

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Под коэффициентом устойчивости уступа или борта карьера понимают отношение суммы удерживающих сил к сумме сдвигающих сил:

$$n = \frac{\sum T_{\text{уд}}}{\sum T_{\text{сд}}}$$

Сдвигающие силы, действующие вдоль поверхности скольжения, силы внешние: объемные, обусловленные гравитационными, сейсмическими и фильтрационными силами, или поверхностные, представленные внешними нагрузками на откос, гидростатическим давлением, а также другими силами, приложенными к призме возможного обрушения.

Удерживающие силы, действующие вдоль поверхности скольжения— силы внутренние, обусловленные сопротивлением горных пород деформированию под действием внешних сил.

Внутренние силы всегда возникают как реакции на действие внешних сил, поэтому их величина равна внешним силам, распределенным по любой площадке поверхности скольжения.

Максимальная величина внутренних сил ограничивается прочностью материала, в частности сопротивлением сдвигу.

Коэффициент устойчивости откосов при криволинейной поверхности скольжения выражают формулой

$$n = \frac{f \sum N_i + \sum l_i c_i}{\sum T_i}$$

где $f = \operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент трения по основанию призмы возможного обрушения;

N_i, T_i — соответственно нормальная и касательная составляющие массы i -го блока пород, включая и дополнительную внешнюю нагрузку;

l_i — длина отрезка поверхности скольжения i -го блока шириной 1 кв.м, на который действует сила сцепления c_i .

При плоской поверхности скольжения коэффициент запаса устойчивости откоса определяют по формуле

$$n = \frac{fN + cL}{T}$$

Согласно рекомендациям ВНИМИ величина коэффициента запаса обуславливается типом откоса и временем его стояния в стационарном положении.

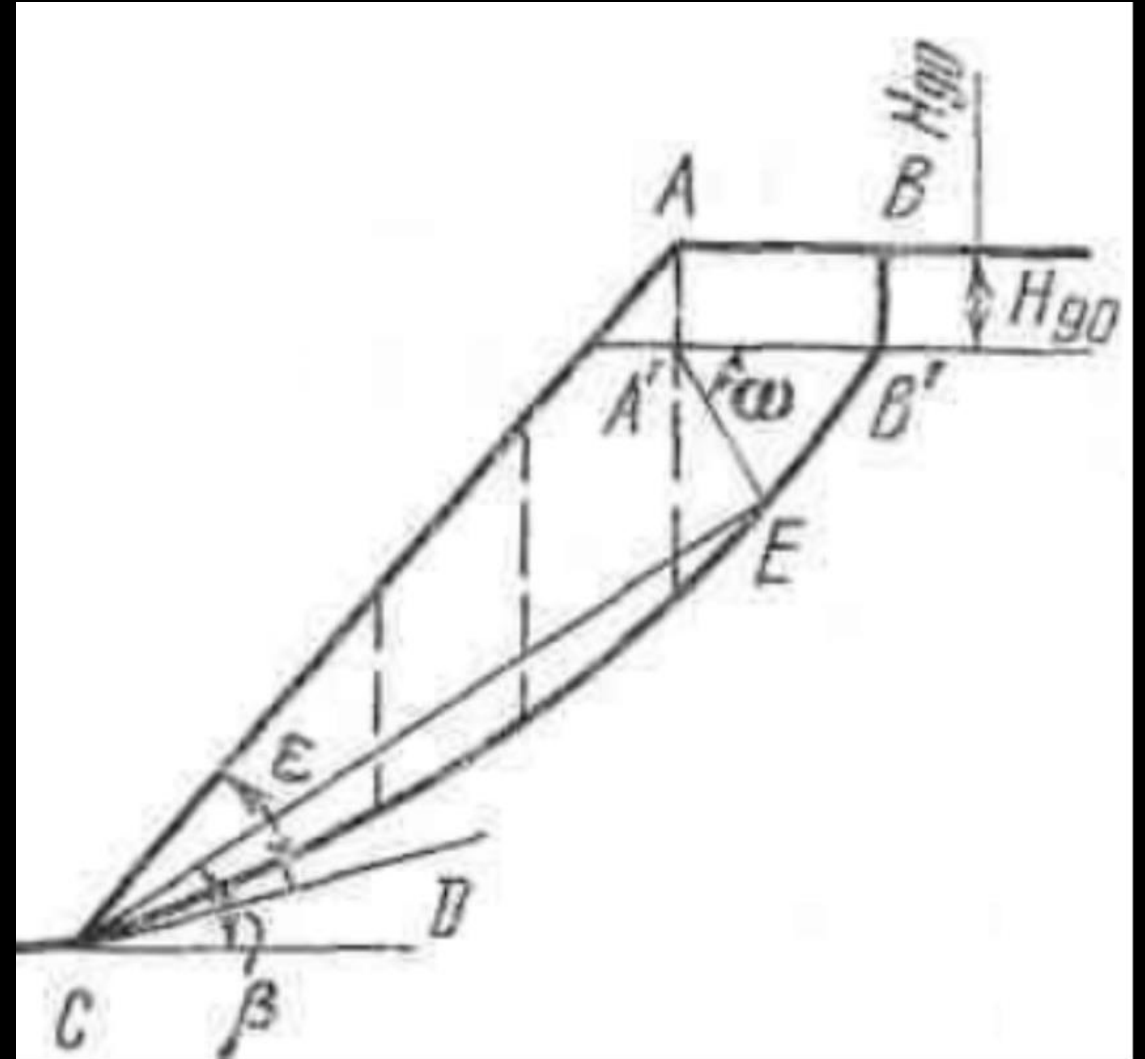
Рекомендуемое значение коэффициента запаса¹ в различных геологических условиях

