

Об инженерно-геологической оценке угрожаемости обвальных явлений

Доц. В. Д. Ломтадзе

История эксплуатации горных дорог показывает, что обвальные явления лишь в редких случаях составляют отдельные эпизоды, обычно же они периодически повторяются и создают постоянную угрозу нормальной эксплуатации таких дорог. Выявление участков, угрожающих обвалами и вывалами, и оценка степени их угрозы для пути является одной из первостепенных задач как при проектировании различных мероприятий по защите существующих дорог, так и при проектировании новых. Однако какой-либо объективной и однообразной методики для оценки угрожаемости скально-обвальных явлений до сих пор не разработано.

Настоящая работа представляет собой попытку дать примерную методику оценки степени угрожаемости обвальных явлений для дорог. Учитывая сложность решения рассматриваемого вопроса и его новизну, эта методика не может считаться окончательно разработанной, однако она уже сейчас может положить конец существующему разнообразию и дать объективный и единообразный подход к этому вопросу.

Определение терминов. Обвальные явления в основном охватывают два вида деформаций: *вывалы* и *обвалы*.

Оба вида деформаций проявляются в перемещении масс горных пород и в этом их сходство. Однако по своим размерам и условиям движения масс горных пород они отличаются. Под термином *вывал* понимается обрушение отдельных глыб и камней из откосов выемок, полувыемок и крутых или отвесных склонов, сложенных скальными породами. Это определение хотя и страдает, может быть, некоторой условностью, тем не менее оно отчетливо определяет место и характер явления, а также наличие скальных пород, участвующих в их образовании.

Под термином *обвал* понимается обрушение масс горных пород, сопровождающееся скатыванием, опрокидыванием и раскалыванием как отдельных глыб и камней, так и крупных выступов горных пород из скальных обнажений, расположенных на нагорном склоне. Таким образом, у обвалов, в отличие от вывалов, перемещение масс горных пород начинается с нагорного склона, а не из откосов выемок и полувыемок. Кроме того, при вывалах массы горных пород от места обрушения (отрыва) до места падения, в большинстве случаев, преодолевают путь

лишь по воздуху. При обвалах этот путь массами горных пород преодолевается качением по нагорному склону, сопровождающимся некогорой сортировкой каменного материала. В отличие от сортировки в водных потоках, сортировка обломочного материала при его транспортировке во время обвалов происходит иначе, т. е. более крупные обломки, обладающие большой живой силой, уносятся дальше от места обрушения, чем более мелкие. В результате путь обвалов по нагорному склону бывает фиксирован как отдельно лежащими обломками, так и настоящими каменными реками.

При обвалах обломочный материал, передвигаясь по нагорному склону, преодолевает сопротивление качению. По мере накопления на склоне этого материала сопротивление качению возрастает. Поэтому в каменных реках обломочный материал сортируется не только от «истока» к их «устью», но и в вертикальном разрезе, т. е. с поверхности накапливается более крупный материал, а внизу более мелкий. Кроме всех прочих явлений, сопровождающих перемещение масс горных пород при обвалах, они в своем движении увлекают за собой как отдельные глыбы, неустойчиво лежащие на склоне, так и сбивают крупные выступы горных пород, в результате чего обвалы обычно имеют более массовый характер, чем вывалы.

Оценка угрожаемости вывалов. При вывалах отдельные глыбы и камни, попадая на путь, разрушают верхнее его строение и искусственные сооружения, вызывая перерывы в движении поездов, а иногда и катастрофы. В тех случаях, когда между полотном дороги и основанием откосов выемок и полувыемок имеется «улавливающая» площадка достаточной ширины, вывалы для пути, как это показала практика эксплуатации некоторых обвальных участков дорог, угрозы не составляют. Поэтому при оценке угрожаемости вывалов необходимо установить: 1) возможность образования вывалов и 2) возможность попадания их на путь.

Главными причинами, обуславливающими образование вывалов, являются процессы выветривания, действующие на трещиноватые скальные породы, обнаженные в откосах выемок и полувыемок.

Агентами выветривания, обычно наиболее интенсивно действующими в климатических условиях средних и северных широт нашего Союза, являются агенты физического выветривания, т. е. вода и резкие колебания температуры. Из геологических условий, способствующих развитию вывалов, первостепенное значение имеют: 1) состав и сложение пород, 2) степень их трещиноватости и выветрелости. Внешними признаками для относительной оценки устойчивости горных пород, кроме трещиноватости, значение которой разбирается ниже, являются следующие: ¹

Благоприятные признаки. 1. Сравнительно незначительное содержание слюды, кристаллы которой равномерно рассеяны в породе. 2. Большое содержание кварца. 3. Свежесть полевых шпатов. 4. Равномернозернистая, мелкокристаллическая и среднекристаллическая структура. 5. Массивное сложение. 6. Слабое развитие или отсутствие вторичных процессов в породах. 7. Цемент устойчивый (у осадочных пород) — кварцевый, известковый, кварцево-известковый и т. д.

