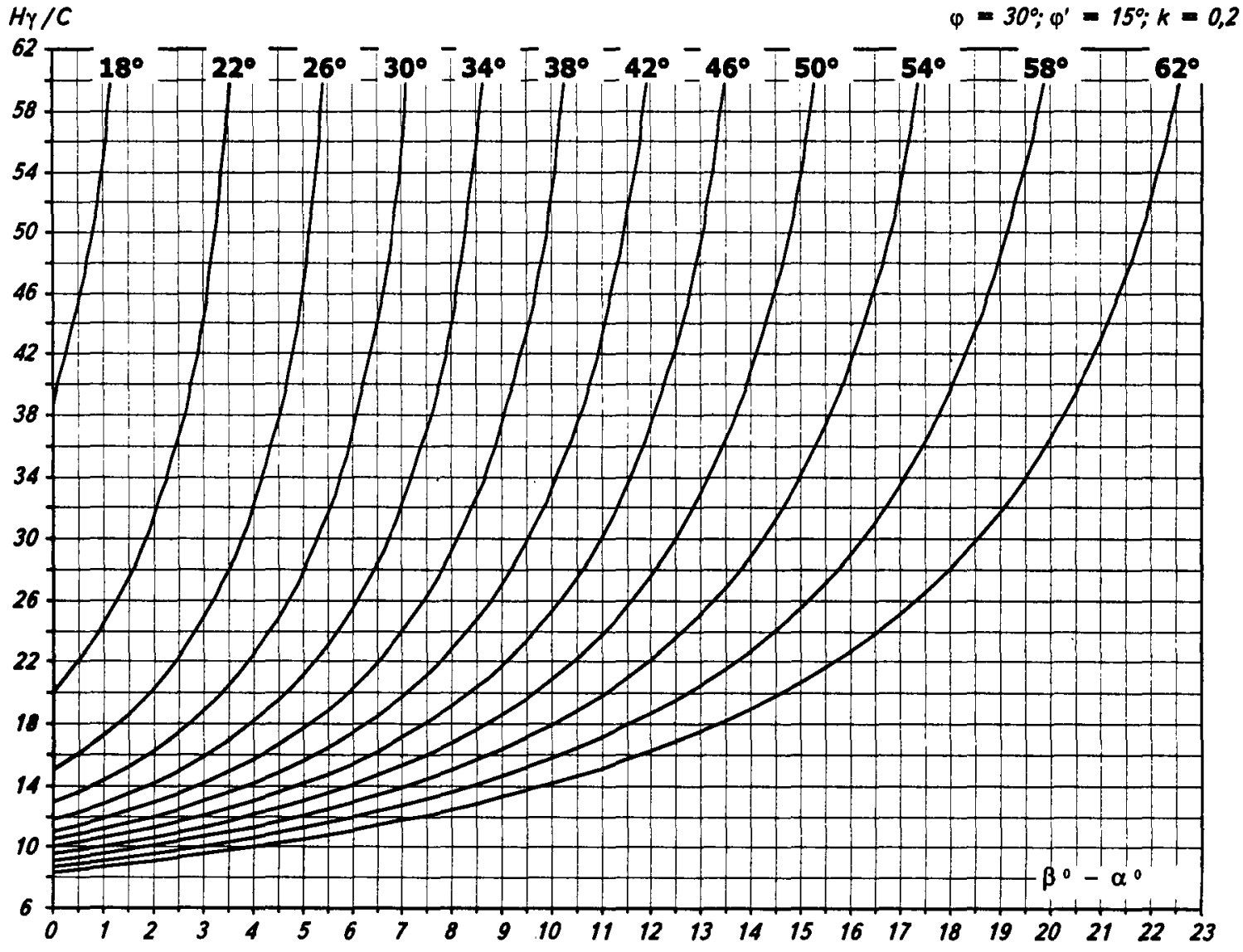


Рис. П.4.6

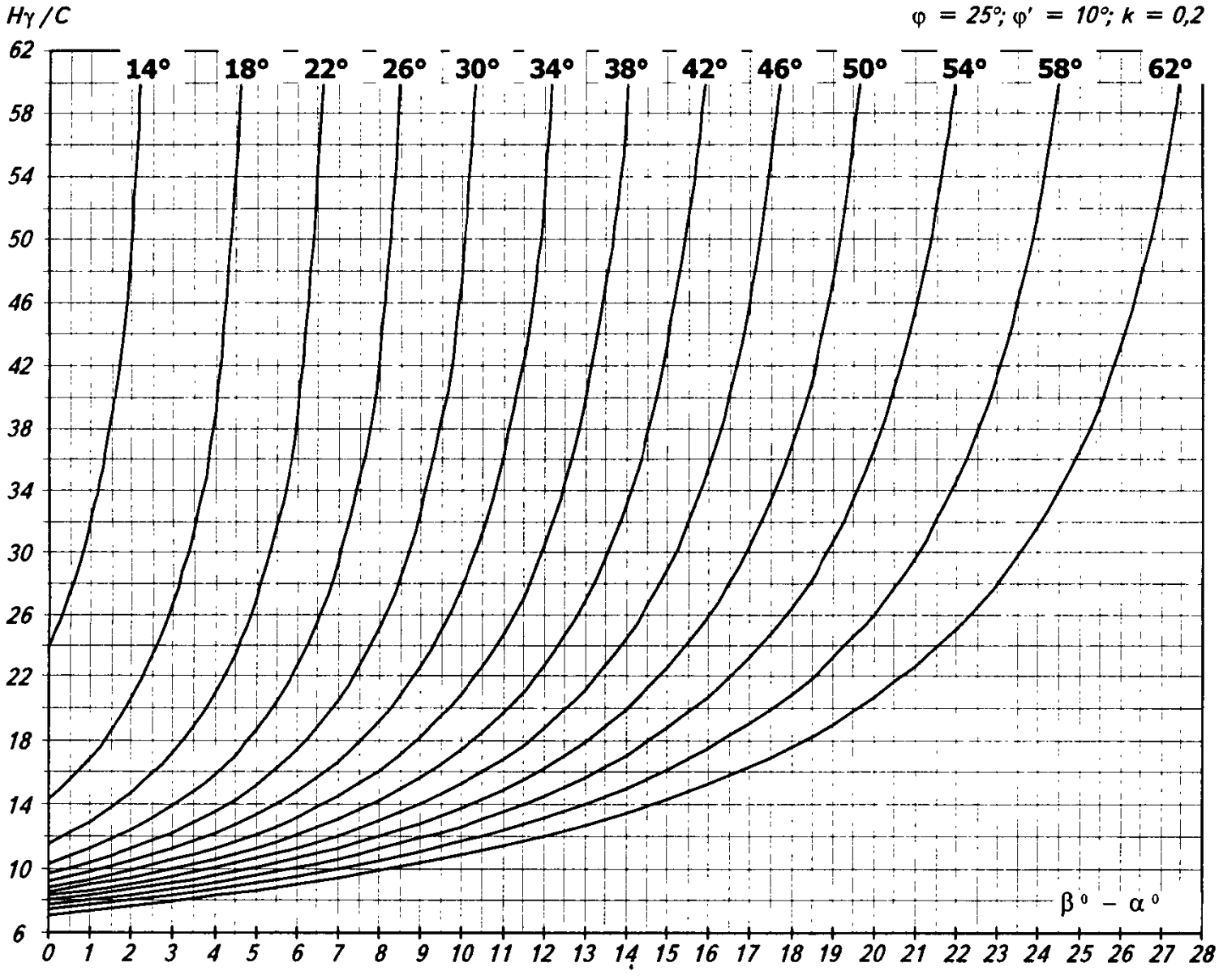

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 10°; k = 0,2
14°
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
62
58
54
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
β° – α°

Рис. П.4.7

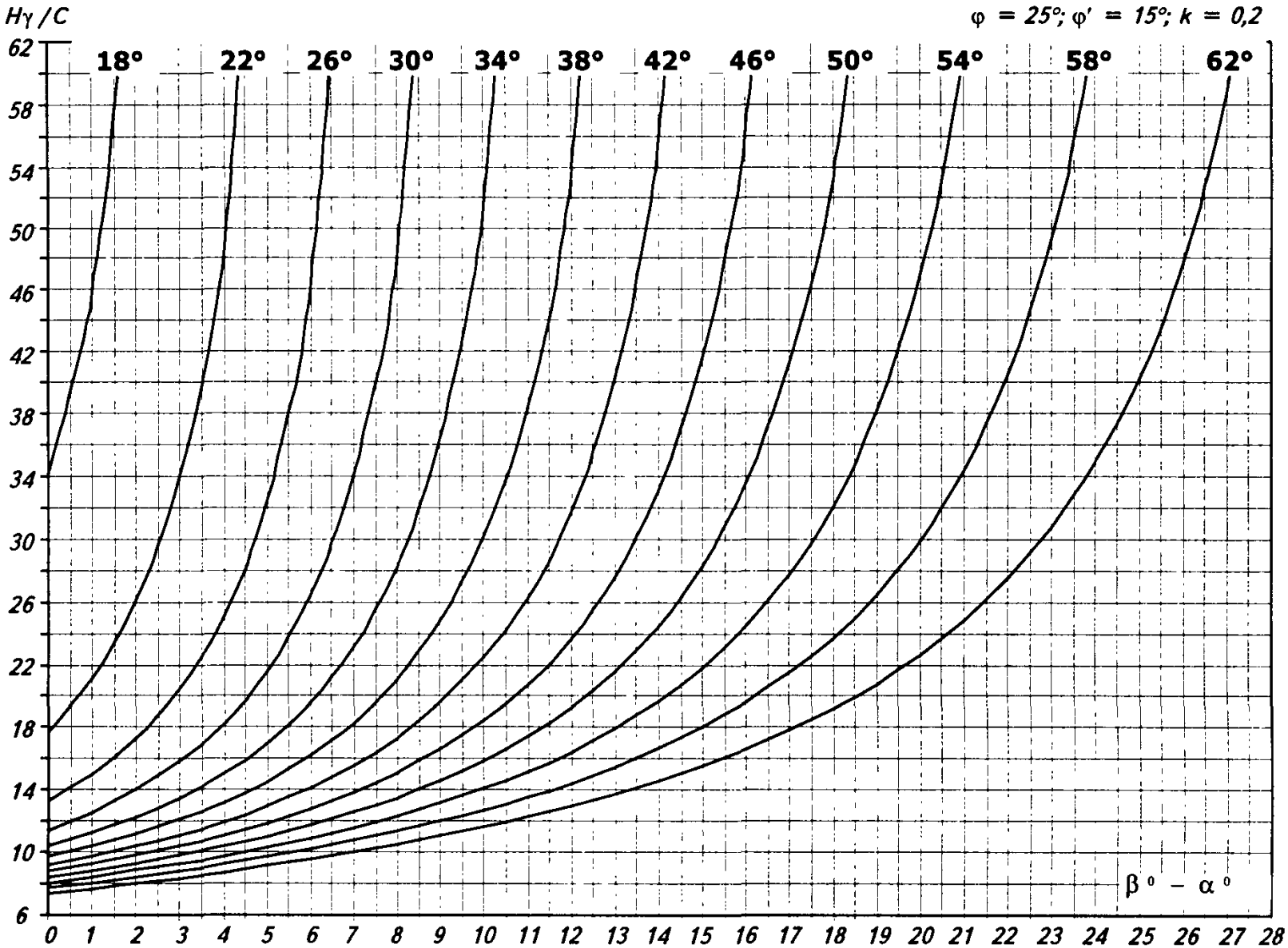

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 15°; k = 0,2
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
62
58
54
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
β° − α°

Рис. П.4.8

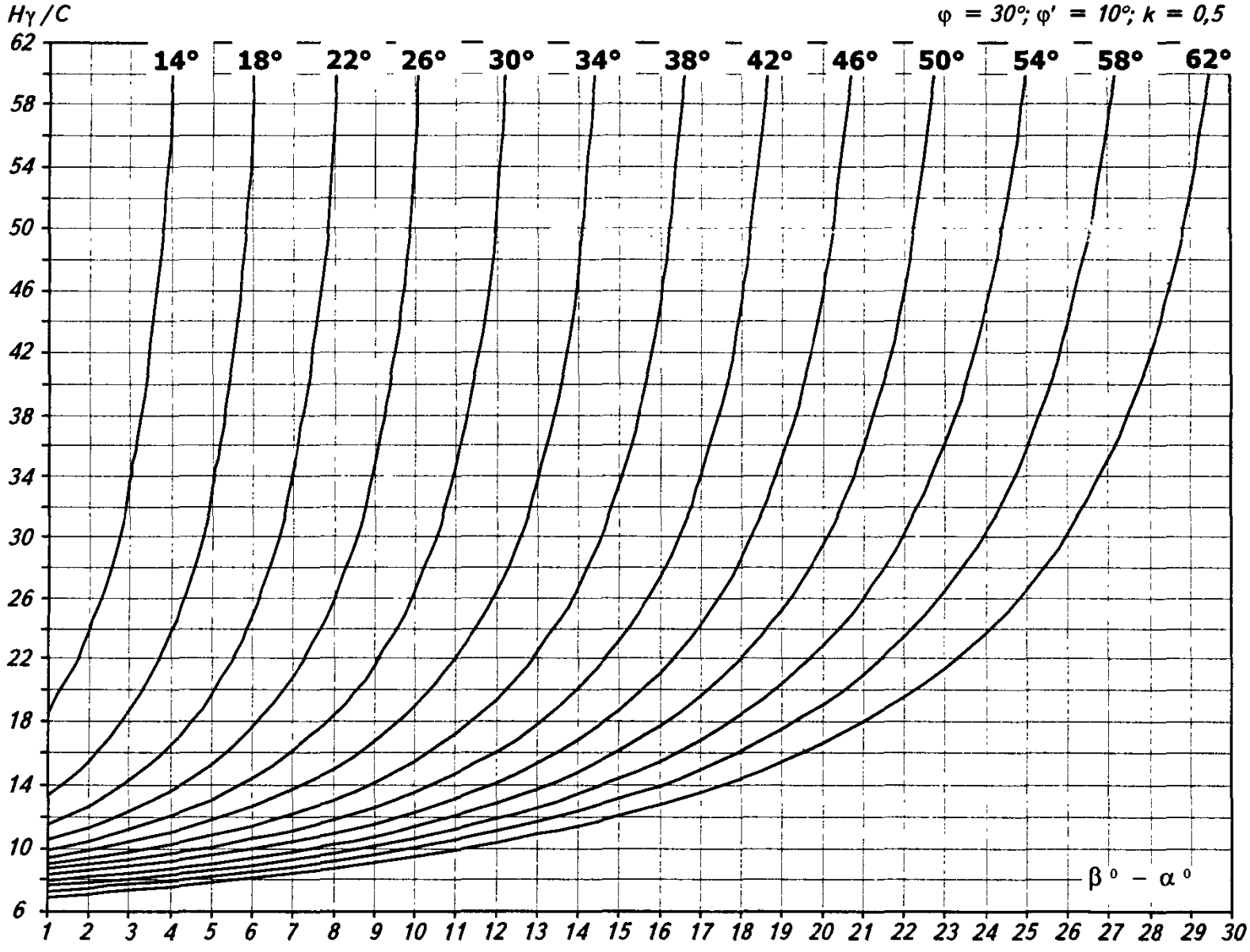

Hγ /C
φ = 30°; φ' = 10°; k = 0,5
14°
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
62
58
54
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
β° – α°

Рис. П.4.9

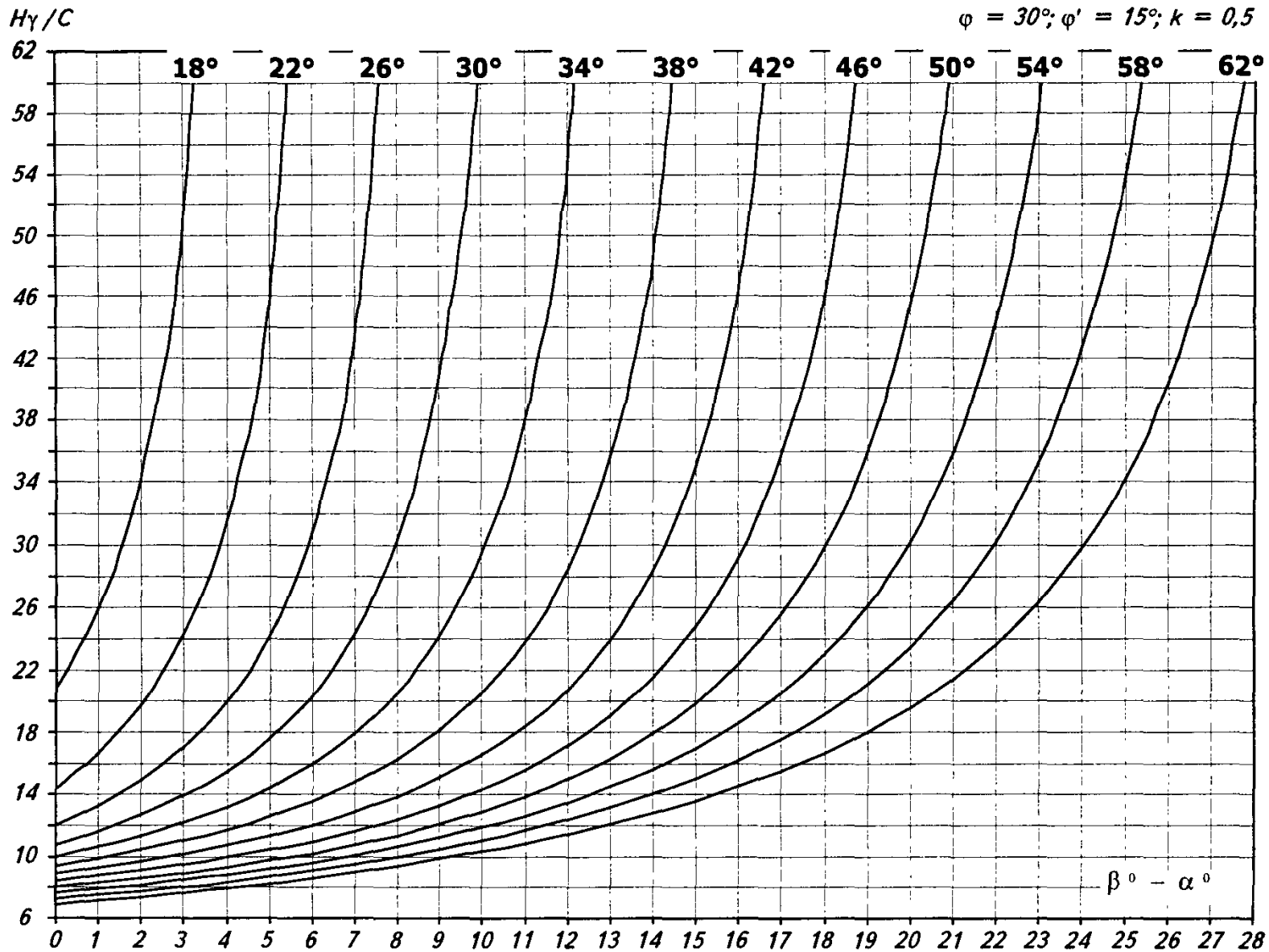

Hγ / C
φ = 30°; φ' = 15°; k = 0,5
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
62
58
54
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
β ° − α °

Рис. П.4.10

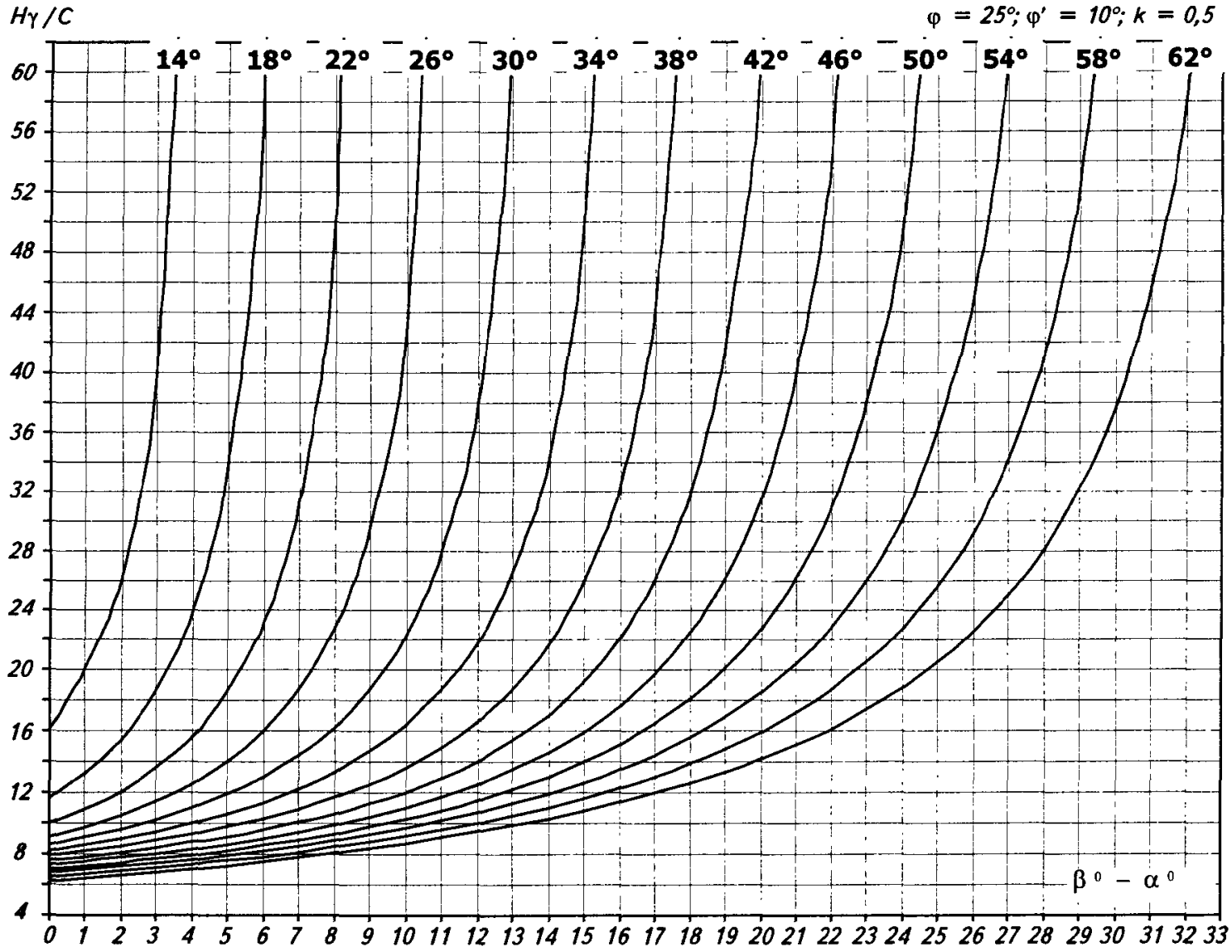

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 10°; k = 0,5
14° 18° 22° 26° 30° 34° 38° 42° 46° 50° 54° 58° 62°
60 56 52 48 44 40 36 32 28 24 20 16 12 8 4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
β° – α°

Рис. П.4.11

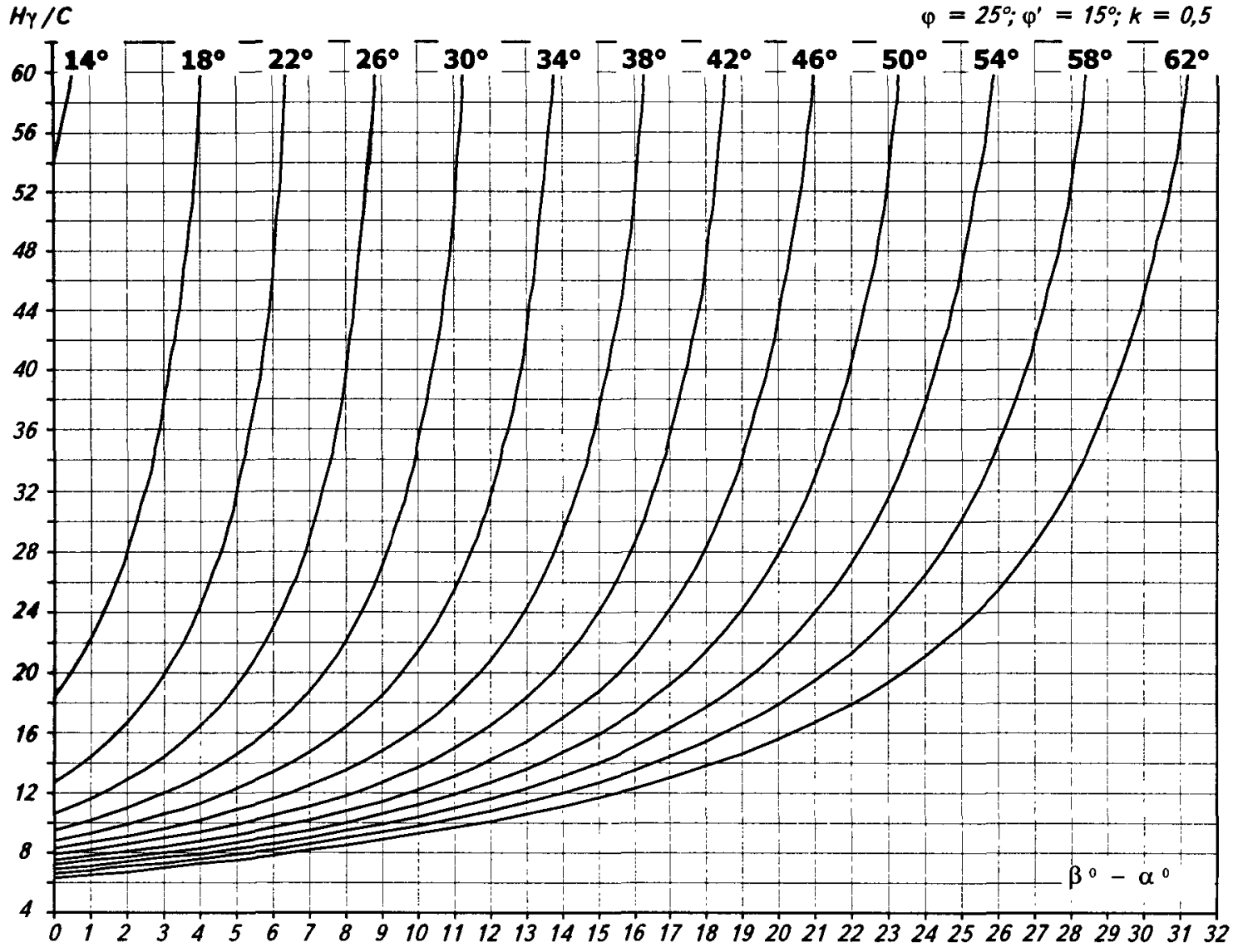

Hγ/C
φ = 25°; φ' = 15°; k = 0,5
14°
18°
22°
26°
30°
34°
38°
42°
46°
50°
54°
58°
62°
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
β° – α°

Рис. П.4.12

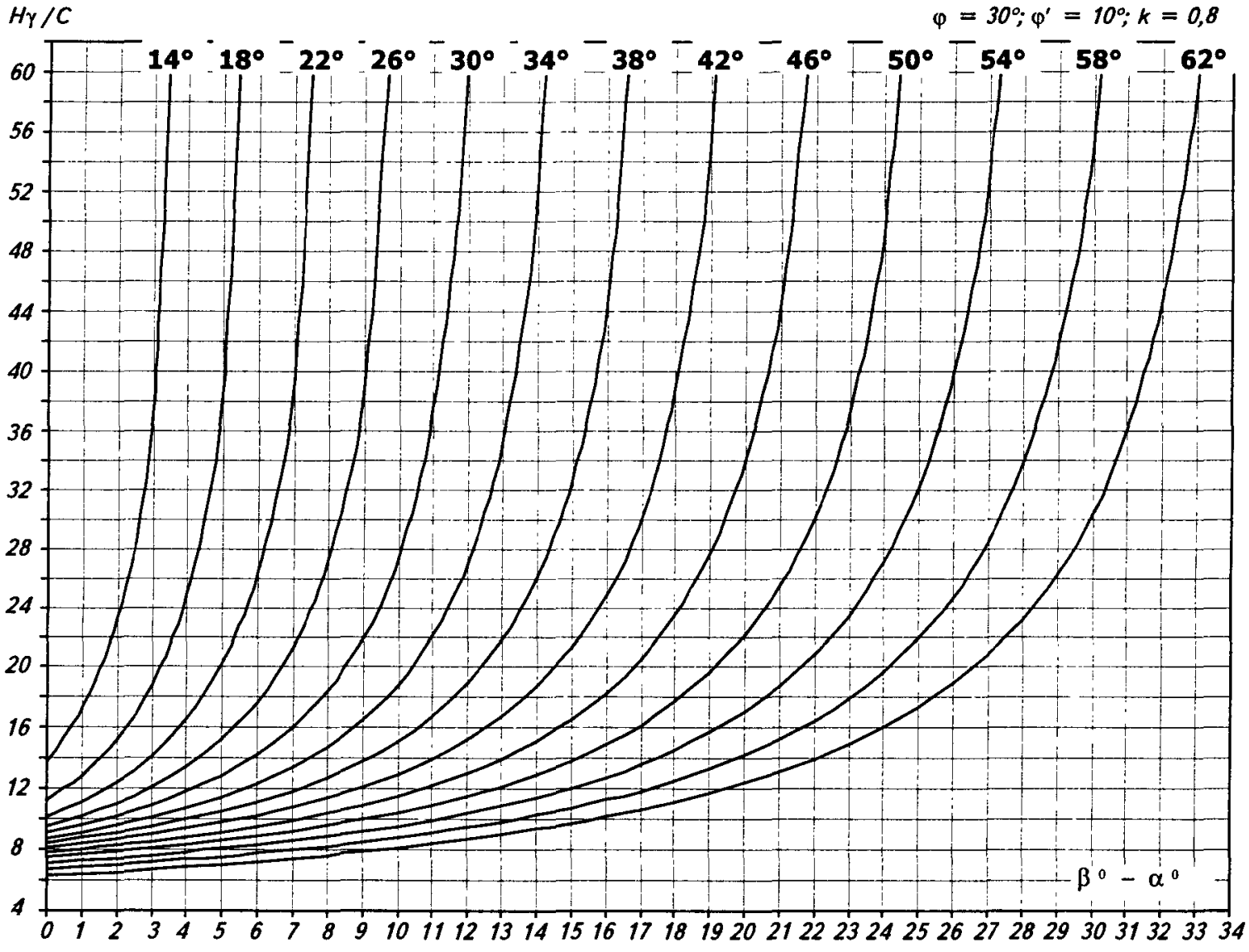

Hγ / C
φ = 30°; φ′ = 10°; k = 0,8
14° 18° 22° 26° 30° 34° 38° 42° 46° 50° 54° 58° 62°
60 56 52 48 44 40 36 32 28 24 20 16 12 8 4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34
β° − α°