Общая характеристика пород, тип откоса	До 5 лет	Более 5 лет
Нерабочий борт, глинистые или трещиноватые	1,2	1,3
То же, преобладание песчаных и гравелистых	1,15	1,2
Рабочий борт	1,2	—
Рабочие уступы и отвалы	1,2	—
Нерабочие уступы, глинистые и трещиноватые	1,5	2,0
То же, песчаные и гравелистые	1,15	1,2

¹ При необходимости учитывают: сейсмичность района, дополнительное увлажнение пород, увеличение нагрузки и другие дополнительные факторы.

**Криволинейная (круглоцилиндрическая)
поверхность скольжения.**

Параметры потенциальной призмы обрушения определяют графически, а величину коэффициента устойчивости откоса — аналитически. Задачи по определению степени устойчивости откосов решают с заданными параметрами. Поверхность скольжения не должна иметь резких изломов, так как взаимодействие соседних блоков не учитывается. Монотонность изменения кривизны поверхности скольжения должна обеспечивать сдвиг единой призмы обрушения по плоской, ломаной, криволинейной поверхностям скольжения. Деление на блоки осуществляют условно, для упрощения расчета.



Призму обрушения разбивают на ряд вертикальных блоков, в пределах которых криволинейный участок поверхности скольжения можно заменить плоским, не допуская при этом большой погрешности. Степень устойчивости откоса определяют как отношение удерживающих $T_{уд}$ сил к сдвигающим $T_{сд}$.

$$n = \frac{\sum T_{уд}}{\sum T_{сд}}$$

Если призма возможного обрушения включает m блоков, то степень устойчивости откоса:

$$n = \frac{g \cdot P_1 \cos \beta_1 \cdot \tan \varphi_1 + c_1 \cdot L_1 + \dots + g \cdot P_m \cos \beta_m \cdot \tan \varphi_m + c_m \cdot L_m}{g \cdot (P_1 \cdot \sin \beta_1 + \dots + P_m \cdot \sin \beta_m)}$$

Где P_i — масса i -го породного блока ($i=1 \dots M$);