Неблагоприятные признаки. 1. Значительное содержание слюды. 2. Небольшое содержание кварца. 3. Выветрелость полевых

¹ Акад. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Петрография, изд. 1933 г.

шпатов. 4. Крупнокристаллическая или грубо-порфировая структура. 5. Четко выраженная слоистость и сланцеватость. 6. Значительное развитие вторичных процессов. 7. Цемент осадочных пород слабый — глинистый.

Кроме состава и сложения горных пород на формирование вывалов особенно влияет трещиноватость пород.

В тех случаях, когда породы в откосах разбиты редкими трещинами отдельности, вывалы представляют собой особенно значительную угрозу вследствие большой разрушающей силы крупных падающих глыб. При этом на образование вывалов существенное влияние оказывает наклон поверхности трещин. Трещины, наклонные к основанию откоса (в сторону к пути), наиболее благоприятны для образования вывалов; трещины, наклонные в глубь откоса (от пути), обуславливают заклинивание блоков горных пород и создают менее благоприятные условия. При большой раздробленности пород, т. е. при большом количестве пересекающихся трещин на единице площади откоса, отдельности образуются мельче и иногда достигают размеров щебенки. В этих случаях образуются осыпи, создающие шлейфы или конусы в основании откосов. Таким образом, осыпи, в отличие от вывалов, характеризуются только небольшими размерами отдельностей, образующихся вследствие наличия густой сети пересекающихся трещин.

Для однообразного подхода к оценке степени трещиноватости пород на различных участках, можно рекомендовать следующую классификацию, согласно которой должны выделяться участки четырех категорий:

1. Участки, где породы значительно раздроблены, трещиноваты и образуют вывалы, щебенисто-дресвяные осыпи и каменные россыпи. В откосах имеют от 2—3 до 5—6 ясно выраженных трещин на 1 пог. м высоты откоса (глубины выемки).
2. Участки, где породы разбиты трещинами средней густоты и образуют вывалы и обвалы. В откосах имеют не более 2—3 ясно выраженных трещин на 1 пог. м высоты откоса.
3. Участки, где породы разбиты редкими трещинами и дают крупные, весьма опасные, обвалы и вывалы. В откосах имеют не более 1—2 трещин на 2—3 пог. м высоты откоса.
4. Участки, где явно выраженная трещиноватость пород отсутствует и их устойчивость большей частью зависит от их состава и сложения.

Трещиноватость, способствуя формированию вывалов и обвалов, влияет также на проникновение процессов выветривания в глубину горных пород и на образование зоны выветривания. На участках, отличающихся большой раздробленностью пород, мощность зоны выветривания значительно большая, нежели на участках, сложенных породами, разбитыми редкими трещинами или не имеющими явно выраженных трещин.

Однако следует учесть, что степень трещиноватости особое значение имеет для пород кристаллических и меньшее для осадочных. На устойчивость пород осадочных и некоторых метаморфических, например, тонкослоистых и гравийных с глинистым цементом песчаников, некоторых разностей гнейсов и т. д., трещиноватость также оказывает влияние, однако, решающее значение для них в этом отношении имеет их сложение и состав цемента.

Различие это проявляется в том, что выветривание у пород кристаллических, т. е. «устойчивых» в данных климатических условиях, начинается с образования мельчайших трещин, изменения окраски (до более светлой, пестрой), в расширении открытых и закрытых трещин

и т. п. При достижении более полной степени выветрелости, такие породы приобретают однообразный пестрый оттенок окраски; в сложении их наблюдаются отдельные обломки различных размеров и формы, плиты и т. д., уложенные «насухо». Под действием фильтрующей воды или резких колебаний температуры, находящиеся в таком состоянии скальные породы способны давать отдельные вывалы или целые группы их.

У пород осадочных и некоторых метаморфических, т. е. «слабо устойчивых» в данных климатических условиях, выветривание обычно начинается с более полного их разрушения, т. е. идет с разрушением цемента, сложения, с образованием дресвы, мелкой щебенки и т. д. При более полной степени выветрелости, породы «слабые» превращаются в песчано-глинистую дресвяную массу, способную давать осыпи, а при насыщении водой осывы или сплывы.

При оценке возможности попадания вывала на путь надлежит определить ширину существующей «улавливающей» площадки в основании откоса и сравнить ее с необходимой, т. е. следует определить значение *коэффициента угрожаемости*, под которым понимается отношение ширины существующей площадки в основании откосов к ширине площадки необходимой. Если *коэффициент угрожаемости* больше единицы, то попадание вывала на путь мало вероятно. Если коэффициент угрожаемости меньше единицы, то попадание вывала на путь неизбежно.