Рис. П.4.13

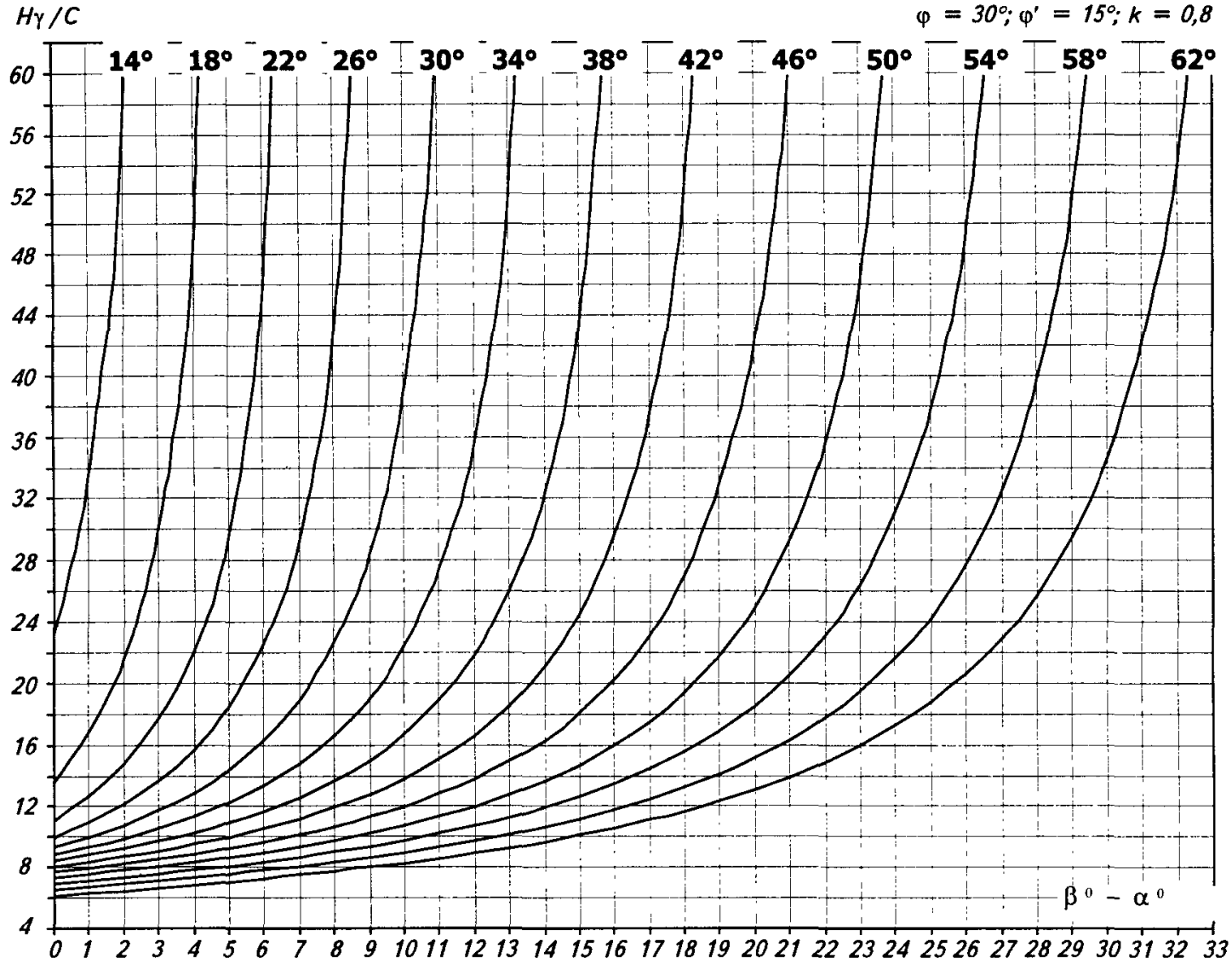

Hγ / C
φ = 30°; φ' = 15°; k = 0,8
14° 18° 22° 26° 30° 34° 38° 42° 46° 50° 54° 58° 62°
60 56 52 48 44 40 36 32 28 24 20 16 12 8 4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
β° − α°

Рис. П.4.14

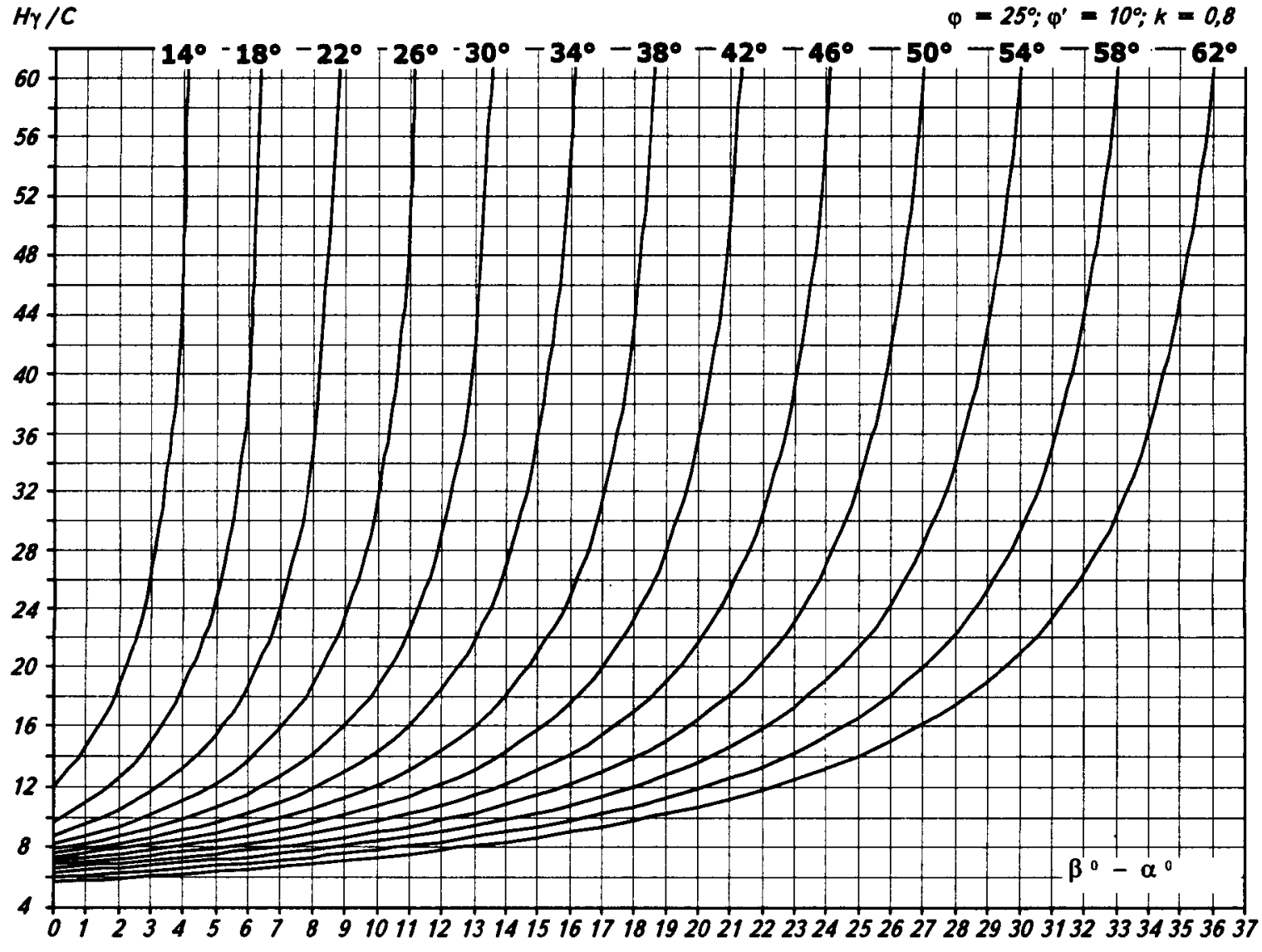

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 10°; k = 0,8
14° 18° 22° 26° 30° 34° 38° 42° 46° 50° 54° 58° 62°
60 56 52 48 44 40 36 32 28 24 20 16 12 8 4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37
β° − α°

Рис. П.4.15

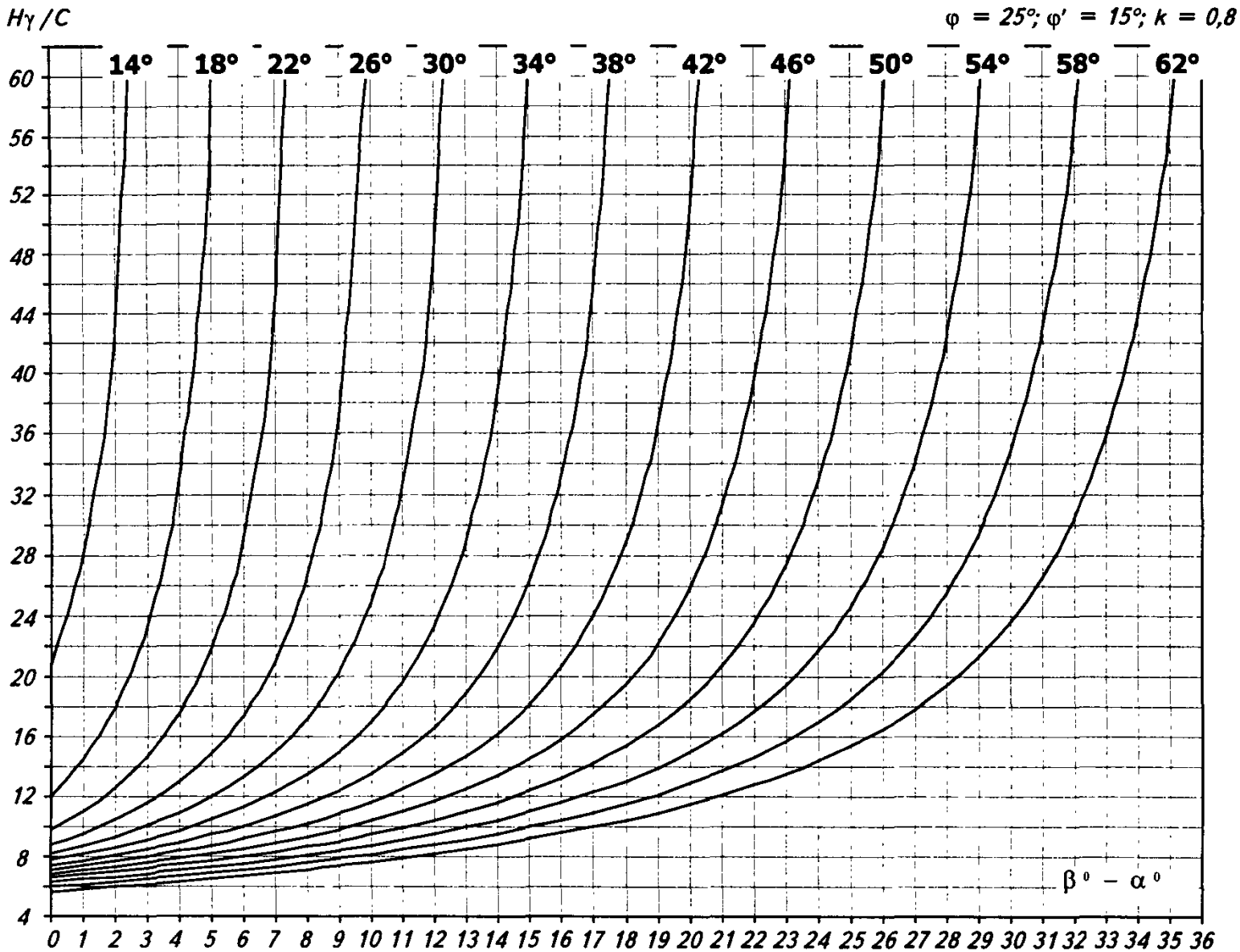

Hγ / C
φ = 25°; φ' = 15°; k = 0,8
14° 18° 22° 26° 30° 34° 38° 42° 46° 50° 54° 58° 62°
60 56 52 48 44 40 36 32 28 24 20 16 12 8 4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36
β° – α°

Рис. П.4.16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ ОТКОСОВ ПРИ ПОЛОГОМ ЗАЛЕГАНИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИ $\beta < \varphi'$, $\beta < 25°$

По результатам расчетов, произведенных методом многоугольника сил для рассматриваемых условий, построены графики зависимости параметров плоского откоса (высоты, угла наклона) при наличии в его основании поверхности ослабления, по которой $\varphi' > \beta$ (рисунки П.5.1–П.5.8). Графики рассчитаны при условии, что величины напоров подземных вод не превышают отметок поверхности откоса, а сцепление пород вкрест слоистости C в пять раз превосходит сцепление по поверхностям ослабления C'.

Графики рассчитаны при различных значениях угла падения поверхностей ослабления β (–4; 0; 4; 8°), угла трения по поверхности ослабления φ' (8; 12°), угла трения пород в массиве φ (20; 26°) и условиях обводнения прибортового массива k (0; 0,1).

Определение допустимых по условию устойчивости параметров плоского откоса (высота, угол наклона) для конкретных инженерно-геологических и гидрогеологических условий осуществляют методом последовательной интерполяции (экстраполяции) численных значений комплекса A или угла наклона борта α, определяемых по графикам (см. рисунки П.5.1–П.5.8) для значений углов трения φ и φ', а также коэффициента k, близких по значению к расчетным.

Порядок определения допустимых параметров откоса по графикам П.5.1–П.5.8 рассмотрен на примерах.

Пример 1

Определить допустимую высоту борта с углом наклона $\alpha = 35°$ при угле падения слоев в прибортовом массиве $\beta = 2°$ и следующих расчетных характеристиках: $\gamma = 1{,}9$ т/м^3; $C_п = 5$ т/м^2; $\varphi_п = 22°$; $\varphi'_п = 7°$ и $k = 0$.

1. По графикам П.5.1–П.5.4 для характеристик, близких к заданным значениям, определяют:

$$A_1 = 13; A_2 = 19{,}5; A_3 = 9{,}8; A_4 = 12{,}8.$$

2. Вычисляют средние значения комплекса A, соответствующие заданному значению угла трения по поверхности ослабления $\varphi'_п = 7$:

$$A_{1,2} = A_1 - \frac{A_2 - A_1}{\mathrm{tg}12° - \mathrm{tg}8°}(\mathrm{tg}8° - \mathrm{tg}7°) = 13 - \frac{19{,}5 - 13}{0{,}213 - 0{,}141}(0{,}141 - 0{,}123) = 11{,}4,$$

и аналогично

$$A_{3,4} = 9{,}1.$$

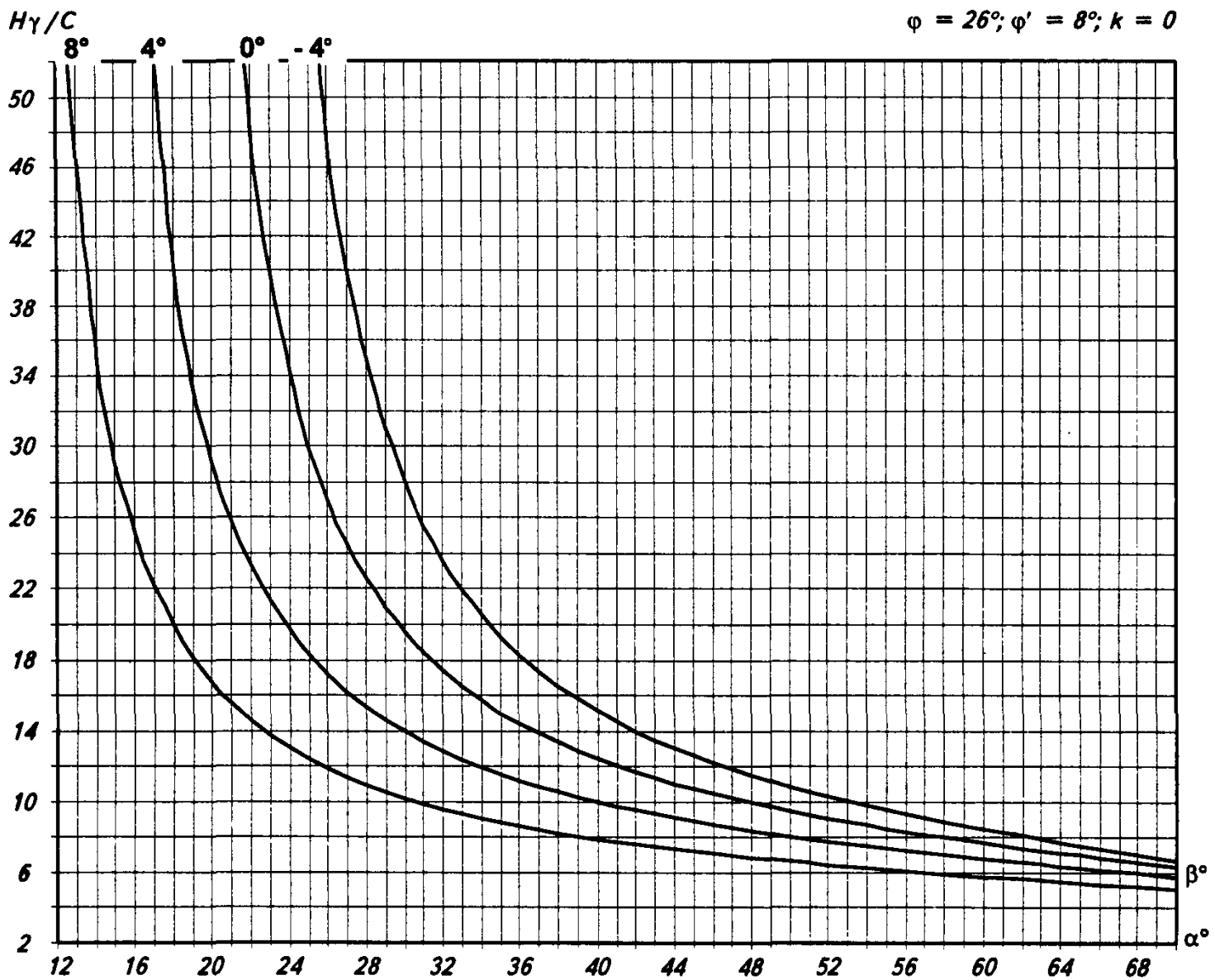

Hγ/C
φ = 26°; φ' = 8°; k = 0
8°
4°
0°
- 4°
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
2
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
β°
α°

Рис. П.5.1

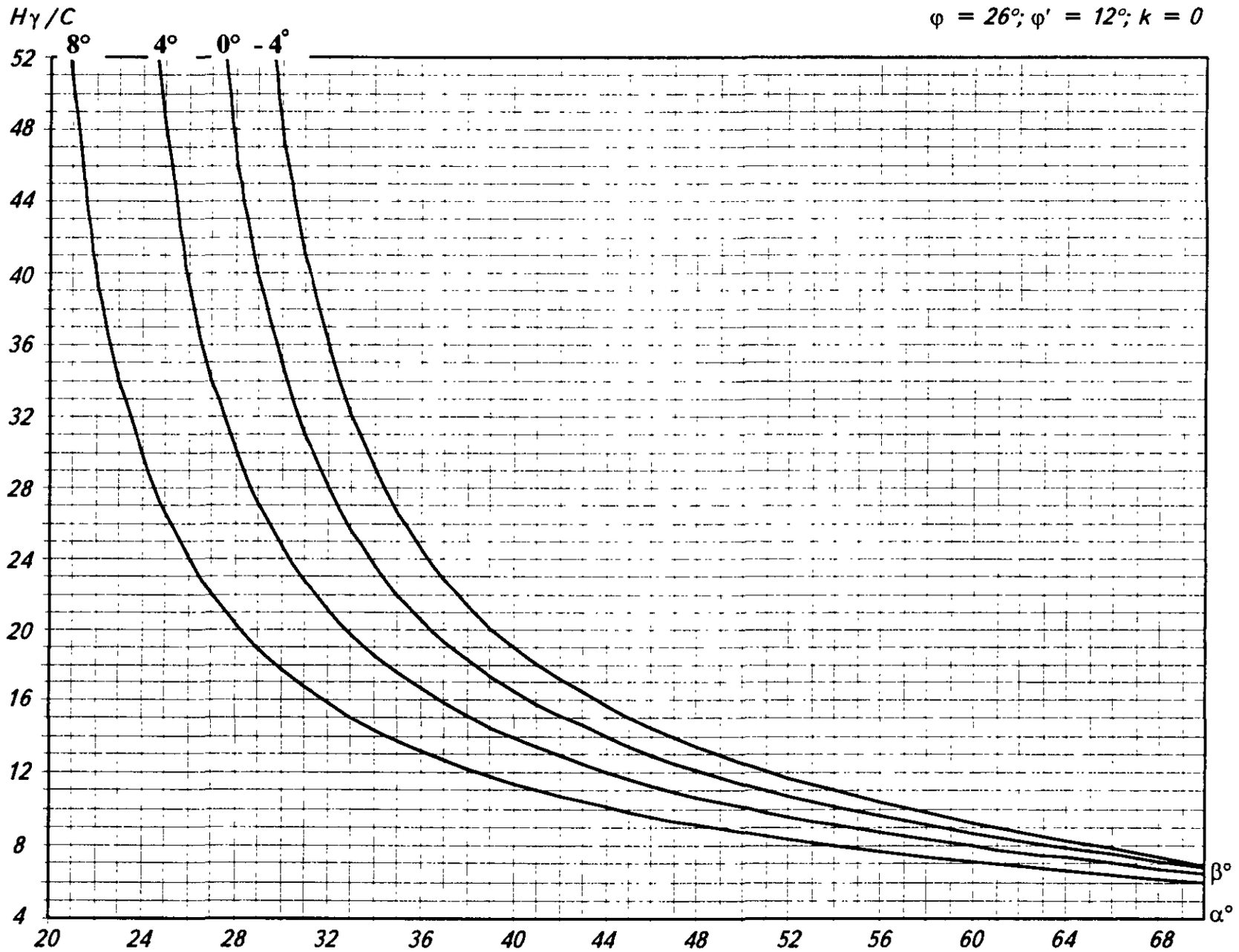

Hγ/C
φ = 26°; φ' = 12°; k = 0
8°
4°
0°
-4°
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
β°
α°

Рис. П.5.2

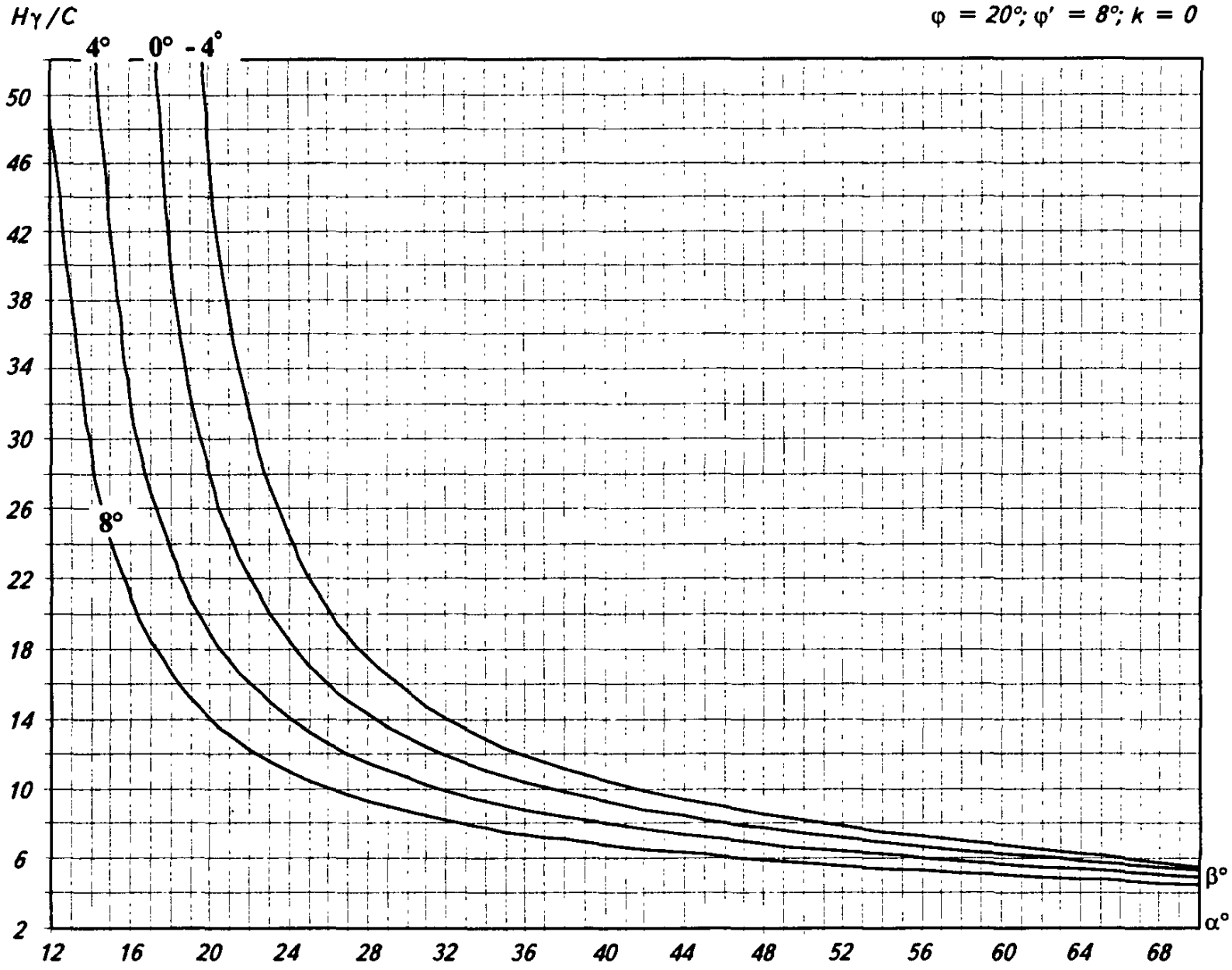

Hγ/C
φ = 20°; φ' = 8°; k = 0
4°
0°
-4°
8°
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
2
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
β°
α°

Рис. П.5.3

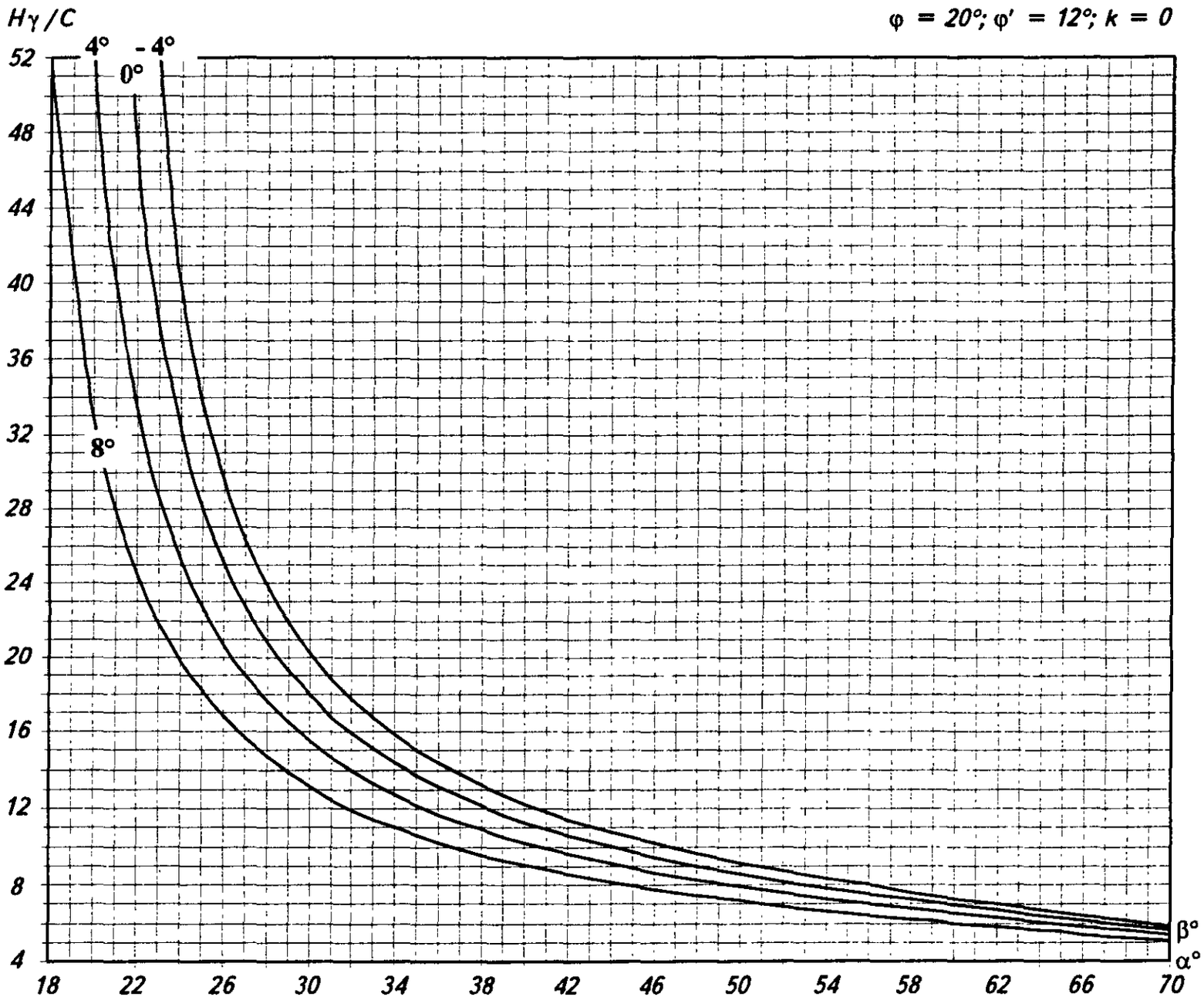

Hγ / C
φ = 20°; φ' = 12°; k = 0
4°
- 4°
0°
8°
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
62
66
70
β°
α°