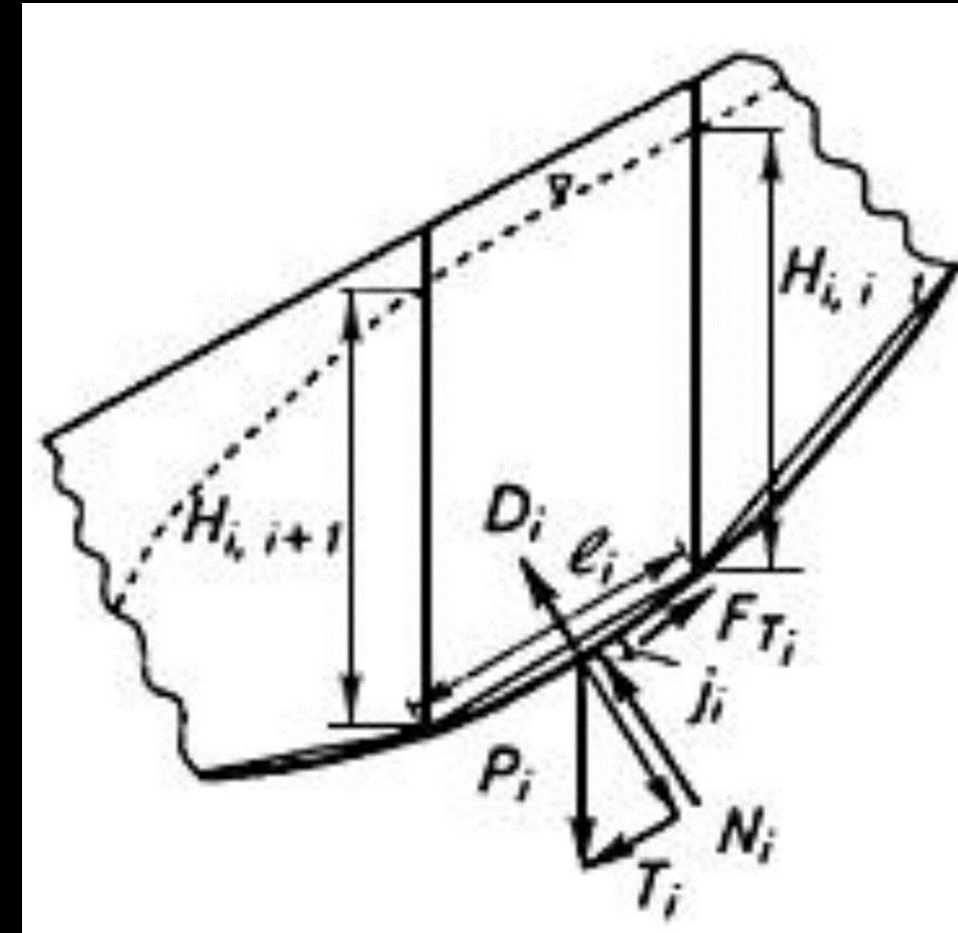
β_i — угол наклона поверхности скольжения в пределах i -го блока;

L_i — длина поверхности скольжения в пределах i -го блока;

c_i — удельное сцепление по поверхности ослабления i -го блока,

φ_1 — угол трения по поверхности ослабления i -го блока.

Формулу можно использовать для расчетов устойчивости откосов плоских и выпуклых, в однородных породах, слоистых породах висячего бока, при горизонтальном и мульдообразном залегании слоев; со ступенчатым профилем; при наличии в основании борта рыхлых глинистых пород; в многослойной среде с различными характеристиками пород в слоях.