Для определения необходимой ширины «улавливающей» площадки (при современном положении изученности данного вопроса) можно исходить из следующих соображений: при обрушении камня из строго вертикального откоса он должен упасть к основанию откоса; разрушающая сила вывалившихся масс горных пород будет тем больше, чем с большей высоты H произойдет вывал, так как только в зависимости от последней изменяется скорость свободного падения любого тела.

Естественно, что в каждом конкретном случае наибольшей конечной скоростью, а следовательно, и наибольшей разрушающей силой будут обладать вывалы, обрушившиеся из самой высокой части откоса, т. е. с бровки откоса. В зависимости от геологических условий, вывалы возможны из различных частей откоса, но при определении необходимой ширины улавливающей полки следует принимать случаи наиболее критические, т. е. предполагать возможность вывала из наиболее высоких частей откоса, например, с бровки и т. д.

Так как строго вертикальные откосы составляют обычно исключение, а большим распространением пользуются откосы, изобилующие неровностями, выступами, со средней крутизной от 50 до 80° , то падающие камни при вывалах неизбежно будут ударяться о различные выступы в откосе и изменять свое свободное падение на падение по вынужденной траектории, что создает отлет камня в уровне дорожного полотна на расстоянии x .

Расстояние x и определит ширину улавливающей площадки. При этом заметим, что при вывалах отдельных обломков, отлеты их от откосов происходят на большее расстояние, чем при массовых вывалах, образующих конусы у основания откосов. Поэтому при определении необходимой ширины улавливающей площадки в основании откосов, следует исходить из падения отдельных камней, встречающихся в практике в большем количестве, чем массовые обрушения откосов.

Схема обозначений элементов для определения ширины улавливающей площадки показана на рисунке 1.

Согласно этой схеме и элементарной формуле теоретической механики, величина $x = V \sin \beta t$, а величина $y = V \cos \beta t \frac{gt^2}{2}$.

Решая последнее уравнение относительно t и подставляя результат в формулу, определяющую x , получим:

$$x = \frac{V^2 \sin \beta}{g} \left[\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{2gH}{V^2}} - \cos \beta \right].$$

Скорость свободного падения камня в момент перед ударом о выступ, равная $V = \sqrt{2g(H-y)}$, уменьшится до величины $V = \cos \beta \sqrt{2g(H-y)}$ за счет поглощения нормальной составляющей скорости свободного падения, жесткости удара, вызывающей частичное разрушение как камня, так и выступа скалы.

Подставляя в вышеприведенную формулу значение V , получим:

$$x = \sin^2 \beta (H-y) \left(\sqrt{\cos^4 \beta + \frac{y}{H-y}} - \cos^2 \beta \right).$$

Эта формула, выведенная инж. Е. К. Гречищевым для расчета исходных величин при проектировании улавливающих защитных сооружений, может быть применена также для определения возможности попадания вывала на путь при инженерно-геологической оценке угрожаемости данных явлений.

Изменяя значение y и угол β , получим, что максимальный отлет камня при вывале будет равен $0,35 H$ и произойдет тогда, когда камень на высоте $0,63 H$ ударится о выступ откоса, имеющий наклон поверхности, воспринимающей удар, в 58° от вертикали.

Вышеприведенная формула инж. Е. К. Гречищева для практического пользования довольно громоздка, поэтому им для определения величины x предложена также другая формула. Согласно последней устанавливается зависимость дальности отлета камня от высоты и крутизны откоса через так называемый коэффициент отлета K , выражающий отношение дальности отлета x к высоте откоса H .

Определение значения коэффициентов отлета для 94 вывалов, имеющих место на одном из обвальных участков у нас в Союзе, показало, что коэффициент отлета колеблется от 0,50 до 0,10. Учитывая эти данные, а также данные отлетов, полученные при опытах на моделях, инж. Е. К. Гречищев рекомендует для первого приближения принять некоторые средние величины, т. е. для вертикальных откосов $K = 0,30$, а для откосов крутизной в 45° $K = 0,20$.

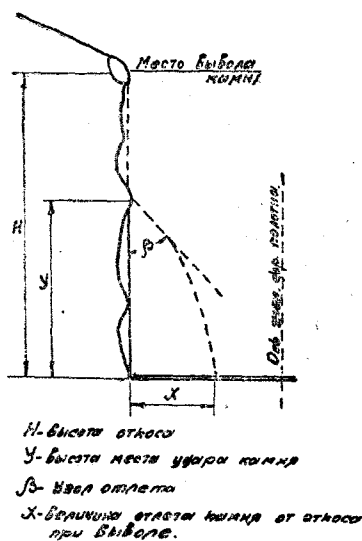


Рис. 1.

Принимая данные условия, пользуясь уравнением прямой в общем виде

$$\alpha = bx + K; b = \operatorname{tg} x = \frac{90 - 45}{0,30H - 0,20H}$$

и решая его относительно величины x , инж. Е. К. Гречищев рекомендует для ее определения пользоваться формулой:

$$x = \frac{\alpha + 45}{4,50} H,$$

показывающей дальность отлета камня в зависимости от крутизны откоса (α) и его высоты (H).