Рис. П.5.4

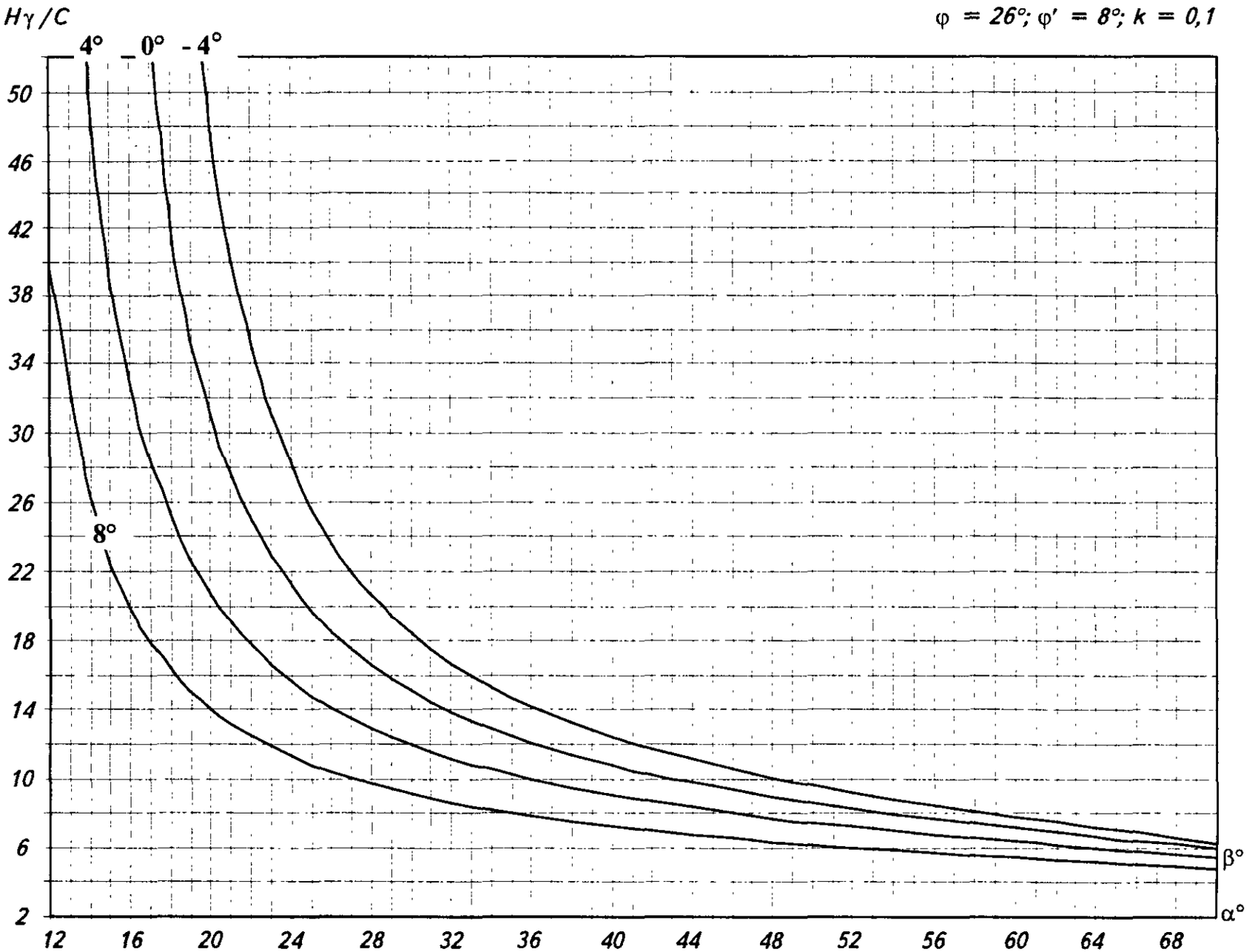

Hγ/C
φ = 26°; φ' = 8°; k = 0,1
4°
0°
-4°
8°
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
2
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
β°
α°

Рис. П.5.5

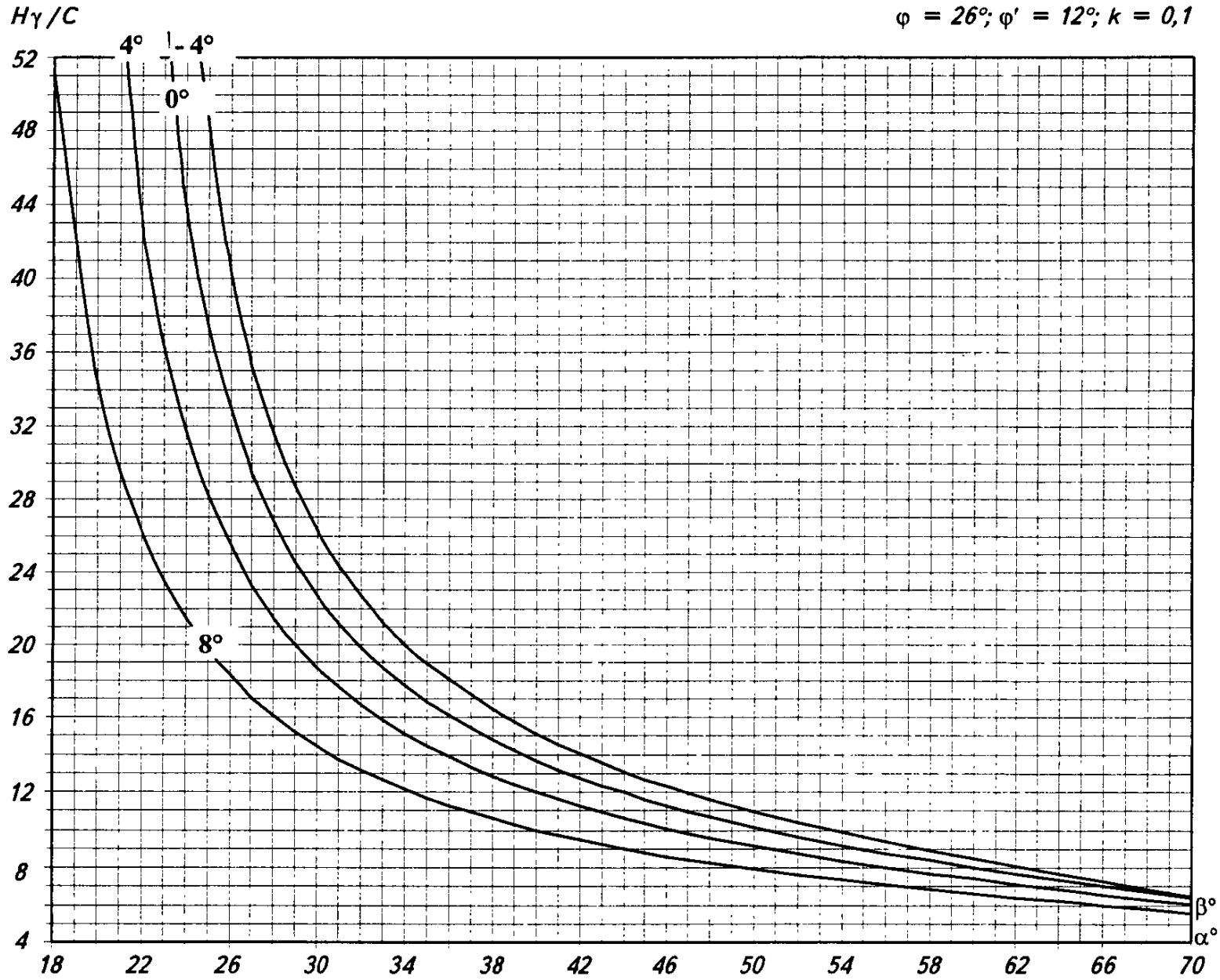

Hγ / C
φ = 26°; φ' = 12°; k = 0,1
4°
-4°
0°
8°
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
18
22
26
30
34
38
42
46
50
54
58
62
66
70
β°
α°

Рис. П.5.6

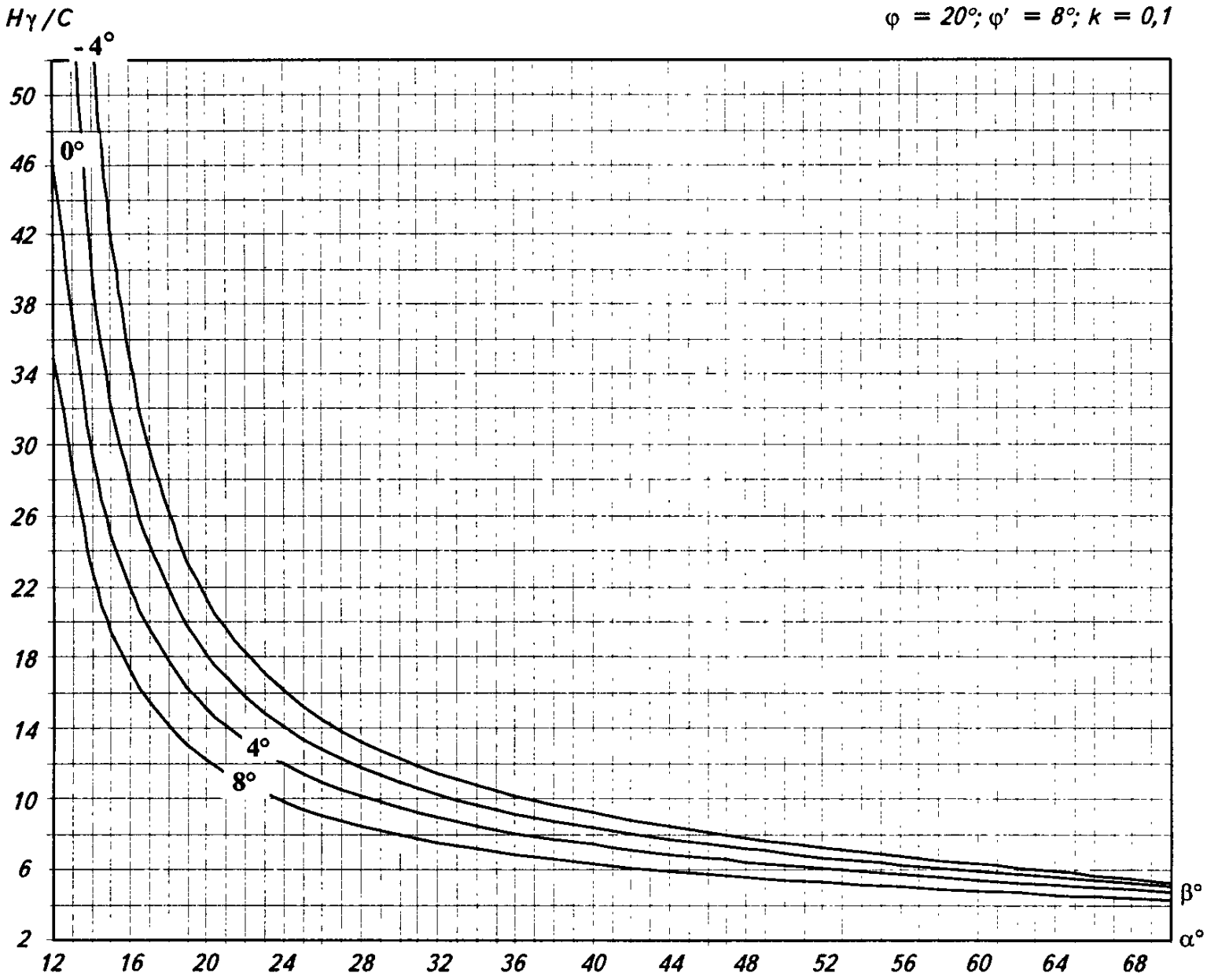

Hγ/C
φ = 20°; φ' = 8°; k = 0,1
-4°
0°
4°
8°
50
46
42
38
34
30
26
22
18
14
10
6
2
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
β°
α°

Рис. П.5.7

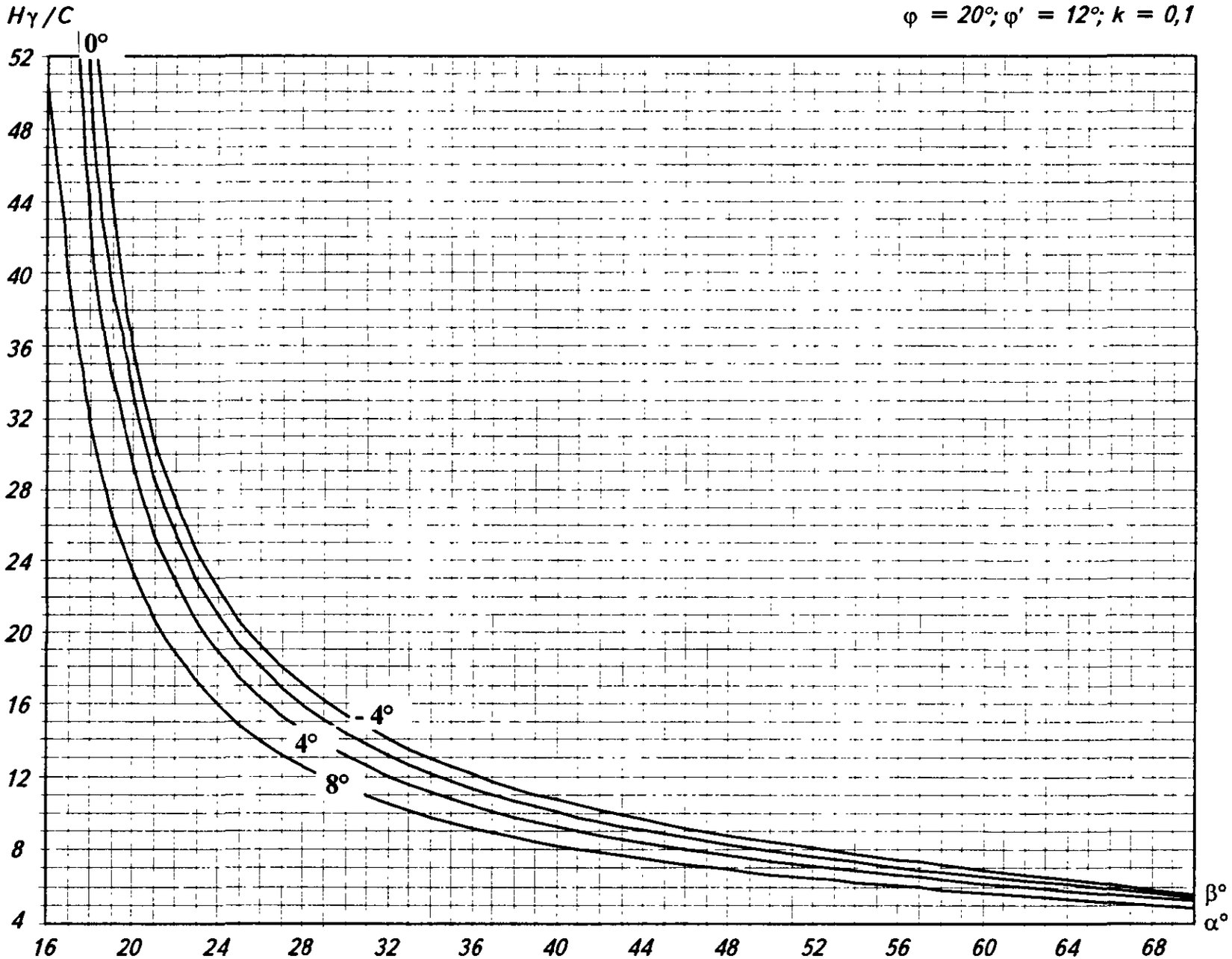

Hγ / C
φ = 20°; φ' = 12°; k = 0,1
0°
- 4°
4°
8°
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
β°
α°

Рис. П.5.8

3. Вычисляют среднее значение комплекса A, соответствующее исходным расчетным характеристикам:

$$A_{ср} = A_{3,4} + \frac{A_{1,2} - A_{3,4}}{tg26° - tg20°}(tg22° - tg20°) = 9{,}1 + \frac{11{,}4 - 9{,}1}{0{,}488 - 0{,}364}(0{,}404 - 0{,}364) = 9{,}8.$$

4. Вычисляют искомое значение допустимой по условию устойчивости высоты откоса:

$$H = \frac{AC}{\gamma} = \frac{9{,}8 \cdot 5}{1{,}9} = 26 \text{ (м)}.$$

Пример 2

Определить допустимый угол откоса высотой 60 м при условии обводнения прибортового массива – k = 0,05 и следующих исходных расчетных характеристиках: $\beta = 0°$; $\gamma = 2{,}1$ т/м^3; $C_n = 8$ т/м^2; $\varphi_n = 24°$; $\varphi'_n = 8°$.

1. Вычисляют значение комплекса, соответствующее исходным расчетным характеристикам:

$$A = \frac{\gamma H}{C} = \frac{2{,}1 \cdot 60}{8} \approx 15{,}8.$$

2. По графикам, представленным на рисунках П.5.1, П.5.3, П.5.5, П.5.7, определяют значения допустимых углов откоса, соответствующие вычисленным значениям, близким к исходному:

$$\alpha_1 = 34; \alpha_3 = 26; \alpha_5 = 29; \alpha_7 = 22°.$$

3. Вычисляют средние значения допустимых углов откоса, соответствующие углу трения пород в массиве $\varphi_n = 24°$:

$$\alpha_{1,3} = \alpha_1 + \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{tg26° - tg20°}(tg24° - tg26°) = 34 + \frac{34 - 26}{0{,}488 - 0{,}364}(0{,}445 - 0{,}488) = 31{,}2°;$$

$$\alpha_{5,7} = 26{,}6°.$$

4. Вычисляют искомое среднее значение допустимого угла откоса:

$$\alpha = \alpha_{5,7} + \frac{\alpha_{1,3} - \alpha_{5,7}}{k_{5,7} - k_{1,3}}(k_{5,7} - k) = 26{,}6 + \frac{31{,}2 - 26{,}6}{0{,}1 - 0}(0{,}1 - 0{,}05) \approx 29°.$$

СХЕМА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КРИВОЛИНЕЙНОСТИ КОНТУРА РАЗРЕЗА В ПЛАНЕ ПРИ НАКЛОННОМ И КРУТОМ ЗАЛЕГАНИИ СЛОЕВ ПОРОД

При вертикальном залегании слоев при круглой и овальной форме разрезов на некоторых участках слои рассекаются бортом и боковой распор по контактам слоев уменьшается; на этих участках параметры борта принимаются такие же, как для прямолинейного в плане борта.

Границы участков, на которых угол наклона борта круглой формы равен углу наклона прямолинейного в плане борта, определяются следующим образом:

а) со стороны участка, где простирание слоев перпендикулярно простиранию борта, граничное сечение ограничивается углом трения по контактам φ' (на рис. П.6.1 граничные сечения для круглого разреза обозначены линиями OA, OD, OE, OH);

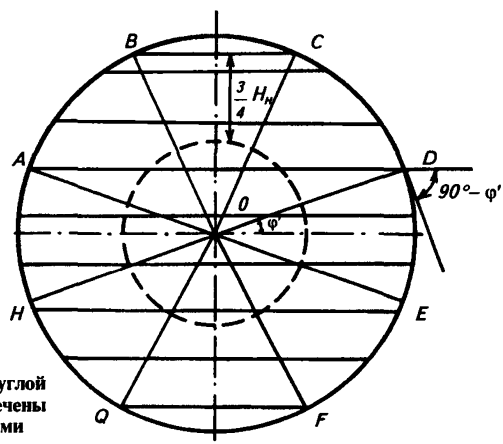


Рис. П.6.1. Схема разреза круглой формы, борта которого рассечены вертикально залегающими слоями

б) со стороны участка, где простирание слоев параллельно простиранию борта, граничные сечения проводят через точки пересечения верхней бровки слоем, пересекающим откос в сечении, нормальном к простиранию слоев, на высоте $\frac{3}{4}H_н$ ($H_н = H/\sin\alpha$ – наклонная высота борта) от нижней бровки борта (на рис. П.6.1 этими сечениями будут OB, OC, OF, OQ).

На участках *AH*, *BC*, *DE*, *QF* угол наклона борта определяют по схеме для случая сопряжения двух прямолинейных участков борта закруглением (см. рис. 5.4.5).

На участках *AB*, *CD*, *EF*, *QH* угол наклона борта принимается с поправкой за кривизну, равной половине поправки на участках *AH*, *BC*, *DE*, *OF*.

При наклонном и крутом залегании слоев ($20° < \beta < 80°$) угол наклона борта разреза круглой или овальной формы определяют в следующем порядке:

а) по главным сечениям *OA*, *OB*, *OC*, *OD* (рис. П.6.2) угол наклона вычисляют, как для прямолинейного в плане борта плоского профиля;

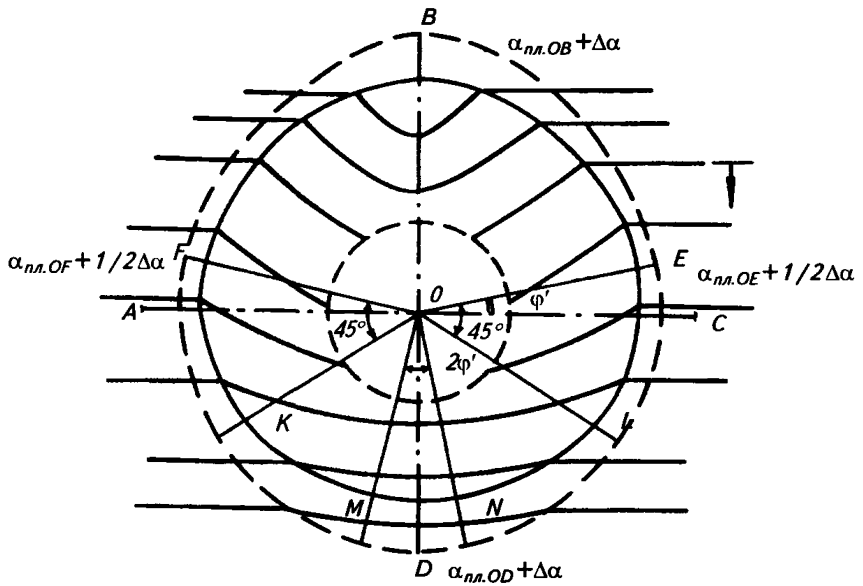


Рис. П.6.2. Схема разреза круглой формы в массиве с наклонным и крутым ($20° < \beta < 80°$) залеганием слоев пород

б) по вычисленным углам наклона строят верхний контур борта разреза для главных сечений – пунктирный контур на рис. П.6.2;

в) по графику (см. рис. 5.4.1) определяют поправку к углу наклона за кривизну борта $\Delta\alpha$, она одинакова для всех сечений *AO*, *BO*, *CO*, *DO*;

г) по сечению *OB* угол наклона борта α_{OB} принимают равным:

$$\alpha_{OB} = \alpha_{пл.OB} + \Delta\alpha;$$

д) по сечениям *OF* и *OE* угол наклона принимают равным:

$$\alpha_{OF} = \alpha_{OE} = \alpha_{пл.OA} + \frac{1}{2}\Delta\alpha;$$

е) на участке *FBE* угол принимают переменным: от $\alpha_{пл.OA} + \frac{1}{2}\Delta\alpha$ в сечениях *OF* и *OE* до $\alpha_{пл.OB} + \Delta\alpha$ в сечении *OB*;

ж) при $\Delta\alpha > 10°$ на участке *MN*, ограниченном центральным углом $2\varphi'$, угол наклона принимают равным $\alpha_{пл} + \Delta\alpha$; на участках *FM*, *EN* угол переменный – от $\alpha_{пл.OA} + \frac{1}{2}\Delta\alpha$ в сечениях *OF* и *OE* до $\alpha_{пл} + \Delta\alpha$ в сечениях *OM* и *ON*;

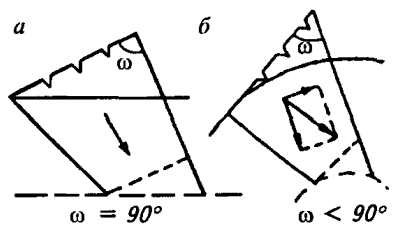
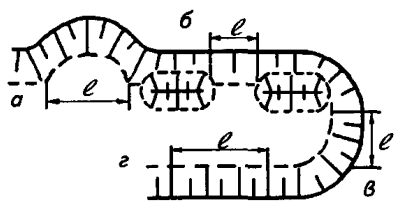
з) при $\Delta\alpha < 10°$ на участках *FK* и *EL* угол наклона переменный – от $\alpha_{пл} + \frac{1}{2}\Delta\alpha$ до $\alpha_{пл} + \Delta\alpha$; на участке *KL* – $\alpha_{пл} + \Delta\alpha$.

РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ В НЕТИПОВЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В практике ведения открытых горных работ в ряде случаев типовые схемы расчета устойчивости откосов не отражают характер их деформирования. К числу таких наиболее распространенных на разрезах условий относятся несовпадение простирания поверхностей ослабления с простиранием откоса, наличие пересекающихся поверхностей ослабления и т. д. Все встречающиеся в практике нетиповые случаи рассмотреть в Правилах невозможно, поэтому ниже изложены рекомендации по оценке устойчивости откосов в наиболее часто наблюдаемых на разрезах нетиповых горно-геологических условиях.

1. При наличии в массиве согласно падающих диагональных по отношению к откосу поверхностей ослабления характер формирования призмы обрушения находится в зависимости от формы борта в плане (таблица).

Схемы расчета и управление устойчивостью бортов разрезов в нетиповых условиях проявления их деформаций

Характер деформирования борта	Характеристика откоса и залегания слоев	Расчетная схема	Способ управления устойчивостью
Поворот и отрыв консоли по боковой грани	Участки борта с диагональной слоистостью: а) прямолинейные; б) криволинейные		1. Снижение высоты откоса 2. Изменение фронта ведения горных работ 3. Подпор внутренними отвалами нависающей части консоли
Сдвиг в массиве с отрывом по боковым граням	Откос при условиях: а) изменчивая форма залежи; б) наличие внутренних отвалов; в) торцевые участки; г) ослабленные зоны		1. Снижение высоты уступов 2. Регулирование длины отработки участков по простиранию

В случае прямолинейных откосов в массиве формируется подрезанная консоль со значительным распространением деформаций по контакту в глубь массива (рис. П.7.1, *а*). Нарушение устойчивости подобной призмы обрушения сопровождается медленным разворотом в плане нависающей консоли при углах откосов на 4–13° положе максимально допустимых до их обрушения с последующим отрывом пород по боковой грани от основного массива и окончательным смещением призмы обрушения в направлении максимальной крутизны поверхности ослабления, не совпадающим с линией падения откоса (угол ω = 90°).

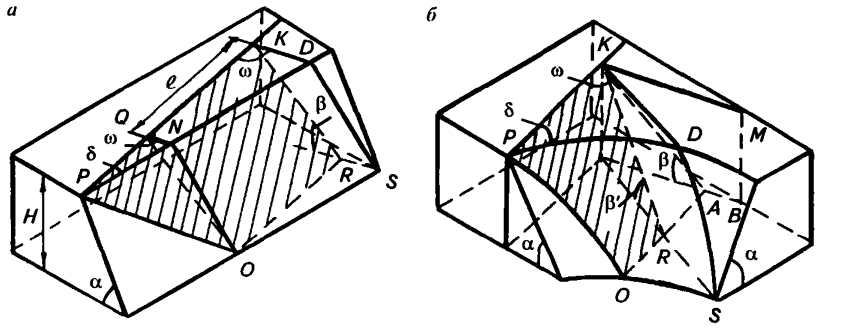


Рис. П.7.1. Схемы деформирования откосов

Расчеты устойчивости подобных откосов ведутся с учетом объемного распределения действующих сил, которое весьма существенно зависит от угла встречи δ контакта с откосом. При выдержанном залегании поверхности ослабления коэффициент запаса устойчивости подрезанной консоли для осушенного борта может быть вычислен по формуле [38]:

$$n = \frac{\operatorname{tg}\varphi'}{\operatorname{tg}\beta} + \frac{\dfrac{\ell^3 \sin\delta \operatorname{tg}\varphi}{3a \operatorname{ctg}\alpha} + \dfrac{H}{\gamma}\left(2\ell + bH\right)\left(\dfrac{C' \operatorname{ctg}\delta}{\sin\beta} + C\right) + \dfrac{C\ell^2}{a\gamma}\left[1 + \operatorname{tg}\alpha \sin\delta (1 - a)\right]}{\sin\beta\left(\dfrac{1}{3}b^2H^3 + bH^2\ell + H\ell^2 - \dfrac{1}{3}\ell^3 \operatorname{tg}\alpha \sin\delta\right)}, \quad (1)$$

где $a = \cos\beta - \sin\beta \operatorname{tg}\varphi$, $b = \operatorname{ctg}\beta \operatorname{ctg}\delta - \dfrac{\operatorname{ctg}\alpha}{\sin\delta}$.

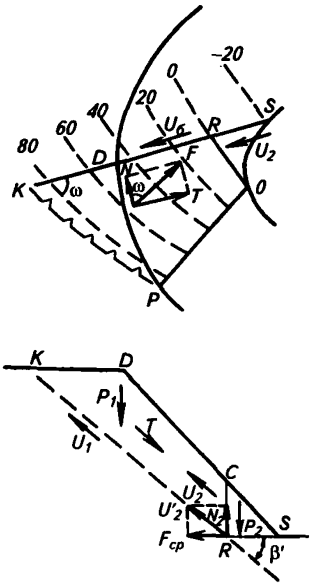
При проведении расчетов устойчивости откосов в формулу (1) подставляются различные величины ℓ длины призмы обрушения понизу и за окончательное значение коэффициента запаса принимается его минимальная величина.