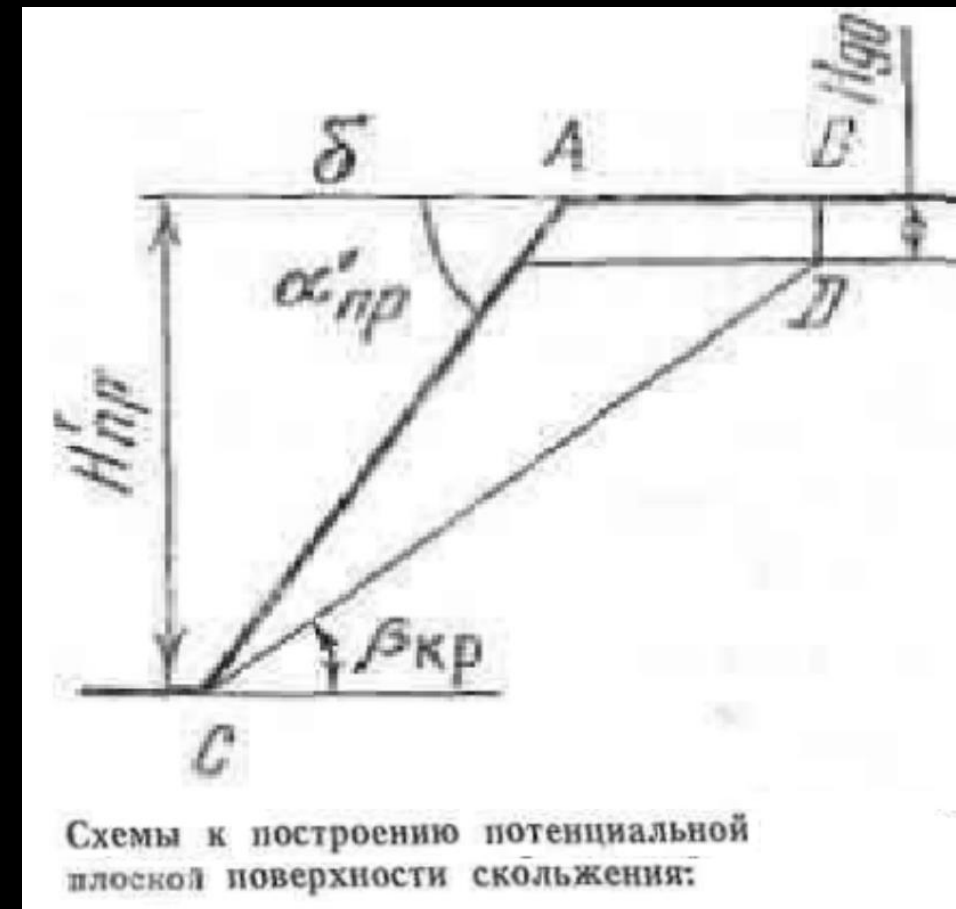


ПЛОСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ

Плоская поверхность скольжения — частный случай криволинейной поверхности. Так как $m=1$, формула имеет вид

$$n = \frac{g \cdot P \cdot \cos \beta \cdot \tan \varphi + c \cdot L}{g \cdot (P \cdot \sin \beta)}$$

Формулу используют для расчета устойчивости уступов и бортов карьеров, ослабленных активными контактами, падающими согласно с откосом и подрезаемыми им.



РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ МЕТОДОМ МНОГОУГОЛЬНИКА СИЛ

Призматическая поверхность скольжения.

При применении графических методов расчета в одних случаях используют параметры потенциальной призмы обрушения, к которой приложены векторы действующих сил (метод многоугольника сил), в других – исходят из характеристик сопротивления пород сдвигу. Первый применяют преимущественно в нарушенных массивах, когда потенциальная поверхность скольжения имеет сложную форму (включает криволинейные, прямолинейные участки и резкие изломы). Расчет устойчивости бортов карьеров этим методом заключается в построении многоугольника сил, действующих на отдельные блоки призмы возможного обрушения. Второй применяют в однородных породах

Рассмотрим более простой случай - сдвиг призмы обрушения по двум плоским поверхностям скольжения с различными углами наклона (α). В процессе деформирования откоса призма обрушения делится на два блока – призму активного давления ABB_1CA_1 и призму упора $A_2ДС$. Следует отметить, что сдвиг возможен только при условии образования поверхности скола AA_1C .

На блок 1 действуют силы: P_1 — масса блока; $c'L_1$ - сцепление по поверхности контакта B_1C ; cl — сцепление по поверхности скола A_1C ; R_1 — реакция основания блока 1; E — реакция блока 2 на давление блока 1.

На блок 2 действуют силы: P_2 — масса блока; $c'L_2$ — сцепление по контакту CD ; R_2 — реакция основания блока 2; E_1 — давление блока 1 на блок 2.

Построение многоугольника сил начинают с блока 1. Вначале необходимо проверить возможность образования поверхности скола. Для этого выберем масштаб векторов сил и построим многоугольник сил для блока 1. Вектора сил, начиная с P_1 , проведем параллельно направлению их действия в массиве.

На рисунке (б) изображен многоугольник сил для случая, когда поверхность скола образоваться не может, а на рисунке (в)— когда скол возможен. На рисунке (г) приведен полный многоугольник сил. Его замыкание свидетельствует об устойчивости откоса с тем коэффициентом запаса, который введен в характеристики пород.