Для облегчения практического пользования данной формулой в нижеприведенной таблице показаны значения ширины улавливающей площадки для различных значений высоты и крутизны откосов, наиболее часто встречающихся в практике.

Крутизна откоса в градусах	Высота откоса в метрах				
	12	20	30	40	50
	Необходимая ширина улавл. пл. в метрах				
90	3,5	6,0	12,0	12,0	15,0
80	3,5	5,5	8,0	11,0	14,0
70	3,0	5,0	7,5	10,0	13,0
60	2,5	4,5	7,0	9,0	12,0
50	2,5	4,0	6,5	8,5	11,0
45	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0

Таким образом, при инженерно-геологической оценке угрожаемости вывалов для дорог, после установления возможности их образования, надлежит производить соответствующий расчет для определения возможности попадания их на путь, т. е. определить значение *коэффициента угрожаемости*. Для этого по вышеприведенной формуле или таблице следует определять необходимую ширину улавливающей площадки в основании откоса и сравнивать ее с существующей. В тех случаях, когда существующая площадка меньше необходимой, попадание вывала на путь при его образовании неизбежно. Поэтому должны быть предусмотрены соответствующие меры.

На рис. 2 показаны план и профиль одного из участков земляного полотна в месте вывала камня. Вывал произошел из бровки откоса и, как и следовало ожидать, свалился на площадку в основании откоса. Рассматривая приведенный чертеж, видим, что откос высотой в 20 м, крутизной в 80° имеет в основании площадку в 7 м, вполне достаточную для улавливания вывалов при данной высоте и крутизне откоса.

Для однообразного подхода к оценке степени угрожаемости вывалов следует рекомендовать выделять: участки *особо угрожаемые*, участки *угрожаемые*, участки *менее угрожаемые*, участки *неугрожаемые*.

К участкам *особо угрожаемым* следует относить такие, где породы в откосах разбиты редкими трещинами (1—2 трещины на 2—3 м.

высоты откоса), дающими крупные, весьма опасные, вывалы, попадание которых на путь при данной высоте и крутизне откоса неизбежно. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть меньше единицы. Вывалы здесь могут повлечь за собой долговременное закрытие перегона для их ликвидации и восстановления пути.

К участкам *угрожаемым* следует относить такие, где породы в откосах разбиты трещинами средней густоты (2—3 трещины на 1 пог. м высоты откоса), дающими вывалы небольших размеров, попадание ко-

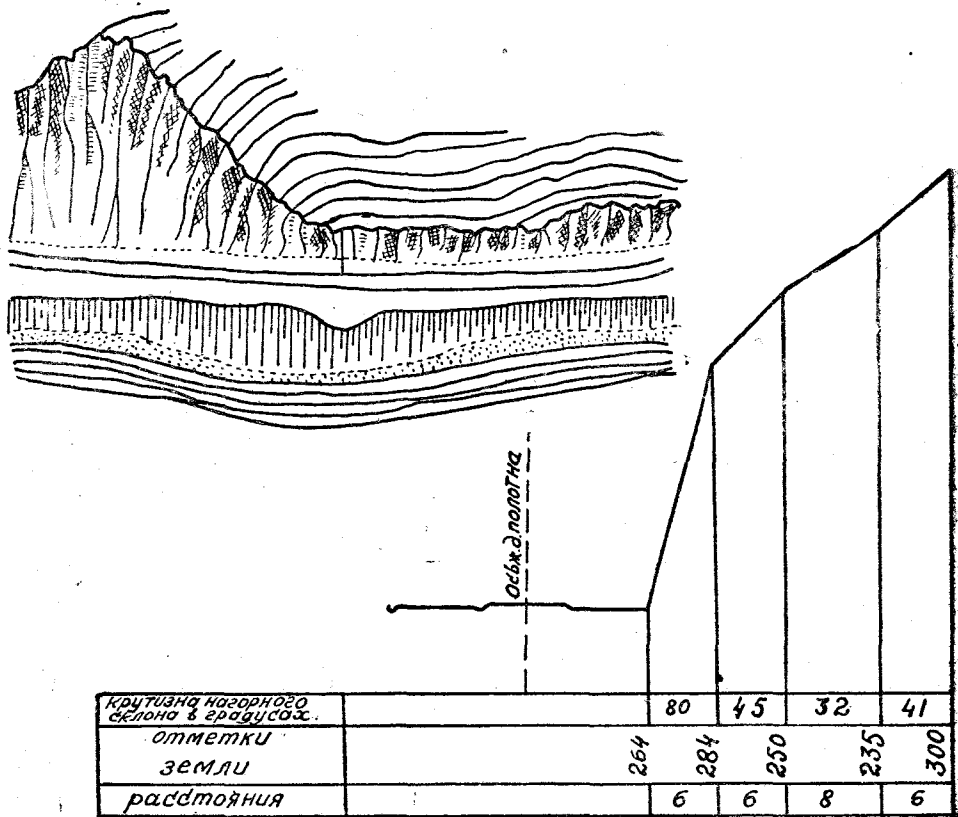


Рис. 2.