В случае более сложной формы поверхности ослабления или контура борта расчеты ведутся по ряду профилей в призме возможного обрушения, перпендикулярных плоскости ослабления, с последующим определением по ним известным способом сдвигающих T_i и удерживающих U_i сил.

Коэффициент запаса устойчивости нависающей консоли в этом случае определяется по формуле:

$$n = \frac{\sum 1/2\left(U_i + U_{i+1}\right)a_i + F}{\sum 1/2\left(T_i + T_{i+1}\right)a_i}, \qquad (2)$$

где a_i – расстояние между двумя соседними профилями; F – удерживающие силы по боковой поверхности, определяются по формуле (6).



2. При криволинейной в плане форме борта, несовпадении простирания верхних и нижних уступов, а также при отработке запасов на ограниченных по простиранию участках происходит «принудительный» сдвиг подрезанной диагональной слоистостью консоли с отрывом ее от массива в плоскости под углом к поверхности ослабления $\omega < 90°$ (рис. П.7.1, *б*). Призма обрушения в этом случае смещается по контакту под более пологим углом наклона к горизонту:

$$\beta' = \operatorname{arctg}(\sin\omega \operatorname{tg}\beta). \qquad (3)$$

Рис. П.7.2. Схемы к расчету устойчивости криволинейных в плане откосов

В расчетах устойчивости подобных откосов учитывается «прижимающее» воздействие активной составляющей сил веса пород на боковую поверхность (рис. П.7.2). Коэффициент запаса устойчивости борта в данном случае определяется по формуле:

$$n = \frac{dP_1 + t(P_2 \operatorname{tg}\varphi + CS_2) + CS_3 + CS_1}{P_1 \sin\beta \sin\omega}, \qquad (4)$$

где P_1, P_2 – вес породы соответственно в призме давления *KROP* и упора *ORS*; S_1, S_2, S_3 – площади соответственно наклонной поверхности *PKRO*, основания *ORS* призмы упора и боковой поверхности *KDSR*;

$$d = \cos\beta \operatorname{tg}\varphi' + \sin\beta \cos\omega \operatorname{tg}\varphi;$$
$$t = (\cos\beta')^{-1} + \operatorname{tg}\beta' \operatorname{tg}\varphi'.$$

3. В реальных условиях открытых разработок зачастую приходится сталкиваться с расчетами устойчивости откосов, имеющих ограничения по простиранию вследствие влияния различных горно-геологических факторов (см. таблицу). При этом, наряду с приведенной в разд. 5 методикой учета размера и формы откосов в плане, на практике возникает необходимость решения более упрощенных инженерных задач.

В общем виде коэффициент запаса устойчивости «зажатого» участка осушенного борта в плане определяется по формуле:

$$n = \frac{\sum 1/2(U_i + U_{i+1})a_i + F_1 + F_n}{\sum 1/2(T_i + T_{i+1})a_i}, \qquad (5)$$

где U_i, T_i – удерживающие и сдвигающие силы по отдельным профилям, определяемые обычным способом; a_i – расстояние между двумя соседними профилями.

Удерживающие призму обрушения в равновесии силы по боковым граням F_1 и F_n (сопротивление пород срезу – силы трения и сцепления) находят одновременно с расчетами устойчивости откосов по крайним профилям. Для этого по ним при ведении алгебраического сложения действующих по поверхности скольжения сил дополнительно находят значения сумм $\sum h_i \ell_i \cos\alpha_i$ и $\sum h_i^2 \ell_i \cos\alpha_i$ (рис. П.7.3).

Удерживающие силы со стороны одной боковой грани определяются по формуле:

$$F = C\,\mathrm{tg}^2\varepsilon \sum h_i \ell_i \cos\alpha_i + \frac{1}{2}\gamma\,\mathrm{tg}\varphi\,\mathrm{tg}^2\varepsilon \sum h_i^2 \ell_i \cos\alpha_i, \qquad (6)$$

где $\varepsilon = 45° - \frac{\varphi}{2}$.

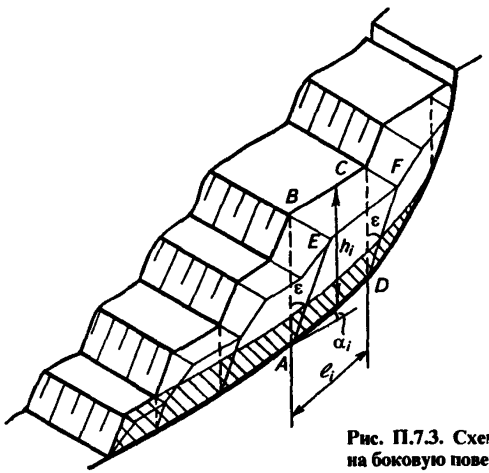


Рис. П.7.3. Схема к нахождению действующих на боковую поверхность сил

СХЕМЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

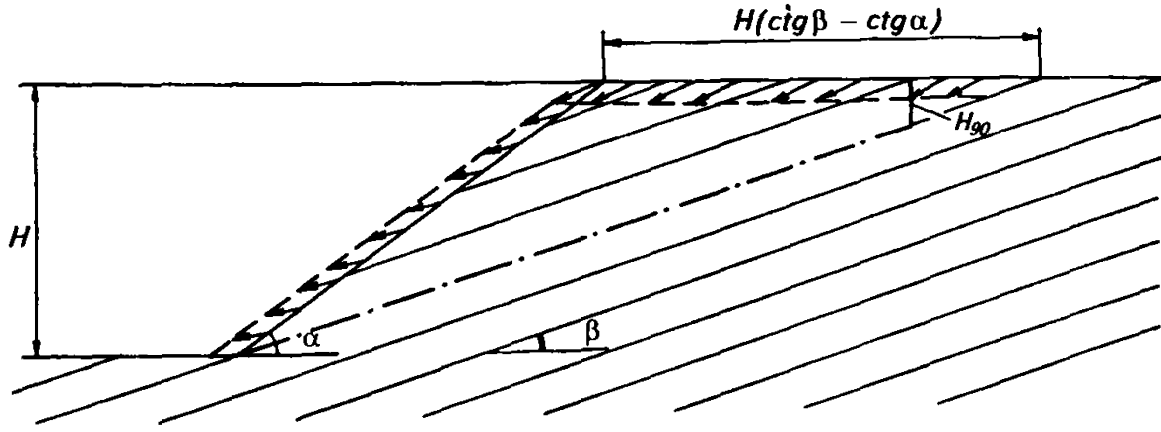


Рис. П.8.1. Схема деформирования прибортового слоистого массива при наклонном согласном с наклоном борта залегании слоев при $\alpha > \beta > \varphi'$, а также деформирование прибортового массива, ослабленного пологозалегающим тектоническим нарушением, подсеченным горными работами (поверхность скольжения при этом полностью совпадает со слабым контактом или тектоническим нарушением)

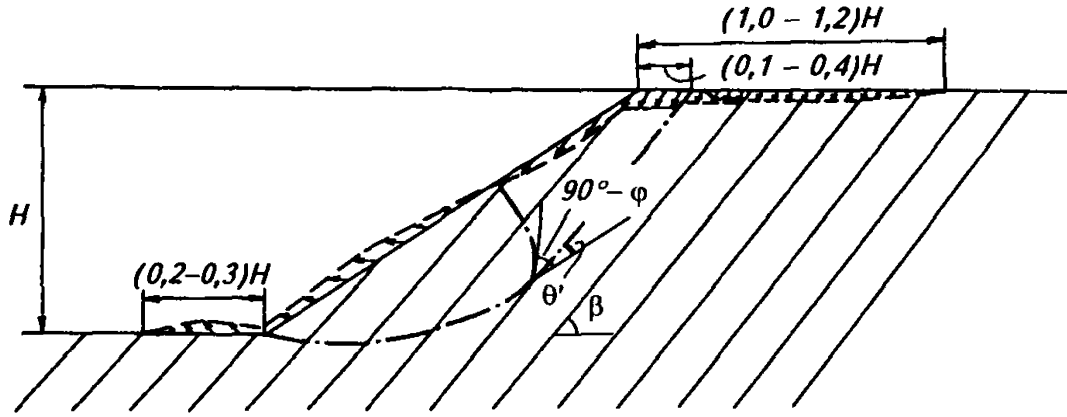


Рис. П.8.2. Схема деформирования прибортового массива, сложенного слоистой толщей пород, при наклонном согласном с наклоном борта падении слоев ($30 \le \beta \le 60°$) и при простирании пластов, совпадающем с простиранием борта

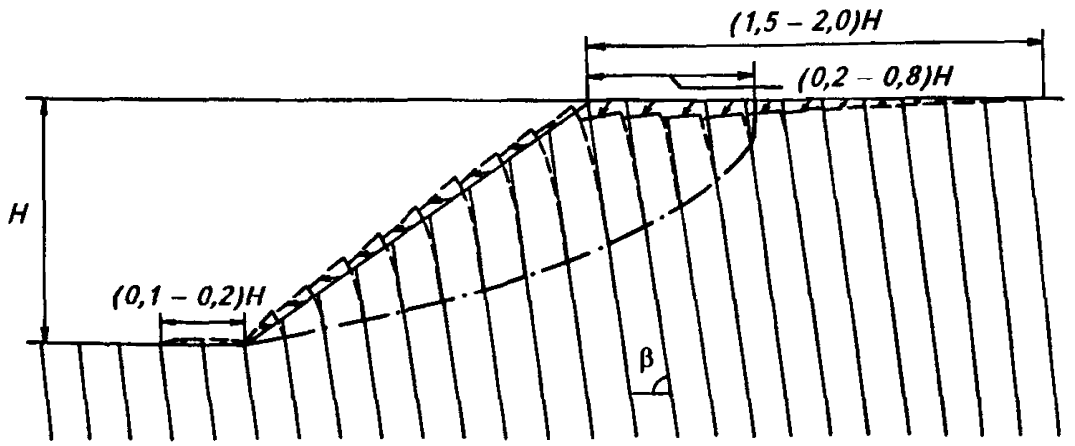


Рис. П.8.3. Схема деформирования прибортового массива, сложенного слоистой толщей пород, при крутом согласном с наклоном борта падении слоев ($60 \le \beta \le 90°$) и при несогласном с наклоном борта падении слоев ($50 \le \beta \le 90°$); простирание слоев совпадает с простиранием борта

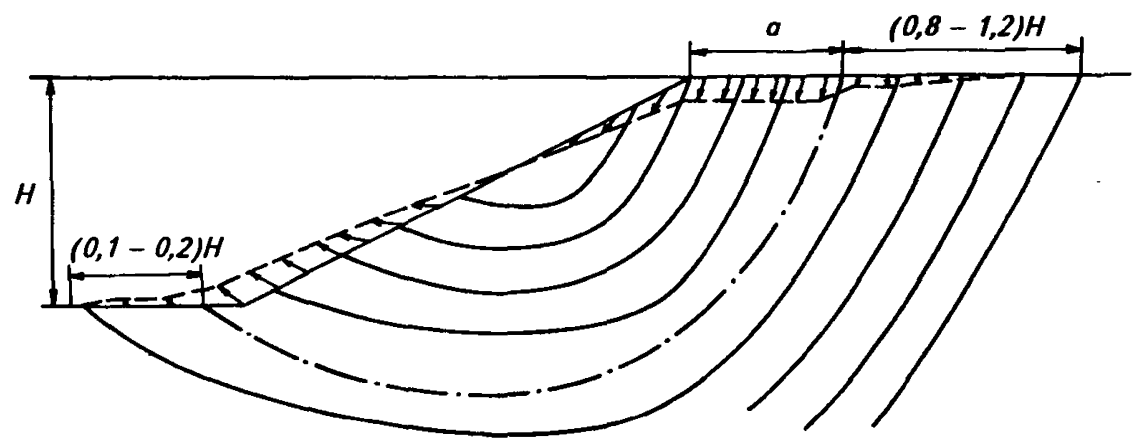


Рис. П.8.4. Схема деформирования прибортового слоистого массива при мульдообразном залегании слоев и простирании оси мульды, совпадающем с простиранием борта. Ширина призмы обрушения *a* зависит от параметров борта, условий залегания подрезаемого горными работами крыла мульды, расположения относительно горных работ оси мульды, положения слабого контакта

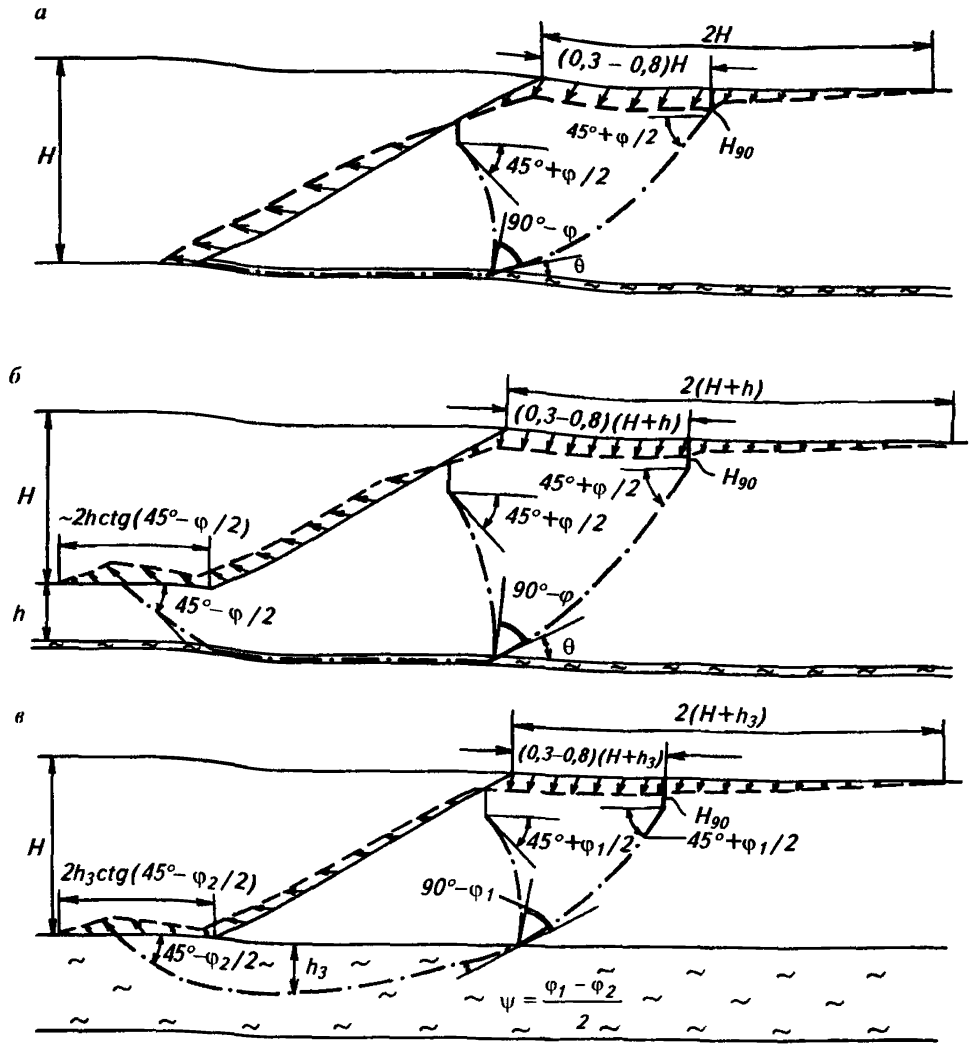


Рис. П.8.5. Схема деформирования прибортового массива горных пород, ослабленного в основании борта горизонтальным или пологозалегающим контактом (пластичным пропластком или слоем):

а – подрезанным горными работами; *б* – заглубленным ниже подошвы борта; *в* – при залегании в основании борта мощного слабого слоя

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ ПО НАБЛЮДАЕМЫМ СМЕЩЕНИЯМ ОДНОРОДНЫХ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ

Приближенную оценку устойчивости бортов разрезов по наблюдаемым смещениям прибортовых массивов осуществляют в такой последовательности:

1. Испытаниями пород в срезном приборе определяют предельную (критическую) величину относительного смещения, соответствующую разрушению:

$$\xi_{пр} = \Delta\ell/\ell,$$

где $\Delta\ell$ – величина смещения по поверхности среза образца породы при разрушении; ℓ – размеры (протяженность) поверхности среза в образце в направлении смещения.

2. Определяют размеры потенциальной поверхности разрушения борта, которые в первом приближении могут быть приняты равными длине наклонной поверхности борта – L:

$$L = H/\sin\alpha,$$

где H – высота борта, м; α – угол наклона борта, (...°).

3. Определяют общее предельное смещение потенциальной призмы обрушения до момента разрушения прибортового массива – $\Delta L_{пр}$, соответствующего моменту достижения предельной величины относительного смещения по наиболее напряженной поверхности скольжения:

$$\Delta L_{пр} = L\xi_{пр}.$$

4. Располагая данными о величине накопленного смещения на основе результатов наблюдений за деформациями прибортовых массивов $\Delta L_{наб}$ и величиной предельного смещения потенциальной призмы обрушения $\Delta L_{пр}$, по соотношению $\Delta L_{наб}/\Delta L_{пр} = \xi_{наб}/\xi_{пр}$ или по величине дополнительного смещения призмы обрушения до полного разрушения борта – $\Delta L_{доп} = \Delta L_{пр} - \Delta L_{наб} = L(\xi_{пр} - \xi_{наб})$ производят оценку состояния устойчивости бортов и степени опасности наблюдаемых смещений.

При установленной наблюдениями скорости смещения призмы обрушения – ϑ время до разрушения прибортового массива – T определяют из выражения:

$$T = \frac{L(\xi_{пр} - \xi_{наб})}{\vartheta}.$$

Рассмотрим пример деформирования борта, сложенного однородными породами, с параметрами: высота борта H = 120 м, угол наклона борта α = 35°.

Испытаниями образцов пород в срезном приборе предварительно установлена предельная величина относительного смещения по поверхности разрушения:

$$\xi_{пр} = \Delta\ell/\ell = 8\cdot10^{-3}.$$

Протяженность поверхности скольжения в прибортовом массиве приближенно может быть принята:

$$L = H/\sin\alpha = 120/\sin 35° = 209 \text{ (м)}.$$

Далее вычисляем предельное смещение потенциальной призмы обрушения, соответствующее разрушению прибортового массива:

$$\Delta L_{пр} = L\xi_{пр} = 209\cdot8\cdot10^{-3} = 1{,}67 \text{ (м)}.$$

Пусть на некоторый момент времени наблюдениями зафиксировано смещение призмы обрушения вдоль потенциальной поверхности скольжения $\Delta L_{наб}$ = 25 см; относительное смещение при этом в рассматриваемых условиях составит величину:

$$\xi_{наб} = \frac{\Delta L_{наб}}{L} = \frac{0{,}25}{209} = 1{,}2\cdot10^{-3}.$$

Отношение наблюдаемой величины смещения призмы обрушения к предельной величине составляет при этом:

$$\frac{\Delta L_{наб}}{\Delta L_{пр}} = \frac{\xi_{наб}}{\xi_{пр}} = 0{,}15,$$

а величина дополнительного смещения призмы обрушения до момента разрушения борта составит:

$$\Delta L_{доп} = L(\xi_{пр} - \xi_{наб}) = 209(8\cdot10^{-3} - 1{,}2\cdot10^{-3}) = 1{,}42 \text{ (м)}.$$

При установленной, например, наблюдениями постоянной скорости смещения призмы обрушения ϑ = 12 мм /сут время до разрушения борта составит:

$$T = \frac{\Delta L_{доп}}{\vartheta} = \frac{1{,}42}{0{,}012} = 118{,}3 \text{ сут (3,9 месяца)}.$$

ПРИМЕРЫ ПРОГНОЗА СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИБОРТОВОЙ ЗОНЫ РАЗРЕЗА

Пример 1

Расчет смещений земной поверхности однородного (квазиизотропного) массива разреза, сложенного песчано-глинистыми породами (алевролитами). Параметры рассчитываемого борта: высота H = 100 м, угол наклона α = 35°; коэффициент запаса устойчивости n = 1,25.

Порядок расчета смещений поверхности прибортового массива следующий.

1. В выбранном масштабе изображают на чертеже борт разреза и строят сетку изолиний смещения (рис. П.10.1), подобную установленной исследованиями деформаций однородных прибортовых массивов (см. рис. 7.3).

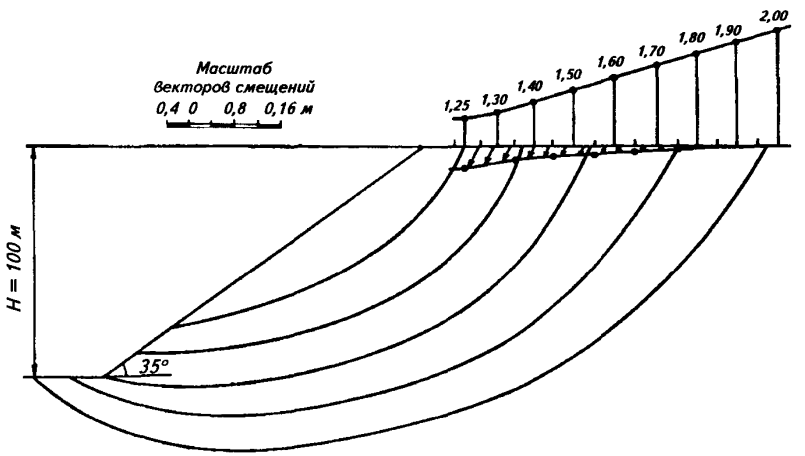


Рис. П.10.1. Пример расчета смещений поверхности борта разреза в однородном (квазиизотропном) массиве

2. Производят вычисление коэффициента запаса устойчивости по изолиниям смещения; на этом же чертеже строят график зависимости коэффициента запаса устойчивости от положения изолиний смещения в прибортовом массиве (см. рис. П.10.1).

3. Земную поверхность прибортовой зоны борта разбивают на интервалы такой протяженности, чтобы в их пределах коэффициент запаса устойчивости изменялся не более чем на 0,1.

4. По результатам предварительно проведенных испытаний на сдвиг (скашивание) образцов алевролитов строят паспорт прочности (рис. П.10.2) и паспорт деформаций (рис. П.10.3, график *1*).

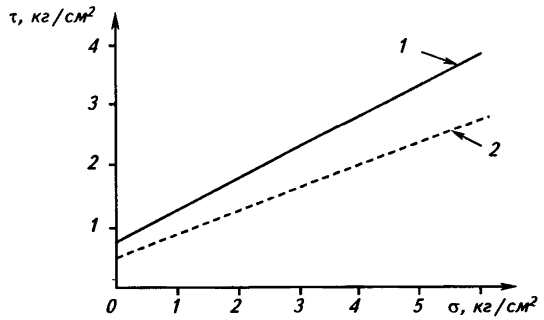


Рис. П.10.2. Паспорт прочности алевролита подугольного (Кимовский угольный разрез):

1 – $\varphi_{ст} = 27°$; $C_{ст} = 0{,}8$ кг/см²; $\gamma = 2{,}28$ т/м³; *2* – $\varphi_{дл} = 21°$; $C_{дл} = 0{,}55$ кг/см²

5. Результаты расчетов смещений земной поверхности прибортовой зоны для рассматриваемых условий сведены в табл. 1.

6. По результатам расчетов (см. табл. 1) на профиле борта разреза строят график смещений прибортовой зоны земной поверхности (см. рис. П.10.1).

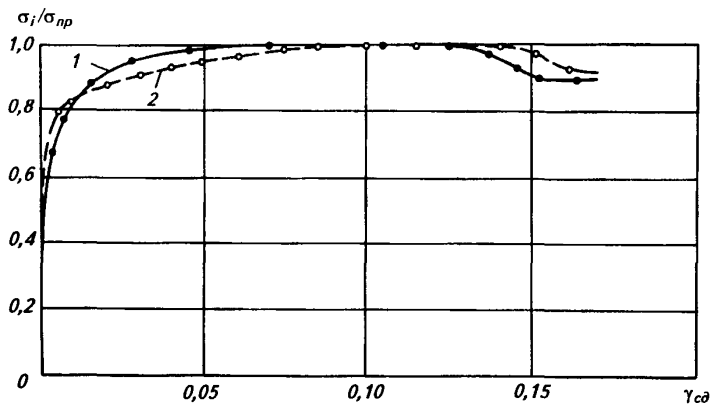


Рис. П.10.3. Паспорта деформаций опесчаненной глины (*2*) и алевролита (*1*)

Таблица 1

Расчет смещений прибортовой зоны земной поверхности борта разреза, сложенного алевролитами (параметры борта: H = 100 м; α = 35°; n = 1,25)

Номер	Величина относительного сдвига $\gamma_{сд_i}$ (по результатам лабораторных испытаний алевролитов), соответствующего различным уровням напряженности		Ширина интервала прибортовой зоны дневной поверхности, тяготеющей к изолинии смещения с коэффициентом запаса $n_i = \frac{\sum F_{уд}}{\sum F_{сдв}} = n_i'$; ℓ_i, м	Накопление смещения на интервале, тяготеющем к изолинии смещения с коэффициентом запаса $n_i = n_i'$; $\Delta\ell_i$, м	Суммарная величина смещения концов интервалов дневной поверхности в направлении изолиний смещения с коэффициентом запаса n_i; h_i, м
	$n_i' = \frac{\sigma_{пр}}{\sigma_i}$	$\gamma_{сд\ i}$			
1	2,00	0,0005	17,0	0,008	0,008
2	1,90	0,0010	17,0	0,017	0,025
3	1,80	0,0016	17,0	0,027	0,052
4	1,70	0,0020	17,5	0,035	0,087
5	1,60	0,0025	17,6	0,044	0,131
6	1,50	0,0030	17,8	0,53	0,184
7	1,40	0,0035	18,0	0,063	0,247
8	1,30	0,0050	18,2	0,091	0,338
9	1,25	0,0080	5,0	0,040	0,378

Пример 2

Расчет смещений земной поверхности прибортового массива разреза, ослабленного в основании горизонтальным или пологозалегающим контактом.

Принятые к расчету характеристики сопротивления сдвигу массива пород: $\varphi_{ст}$ = 27°, $C_{ст}$ = 0,8 кг/см², γ = 2,28 т/м³; характеристики ослабленного контакта – угол наклона контакта β = 1°, угол трения по контакту φ' = 8°, сцепление C' = 0,25 кг/см².

При наличии в основании борта ослабленного контакта в прибортовом массиве образуется оползень-надвиг.

Порядок расчета смещений поверхности прибортового массива при развитии оползня-надвига аналогичен описанному в примере 1. Результаты расчета сведены в табл. 2 и приведены на рис. П.10.4.

Таблица 2

Расчет смещений прибортовой зоны борта разреза, сложенного алевролитами и ослабленного в основании слабым контактом (параметры борта: $H = 48{,}1$ м; $\alpha = 25°$; $n = 1{,}25$)

Номер	Величина относительного сдвига $\gamma_{сд\,i}$ (по результатам лабораторных испытаний алевролитов), соответствующего различным уровням напряженности		Ширина интервала прибортовой зоны дневной поверхности, тяготеющей к изолинии смещения с коэффициентом запаса $n_i = \frac{\sum F_{уд}}{\sum F_{сдв}} = n_i'$; ℓ_i, м	Накопление смещения на интервале, тяготеющем к изолинии смещения с коэффициентом запаса $n_i = n_i'$; $\Delta\ell_i$, м	Суммарная величина смещения концов интервалов дневной поверхности в направлении изолиний смещения с коэффициентом запаса n_i; h_i, м
	$n_i' = \frac{\sigma_{пр}}{\sigma_i}$	$\gamma_{сд\,i}$			
1	2,00	0,0005	3,3	0,0016	0,0016
2	1,90	0,0010	3,5	0,0035	0,0051
3	1,80	0,0016	4,3	0,0069	0,0120
4	1,70	0,0020	4,5	0,0090	0,0210
5	1,60	0,0025	5,5	0,0138	0,0348
6	1,50	0,0030	6,0	0,0180	0,0528
7	1,40	0,0035	6,5	0,0228	0,0756
8	1,30	0,0050	15,0	0,0750	0,1506
9	1,25	0,0080	4,0	0,0320	0,1826

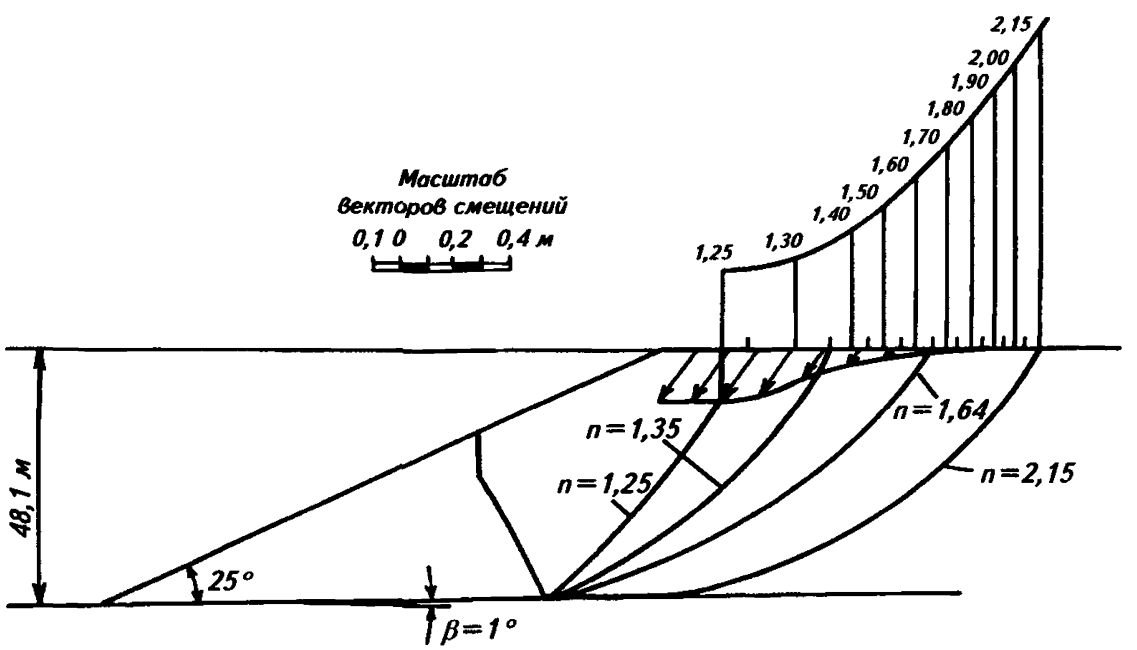


Рис. П.10.4. Расчет смещений поверхности борта карьера при развитии оползня-надвига

СХЕМА ПРОХОДКИ РАЗРЕЗНОЙ ТРАНШЕИ СПАРЕННЫМИ ДРАГЛАЙНАМИ

1. Работы ведутся спаренными драглайнами (рис. П.11.1). Одним из них (№ 1) проходят передовую траншею *3* с укладкой породы в отвал *4* на нерабочий борт *5*, а другим (№ 2) – разрезную траншею *6* с укладкой породной смеси в выемку, созданную первым экскаватором, под углом естественного откоса. Расстояние *A* между экскаваторами должно быть минимальным по условиям безопасности. Ширину передовой траншеи по низу определяют расчетом по потенциальной поверхности сдвига *7*. Она зависит от величины требуемого дополнительного сопротивления сдвигу, создаваемого упорной призмой *8* [33].