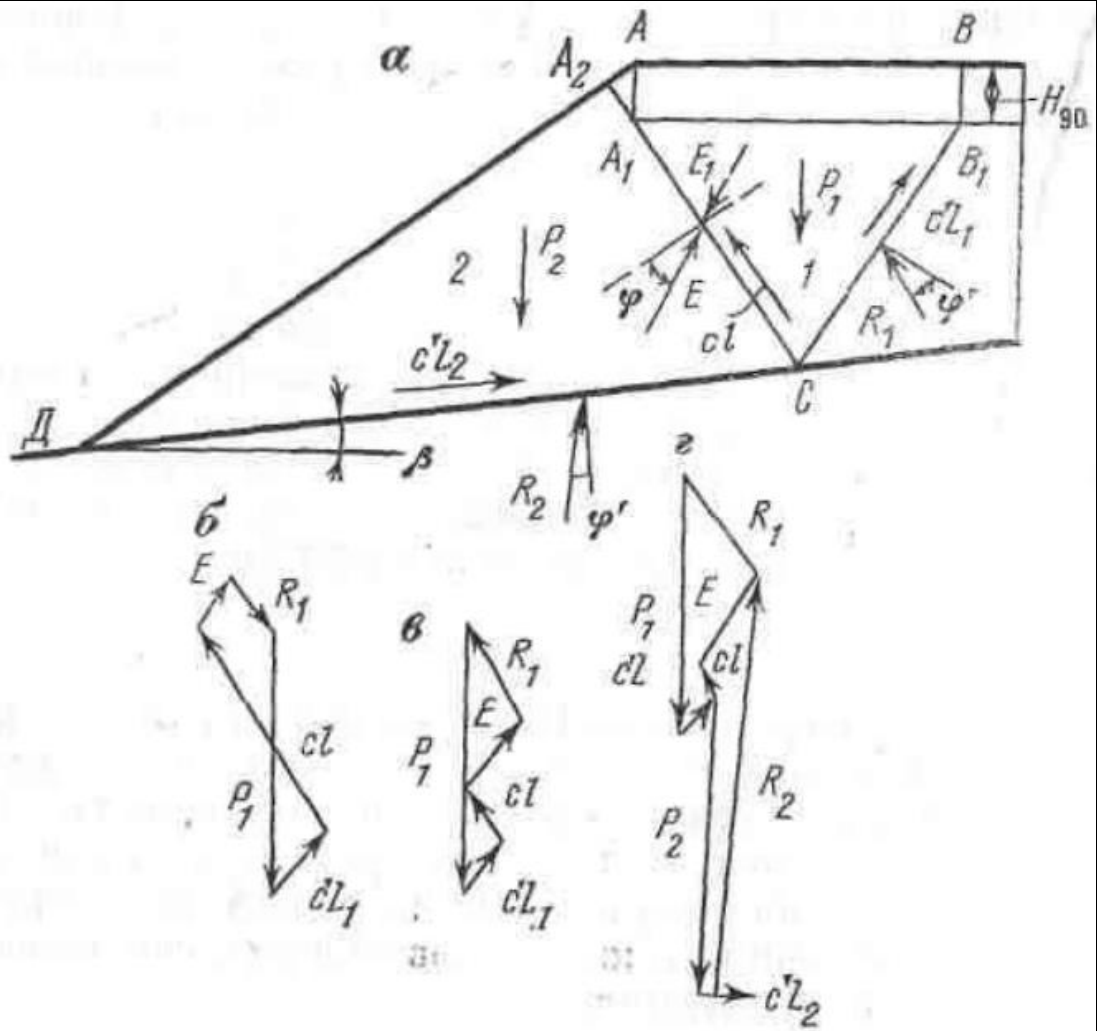
Результаты расчетов устойчивости откосов методом многоугольника сил могут быть следующие:

многоугольник сил замкнулся точно — коэффициент устойчивости $n=1$;

многоугольник сил разомкнут — $n<1$;

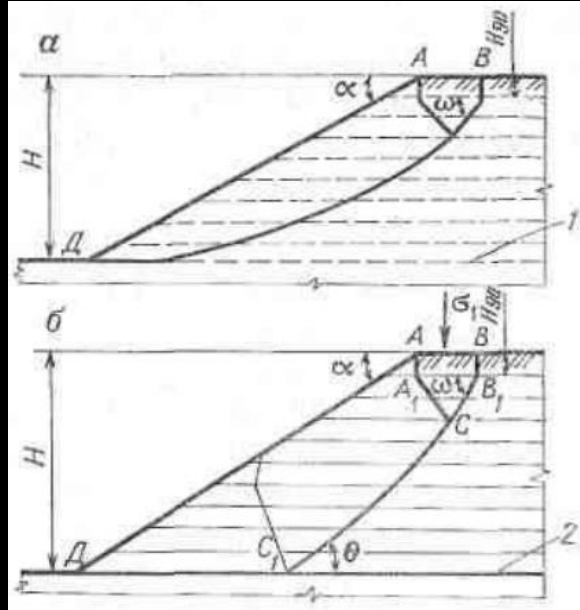
многоугольник сил перезамкнулся — $n>1$.