торых на путь при данной высоте и крутизне откоса вероятно. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть близок к единице, т. е. иметь недостаточный запас прочности. Значительных разрушений пути от вывалов на этих участках и долговременных закрытий перегонов ожидать нет оснований.

К участкам *менее угрожаемым* следует относить такие, где породы в откосах значительно трещиноваты (5—6 трещин на 1 пог. м откоса), дают мелкие вывалы и щебенисто-дресвяные осыпи, попадание которых на путь мало вероятно. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть больше 1,5. Закрытие перегона на этих участках ожидать не следует.

К участкам неугрожаемым следует относить такие, где образование вывалов исключается, или такие, в пределах которых образование вывалов возможно, но попадание их на путь исключается вследствие наличия в основании откоса площадки достаточной ширины. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть значительно больше единицы.

Оценка угрожаемости обвалов. Молниеносность проявления обвалов, сопровождающихся обычно массовыми перемещениями обломков горных пород, выделяет их в один из наиболее опасных видов геологических явлений. Основными причинами и главными действующими силами, обуславливающими их развитие, являются те же, что и у вывалов, т. е. агенты главным образом физического выветривания. Возможность обрушения масс горных пород при обвалах из скальных обнажений нагорного склона также, в основном, предопределяется геологическими условиями. Из последних, как указывалось выше, первостепенное значение имеют состав и сложение пород, степень их трещиноватости и выветрелости.

Таким образом, условия образования обвалов и причины, их вызывающие, те же, что и у вывалов. Поэтому при оценке возможности их образования следует руководствоваться теми же положениями, что и при оценке возможности образования вывалов. Однако следует учитывать, что возможностей для развития обвалов обычно больше, так как горные породы в скальных обнажениях нагорного склона подвергаются действию агентов выветривания значительно более длительный период времени, чем горные породы, подрезанные откосами выемок и полувыемок. Для дорог обвалы составляют угрозу только при условии попадания их на полотно. Поэтому при оценке угрожаемости обвалов должны учитываться совместно как возможность их образования, так и возможность попадания их на путь.

При обвалах перемещение масс горных пород начинается с нагорного склона, и от места обрушения они преодолевают свой путь качением, сопровождающимся опрокидыванием, раскалыванием и некоторой сортировкой. В начале своего движения массы горных пород обладают незначительными скоростями и с трудом преодолевают возникающие сопротивления. Но в последующем, скорость качения обломков горных пород по склону постепенно возрастает. Изменение ее зависит от размеров и формы обломков, от характера склона и, особенно, от его крутизны. Обломки более крупные, обладающие большей живой силой, а также имеющие более правильную «округлую» форму, уносятся дальше от места обрушения и с большими скоростями, чем обломки мелкие или неправильной плитчатой формы. При массовых обвалах и совместном движении по склону обломков различной величины, все они испытывают сопротивления, вызванные трением и сталкиванием их друг с другом. При движении одиночных обломков эти сопротивления являются наименьшими. Поэтому одиночные обломки обычно движутся с большими скоростями и дают отлет от откоса на большие расстояния.

Заметное влияние на скорость качения обломков оказывает характер склона. Так, склоны одернованные, слабо залесенные имеют поверхность более ровную и оказывают меньшее сопротивление качению обломков. Склоны обнаженные, скальные, неровные, с многочисленными выступами, оказывают большее сопротивление качению. Они жестко встречают удар падающих камней, часто вызывают их раскалывание.

тем самым значительно поглощают скорость движения обломков. Наконец, решающее влияние на изменение скорости движения обломков оказывает крутизна склонов. На склонах пологих движение обломков совершается с меньшими скоростями. При выполаживании склона или при резком изменении его профиля с крутого на пологий, скорость движения обломков уменьшается. При этом, чем больше разность углов наклона элементов склона, тем значительно снижается скорость. По данным многочисленных наблюдений отмечено, что на склонах крутизной до 20—25°, при обычной поверхности и форме обломков, движение их не происходит. Склоны такой крутизны могут быть преодолены движущимися обломками только за счет ранее развившейся скорости. На склонах крутых движение обломков совершается с большими скоростями. На склонах крутизной более 20—25° скорость падения обломков обычно постепенно возрастает, а движение постепенно приобретает скачкообразный характер вследствие неровностей склона, неправильной формы обломков и т. д. С нарастанием скорости движения обломков при перемещении их вниз по склону, длина скачков увеличивается. Многочисленные наблюдения показали, что если на пути скачкообразного движения обломков встречаются элементы склона более короткие, чем длина скачков, то обломки их перескакивают. То же самое наблюдается и при приближении обломков к бровке откосов выемок и полувыемок, через которые они перескакивают на полотно дороги. На рисунке 3 видно, что чем ближе к бровке откоса сделает свой последний отскок камень, движущийся с нагорного склона при обвале, тем отлет этого камня от откоса будет дальше. В связи с этим при определении величины необходимой улавливающей полки при обвале, так же как и при вывале, следует рассчитывать на максимальный отлет.