Основание передовой траншеи *3* углубляют в коренные породы, а в упорную призму укладывают крепкие разновидности вскрышных пород. Длину непригруженной части траншеи *a* определяют расчетом.

2. Проходят широкую разрезную траншею для ввода в действие роторных комплексов [34] (рис. П.11.2). Экскаватор-драглайн *1* перемещают вдоль нерабочего борта *2* отрезной траншеи *3* и ведут ее проходку, укладывая породу в отвал *4* за пределами призмы возможного оползания в нерабочем борту *5*. Дно траншеи углубляют в коренные породы ниже почвы угольного пласта с тем, чтобы пересечь все слабые прослойки в надугольной и подугольной толще. При необходимости предотвратить попадание воды в выработанное пространство, в траншее *3* сооружают прибортовой дренаж *6*.

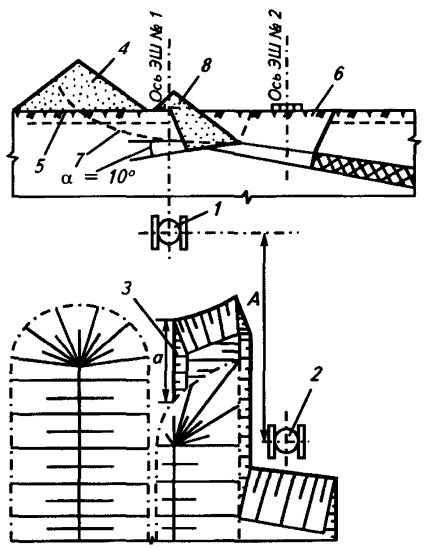


Рис. П.11.1. Схема проходки разрезной траншеи спаренными драглайнами (*1*, *2*)

Разрезную траншею проводят за два прохода одного из двух используемых драглайнов. С некоторым отставанием от экскаватора *1*, параллельно ему перемещают экскаватор *7*, которым ведут разработку в дальней заходке *8* и укладывают породу в отрезную траншею 3. Ширину этой заходки определяют по условию максимального заполнения траншеи *3*.

Максимальное удаление рабочего борта *9* разрезной траншеи от гребня навала породы в траншее *3* равно сумме максимальных радиусов черпания и разгрузки экскаватора *7*. Для уплотнения породы ковш экскаватора *7* разгружают на высоте 10–20 м. В основание траншеи *3* укладывают более крепкие разновидности пород.

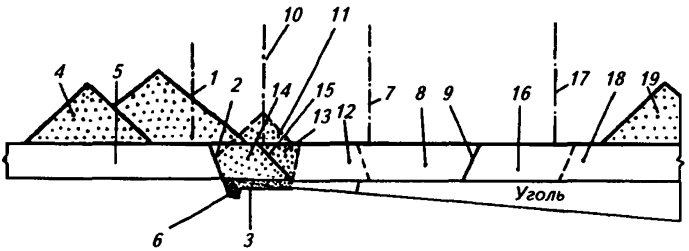


Рис. П.11.2. Проходка широкой разрезной траншеи для ввода в действие роторных комплексов

С некоторым отставанием от экскаватора *7* перемещают по навалу породы в траншее *3* экскаватор *10*, предварительно сработав этим же экскаватором гребень *11*. Экскаватором *10* ведут проходку ближней заходки *12*, переэкскавацию избыточного объема породы *13* из траншеи *3* и заоткоску контрфорса *14* под углом 30–40° (в зависимости от плотности и состава отвальной смеси). Откос *15* является нерабочим бортом разрезной траншеи. Ширина ее по кровле угольного пласта, при применении предлагаемого способа, может составить 120–150 м. Если этого недостаточно для размещения оборудования поточной технологии, то проходят резервную заходку *16* экскаватором *17*, а породу укладывают на рабочий борт *18* во временный отвал *19*.

Устойчивость борта, нагруженного отвалом, проверяют по формуле:

$$n = \frac{\sum T_{уд} + Nf}{\sum T_{сд}} \geq 1,$$

где $\sum T_{уд}$, $\sum T_{сд}$ – суммы удерживающих и сдвигающих сил, действующих на криволинейной потенциальной поверхности скольжения в массиве борта; Nf – сила трения в основании контрфорса (N – нормальное давление; f – коэффициент трения).

Приложение 12

СХЕМЫ ВСКРЫТИЯ И РАЗРАБОТКИ МУЛЬД, БЛАГОПРИЯТНЫЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОЧИХ БОРТОВ

Схема разработки	Расположение вскрывающих выработок	Форма, размеры и условия залегания мульды	Особенности разработки	Технологические способы управления устойчивостью борта
Кольцевая	Периферийное, центральное или комбинированное	Небольшие, по форме близкие к круглым в плане	Единый сокращающийся (или расширяющийся) фронт работ	Опережающий разгон уступов или использование управляемого оползнеобразования
Полукольцевая	То же	Вытянутые в плане с симметричным падением слоев на крыльях	Два независимых, постоянных по длине фронта работ	То же
Секторная	Периферийное	Крупные, с изменяющимся углом падения слоев на крыльях	Несколько независимых сокращающихся фронтов работ	Опережающий разгон уступов
Веерная двусторонняя	Периферийное или радиальное	Грушевидные в плане, при наличии естественного понижения рельефа в горловине	Два независимых участка, либо один с переменной длиной фронта работ	Учет угла наклона почвы пласта при выборе направления подвигания фронта работ и частичное использование управляемого оползнеобразования
Смешанная	Периферийное	С незакономерным изменением угла падения слоев	Последовательная разработка с переменным по длине и направлению фронтом работ	Изменение системы разработки и направления развития работ

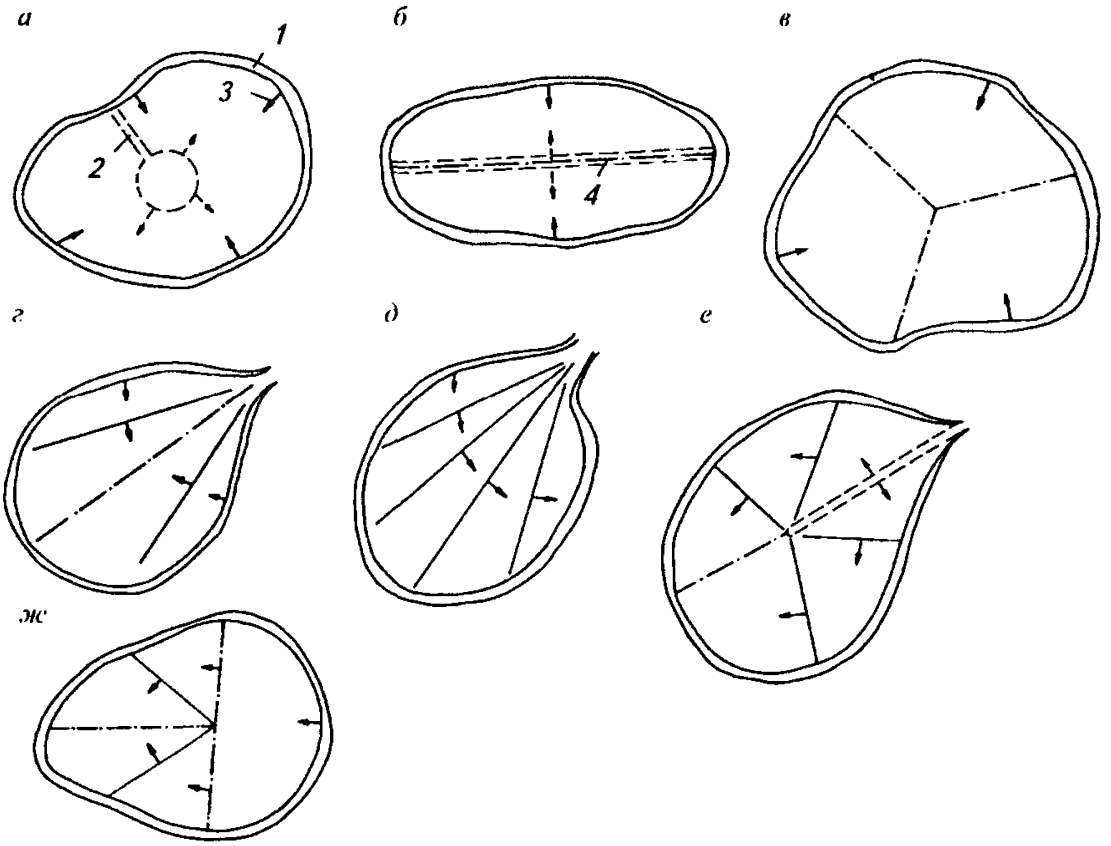


Рис. П.12.1. Схемы вскрытия и разработки мульдообразных пластов:

а – кольцевая; *б* – полукольцевая; *в* – секторная; *г* – веерная двусторонняя; *д* – веерная односторонняя; *е*, *ж* – смешанные; *1* – выход пласта под наносы; *2* – внутренняя траншея; *3* – направление развития горных работ; *4* – центральная траншея

СХЕМЫ ЗАОТКОСКИ УСТУПОВ

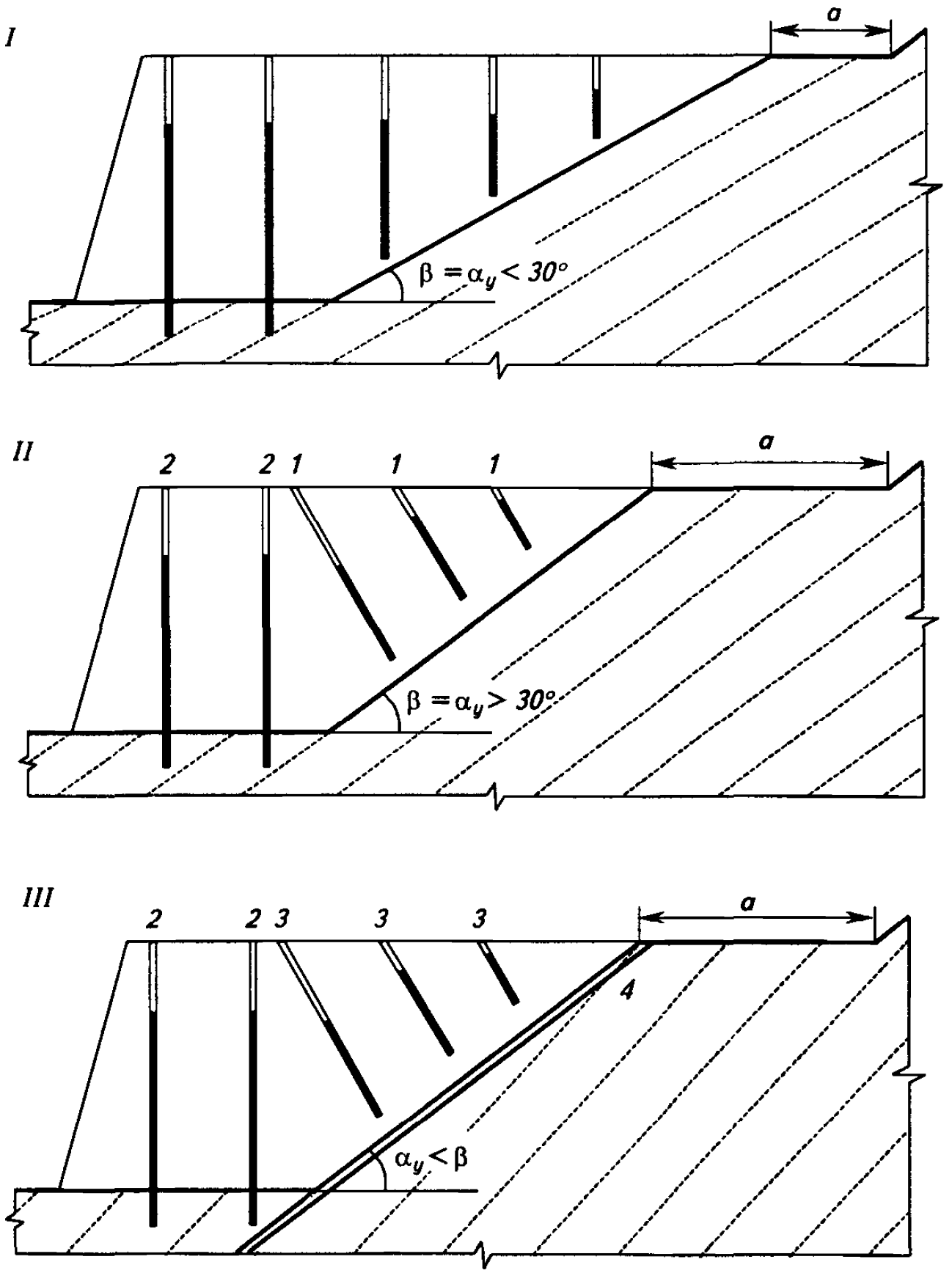


Рис. П.13.1. Схемы заоткоски уступов в лежачем боку:

I – вертикальными разноглубокими скважинами; *II* – наклонными скважинами (*1*); *III* – щелью (*4*) и наклонными скважинами (*3*); *2* – скважины рыхления; *a* – ширина предохранительной бермы

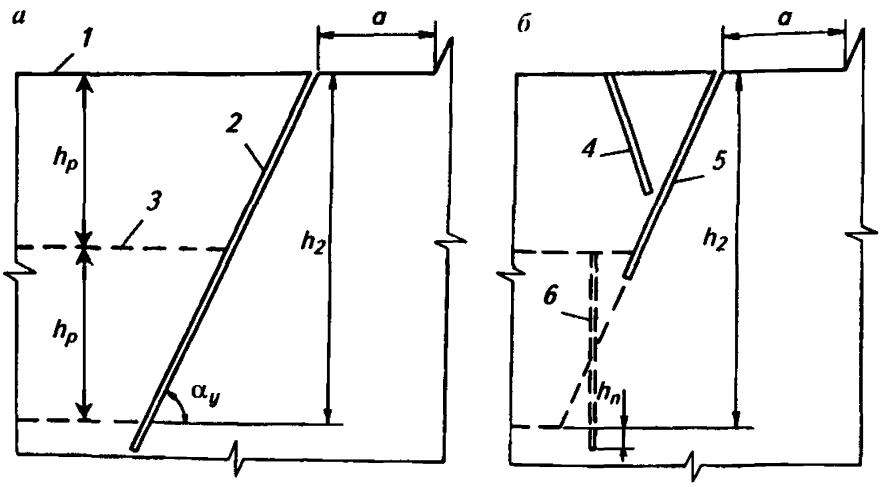


Рис. П.13.2. Схемы оконтуривания сдвоенного уступа в висячем боку сплошной (*а*) и комбинированной (*б*) щелями:

1 – бермовый горизонт; *2* – наклонная щель; *3* – надбермовый горизонт; *4* – буферные скважины; *5*, *6* – полущели, соответственно наклонная и вертикальная; α_y – угол откоса сдвоенного уступа высотой h_2; $h_п$ – глубина перебура; $h_р$ – высота рабочего уступа

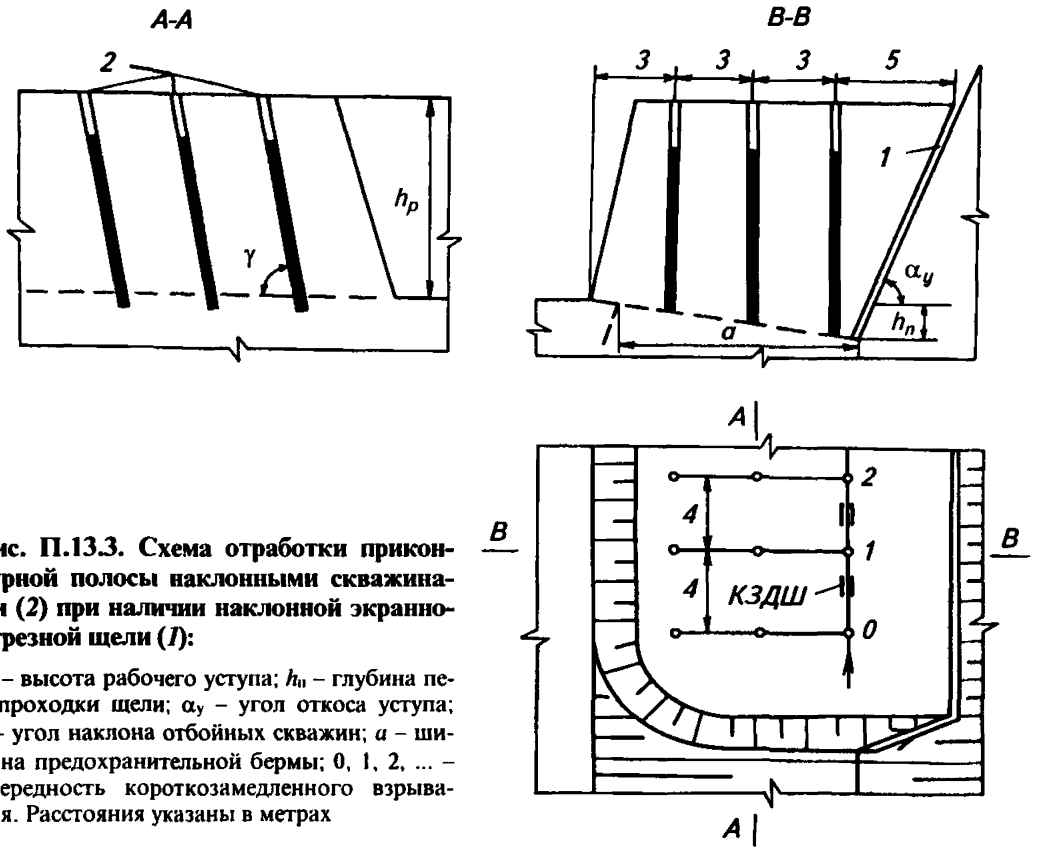


Рис. П.13.3. Схема отработки приконтурной полосы наклонными скважинами (*2*) при наличии наклонной экранно-отрезной щели (*1*):

$h_р$ – высота рабочего уступа; $h_п$ – глубина перепроходки щели; α_y – угол откоса уступа; γ – угол наклона отбойных скважин; *a* – ширина предохранительной бермы; 0, 1, 2, ... – очередность короткозамедленного взрывания. Расстояния указаны в метрах

СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ

Группы способов	Условия применения
I. Механическое укрепление с помощью:	
– железобетонных свай и шпон;	Массивы со слаборазвитой трещиноватостью, подсеченные поверхностями ослабления, падающими в выработанное пространство под углами 20–50°
– штанг и гибких тросовых тяжей;	Крупноблоковые маловыветрелые массивы, сланцеватые слоистые твердые породы с падением в сторону выемки под углами 40–60°
– защитных стенок;	Сильнотрещиноватые, легко выветривающиеся скальные и полускальные породы
– железобетонных подпорных стенок и контрфорсов	Нарушенные массивы сложной структуры с переслаиванием пород, рыхлые увлажненные породы, склонные к оползанию
II. Упрочнение пород с применением:	
– цементации, нагнетания укрепляющих растворов из полимерных материалов, смолизации;	Трещиноватые скальные породы с трещинами, свободными от глинистых материалов, крупнозернистые и мелкозернистые пески
– силикатизации и электросиликатизации;	Песчаные и лессовые породы при коэффициенте фильтрации 0,1–5 м/сут
– электрохимической обработки (электроосмос);	Глинистые водонасыщенные породы при коэффициенте фильтрации менее 0,01 м/сут
– термической обработки;	Лессовидные, суглинистые и глинистые породы с коэффициентом воздухопроницаемости 0,2–0,4 см/с
– уплотнения энергией взрыва	Глинистые, лессовидные, супесчанистые породы с коэффициентом пористости более 0,1
III. Изолирующие и защитные покрытия, применяемые для укрепления:	
– набрызгбетон по металлической сетке; – смолизация. Агромелиоративные мероприятия	Сильнотрещиноватые породы, склонные к интенсивному выветриванию или выщелачиванию; песчаные или гравелистые откосы
IV. Комбинированное укрепление пород – сочетание механического укрепления с упрочнением или изоляцией пород	Сложные инженерно-геологические условия

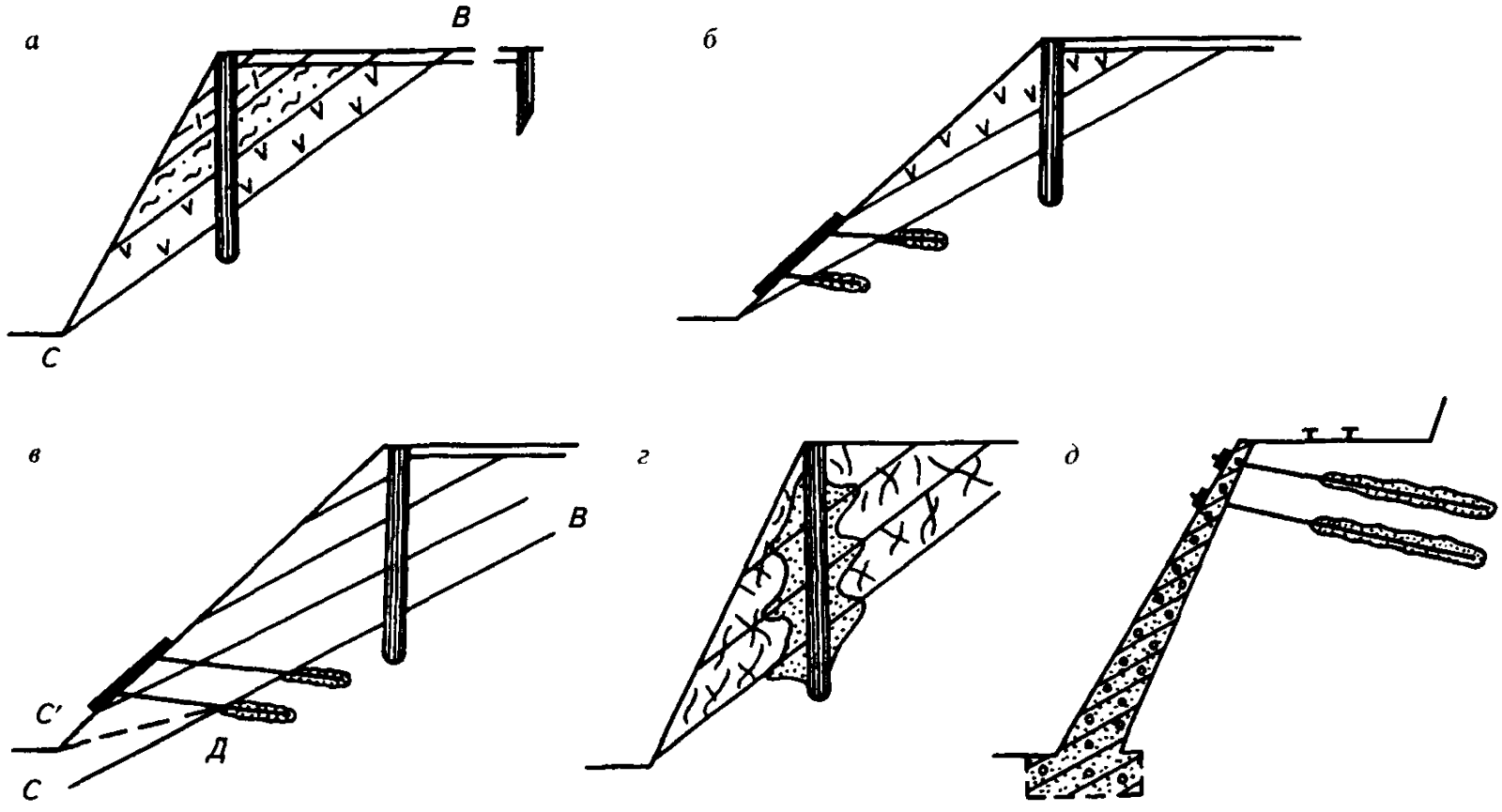


Рис. П.14.1. Схемы укрепления откосов механическими способами:

а, б, в – комбинация свай и анкеров; *г* – сваи с цементацией пород; *д* – заанкеренная защитная стенка

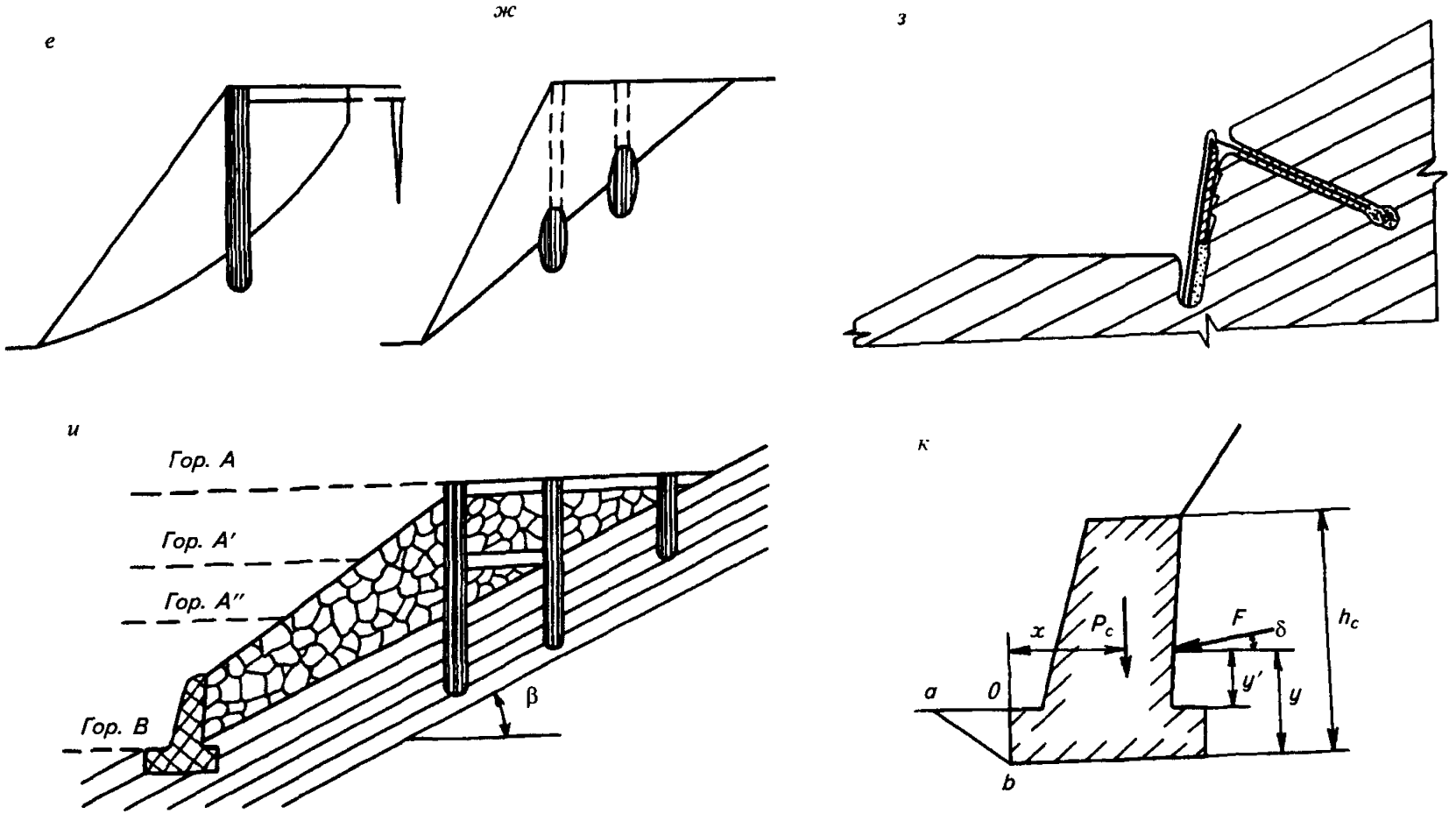


Рис. П.14.1. Схемы укрепления откосов механическими способами:

е – заанкеренные сваи; *ж* – железобетонные шпоны; *з* – заанкеренные сваи с затяжкой; *и* – искусственная берма; *к* – железобетонная стенка; *ВС*, *ВДС'* – предполагаемые поверхности сдвига (остальные буквенные обозначения см. в п. 8.2)

Приложение 15

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДРЕНИРУЕМОСТИ

Группа	Породы	Общая характеристика	Основные представители горных пород группы	Основные показатели дренируемости и устойчивости в обводненных откосах
I	Скальные и полускальные	Прочные и средней прочности трещиноватые горные породы	Невыветрелые и выветрелые, изверженные и метаморфические породы, песчаники, известняки и сланцы	Наибольшая обводненность – в зонах тектонических нарушений и коры выветривания; хорошо дренируются скважинами, если они попадают в зону наибольшего развития трещин; не размокают и не набухают
II	Твердые глинистые	Плотные трещиноватые глинистые горные породы	Полностью дезинтегрированные изверженные и метаморфические породы коры выветривания, алевролиты, аргиллиты, плотные трещиноватые глины, глинистые каолинизированные песчаники	Трещиноватость и водоотдача слабая; дренируются слабо; набухают и размокают на фильтрующих участках уступов, а также при скоплении воды на площадках уступов
III	Слабые глинистые	Мягкие, глинистые нетрещиноватые, хорошо сжимаемые горные породы	Жирные или слабопесчаные пластичные глины, слабые аргиллиты	Водоупорны; в контакте с водоносными слоями набухают
IV	Слабые песчано-глинистые	Слабые породы песчано-глинистого состава; слабосжимаемые; при водонасыщении приобретают текучее состояние	Все разности слабых песчано-глинистых пород: песчаные глины, суглинки, супеси, глинистые пески, слабые алевролиты	Коэффициент фильтрации от 0,5 до 0,01 м/сут. Существенно дренируются лишь открытыми горными и дренажными выработками, а также при снижении уровней в подстилающих слоях фильтрующих несвязных или трещиноватых пород; набухают, размокают и оплывают
V	Несвязные	Сцепление отсутствует; угол внутреннего трения в водонасыщенном состоянии на 2–3° меньше, чем в сухом	Гравий, пески, щебень скальных и полускальных пород; пылеватые пески	Хорошо дренируются скважинами (кроме пылеватых песков) и траншеями, не набухают, не размокают; пески оплывают под углами 10–16° и менее
VI	Современные илы	Неуплотненные современные отложения ($\tau \leq 0{,}2$ кг/см^2)	Современные илисто-глинистые озерные, болотные и лагунные осадки, водонасыщенные почвы, заторфованные осадки	Дренируются лишь сетью канав и траншей

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВЫХ ОТВАЛОВ ДЛЯ ТИПОВЫХ СХЕМ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

16.1. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ ПРОЧНЫХ ПОРОД НА ПРОЧНОМ ОСНОВАНИИ

При формировании отвалов из прочных пород на прочном основании основным видом их деформирования является просадка горизонтальных площадок вследствие уплотнения отвальной массы. Просадка сопровождается образованием трещин на площадках. На многоярусных отвалах, отсыпанных на наклонное основание, трещины просадки проявляются в откосах ярусов. Величина просадки зависит от гранулометрического состава отвальной массы, ее мощности, угла наклона основания, степени пересеченности земной поверхности и условий отсыпки отвальной массы, к которым относятся замкнутость заполняемого отвального пространства и состояние поверхности откоса отвала предыдущей отвальной заходки. Активная стадия уплотнения отвалов, отсыпанных из прочных пород, происходит в течение года.