Если окажется, что борт траншеи неустойчив ($n<1$), то необходимо изменить его параметры (уменьшить высоту или угол откоса) и повторить расчеты.

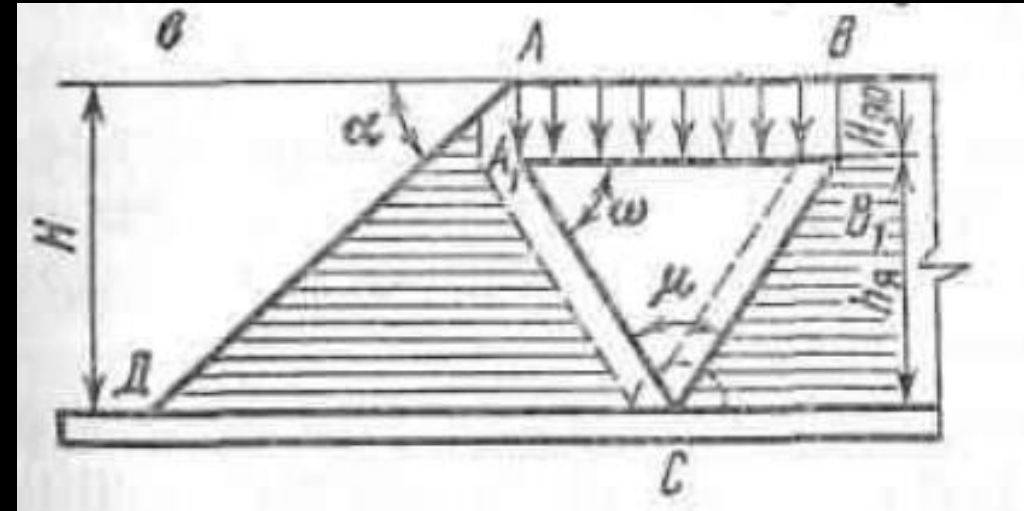


Призматическую форму поверхности скольжения принимают при наличии пересекающихся поверхностей ослабления, либо одной поверхности ослабления, сдвиг по которой вызывает образование в массиве дополнительных поверхностей скольжения. По наиболее благоприятное условие для образования такой поверхности — наличие в основании откоса слабого слоя или контакта. В зависимости от напряженного состояния массива в целом и вдоль поверхностей ослабления возможны три варианта деформирования борта.

В предельное состояние переходят:
массив в целом, все контакты нейтральны (рис. а);
массив в целом и пассивный контакт в основании борта (рис. б);



вначале породы в основании гравитационного клина, а после этого срабатывает активный контакт (рис. в).



Метод многоугольника сил применяют во втором и третьем вариантах. Расчет аналогичен приведенному выше с той лишь разницей, что криволинейную поверхность скольжения в призме активного давления заменяют плоской и получают два блока.

Анализ происшедших на карьерах деформаций бортов и отвалов подтверждает большую вероятность деформаций по схеме третьего варианта, с формированием мощного гравитационного клина.

Правильность выбора схемы деформирования откоса зависит от надежности прогноза длительной прочности пород вкрест слоистости и по контактам. При формировании гравитационного клина в водонасыщенных глинистых породах может развиваться поровое давление, которое значительно снизит характеристики сопротивления сдвигу в области примыкания клина к призме упора.

Метод многоугольника сил применяют только при условии образования поверхности скола между призмами активного давления и упора. Это условие зависит не только от механических характеристик и структуры пород, но и угла наклона основания призмы упора к горизонту. Если основание борта на всем протяжении имеет угол наклона $\beta > \phi$, то будет происходить общий сдвиг. Ориентировочно считается, что призма упора сохраняет устойчивость при углах $\beta \geq 10^\circ$. Сдвиг ее возможен только в результате избыточного давления со стороны оседающего клина. Деформации возможны и в виде надвигов, когда поверхность ослабления падает в массив под углами $\beta \leq -10^\circ$. Наличие в массиве поверхностей ослабления совпадающих с положением боковых поверхностей клина, способствует активизации процесса деформирования (например, висячем боку при крутом падении слоев или наличии тектонических нарушений). Криволинейно плоская поверхность скольжения. Если поверхность скольжения в верхней части борта проходит по однородным породам, а в нижней — по слабому контакту рассчитать устойчивость откоса можно методом многоугольника сил, заменив криволинейные поверхности в основании блоков плоскими.