Таким образом, если при вывалах дальность отлета обломков горных пород зависит, в основном, только от высоты и крутизны откоса, то при обвалах величина отлета зависит также от скорости, с которой масса горной породы перемещается с нагорного склона, т. е. при обвалах имеет место начальная скорость, при вывалах — начальная скорость равна нулю.

Для определения величины отлета воспользуемся одной из вышеприведенных формул инж. Е. К. Гречищева:

$$x = \frac{V^2 \sin \beta}{g} \left[\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{2gH}{V^2}} - \cos \beta \right]$$

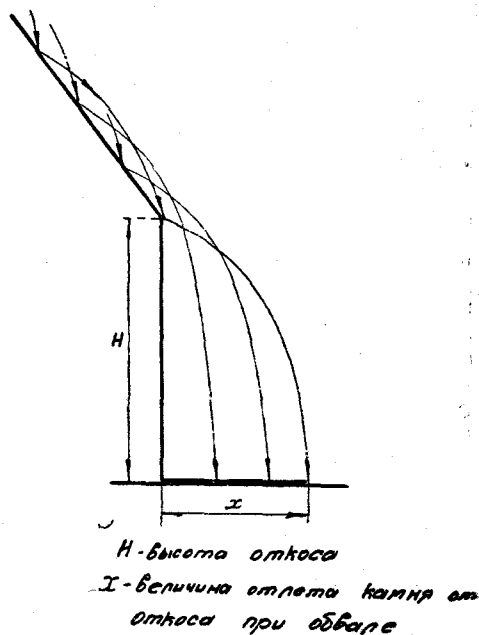


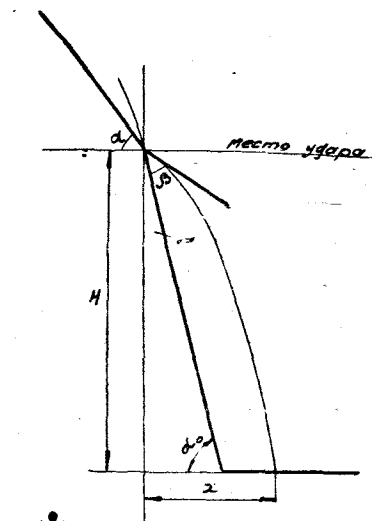
Рис. 3.

Данная формула справедлива для откоса вертикального. Для откоса наклонного она примет вид:

$$x = \frac{V^2 \sin \beta}{g} \left[\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{2gH}{V^2}} - \cos \beta \right] - H \operatorname{ctg} \alpha_0.$$

Поясняющая схема обозначений элементов, входящих в данную формулу, показана на рисунке 4.

Из приведенной схемы и формулы видно, что для определения величины x необходимо знать следующие значения:



H — высота откоса
 x — величина отлета камня при обвале
 α — угол наклона нагорного склона к горизонту
 β — угол отлета

Рис. 4.

H — высоту откоса в метрах,

α_0 — крутизну откоса выемки или полувыемки в градусах,

g — ускорение силы тяжести,

β — угол отлета,

V — скорость движения масс горных пород, падающих с нагорного склона к основанию откоса (т. е. начальную скорость отлета).

Способ определения первых двух значений пояснений не требует. Значение величины g общеизвестно и равно 9,81 м/сек. Величину угла отлета β для практического пользования инж. Е. К. Гречищев рекомендует принимать равной предельному углу, при котором имеет место наибольшая дальность отлета камня, т. е. принимать $\beta = 90 - \frac{\alpha}{2}$, где α крутизна нагорного склона.

Учитывая недостаточную изученность рассматриваемого вопроса, с таким допущением следует вполне согласиться. Определять начальную скорость отлета V , при оценке угрожаемости того или иного участка, в натуре не представляется возможным, поэтому для определения величины отлета рекомендуется пользоваться расчетной скоростью. Способ ее определения следующий: массы горных пород, при перемещении по склону, как указано выше, преодолевают сопротивления, зависящие от характера и крутизны склона и от формы и размеров обломков; поэтому, в отличие от свободно падающего тела, скорость падения масс горных пород по склону должна быть в несколько раз меньше, т. е. $v = \frac{V \sqrt{2gH}}{k}$.