Зависимость просадки от высоты яруса и гранулометрического состава отвальной смеси приведена в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав отвальной смеси	Высота (мощность), м			
	30	50	100	150
Преимущественно скальные породы	4	5	7	10
Преимущественно рыхлые дробленые породы	2	6	8	12

16.2. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ НА НАКЛОННОМ СЛОИСТОМ ОСНОВАНИИ

Параметры отвалов прочных пород на наклонном слоистом основании содержатся в табл. 2.

Таблица 2

$\alpha° = \varphi°$	$\beta°$	H_0 при φ'					
		15°	16°	18°	20°	22°	25°
30	7	101	110	142	150	161	166
	10	72	88	129	143	153	160
	12	61	72	110	137	142	154
	15	51	58	83	128	137	145

Окончание табл. 2

α° = φ°	β°	H_0 при φ′					
		15°	16°	18°	20°	22°	25°
32	7	98	125	147	156	165	176
	10	69	84	127	141	155	161
	12	57	67	101	125	145	156
	15	46	53	74	111	132	146
34	5	133					
	7	96	122	160	170	179	187
	10	66	80	125	146	159	168
	12	55	61	95	132	149	157
	15	44	51	69	101	140	148
36	5	135					
	7	96	123	160	178	189	194
	10	65	78	122	152	171	180
	12	54	58	92	147	158	168
	15	41	47	65	94	142	150

Результаты расчетов по данным характеристикам представлены на рис. П.16.1, *а*, *б* в виде графиков зависимости $H_0 = f(\alpha, \beta, \varphi, C, \varphi', C')$.

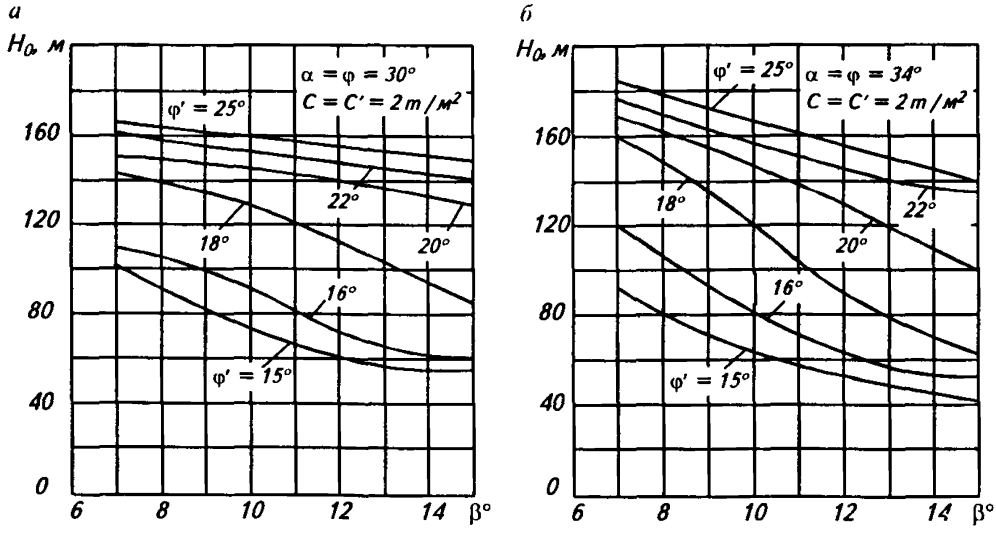


Рис. П.16.1. Результаты расчетов предельных параметров отвалов на слабом контакте «отвал–основание» при различных расчетных характеристиках пород

16.3. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ СЛАБЫХ ПОРОД НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ

Таблица 3

Параметры отвалов слабых пород на слабом основании

$\alpha° = \varphi°$	C', т/м²	H_0 при φ'		
		8°	10°	12°
20	2	58	93	164
	4	94	143	258
	6	130	197	352
	8	166	250	446
23	2	54	83	139
	4	87	128	216
	6	120	174	293
	8	152	221	370
25	2	53	81	131
	4	85	122	202
	6	117	166	273
	8	148	211	345
27	2	53	79	130
	4	84	119	195
	6	115	163	263
	8	145	206	330

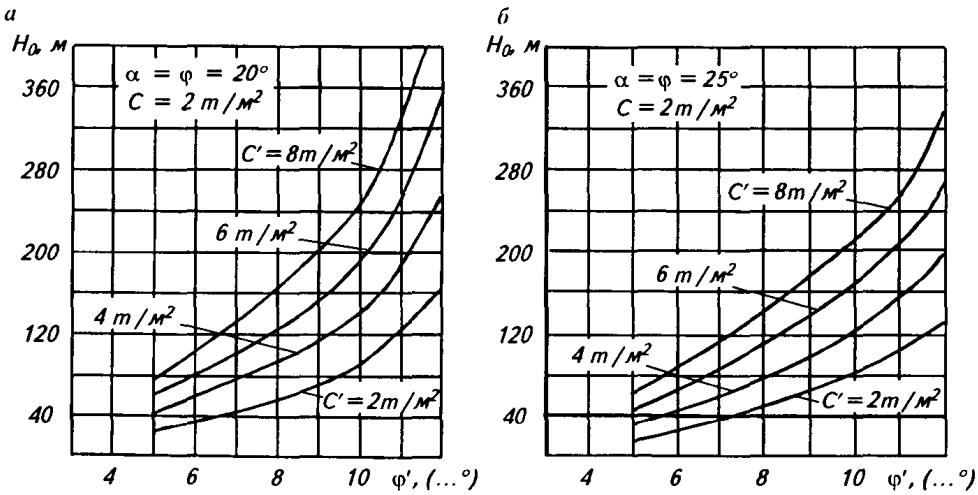


Рис. П.16.2. Результаты расчетов предельных параметров отвалов на слабом основании при различных расчетных характеристиках пород

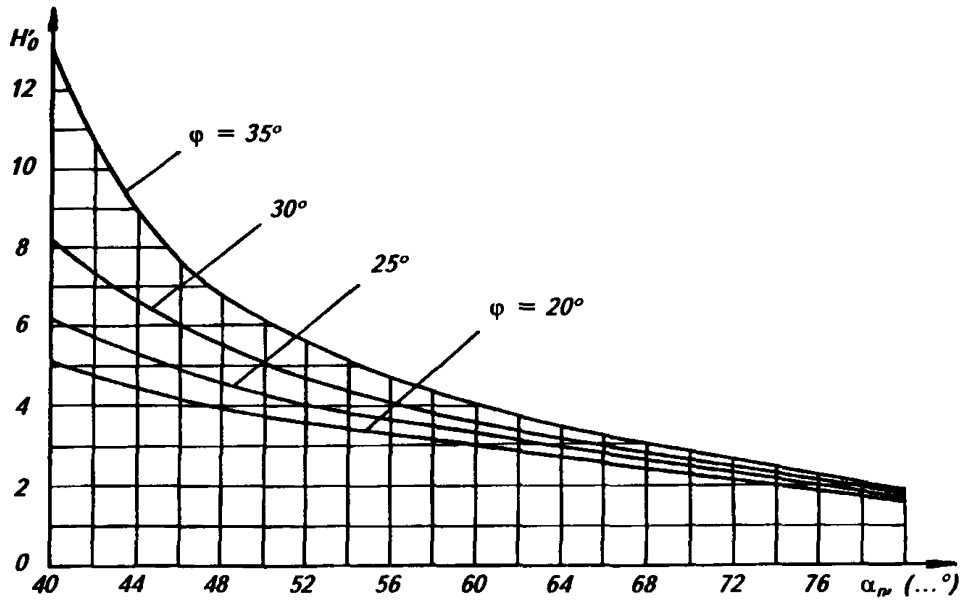


Рис. П.16.3. Определение условной высоты подрезки отвала на прочном основании

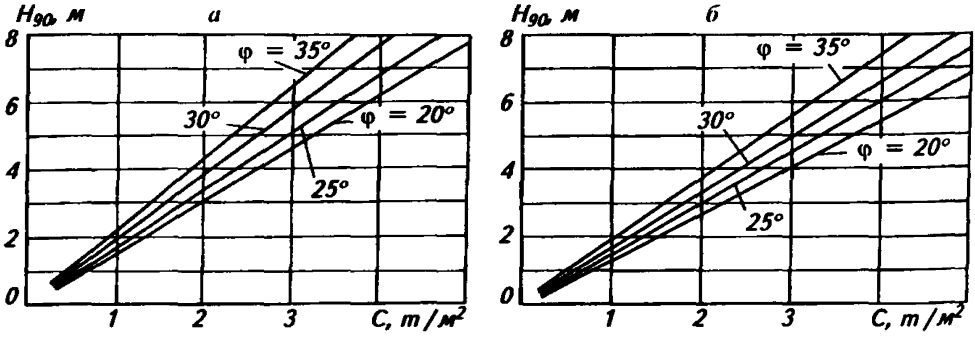


Рис. П.16.4. График зависимости высоты вертикального откоса H_{90} от величины сцепления и угла внутреннего трения φ при плотности отвальной смеси, равной:

а – γ = 1,8 т/м³; *б* – γ = 2,0 т/м³

16.5. РАЗГРУЗКА АВТОСАМОСВАЛОВ ПОД ОТКОС ОТВАЛА

Оценку устойчивости отвала при разгрузке автосамосвала непосредственно под откос производят следующим образом:

– строят профиль отвала с фактическим углом откоса и предохранительным валом высотой, равной половине диаметра колеса автосамосвала (рис. П.16.5);

– на горизонтальной площадке яруса отвала от линии, проведенной на расстоянии 0,5 м от гребня предохранительного вала, откладывают отрезок длиной ℓ (рис. П.16.5, графа 9 в табл. 4);

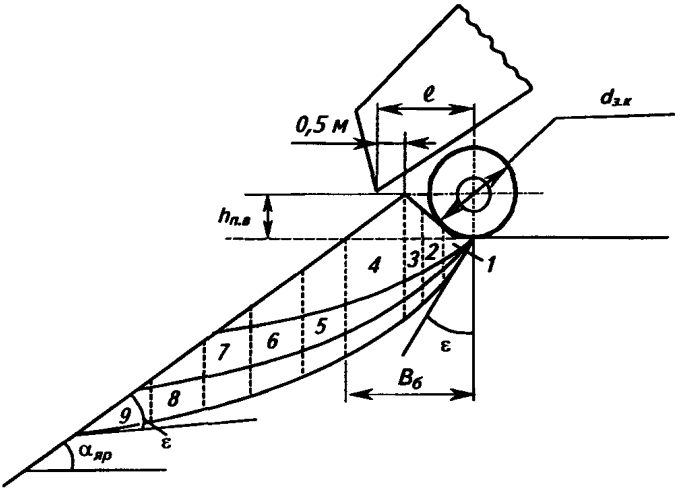


Рис. П.16.5. Схема расчета устойчивости призмы откоса, нагруженного автосамосвалом (*1–9* – расчетные блоки)

– из этой точки проводят 3–4 криволинейных поверхности скольжения, показанных на рис. П.16.5; по этим поверхностям методом алгебраического сложения сил рассчитывают коэффициент запаса устойчивости отвала с учетом веса заднего моста, приходящегося на 1 м протяженности откоса отвала в пределах задней колеи (графа 10 в табл. 4);

– если минимальная величина коэффициента запаса устойчивости по одной из поверхностей скольжения составляет не менее 1,2, то разгрузка автосамосвала непосредственно под откос при принятых физико-механических свойствах отвальной массы допустима.

Установить возможность разгрузки автосамосвалов непосредственно под откос можно по графикам, приведенным на рис. П.16.6, *а–в*.

Пользование графиком осуществляется следующим образом.

Имея исходные данные: угол откоса яруса отвала $\alpha_{яр}$, с которого производится разгрузка автосамосвала, сцепление C и угол внутреннего трения φ отвальной массы, для соответствующей марки автосамосвала на график наносят точку. Если точка размещается ниже прямой линии для соответствующего автосамосвала, то разгрузка автосамосвала непосредственно под откос недопустима.

Таблица 4

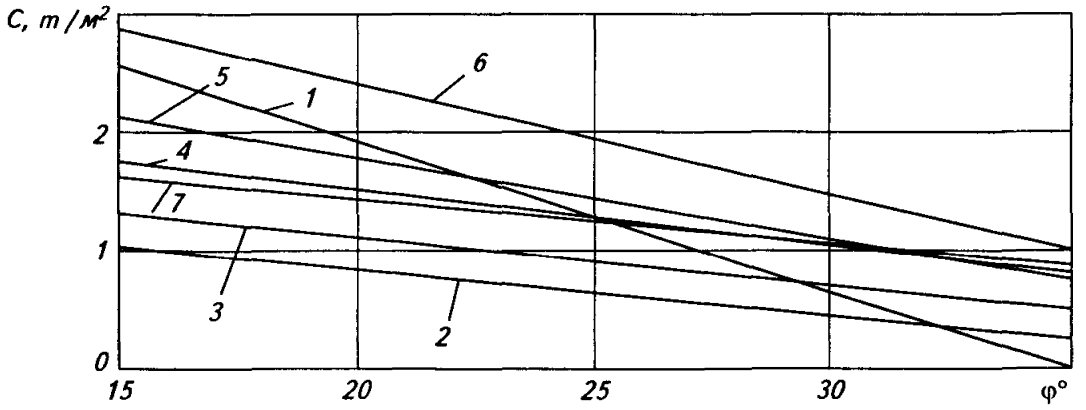
Технические характеристики автосамосвалов

Марка автосамосвала	Грузоподъемность, т	Масса, т	Полный вес с грузом, т	Нагрузка на задний мост, т	Диаметр заднего колеса, м
1	2	3	4	5	6
БелАЗ-540	27	21	48,5	32,3	1,55
БелАЗ-548	40	27	67	44,6	1,91
БелАЗ-549	75	48	123	82	2,61
БелАЗ-7519	110	85	195	130	3,30
БелАЗ-7521	180	120	300	200	–
Камацу НД 1200	–	–	207,6	139,1	2,8
Юклид R 170	–	–	255,8	166,7	3,12
Юнит Риг (М-200)	–	–	–	214,35	3,20

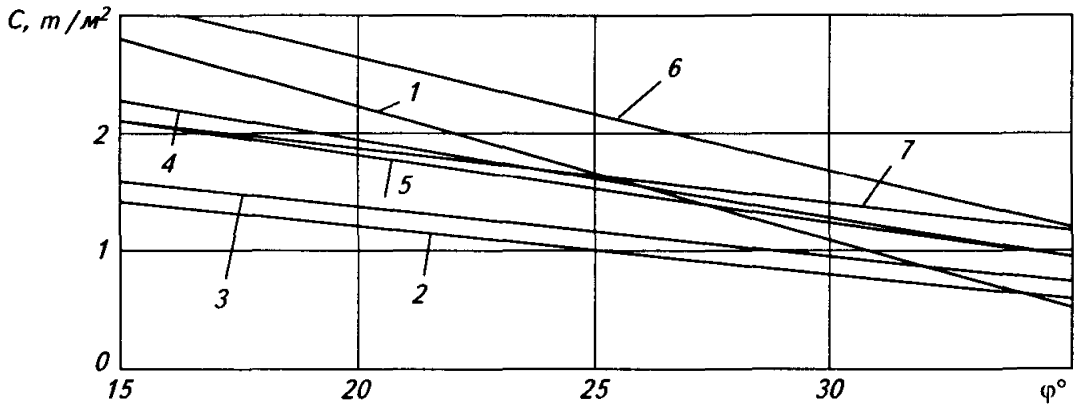
Продолжение

Марка автосамосвала	Ширина задней колеи, м	База, м	Расстояние между осью заднего колеса и нижней точкой поднятого кузова, м	Вес заднего моста на 1 м протяженности откоса, м	Максимальный угол наклона поднятого кузова, (...°)
1	7	8	9	10	11
БелАЗ-540	3,48	3,55	1,4	9,3	55
БелАЗ-548	3,78	4,20	1,5	11,8	55
БелАЗ-549	4,90	–	2,0	16,7	50
БелАЗ-7519	6,10	–	2,5	21,4	–
БелАЗ-7521	7,40	–	–	27,0	–
Камацу НД 1200	4,02	–	2,9	35,3	–
Юклид R 170	5,30	–	3,0	26,2	50
Юнит Риг (М-200)	7,21	–	3,4	29,8	–

а



б



в

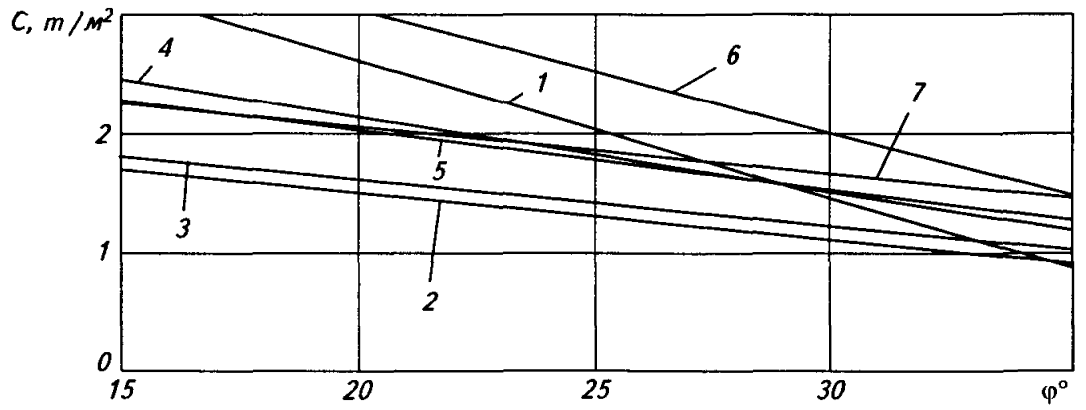


Рис. П.16.6. Графики для определения возможности разгрузки автосамосвалов непосредственно под откос отвала при плотности пород γ = 2 т/м³:

а – $\alpha_{яр}$=25°; *б* – $\alpha_{яр}$=30°; *в* – $\alpha_{яр}$=35°; *1* – Юнит Риг; *2* – БелАЗ-540; *3* – БелАЗ-548; *4* – БелАЗ-7519; *5* – БелАЗ-549; *6* – Камацу; *7* – Юклид

Определяем коэффициент запаса устойчивости откоса гидроотвала, показанного на рис. П.16.7, при следующих условиях:

– намывной массив гидроотвала представлен полностью водонасыщенными однородными глинистыми отложениями, характеризующимися следующими параметрами физико-механических свойств: плотность $\gamma = 1{,}95$ т/м³, сцепление $C = 0{,}8$ т/м², угол внутреннего трения $\varphi = 13°$;

– дамбы обвалования сложены насыпными породами со следующими параметрами: плотность $\gamma = 1{,}95$ т/м³, сцепление $C = 1$ т/м², угол внутреннего трения $\varphi = 30°$;

– величины порового давления получены по результатам натурных исследований.

I. Схема к расчету устойчивости откоса гидроотвала с учетом действия гидростатического взвешивания и гидродинамического давления

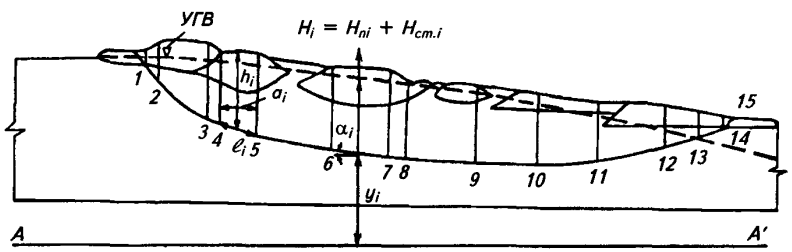


Рис. П.16.7

II. Расчет результирующей силы Φ_i гидростатического и гидродинамического давлений выполняется по формуле:

$$\Phi_i = \gamma_в (H_i - Y_i) a_i / \cos\alpha_i,$$

где H_i – средний напор в пределах блока, отсчитываемый от условной плоскости сравнения А–А'; Y_i – ордината поверхности скольжения в середине блока; $\gamma_в$ – плотность воды; a_i – ширина блока; α_i – угол наклона касательной к поверхности скольжения в середине основания блока.

Результаты расчета устойчивости гидроотвала приведены в таблице.

Расчет коэффициента запаса устойчивости откоса гидроотвала *n* методом алгебраического сложения сил

Блок	P_i, т/м	α_i, (…°)	$P_i \sin \alpha_i$, т/м	$P_i \cos \alpha_i$, т/м	H_i, м	Y_i, м
1	32,2	44	22,2	23,2	58,0	56,0
2	87,8	37	52,7	70,2	60,0	52,0
3	511,9	33	276,4	430,0	66,0	44,0
4	214,5	25	90,1	195,2	66,0	39,0
5	560,6	18	173,8	532,6	65,5	35,0
6	1096,9	9	175,5	1085,0	62,5	31,0
7	988,7	6	103,8	978,8	57,0	28,0
8	253,5	4	17,8	250,9	54,0	27,0
9	1076,4	2	37,7	1076,4	50,0	26,5
10	836,6	0	0	836,6	45,5	26,0
11	950,6	–1	–16,2	950,6	40,5	26,5
12	530,4	–9	–84,9	525,1	36,0	28,0
13	214,5	–16	–60,1	205,9	34,0	32,0
14	225,2	–22	–83,3	209,4	0	–
15	6,8	–30	–3,4	5,9	0	–
			Σ 702,1			

Продолжение

Блок	Φ_i, т/м	$P_i \cos\alpha_i - \Phi_i$, т/м	$N_i = (P_i \cos\alpha_i - \Phi_i)\operatorname{tg}\varphi$	$C\ell_i$, т/м	$N_i + C\ell_i$, т/м
1	15,3	7,8	4,5	8,0	12,5
2	50,0	20,2	4,6	4,8	9,4
3	392,9	100,1	23,0	14,4	37,4
4	148,4	46,8	10,8	8,4	19,2
5	401,3	131,3	30,2	10,4	40,6
6	715,9	369,1	84,9	18,4	103,3
7	571,2	407,6	93,8	15,6	109,4
8	136,4	114,5	26,3	4,0	30,3
9	564,0	512,4	117,8	19,6	137,4
10	380,3	456,3	104,9	13,6	118,5
11	337,5	613,1	141,0	19,6	160,6
12	137,4	387,7	89,2	13,6	102,8
13	20,8	185,1	42,6	8,4	51,0
14	0	209,4	48,2	9,6	57,8
15	0	5,9	3,4	4,0	7,4
					Σ 997,6

$$n = \frac{\sum\left(N_i + Cl_i\right)}{\sum P_i \sin \alpha_i} = \frac{997,6}{702,1} = 1,42.$$

16.7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТВАЛОВ, НАГРУЖЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМ ГОРНОТРАНСПОРТНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Пример 1

Определение несущей способности пород отвала при работе на нем драглайна ЭШ 100/100.

Исходные данные. Физико-механические свойства пород отвала с введенным коэффициентом запаса n = 1,2: φ_n = 25°; C_n = 2,0 т/м²; γ = 1,4 т/м³.

Параметры опорных поверхностей экскаватора: диаметр базы – 27 м; ширина лыжи – 4,35 м; длина лыжи – 41,3 м. Удельные нагрузки под базой – 1,8 кг/см²; под лыжами – 2,65 кг/см²; радиус черпания – 100 м.

Определяем несущую способность основания отвала по формуле (9.1).

Так как пригрузка основания отсутствует, qN_q = 0. По табл. 5 находим значения коэффициентов N_γ и N_c, они равны соответственно 5,0 и 25,0, и, подставляя их в формулу (9.1), получим:

$$q_0 = \frac{27}{4}1{,}4 \cdot 5 + 2{,}0 \cdot 25 = 97{,}25 \ (\text{т/м}^2).$$

Определяем величину удельной нагрузки под базой экскаватора с учетом внецентренной нагрузки при выполнении рабочих операций:

$$q_{\text{мп}} = q_n + \frac{LP}{W} = 1{,}8 + \frac{4 \cdot 100 \cdot 300}{3{,}14 \cdot 13{,}5^3} = 33{,}5 \ (\text{т/м}^2).$$

Определяем коэффициент запаса несущей способности пород отвала:

$$n = q_0/q_{\text{мп}} = 97{,}25/33{,}5 = 2{,}90.$$

Полученный коэффициент запаса n = 2,9 выше нормативного. Следовательно, несущая способность пород отвала под опорными элементами обеспечивается.

Пример 2

Определение коэффициента запаса устойчивости отвала, нагруженного горнотранспортным оборудованием.

Исходные данные: C = 3,6 т/м²; φ = 25°; γ = 1,8 т/м³; α = 35°; вес драглайна 10500 т; диаметр базы 27 м, удельная нагрузка под базой $q_{\text{пб}}$ = 1,8 кг/см²; под лыжами $q_{\text{пл}}$ = 2,7 кг/см²; размеры лыжи 4,35×41,3 м.

Расчет:

1. Вводят в характеристики сопротивления сдвигу отвальной смеси коэффициент запаса n = 1,2:

$$\varphi_n = \text{arctg}(\text{tg}25°/1{,}2) = 0{,}47/1{,}2 = 21{,}5°,$$

$$C_n = 3{,}6/1{,}2 = 3{,}0 \ (\text{т/м}^2).$$

Таблица 5

Вспомогательная таблица значений коэффициентов N_γ, N_c, N_g

Угол внутреннего трения, (...°)		5	7	9	11	13	15	17	19	12	23	25	27	29	31	33	35
N_γ	1	0,05	0,27	0,42	0,61	0,92	1,02	1,33	1,74	2,35	3,07	4,10	5,22	7,17	10,25	14,35	19,98
	2	0,06	0,33	0,51	0,75	1,12	1,25	1,62	2,12	2,87	3,75	5,00	6,37	8,75	12,50	17,50	24,37
N_c	1	5,17	7,27	8,2	9,02	10,25	11,17	12,3	14,2	15,3	17,93	20,5	23,06	27,67	31,77	37,92	45,10
	2	6,31	8,8	10,0	11,0	12,5	13,6	15,0	17,3	18,75	21,85	25,00	28,12	33,75	38,75	46,25	55,00
N_g	1	1,11	2,05	2,446	2,76	3,58	4,10	4,81	6,15	7,17	8,71	10,25	12,30	16,40	20,50	25,62	33,82
	2	1,35	2,5	3,0	3,37	4,37	5,0	5,87	7,5	8,75	10,62	12,50	15,00	20,00	25,00	31,25	41,25

Примечание. Таблица заимствована из СНиП П-15-74, гл. 15. При значениях коэффициентов в строке 1 – лыжи, 2 – база.

2. Строят ряд потенциальных поверхностей скольжения в теле отвала, выходящих на поверхность откоса при различных положениях опорных элементов экскаватора (рис. П.16.8, *а*, *б*).

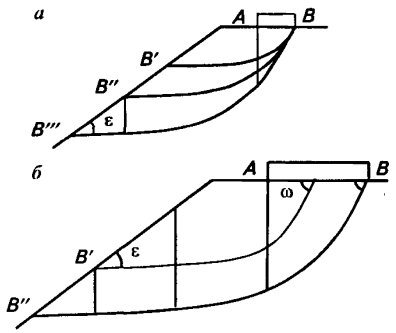


Рис. П.16.8

3. Проводят поверочные расчеты методом алгебраического сложения сил по поверхностям скольжения в соответствии с п. 5.2.7 Правил, вводя в первый блок дополнительную нагрузку ΔP от веса оборудования, которая рассчитывается по формуле:

$$\Delta P = q_n l,$$

где l – размер опорной поверхности, расположенной на поверхности отвала в пределах блока № 1.