Допуская, что сопротивление при падении камня по склону крутизной в 90° равно 1, а по склону в 0° (т. е. при горизонтальной поверхности) равно $\sim$, инж. Е. К. Гречищев делает вывод, что сопротивление камня движению, при однообразной характеристике склона, весе и форме камня, изменяется по кривой, имеющей своими пределами 1 для

склона крутизной в 90° и $\sim$ для склона крутизной 0° . Таким пределам может удовлетворять логарифмическая кривая $K = a^{\frac{1}{b} - 1}$, выражающая зависимость сопротивления от крутизны склона.

Значения, входящие в данную формулу, следующие: K — коэффициент сопротивления движению камня, зависящий от различной крутизны склона, при однообразном характере склона и для одного значения веса и формы камня; в своих пределах коэффициент сопротивления изменяется от $\sim$ до 1 и представляет собой величину, показывающую, во сколько раз скорость свободного падения камня будет уменьшаться при его движении по склону; a — постоянная величина для рассматриваемой поверхности склона и одного значения веса и формы камня; b — величина, определяющая крутизну склона в градусах, приведенная в долях от единицы, т. е. для 0° равна 0 и для 90° равна 1.

Для определения величины K в естественных условиях в 1942—1943 гг. на одном из обвальных участков были выполнены специальные опытные работы, которые состояли в искусственном обрушении камней и измерении времени прохождения ими расстояния между специально разбитыми створами. Всего было выполнено 18 опытов с 82 наблюдениями на склонах одернованных и 22 опыта с 87 наблюдениями на склонах скальных. Затем по формуле $t = \sqrt{2gH}$ рассчитывалось теоретическое время свободного падения между створами. Превышение одного створа над другим определялось по снятым поперечным профилям. Отношение времени прохождения расстояния между створами, определенного опытом, к времени свободного падения камня давало величину сопротивления K . Обработка полученных опытных данных выразилась в составлении кривых сопротивлений качению камня в зависимости от склонов различной крутизны, путем решения вышеприведенной формулы $K = a^{\frac{1}{b} - 1}$. Исходными данными для решения приняты следующие: для значения K — коэффициента сопротивлений — были приняты средне-минимальные опытные значения, оказавшиеся равными для одернованного склона 2,75, для скального 4,25.

Значение b , определяющее крутизну склона в градусах, приведенное в долях единицы, в обоих случаях, т. е. для склонов одернованных и скальных, было принято равным $35 : 90 = 0,39$, так как угол в 35° является почти предельно возможным для движения камней по склону. По исходным значениям, принятым для K и b были произведены расчеты величины a путем логарифмирования формулы $K = a^{\frac{1}{b} - 1}$. В результате значение a для одернованных склонов получалось равным 1,91, для скальных 2,52.

Таким образом, расчетные кривые сопротивления окончательно выразились формулами: для одернованного склона $K = 1,91^{\frac{1}{b} - 1}$, для скального склона $K = 2,52^{\frac{1}{b} - 1}$. По данным формулам были вычислены промежуточные точки и построены кривые изменения коэффициента сопротивления качения камня по нагорному склону в зависимости от его крутизны, показанные на рисунке 5.

По данным кривым легко может быть установлен коэффициент сопротивления качению камня для склонов различной крутизны, одернованных или скальных, а затем и вычислена расчетная скорость. Последняя,

как указывалось выше, должна быть равна теоретической скорости свободного падения, деленной на коэффициент сопротивления качению, вычисленный по формулам или определенный по приведенным кривым. При этом, если склон однороден по крутизне и характеру (т. е. только одернован или только скальный), коэффициент будет неизменным на всем пути качения камня и расчетная скорость определится формулой.

$$V = V \sqrt{\frac{2gH}{k}}$$

Для удобства практического пользования на одном чертеже с кривыми сопротивлений, показанном на рисунке 5, приведена также кривая изменения свободного падения в зависимости от высоты.