В данном случае $\Delta P = 27 \cdot 4{,}35 = 117{,}5$ (т).

Расчеты по потенциальным поверхностям скольжения *BB′*, *BB″*, *BB‴* сведены в табл. 6.

4. Определяют коэффициент запаса устойчивости отвала с учетом веса оборудования по формуле (6.10).

5. Проводят поверочные расчеты при других положениях опорных поверхностей экскаватора относительно верхней бровки откоса отвала (рис. П. 16.8, *б*).

6. Если по какой-либо из поверхностей скольжения коэффициент запаса устойчивости меньше 1 ($n < 1$), необходимо увеличить расстояние от опорной поверхности экскаватора до верхней бровки откоса и повторить расчет.

Таблица 6

Номер блока	P, т	j, (...°)	$\sin j$	$\cos j$	T, т	N, т	$\Sigma N \operatorname{tg} \varphi$, т	$C\Sigma L_i$, т	n
Поверхность ВВ′									
1	136,3	41	0,656	0,754	89,4	102,7			
2	60,5	2	0,034	0,999	2,05	60,4			
3	1,8	0	0	1	0	1,8			
					Σ 91,5	Σ 164,9	64,8	45	$n = 1{,}20$
Поверхность ВВ″									
1	143	56	0,829	0,559	118,5	79,9			
2	121	24	0,406	0,913	49,1	110,4			
3	57,6	2	0,034	0,999	1,9	57,5			
					Σ 169,5	Σ 247,8	97,4	72,1	$n = 1{,}000$
Поверхность ВВ‴									
1	143	56	0,829	0,559	118,5	79,9			
2	144	38	0,616	0,788	88,7	113,4			
3	115,2	12	0,207	0,978	23,8	112,6			
4	43,2	2	0,034	0,999	1,4	43,1			
					Σ 232,4	Σ 349,0	137,1	100,2	$n = 1{,}021$

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Физико-механические свойства

№ п/п	Породы	Плотность γ, г/см³	Влажность пород W, %	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)
1	Песчаник различной зернистости с карбонатным, карбонатно-кремнистым цементом	2,55–2,65	1–3	200–270	32–38
2	Песчаник различной зернистости с глинисто-карбонатным, железисто-гидрослюдистым цементом	2,42–2,62	1–5	150–200	30–38
3	Песчаник различной зернистости с карбонатно-глинистым, глинисто-углистым, глинисто-серицитовым цементом	2,34–2,58	3–5	100–150	30–39
4	Песчаник различной зернистости с глинистым, известково-глинистым цементом	2,13–2,70	3–12	20–100	26–40
5	Песчаник с глинистым цементом, слабосцементированный	2,08–2,38	6–12	5–20	25–38
6	Песчаник с глинистым, глинисто-углистым цементом, слабоуплотненный, неуплотненный, слабый, выветрелый	1,84–2,30	6–16	<5,0	30–39

ГОРНЫХ ПОРОД УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Таблица 1

скальных и полускальных пород

Размер блоков $l_т$, м	Высота борта H, м	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве $C_м$, т/м²	Примеры угольных месторождений, марки угля
0,3	<200 >200	0,030 0,025	60–81 50–67	Томусинское, К, КЖ; Нерюнгринское, К; Азейское, Б₃ (отдельные прослои); Холбольджинское, Б₃ (отдельные прослои)
0,6	<200 >200	0,035 0,028	70–95 56–76	
1,0	<200 >200	0,038 0,030	76–103 60–81	
0,3	<200 >200	0,041 0,034	62–82 51–68	Краснобродское, Т; Нерюнгринское, К; Тугнуйская угленосная депрессия: Никольское, Г; Олонь-Шибирское, Г
0,6	<200 >200	0,047 0,038	71–94 57–76	
1,0	<200 >200	0,052 0,041	78–104 62–82	
0,3	<200 >200	0,054 0,045	54–81 45–68	Бачатское, Т; Краснобродское, Т; Нерюнгринское, К; Липовецкое, Г; Никольское, Г; Олонь-Шибирское, Г; Черемховское, Д–Г
0,6	<200 >200	0,060 0,050	60–90 50–75	
1,0	<200 >200	0,068 0,054	68–102 54–81	
0,3	<200 >200	0,080 0,066	16–80 13–66	Куу-Чекинское, К; Экибастузский б-н, Г–К; Олонь-Шибирское, Г; Изыхское, Д–Г; Черногорское, Д–Г; Черемховское, Д–Г; Азейское, Б₃; Вахрушевское, Б₃ (о. Сахалин); Коркинское, Б₃ (глубина более 130 м)
0,6	<200 >200	0,090 0,073	18–90 15–73	
1,0	<200 >200	0,100 0,080	20–100 16–80	
0,3	<200 >200	0,17 0,14	9–34 7–28	Экибастузский б-н, Г–К (глубина до 50 м); Черемховское, Д–Г; Черногорское, Д–Г (зона выветр. до 50 м); Коркинское, Б₃ (глубина залегания 40–130 м); Богословское, Б₂
0,6	<200 >200	0,19 0,16	10–38 8–32	
1,0	<200 >200	0,20 0,17	10–40 9–34	
0,3	<200 >200	0,46 0,41	<23 <20,5	Ангренское, Б₃; Коркинское (глубина 0–40 м, зона выветр.), Б₃; Холбольджинское, Б₃; Богословское, Б₂; Ирша-Бородинское, Б₂; Тарбагатайское, Б₂; Харанорское, Б₂
0,6	<200 >200	0,49 0,44	<24,5 <22	
1,0	<200 >200	0,52 0,46	<26 <23	
Блочность пород не выражена	<200 >200	1,0 1,0	<50 <50	

№ п/п	Породы	Плотность γ, г/см³	Влажность пород *W*, %	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)
7	Алевролит с карбонатным, кварцево-карбонатным цементом	2,45–2,62	1–2	200–250	26–35
8	Алевролит с глинисто-карбонатным, кварцево-слюдистым, железисто-гидрослюдистым цементом	2,45–2,60	1–2	150–200	26–35
9	Алевролит с карбонатно-глинистым, глинисто-серицитовым, глинисто-слюдистым цементом	2,19–2,60	1–5	100–150	26–35
10	Алевролит с глинистым, серицито-глинистым, глинисто-углистым цементом	1,95–2,68	3–6	20–100	26–35
11	Алевролит с глинистым цементом, слабосцементированный	1,98–2,50	6–12	5–20	24–34

Продолж. табл. 1

	Размер блоков $l_т$, м	Высота борта H, м	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве $C_м$, т/м²	Примеры угольных месторождений, марки угля
	0,1	<200 >200	0,028 0,024	56–70 48–60	Томусинское, К (Кузбасс); Нерюнгринское, К; Олонь-Шибирское, Г
	0,3	<200 >200	0,033 0,028	66–83 56–70	
	0,6	<200 >200	0,038 0,030	76–95 60–75	
	1,0	<200 >200	0,042 0,033	84–105 66–83	
	0,1	<200 >200	0,035 0,030	52–70 45–60	Томусинское, К; Нерюнгринское, К; Олонь-Шибирское, Г
	0,3	<200 >200	0,041 0,034	62–82 51–68	
	0,6	<200 >200	0,047 0,038	70–94 57–76	
	1,0	<200 >200	0,052 0,041	78–104 62–82	
	0,1	<200 >200	0,046 0,039	46–69 39–59	Томусинское, К; Липовецкое, Г; Никольское, Г; Олонь-Шибирское, Г
	0,3	<200 >200	0,054 0,045	54–81 45–68	
	0,6	<200 >200	0,060 0,050	60–90 50–75	
	1,0	<200 >200	0,068 0,054	68–102 54–81	
	0,1	<200 >200	0,068 0,058	14–68 12–58	Краснобродское, Т; Куу-Чекинское, К; Томусинское, К; Экибастузский б-н, Г–К (глубже 50 м); Олонь-Шибирское, Г; Черногорское, Д–Г; Изыхское, Д–Г; Азейское, $Б_3$; Вахрушевское (о. Сахалин), $Б_3$; Коркинское (глубже 70 м), $Б_3$; Холбольджинское, $Б_3$
	0,3	<200 >200	0,080 0,066	16–80 13–66	
	0,6	<200 >200	0,090 0,073	18–90 15–73	
	1,0	<200 >200	0,100 0,080	20–100 16–80	
	0,1	<200 >200	0,15 0,13	8–30 7–26	Экибастузский б-н (глубина 0–50 м), Г–К; Коркинское (глубина 40–70 м), $Б_3$; Холбольджинское, $Б_3$; Ирша-Бородинское, $Б_2$; Изыхское, Д–Г (глубина 0–25 м)
	0,3	<200 >200	0,17 0,14	9–34 7–28	
	0,6	<200 >200	0,19 0,16	10–38 8–32	
	1,0	<200 >200	0,20 0,17	10–40 9–34	

№ п/п	Породы	Плотность γ, г/см³	Влажность пород W, %	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)
12	Алевролит слабый, с глинистым, углисто-глинистым цементом, слабоуплотненный, разуплотненный, выветрелый	1,93–2,26	13–28	<5	24–34
13	Аргиллиты, углистые аргиллиты, прочносцементированные	1,97–2,70	2–10	20–100	21–32
14	Аргиллиты, углистые аргиллиты уплотненные, слабосцементированные	2,00–2,39	3–12	5–20	20–38
15	Аргиллиты, углистые аргиллиты слабоуплотненные, выветрелые	1,95–2,30	12–30	<5	17–33

Продолж. табл. 1

	Размер блоков l_1, м	Высота борта H, м	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве $C_м$, т/м²	Примеры угольных месторождений, марки угля
	0,1	<200 >200	0,42 0,38	<21 <19	Никольское, Г (глубина 0–40 м); Азейское, Б₃; Коркинское (глубина 0–40 м), Б₃; Холбольджинское, Б₃; Бикинское, Б₂; Богословское, Б₂; Тарбагатайское, Б₂; Харанорское, Б₂
	0,3	<200 >200	0,46 0,41	<23 <20,5	
	0,6	<200 >200	0,49 0,44	<24,5 <22	
	1,0	<200 >200	0,52 0,46	<26 <23	
	Блочность пород не выражена	<200 >200	1 1	<50 <50	
	0,1	<200 >200	0,068 0,058	14–68 12–58	Бачатское, Т; Куу-Чекинское, К; Экибастузский б-н, Г–К; Олонь-Шибирское, Г; Изыхское, Д–Г; Черемхово, Д–Г; Черногорское, Д–Г; Вахрушевское (о. Сахалин), Б₃; Коркинское (глубина более 130 м), Б₃
	0,3	<200 >200	0,080 0,066	16–80 13–66	
	0,6	<200 >200	0,090 0,073	18–90 15–74	
	1,0	<200 >200	0,100 0,080	20–100 16–80	
	0,1	<200 >200	0,15 0,13	8–30 7–26	Изыхское, Д–Г; Черемхово, Д–Г; Коркинское, Б₃ (глубина 70–130 м); Холбольджинское, Б₃ (отдельные слои); Тарбагатайское, Б₂
	0,3	<200 >200	0,17 0,14	9–34 7–28	
	0,6	<200 >200	0,19 0,16	10–38 8–32	
	1,0	<200 >200	0,20 0,17	10–40 9–34	
	0,1	<200 >200	0,42 0,38	<21 <19	Изыхское, Д–Г (глубина 0–20 м); Коркинское, Б₃ (глубина 0–40 м); Ангренское, Б₂; Бикинское, Б₂; Ирша-Бородинское, Б₂; Харанорское, Б₂
	0,3	<200 >200	0,46 0,41	<23 <20,5	
	0,6	<200 >200	0,49 0,44	<24,5 <22	
	1,0	<200 >200	0,52 0,46	<26 <23	
	Блочность пород не выражена	<200 >200	1 1	<50 <50	

№ п/п	Породы	Плотность γ, г/см³	Влажность пород *W*, %	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (…°)
16	Гравелит с известково-кремнистым цементом	2,59	3,0	360	32
17	Гравелит с известково-глинистым цементом	2,22–2,34	10,0	40	34
18	Конгломерат с известково-кремнистым цементом	2,54	3,0	220	31
19	Конгломерат с известково-глинистым цементом	2,50	–	20	30
20	Туфоконгломерат	2,45	4,0	230	30
21	Туф	2,32–2,50	8,0	160	30
22	Туф пелитовый	2,20–2,32	10–18	35–45	24–30

Размер блоков $l_т$, м	Высота борта H, м	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве $C_м$, т/м²	Примеры угольных месторождений, марки угля
0,3	<200 >200	0,024 0,020	86 72	Холбольджинское
0,6	<200 >200	0,027 0,022	97 79	
1,0	<200 >200	0,030 0,023	108 83	
0,3	<200 >200	0,080 0,066	32 26	Вахрушевское (о. Сахалин)
0,6	<200 >200	0,090 0,073	36 29	
1,0	<200 >200	0,100 0,080	40 32	
0,3	<200 >200	0,028 0,023	62 50	Холбольджинское
0,6	<200 >200	0,032 0,026	70 57	
1,0	<200 >200	0,035 0,028	77 62	
0,3	<200 >200	0,080 0,066	16 13	Богословское
0,6	<200 >200	0,090 0,073	18 15	
1,0	<200 >200	0,100 0,080	20 16	
0,3	<200 >200	0,028 0,023	64 53	Олонь-Шибирское
0,6	<200 >200	0,032 0,026	74 60	
1,0	<200 >200	0,035 0,028	80 64	
0,3	<200 >200	0,041 0,034	66 54	Олонь-Шибирское
0,6	<200 >200	0,047 0,038	75 61	
1,0	<200 >200	0,052 0,041	83 66	
0,3	<200 >200	0,080 0,066	32 26	Вахрушевское (о. Сахалин)
0,6	<200 >200	0,090 0,073	36 29	
1,0	<200 >200	0,100 0,080	40 32	

№ п/п	Породы	Плотность γ, г/см³	Влажность пород W, %	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (…°)
23	Известняк	2,50–2,67	0,4	60–350	32–36
24	Порфирит	2,60	–	290	36
25	Уголь каменный	1,30–1,42	<5	100–150	30–35
26	Уголь каменный	1,27–1,35	5–10	50–100	26–36
27	Уголь каменный и уголь бурый	1,20–1,50	10–26	20–50	20–36
28	Уголь бурый плотный, каменный выветрелый	1,15–1,45	20–35	5–20	23–37
29	Уголь бурый, слабоуплотненный, выветрелый	1,10–1,45	25–55	<5	26–36

Окончание табл. 1

Размер блоков l_1, м	Высота борта H, м	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве $C_м$, т/м²	Примеры угольных месторождений, марки угля
0,3	<200 >200	0,08–0,024 0,07–0,02	48–84 42–70	Экибастузский б-н, Богословское
0,6	<200 >200	0,09–0,03 0,07–0,02	54–105 42–70	
1,0	<200 >200	0,10–0,03 0,08–0,023	60–105 48–80	
0,3	<200 >200	0,017 0,014	50 40	Никольское
0,6	<200 >200	0,02 0,016	58 46	
1,0	<200 >200	0,02 0,017	58 50	
0,1	<200 >200	0,046 0,039	46–69 39–59	Липовецкое, Г; Олонь-Шибирское, Г
0,3	<200 >200	0,054 0,045	54–81 45–68	
0,6	<200 >200	0,060 0,050	60–90 50–75	
0,1	<200 >200	0,057 0,048	28–57 24–48	Томусинское, К; Олонь-Шибирское, Г; Изыхское, Д–Г; Черногорское, Д–Г
0,3	<200 >200	0,067 0,056	34–67 28–56	
0,6	<200 >200	0,075 0,061	38–75 30–61	
0,1	<200 >200	0,068 0,058	14–34 12–29	Бачатское, Т; Краснобродское, Т; Нерюнгринское, К; Экибастузский б-н, Г–К; Черемховское, Д–Г; Азейское, $Б_3$; Бикинское, $Б_2$; Тарбагатайское, $Б_2$
0,3	<200 >200	0,080 0,066	16–40 13–33	
0,6	<200 >200	0,090 0,073	18–45 15–37	
0,1	<200 >200	0,15 0,13	8–30 7–26	Холбольджинское, $Б_3$; Ангренское, $Б_2$; Ирша-Бородинское, $Б_2$; Орловское, $Б_2$
0,3	<200 >200	0,17 0,14	9–34 7–28	
0,6	<200 >200	0,19 0,16	10–38 8–32	
0,1	<200 >200	0,59 0,55	<29,5 <27,5	Богословское, $Б_2$; Ерковецкое, $Б_2$; Подмосковный б-н, $Б_2$; Кумертауское, $Б_1$
0,3	<200 >200	0,63 0,58	<31,5 <29	
1,0	<200 >200	0,66 0,61	<33 <30,5	
Блочность пород не выражена	<200 >200	1 1	<50 <50	

Таблица 2

Физико-механические свойства рыхлых несвязных и мягких связных песчано-глинистых пород

Породы	Удельный вес $\gamma_м$, г/см^3	Объемный вес γ, г/см^3	Сцепление в куске C_0, кг/см^2	Угол внутреннего трения φ, (...°)	Влажность W, %	Коэф. длительной прочности η
Песок:						
разнозернистый	2,65	2,04	0,0 – 0,24	35	16,5	–
среднезернистый	2,64	1,75	0,10 – 0,15	33 – 34	17,0	–
мелкозернистый	2,68	1,96	0,10 – 0,35	31 – 32	23,0	–
тонкозернистый	2,66	1,80	0,28	30	17,0	–
глинистый	2,50	2,16	0,20 – 0,75	40	12	–
глинистый, уплотненный	2,65	2,08	0,45 – 0,80	26 – 32	18 – 20	0,70 – 0,80
мелкозернистый глинистый	–	1,80	0,40 – 0,70	28 – 30	40	0,60 – 0,80
тонкозернистый глинистый	2,67	1,99	0,35 – 0,60	26 – 28	25	0,60 – 0,80
пылеватый	–	2,16	0,3	30	13	–
гравелистый	–	2,16	0,1	36	10 – 12	–
Глина:						
пластичная	–	2,00	0,6 – 1,85	12 – 20	20 – 24	0,40 – 0,60
мягкопластичная	–	1,81	0,15	3	35	0,35
пылеватая	2,64 – 2,74	1,91 – 1,95	0,5 – 1,0	10 – 19	21 – 39	0,60 – 0,85
пылеватая пластичная	2,64	1,91	0,5	9	26	0,35 – 0,50
пылеватая плотная	2,60 – 2,76	1,83 – 1,97	0,6 – 1,75	12 – 20	20 – 28	0,70 – 0,85
песчаная	2,70	2,00	0,52 – 1,25	18 – 28	21	0,60 – 0,80
каолиновая	–	2,10	1,0	10	17 – 18	0,50
опоковая	2,55	1,55	1,5	23 – 25	35 – 40	0,40
плотная	2,60 – 2,70	1,90 – 2,05	1,3 – 3,7	16 – 28	20 – 25	0,60 – 0,80
бокситовидная	–	2,20 – 2,25	1,25 – 6,4	23 – 27	12 – 15	0,80
брекчиевидная	–	2,20	0,8 – 7,6	27	10 – 15	0,70

Суглинок:						
плотный	–	1,95	0,52 – 1,1	30 – 34	20,0	0,65
лессовидный	2,68 – 2,82	1,86 – 1,95	0,45 – 0,68	27 – 30	15 – 20	0,60 – 0,80
щебенисто-песчаный	–	2,12 – 2,16	0,22	36	15 – 20	0,70
мягкий песчаный с дресвой	2,50	1,99	0,33	24	18	0,70
тугопластичный с песком и дресвой	2,70	1,98 – 2,10	0,52	34	19 – 24	0,85 – 0,90
пластичный	–	1,94	0,05	21	23	0,6 – 0,7
пылеватый и супесь	2,63 – 2,76	1,80 – 1,93	0,20 – 0,45	22 – 33	18 – 23	0,6 – 0,8
Супесь	2,66	1,80 – 1,96	0,1 – 0,17	28 – 34	13 – 20	0,6 – 0,8
Супесь заторфованная (ил)	–	1,84	0,18	31	24	–
Торф	–	1,54	0,12	25	50	–

Примечание. Для слабоуплотненных и неуплотненных песчано-глинистых пород $\lambda = 1$; для трещиноватых (структурных) глин $\lambda = 0,4 – 0,6$.

Таблица 3

Значения углов трения по поверхностям ослабления массива

Породы	Углы трения в зависимости от характера поверхностей ослабления φ′, (…°)			
	Ровные гладкие	Неровные гладкие	Ровные шероховатые	Неровные шероховатые
Песчаники	15–20	20–26	24–29	28–36
Алевролиты	14–18	18–23	22–26	25–33
Аргиллиты	12–17	17–21	20–24	23–30
Уголь	14–19	18–25	23–27	25–35

Примечание. Для поверхностей с зеркалами скольжения φ′ = 7–15°.

Таблица 4

Значения сцепления по поверхностям ослабления массива

Характеристика поверхностей ослабления массива	Характеристика толщи пород	Величина сцепления C', т/м²
Поверхности скольжения по контактам слоев (зеркала скольжения), поверхность ровная, гладкая	Дислоцированная осадочная толща	0–5
Контакты слоев, поверхность волнистая со следами скольжения или ровная шероховатая	Метаморфизованная осадочная толща	5–10
Тектонические нарушения и неровные тектонические трещины со следами скольжения	Массивы изверженных и метаморфических пород	5–10
Контакты слоев, поверхность волнистая шероховатая, неровная шероховатая	Уплотненная слабодислоцированная осадочная толща	10–20
Контакты слоев в слабых песчано-глинистых отложениях	Неуплотненная недислоцированная слабораспланцованная осадочная толща	50 % от сцепления под углом к наслоению в массиве

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТВАЛЬНЫХ ПОРОД

Таблица 1

Характеристика отвалообразующих пород

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород отвала	Влажность, %	Плотность, т/м³	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения, (...°)
Назаровский *	Песчаники Алевролиты Суглинки Смесь пород	22–24 26–28 22 23	1,90–1,95 1,85–1,96 1,85 1,85–1,80	4–6 2–5 4–5 2–3	25–35 18–21 17–22 17–20
Березовский *, **	Суглинки различной консистенции Глины Песчаники Смесь пород	13,0–33,8 20,3–29,8 18,7 20–28	1,84–2,07 1,90–2,07 1,84–2,07 1,99 1,80	4–13 7–20 8,5 2–3	3–13 5–15 26–34 8
Бородинский *	Суглинки Песчаники Смесь пород	18–26 10–18 18–22	1,70 1,95 1,85	3,7 8 3,2	26 30 28
Изыхский *, **	Суглинки Глины Песчаники слабые Алевролиты Аргиллиты Смесь пород	3–17,7 3,8–32,8 2,7–15,3 1,5–22,7 13	1,86–2,24 1,83–2,12 2,1–2,2 1,86–2,38 2,07 1,80–1,85	5,5–32,5 2,4–38,8 9–17,6 17–33 12–25 2–3	14–20 7–31 31–32 30 25–30 32
Сибиргинский **	Песчаники наруш. строения Суглинки Алевролиты наруш. строения Смесь пород	11,7–13,8 21,2–23,1 12,8–13,6	1,8–1,9 1,96 1,75–1,8	1,2–2 5,2–7,9 5 2,8–3,4	33–34 18–21 32 29–30
Красногорский *, **	Песчаники наруш. строения Алевролиты наруш. строения Суглинки Смесь пород	8,8 6,3–11,0 28,5 9–25	1,89 1,74–1,80 1,79 1,82	0,86 0,7–1,80 3,94 1,5	33 28–32 8 32–33
Междуреченский **	Песчаники наруш. строения Суглинки Суглинки со щебенкой Смесь пород	13,8 33,4 15,0–15,8 16,2–18,1	 1,9	2,5 2,1–4,0 1,5 1,2–4,0	34 8–12 24–25 29–30

Продолжение табл. 1

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород отвала	Влажность, %	Плотность, т/м³	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения, (...°)
Томусинский *, **	Суглинки и глины	23,2–26,3	1,84	4,29	15,4
	Песчаники наруш. строения	7,9–14,5	1,81–1,93	0,2–0,8	33–35
	Алевролиты наруш. строения	9,5–13,2	1,83–1,95	0,4–1,3	30–32
	Горельник			0,47	35
	Аргиллиты наруш. строения	15,5	2,02	5,83	16
	Смесь пород		1,92	2,76	32
Колмогоровский *, **	Песчаники	12,8–14,5	1,82–1,97	0,2–1,8	32–34
	Алевролиты	13,3–16,9	1,85–1,90	0,8–1,4	29–30
	Суглинки	27,3–34,1	1,65–1,83	2,5–4,3	2–8
	Смесь пород	14,8–16,8	1,50–1,84	0,8–1,0	32–33
Прокопьевский *	Суглинки		1,76	4,8	12
	Алевролиты		1,79	1,6	30,5
	Песчаники		1,86	0,93	34
	Смесь пород		1,92	0,81	33
Кедровский **	Горельник	9,8	1,44	1,92	35,3
	Песчаники	11,1–14,5	1,76–1,95	0,43–2,12	33–35
	Алевролиты	10,2–16,2	1,83–1,88	0,76–1,68	26–29
	Суглинки и глины	21,2–28,6	1,76–1,95	3,5–5,6	7–8,5
	Аргиллиты	14,6	1,7	1,2	27
	Смесь пород	13,2–20,4	1,85–1,93	0,6–2,1	26–31,5
Черниговский **	Песчаники	12,6–14,7	1,75–1,98	0,4–1,9	31–34
	Алевролиты	13,5–16,4	1,85–1,96	0,6–1,8	27–29
	Суглинки	25,0–32,0	1,70–1,95	1,8–2,9	8–14
	Смесь пород	14,0–21,0	1,78–1,88	1,5–2,5	22–31,5
Моховский *	Песчаники	12,8–14,9	1,70–1,97	0,1–0,8	31–33
	Алевролиты		1,81–1,90	0,7–1,8	26–28
	Суглинки	24,1–33,4	1,62–1,95	1,3–2,7	10–16
	Смесь пород	17,8–35,0	1,70–1,95	2,0–3,8	33
Лермонтовский **	Суглинки	26–30	1,85	2	22
	Глины	35	1,95	5,0–10,0	20
	Аргиллиты	36	2	2–9	20–22
	Песчаники	12–13	2,2	5–12,5	35
	Смесь пород		1,9	6,0	20
Лучегорский **	Алевролиты	20,0–26,0	1,90–2,07	5–10	25–28
	Глины	17,0–45,0	2,1	5–5,5	10–18
	Аргиллиты	19,8–25,4	1,99–2,01	8,5–10,0	19–25
	Смесь пород	26,7–29,5	1,8	1,5	15
Липовецкий *	Четверт. глина	5,8–43,3	1,91	5	24,5
	Алевролиты	0,9–2,8	2,3–2,4	39	29–30
	Песчаники	1,3–1,87	2,3–2,4	39	29–30
	Смесь пород		1,9	2,5	27

Продолжение табл. 1

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород отвала	Влажность, %	Плотность, т/м³	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения, (...°)
Грамотеинский *	Песчаники Алевролиты Смесь пород	 5,6–5,8	 1,80–1,88	 1,0–1,5	 30–34
Краснобродский **	Песчаники Алевролиты Аргиллиты Смесь пород		1,85–1,95 1,86 1,94 1,8	16,8–20,8 26,5 15,2 3,0–4,5	35 28 24 30–32
Саянский **	Скальные породы Смесь пород	 1,0–4,0	2,52–2,58 2,0–2,10	21–25 2,5–4,5	35 35
Харанорский *, **	Глины наруш. строения Песчаники наруш. строения Алевролиты наруш. строения Смесь пород	30,5 21,1 22,3 21–27	 2,0	7,5 4,5 8,5 1,0	13 26 27 26
Орловское месторождение *	Глины Алевролиты Аргиллиты Песчаники Смесь пород	25,5 9,0–12,0 12,3	1,88–1,96 2,18 2,15	15–30 8–13 12 4	20–22 17–28 35 24
Черемшанский Черноозерский Шелеинский Тюленевский **	Серпентиниты Глины делюв. Сланцы разлож. Алевриты карст. Диориты Диорит-порфир. Смесь пород	 23,2 10–27 30,0 0,01 0,1 22–28	 1,88 1,66–2,04 1,85 2,62–2,70 2,62–2,71 1,85–1,90	4,7–8,2 8,0 3,5–10,0 2,5–12,5 25,2 7,2 4,3	20–35 20 25 24 36 23 28
Куу-Чекинский **	Глины Песчаники Алевролиты Аргиллиты Смесь пород	16,0 17,0 5,1 10,0 18,0–24,0	1,95–2,05 2,52 2,45 2,55 1,80–1,88	10–11 30,0 44,5 25,5 2,2–4,0	19 35 30 28 30
Оленегорский **	Гнейсы Пегматиты Смесь пород		2,58–2,89 2,64 2,0	75 90 2–4,5	29–36 35 34–36
Нерюнгринский **	Смесь пород		2,0	0	35
Борлинский *, **	Песчаники Алевролиты Аргиллиты Смесь пород	2,8–10,0 2,3–4,7 2,8–4,8	2,12–2,41 2,21–2,40 1,98–2,22 7,75	12–97 25–30 8–15 0,8–2,0	33 27–31 29 32

Окончание табл. 1

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород отвала	Влажность, %	Плотность, т/м³	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения, (...°)
Урюпский *	Суглинки Глины Песчаники Алевролиты Аргиллиты Смесь пород	24 27 17–19 13–15 18	1,96 1,95 2,02 2,03–2,13 2,07 1,8	2 2,6 1,2–1,5 2–5 1,5 До 4	13 19 24–25 20–25 13 20

Примечания: * – внутренний отвал; ** – внешний отвал.

Таблица 2

Характеристика пород основания отвала

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород, возможный тип оползня отвала (① ② ③)	Угол наклона основания, (...°)	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения основания, (...°)
Назаровский *	Контакт в подугольных аргиллитах ② ③	0–3	2–3	5–7
Березовский *, **	Алевролиты Песчаники ① ②		2–5 4–5	16 34
Бородинский *	Песчаники Аргиллиты ①	1–4	8–10 5–8	30–32 21–24
Изыхский *, **	Гравийно-галечниковые отложения. Контакт в подугольных аргиллитах ① ②	2–10	5–10 1–3	28–32 12
Сибиргинский **	Суглинки ② ③	12–27	5–7	26
Красногорский *, **	Рыхлые отложения, старый гидроотвал ② ③	0	3–6	20–25
Междуреченский **	Алевролиты ① ③		2	17–22
Томусинский *, **	Рыхлые четвертичные отложения, часто обводнены ② ③	До 25	4,1	10

Продолжение табл. 2

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород, возможный тип оползня отвала (① ② ③)	Угол наклона основания, (...°)	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения основания, (...°)
Колмогоровский *, **	Рыхлые четвертичные отложения. Суглинки, илы ② ③	4–12 До 18	4,0–12	5–12
Прокопьевский *	Рыхлые четвертичные отложения, часто обводнены ② ③	0	4,8	12
Кедровский **	Рыхлые четвертичные отложения, часто заболоченные ② ③	8–15	5,6	5–7
Черниговский **	Рыхлые четвертичные отложения, часто заболоченные ② ③	0–10	1,8–2,9	8–14
Моховский *	Алевролиты средней прочности. Контакты в аргиллитах, углистые аргиллиты ② ③	6–12 До 18	1,0–3,0 1,0	7–12 19
Лермонтовский **	Контакт в подугольных аргиллитах ②	25–35	1,7	20
Лучегорский **	Контакты в глинах и суглинках. Отвалообразование в режиме управляемого деформирования ② ③	1	1,5	4
Липовецкий *	Контакт в аргиллитах и глинистых сланцах ② ③	0	3	17–18
Грамотеинский *	Алевролиты ①	0	2–6	32–33
Краснобродский **	Рыхлые четверт. отложения, иногда заболоченные ② ③	0	3–6	20–25
Саянский **	Скальные породы ①		21–25	35

Окончание табл. 2

Название разреза (карьера), тип отвала	Состав пород, возможный тип оползня отвала (① ② ③)	Угол наклона основания, (...°)	Сцепление, т/м²	Угол внутреннего трения основания, (...°)
Харанорский *, **	Контакт в подугольных аргиллитах ② ③	5–12	6,0	8
Орловское месторождение *	Контакты в подугольных аргиллитах ② ③	5–8	0,8–2,5	10–21
Черемшанский Черноозерский Шелеинский Тюленевский **	Преимущественно крепкие породы, местами основание заболочено, суглинки, прослои отталкованной породы ② ③	0–10	2,0	5
Куу-Чекинский **	Слабые глинистые породы ② ③	15–20	10,0	12
Оленегорский **	Четвертичные отложения мощностью до 20 м, торф мощностью до 2 м ② ③	0–30	2,5–3,5	17
Нерюнгринский **	Галечник, дресва ①	10–20	2,0–3,5	35–37
Борлинский *, **	Четвертичные отложения. Прочное основание – 80 % ② ③	5–20 6–10	2,0–6,0	18–24
Урюпский *	Контакт в аргиллитах ②	0–3	2	13

Примечания: ① – надподошвенный тип оползня; ② – контактный тип оползня; ③ – подподошвенный тип оползня.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ И БОРТОВ, ПОДРАБОТАННЫХ ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ

С целью максимального извлечения запасов угля разработка месторождений может производиться открытым и подземным способами последовательно или одновременно в одной вертикальной плоскости. В зависимости от способа комбинированной разработки возникают различные геомеханические задачи по обеспечению устойчивости уступов и бортов угольных разрезов или находящихся в пределах границ карьерного поля откосов отвалов. Существует три варианта комбинированной разработки:

1) открыто-подземная;

2) подземно-открытая;

3) совместная (одновременная).

Характеристика условий деформирования откосов для указанных вариантов комбинированной разработки приведена в табл. 1.

Подработка откосов подземными работами сопровождается изменением физико-механических свойств горных пород и гидрогеологических условий.

Степень изменения физико-механических свойств зависит от расстояния массива горных пород по нормали к отработанному подземным способом угольному пласту, т. е. от зон нарушенности. Мощность зон нарушенности, определяемая кратностью мощности отработанного пласта m, после окончания процесса сдвижения при пологонаклонном залегании и их характеристика для условий Челябинского бассейна приведены в табл. 2.

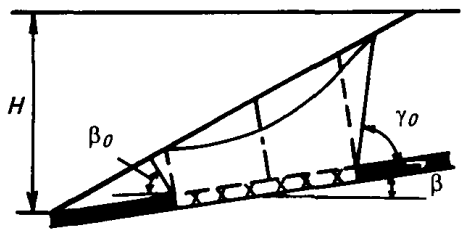
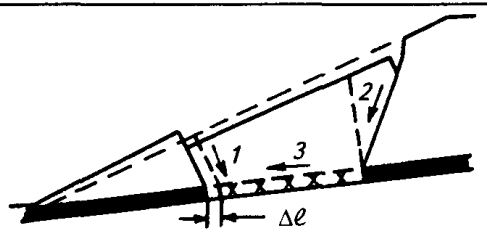
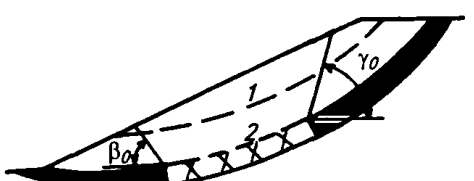
При крутом залегании угольных пластов сдвигающийся массив подразделяется на зоны беспорядочного и упорядоченного обрушения (висячий бок) и зону сползания (лежачий бок) [10]. Мощность первых двух зон зависит от угла падения, уменьшаясь пропорционально $\cos\beta$, мощность зоны сползания определяется расстоянием по нормали наиболее слабого контакта от почвы угольного пласта и уменьшается с увеличением глубины верхней границы лавы [40].

При подработке откосов подземными работами влияние гидрогеологических факторов на устойчивость борта уменьшается вследствие дренажа подземных вод очистными выработками.

Оценка устойчивости подработанных уступов и бортов угольных разрезов должна производиться изложенными в гл. 5 методами с учетом изменений структуры и прочности массива горных пород [41, 42].

Таблица 1

Характеристика условий деформирования откосов при различных вариантах комбинированной разработки

Вариант комбинированной разработки	Схема деформирования прибортового массива	Тип деформирования прибортового массива	Условия залегания горных пород	Условия возникновения деформаций прибортового массива
Одновременная		Прогиб слоев	Пологое (горизонтальное), наклонное согласное и несогласное с бортом; синклинальное несогласное с бортом	$H < \frac{\sigma_0}{k_p \gamma}$; $\beta \le \varphi'$; k_p – средний коэффициент разрыхления обрушенных горных пород
		Сдвиг по плоскостям *1, 2, 3*	Пологое (горизонтальное), согласное с бортом	$H \ge \frac{\sigma_0}{k_p \gamma}$; $\beta > \varphi'$
		Контактный оползень по поверхностям *1, 2*	Синклинальное с ослабленными глинистыми контактами, согласное с бортом	$T'_{сдв} > T'_{уд}$ $n \approx 1{,}00–1{,}05$

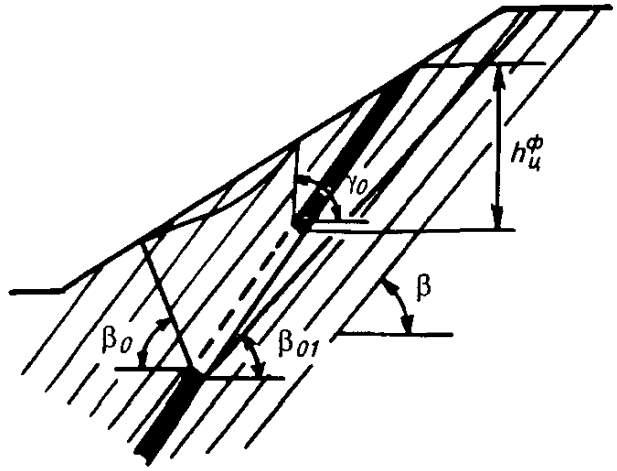
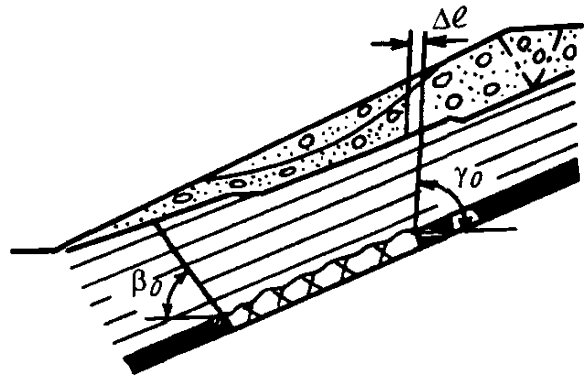
Одновременная		Изгиб и прогиб слоев, сдвиг слоев в лежачем боку. Образование воронок	Крутое, согласное и несогласное с бортом	$H > \frac{\sigma_{отр}}{\gamma}$; $h_ц^ф < h_{ц\ рекомен}$ (по работе [43])
		Оползень отвальной массы	Пологое (горизонтальное), согласное с бортом	$\Sigma T_{сдв} > \Sigma T_{уд}$; $n \approx 1{,}00–1{,}05$
Последовательная (подземно-открытая)	См. Прил. 8	Обрушения, оползни	Пологое (горизонтальное), наклонное, крутое, согласное и несогласное с бортом	$\Sigma T_{сдв} > \Sigma T_{уд}$

Таблица 2

Характеристика зон нарушенности массива горных пород при подземной разработке

Наименование	Мощность зоны	Кратность уменьшения размера блоков отдельности	Кратность увеличения ширины раскрытия трещин	Плотность подработанных горных пород, тс/м³
Зона беспорядочного обрушения	$1m$	–	–	1,9
Зона разрушения	$4m$	3–4	7	2,0
Зона трещин	$14m$	1,5–2	1,5–3,5	2,1
Зона плавного прогиба	$\geq 10m$	–	–	2,3

Примечание. В прочных, крупноблочных породах зона беспорядочного обрушения отсутствует. Плотность неподработанного массива горных пород – 2,4–2,5 тс/м³.

Нарушение связности структурных блоков и их взаимного расположения и дополнительное развитие трещин кливажа уменьшают коэффициент структурного ослабления $\lambda_п$, величина которого для условий Челябинского бассейна определяется по графику на рис. П.19.1.

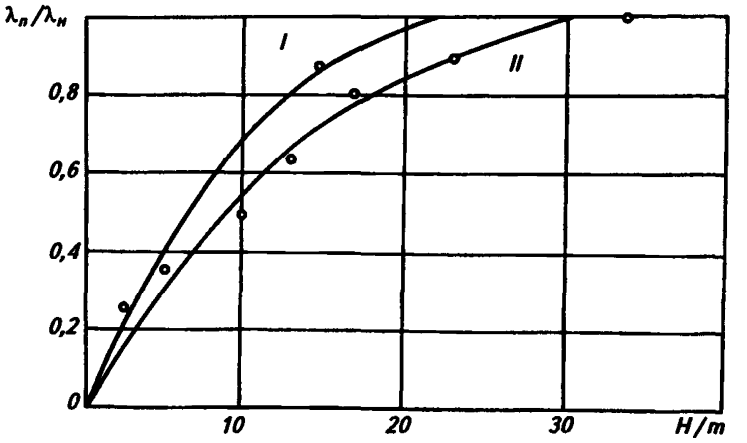


Рис. П. 19.1. График зависимости отношения коэффициентов структурного ослабления подработанного и неподработанного массива от *H/m*:

I – при отработке одного угольного пласта, $m = 2$ м; *II* – при отработке двух и более угольных пластов

Для ориентировочной оценки устойчивости подработанных откосов в других горно-геологических условиях величина сцепления массива горных пород может быть принята равной 1 т/м² в зоне беспорядочного обрушения и 2–4 т/м² в зоне разрушения, а в зонах трещин и плавного прогиба уменьшается в 3–6 раз и в 1,5–2 раза, соответственно, по сравнению со сцеплением неподработанного массива.

Угол внутреннего трения подработанного массива равен углу внутреннего трения неподработанного массива.

При выборе параметров уступов необходимо учитывать выполаживание откосов в зонах беспорядочного обрушения и разрушения на 10–15° за счет более интенсивного выветривания горных пород.

Мероприятия по предотвращению опасных деформаций откосов и берм при совместной разработке угольных месторождений:

1. Рассредоточение открытых и подземных горных работ в пространстве и времени для максимально возможного уменьшения взаимного влияния на одни и те же участки;

2. Прогноз ожидаемых величин сдвижения и деформаций по методике ВНИМИ (в работе [43], прил. 1);

3. Проведение маркшейдерских инструментальных наблюдений по реперам профильных линий, заложенным вкрест простирания борта и по транспортным бермам уступов;

4. Применение технологических схем и мероприятий, повышающих устойчивость деформирующихся прибортовых массивов или отвалов.

УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

В районах распространения многолетнемерзлых пород возникают специфические инженерно-геологические условия, которые необходимо изучать и учитывать при оценке устойчивости бортов и уступов разрезов [1, 44, 45].

В зависимости от пространственного распространения многолетнемерзлых пород (от размещения в плане, мощности, прерывистости) выделяют:

– сплошное развитие многолетней мерзлоты;

– наличие таликов в толще мерзлых пород (прерывистую мерзлоту);

– островную мерзлоту.

Прочность массива многолетнемерзлых пород больше прочности массива тех же пород в талом состоянии. Увеличение прочности массива при замерзании происходит за счет увеличения прочности мерзлых пород в образце и за счет смерзания контактов по поверхностям ослабления (наслоению, трещинам, тектоническим нарушениям) и зависит от температуры и криогенных особенностей пород: льдистости (влажности) и криогенной структуры [1, 44].

Так, величина сцепления мерзлых рыхлых несвязных и мягких связных пород более чем в 10 раз превышает величину сцепления тех же пород в талом состоянии. Значения сцепления глин и песков в мерзлом и талом состоянии приведены в табл. 1.

Значения прочности (сцепления в образце) скальных и полускальных пород в талом и мерзлом состояниях приведены в табл. 2.

Нужно отметить, что не всегда прочность пород в образце в мерзлом состоянии больше, чем в немерзлом. Прочность пород в образце в талом и мерзлом состояниях практически не изменяется при влажности образцов менее 0,2 %; это относится к скальным породам, характеризующимся низкой пористостью, т. е. скальные породы в этом случае являются сухими и при отрицательной температуре находятся в морозном (охлажденном) состоянии.

В естественных условиях трещины в массиве многолетнемерзлых пород могут быть заполнены льдом; в зависимости от степени различают сплошное и пятнистое или вкрапленное заполнение.

Результаты лабораторных испытаний на мгновенный сдвиг по трещинам, заполненным льдом, в породах Нерюнгринского каменноугольного месторождения приведены в табл. 3 [45].

Таблица 1

Прочность мерзлых (замороженных) и талых рыхлых несвязных и мягких связных пород в образце

Породы	Мерзлые породы			Талые породы		
	Угол внутреннего трения φ, (...°)	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Влажность W, %	Угол внутреннего трения φ, (...°)	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Влажность W, %
Глина («Якуталмаз»)	30	36,5	–	27	3,5	–
Мерзлые образцы глины («Якуталмаз», длительные испытания)	26	17,0	–	–	–	–
Пески тонкомелкозернистые (Кангаласский угольный разрез)	–	5,5	23	39	0,4	21
Алевриты (Кангаласский разрез)	–	7,8	23	38	0,6	23
Пески тонкозернистые с углем (Кангаласский разрез)	–	9,1	16	–	0,7	16

Таблица 2

Прочность в образце мерзлых и талых скальных и полускальных пород

Породы	Мерзлые породы		Талые породы		Влажность W, %	Месторождения
	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)		
Диабазы	300	36,5	230	36	0,66	ПО «Якуталмаз»
Известняки глинистые	160	37	106	37	1,6	То же
Известняки песчанистые	90	36	58	36	1,4	– » –
Алевролиты	100	30	50	30	6,5	– » –
Мергель с прослоями песчаника	110	32	75	26	4,6	– » –

Окончание табл. 2

Породы	Мерзлые породы		Талые породы		Влажность W, %	Месторождения
	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)	Сцепление в образце C_0, кг/см²	Угол внутреннего трения φ, (...°)		
Мергель	37	35	8	35	12,0	ПО «Якуталмаз»
Песчаник крупнозернистый (цемент железисто-гидрослюдистый)	208	–	160	33	–	Нерюнгринское каменноугольное
Песчаник мелкозернистый (цемент карбонатный)	260	–	250	33	–	То же

Таблица 3

Значения сцепления и углов трения по трещинам

Породы	Сплошное заполнение трещин льдом		Частичное заполнение трещин льдом		Немерзлые породы	
	C', т/м²	φ', (...°)	C', т/м²	φ', (...°)	C', т/м²	φ', (...°)
Уголь	14	10	10	14	2	15
Углистый аргиллит	30	15	10	15	2	15
Углистый песчаник	22	18	10	20	4	20

Таким образом, определение оптимальных параметров уступов и бортов разрезов (карьеров) в многолетнемерзлых породах должно увязываться с температурным режимом массивов слагающих их пород и прогнозом его изменения при открытой разработке.

Устойчивость отдельных уступов в многолетнемерзлых породах определяется прочностью талых пород в связи с деградацией мерзлоты вследствие образования в летнее время зон сезонного и многолетнего протаивания. Устойчивость же бортов разрезов в целом будет определяться прочностью мерзлых пород, так как наиболее слабая поверхность расположена на расстоянии нескольких метров (или десятков метров) от поверхности откоса [44].

Учитывая высокие пластические свойства пород в замороженном состоянии, а также смерзшихся контактов, к расчетам рекомендуется

принимать характеристики прочности мерзлых пород, соответствующие длительному действию нагрузки. Длительная прочность мерзлого массива скальных и полускальных пород составляет примерно 80 % от прочности кратковременной [44].

В случае, когда к расчетам устойчивости бортов, сложенных массивом многолетнемерзлых пород, принимают показатели прочности, характеризующие талый массив, коэффициент запаса следует принимать равным n = 1,00–1,05 [44].

Длительная прочность мерзлого массива рыхлых несвязных и мягких связных пород составляет 0,2–0,3 от кратковременной прочности мерзлого массива.

При островном развитии многолетнемерзлых пород в общем случае расчет устойчивости бортов разрезов может производиться по прочностным характеристикам талых пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом. – Л.: Недра, 1986. – 112 с.

2. Пустовойтова Т. К., Кагермазова С. В. Инженерно-геологическое обеспечение прогноза устойчивости бортов карьеров // Маркшейдерское дело в социалистических странах. – Т. II. – Л.: ВНИМИ, 1988. – С. 250–256.

3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.

4. Гидрогеологические исследования в горном деле / Мироненко В. А., Норватов Ю. А. и др. – М.: Недра, 1976. – С. 142–150.

5. Норватов Ю. А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод. – Л.: Недра, 1988. – 261 с.

6. Фисенко Г. Л., Кагермазова С. В., Пустовойтова Т. К. Классификация массивов горных пород по их склонности к деформациям в бортах угольных карьеров // Совершенствование методов маркшейдерского и гидрогеологического обеспечения горнодобывающих предприятий: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1989. – С. 112–116.

7. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971. – 188 с.

8. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости.– Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.

9. Методические указания по изучению выветривания и осыпания пород в откосах угольных разрезов. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 66 с.

10. Фисенко Г. Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 271 с.

11. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. – М.: Физматгиз, 1960.

12. Голушкевич С. С. Статика предельных состояний грунтовых масс. – М.: Гостехтеориздат, 1957.

13. Сапожников В. Т. Предельно-напряженное состояние слоистой среды // Тр. ВНИМИ. – Сб. № 72. – Л., 1969.

14. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 166 с.

15. Фисенко Г. Л., Мироненко В. А. Дренаж карьерных полей. – М.: Недра,1972. – 185 с.

16. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 127 с.

17. Афанасьев Б. Г., Абрамов Б. К. К вопросу оценки устойчивости откосов при мульдообразном залегании слоев // ФТПРПИ. – 1983. – № 5. – С. 32–36.

18. Афанасьев Б. Г. Методика расчета устойчивости откосов с крутопадающей слоистостью. – Л.: ВНИМИ, 1982. –10 с. / Деп. в ЦНИЭИуголь, 15.06.82., № 2391.

19. Пушкарев В. И. К вопросу оценки напряженно-деформированного состояния и расчета оптимальных параметров откосов в массиве с крутопадающей слоистостью. ФТПРПИ. – 1988. – № 5. – С. 28–33.

20. Сапожников В. Т., Афанасьев Б. Г. Приближенный способ определения параметров устойчивых откосов в массиве с крутопадающей слоистостью // Сдвижение и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1982. – С. 35–39.

21. Сапожников В. Т. Определение параметров бортов с учетом их криволинейности в плане для реальных условий открытых разработок // Тр. ВНИМИ. – Сб. № 77. – Л., 1970.

22. Пушкарев В. И., Сапожников В. Т. Предельное равновесие откосов круглых выемок // Тр. ВНИМИ. – Сб. № 56. – Л., 1966. – С. 159–173.

23. Пушкарев В. И. Предельные контуры бортов глубоких карьеров круглых в плане // Тр. ВНИМИ. – Сб. № 77. – Л., 1970. – С. 126–133.

24. Инструкция по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий. – Л.: ВНИМИ, 1977. – 55 с.

25. Мочалов А. М. Оценка устойчивости бортов карьеров по наблюдаемым деформациям // Совершенствование методов расчета сдвижений и деформаций горных пород, сооружений и бортов разрезов при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1985.– С. 42–52.

26. Мочалов А. М. Прогнозирование деформаций прибортовых массивов карьеров по результатам наблюдений и моделирования откосов // Изучение и прогноз сдвижений и деформаций горных пород, гидрогеомеханических процессов при разработке месторождений подземным и открытым способами: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1991. – С. 119–124.

27. Фисенко Г. Л., Мочалов А. М., Веселков В. И. Исследование деформационных свойств горных пород применительно к оценке устойчивости бортов карьеров // Тр. ВНИМИ. – Сб. № 89. – Л., 1973. – С. 164–172.

28. Фисенко Г. Л., Пустовойтова Т. К. Определение предельного сопротивления сдвигу группы слоев горных пород с различными деформационными характеристиками // Тр. ВНИМИ. – Сб. № 70. – Л., 1968. – С. 130–135.

29. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – М.: НПО ОБТ, 1992. – 109 с.

30. Галустьян Э. Л. Управление геомеханическими процессами в карьерах. – М.: Недра, 1980. – 206 с.

31. Галустьян Э. Л. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Недра, 1992. – 272 с.

32. Фисенко Г. Л., Ревазов М. А., Галустьян Э. Л. Укрепление откосов в карьерах. – М.: Недра, 1974. – 206 с.

33. Способ проведения разрезной траншеи / А. с. № 912932. – Опубл. в БИ. – 1981. – № 47 / Авторы: Г. Л. Фисенко, Э. Л. Галустьян, А. М. Мочалов и др.

34. Способ проведения разрезной траншеи заходками / А. с. № 1145139. – Опубл. в БИ. – 1985. – № 10 / Авторы Фисенко Г. Л., Галустьян Э. Л.

35. Способ заоткоски уступов / А. с. № 752001. – Опубл. в БИ. – 1980. – № 28 / Автор Галустьян Э. Л.

36. Фисенко Г. Л., Ермаков И. И. Определение высоты отвала по сопротивлению сжатию образцов пород // Охрана сооружений от вредного влияния горных работ и расчет устойчивости бортов угольных разрезов: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1983. – С. 60–64.

37. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. (В 2-х ч.). –Л.: ВНИМИ. – Ч. I, 1989. – 56 с.; ч. II, 1990. – 50 с.

38. Афанасьев Б. Г., Ким Д. Н. Условия устойчивости откосов при наличии кососекущих поверхностей ослабления. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 10 с. / Деп. в ЦНИЭИуголь, 30.08.86, № 3859-уп.

39. Терминологический словарь по маркшейдерскому делу. – М.: Недра, 1987. – 190 с.

40. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / Акимов А. Г., Земисев В. Н. и др. – М.: Недра, 1970. – 224 с.

41. Структура и прочность подработанного массива и влияние их на устойчивость бортов карьера при комбинированном способе разработки / Сапожников В. Т., Пушкарев В. И., Голицын В. В. и др. – В кн.: Современные проблемы механики горных пород. – Л.: Наука, 1972. – С. 81–84.

42. Бряков С. П. Исследования деформаций и устойчивости бортов карьеров при комбинированном способе разработки (на примерах месторождений Кузнецкого и Челябинского бассейнов) / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛГИ им. Г. В. Плеханова, 1975. – 27 с.

43. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – М.: Недра, 1981. – 288 с.

44. Методическое пособие по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 102 с.

45. Пустовойтова Т. К., Гурин А. Н., Кагермазова С. В. Устойчивость откосов в массивах многолетнемерзлых пород // Сдвижение земной поверхности и устойчивость откосов: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1980. – С. 101–105.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие положения 3
1. Обозначения 6
2. Факторы, влияющие на устойчивость бортов разрезов 8
3. Обеспечение устойчивости откосов на угольных разрезах 13
4. Основные понятия и термины, используемые при оценке устойчивости откосов на разрезах 23
5. Методы определения максимальных параметров устойчивых бортов разрезов 30
5.1. Методы расчета устойчивости откосов горных пород 30
5.2. Расчет устойчивости откосов при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления 35
5.3. Расчеты устойчивости бортов в слоистой толще 38
5.4. Расчет параметров устойчивых бортов с учетом их криволинейности в плане 49
6. Выбор расчетных показателей 56
6.1. Исходные физико-механические характеристики пород 56
6.2. Выбор коэффициента запаса устойчивости откоса 59
7. Оценка устойчивости бортов по их деформациям 63
7.1. Оценка устойчивости бортов разрезов по наблюдаемым деформациям 63
7.2. Расчет сил, стабилизирующих активно развивающиеся оползни в однородных массивах слабых пород 66
7.3. Прогноз деформаций прибортовых массивов нетрещиноватых горных пород по их деформационным свойствам 67
8. Инженерно-технические мероприятия, повышающие устойчивость бортов разрезов 70
8.1. Схемы вскрытия и конструкции бортов разрезов в лежачем боку, рациональные по условию устойчивости откосов 70
8.2. Выбор эффективных инженерно-технических мероприятий в реальных горно-геологических условиях 75
9. Устойчивость отвалов 78
9.1. Определение предельных параметров внешних и внутренних отвалов 78
9.2. Подрезка внутренних и внешних отвалов на прочном основании 85
9.3. Разгрузка автосамосвалов под откос отвала 86
9.4. Устойчивость отвалов, нагруженных горнотранспортным оборудованием 87
Приложение 1. Определение предельных параметров устойчивых бортов разрезов и уступов в однородном массиве горных пород (при отсутствии неблагоприятно ориентированных естественных поверхностей ослабления) 90
Приложение 2. Расчет устойчивости плоских откосов в условиях, когда сопротивление сдвигу не может быть представлено раздельно показателями C и φ (пластичные породы) 100
Приложение 3. Определение максимальной высоты устойчивых плоских откосов при заоткоске их по наслоению ($\alpha = \beta$) 102
Приложение 4. Расчет максимальных параметров устойчивых плоских откосов при наклонном и крутом падении слоев с падением их в сторону выработанного пространства при условии $\alpha < \beta < 70°$ 109
Приложение 5. Определение максимальных параметров устойчивых откосов при пологом залегании естественных поверхностей ослабления при $\beta < \varphi'$, $\beta < 25°$ 127
Приложение 6. Схема оценки влияния на устойчивость бортов криволинейности контура разреза в плане при наклонном и крутом залегании слоев пород . . . 137
Приложение 7. Расчеты устойчивости откосов в нетиповых горно-геологических условиях 140
Приложение 8. Схемы деформирования прибортового массива горных пород 144
Приложение 9. Приближенная оценка состояния устойчивости бортов разрезов по наблюдаемым смещениям однородных прибортовых массивов 147

Приложение 10. Примеры прогноза смещений земной поверхности прибортовой зоны разреза 149
Приложение 11. Схема проходки разрезной траншеи спаренными драглайнами 153
Приложение 12. Схемы вскрытия и разработки мульд, благоприятные для устойчивости рабочих бортов 155
Приложение 13. Схемы заоткоски уступов 157
Приложение 14. Способы укрепления откосов 159
Приложение 15. Классификация горных пород по дренируемости 162
Приложение 16. Расчетные параметры устойчивых отвалов для типовых схем отвалообразования 163
16.1. Устойчивость отвалов прочных пород на прочном основании 163
16.2. Устойчивость отвалов на наклонном слоистом основании 163
16.3. Устойчивость отвалов слабых пород на слабом основании 165
16.4. Подрезка внутренних и внешних отвалов на прочном основании . . . 166
16.5. Разгрузка автосамосвалов под откос отвала 166
16.6. Расчет устойчивости гидроотвала 170
16.7. Примеры расчета устойчивости отвалов, нагруженных тяжелым горно-транспортным оборудованием 172
Приложение 17. Физико-механические свойства горных пород угольных месторождений 176
Приложение 18. Физико-механические свойства отвальных пород 189
Приложение 19. Оценка устойчивости уступов и бортов, подработанных подземными горными работами 195
Приложение 20. Устойчивость откосов в многолетнемерзлых породах 200
ЛИТЕРАТУРА 204

Редактор *Е. М. Платонова*
Технические редакторы *Д. Л. Лукин, А. Г. Образцова*
Корректор *М. А. Тарасенко*
Оригинал-макет выполнен *С. Ю. Овчаренко*
при участии *Н. А. Мустафиной, С. А. Филимоновой*

gost.e-ecolog.ru

Сдано в набор 10.12.98 г. Подписано к печати 20.04.99 г.
Формат 60×90/16. Печ. л. 13. Тираж 300. Заказ 3.
Печатный цех ВНИМИ