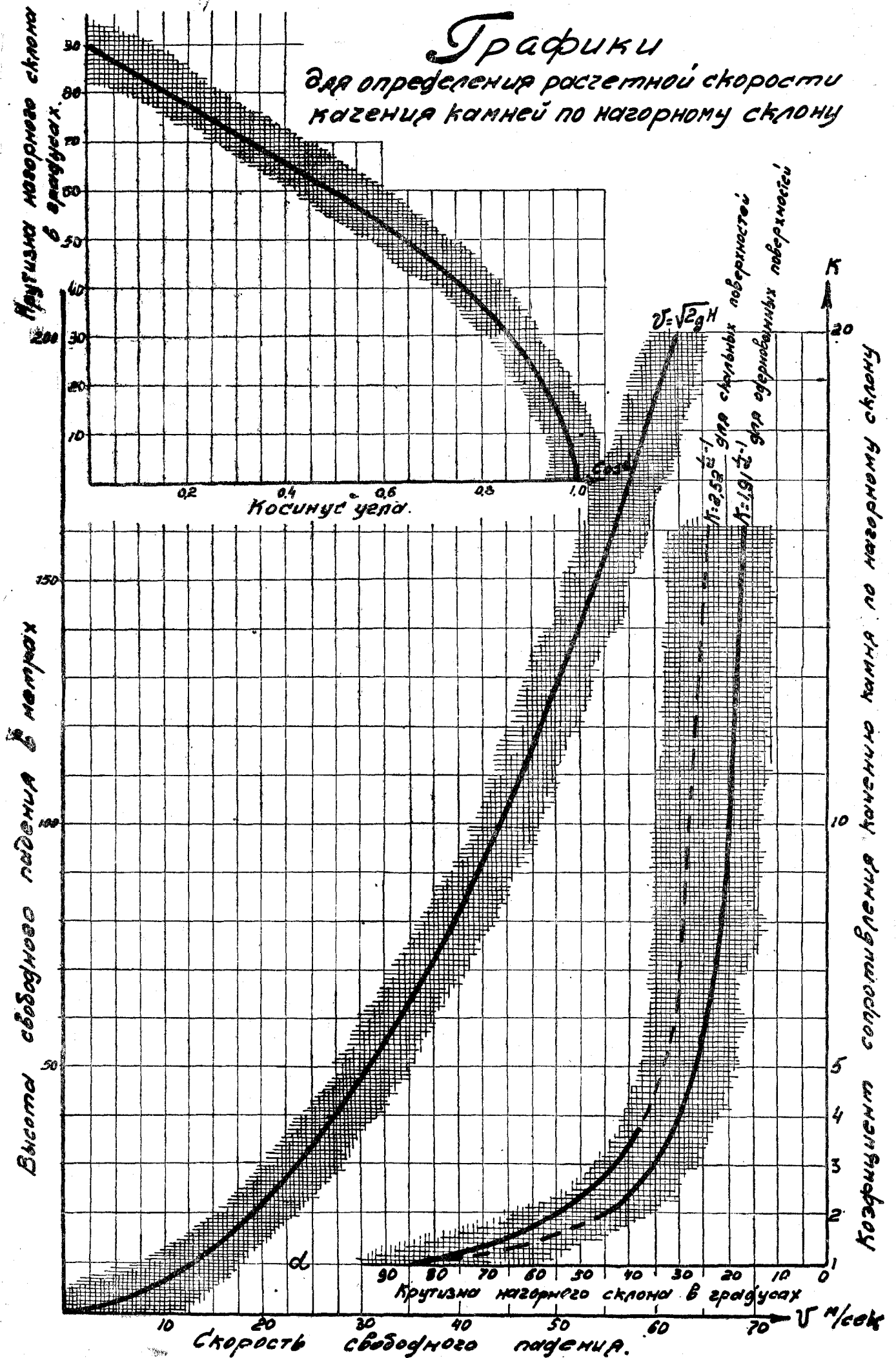
Если склон на участке от места обрушения обвала до бровки откоса изменяется по своей крутизне и характеру, то для определения расчетной скорости (по пути наиболее вероятного движения обвала) склон разделяют на отдельные однородные элементы и для каждого из них определяют соответствующий коэффициент сопротивления. При этом, как указывалось выше, при изменении склона с крутого на пологий, скорость движения обломков уменьшается. Уменьшение это тем значительнее, чем больше разность углов наклона элементов склона. Наоборот, при переходе склона с пологого в крутой, движение обвала не встречает дополнительных сопротивлений и происходит поэтому с нарастающей скоростью. Таким образом, при склоне неоднородном порядок определения расчетной скорости следующий. Разделив склон на однородные элементы, определяют скорость движения на первом — верхнем элементе и затем, если склон изменяется с крутого на пологий, уменьшают ее умножением на косинус разности углов наклона первого и второго элементов склона. После этого, полученная величина характеризует скорость, перешедшую на второй элемент. При смене элемента склона пологого крутым, уменьшения скорости не производят. Скорость, перешедшую с верхнего элемента, разделив на коэффициент сопротивления второго элемента, складывают со скоростью, развившейся в пределах второго элемента. Если число выделенных элементов на склоне от места обрушения до бровки откоса два, то эта скорость будет являться расчетной скоростью для определения величины отлета. При числе элементов большем, порядок определения расчетной скорости последовательным определением скоростей по элементам сохраняется тот же. Таков способ определения расчетной скорости. Установив значение расчетной скорости, вычисляют по формуле, приведенной выше, дальность отлета масс горных пород от откоса при обвале и тем самым устанавливают ширину необходимой площадки в основании откоса выемки или полувыемки. Сравнением этой площадки с существующей определяют возможность попадания обвала на путь, т. е. определяют *коэффициент угрожаемости*.

Для лучшего пояснения способа расчета необходимой ширины улавливающей площадки и оценки возможности попадания обвала на путь, рассмотрим следующий пример: на рисунке 6 приведен план и профиль участка земляного полотна; на плане показан крестом выявленный пункт возможного образования обвала и пунктирной линией наиболее вероятный путь следования обвала; по данной линии построен профиль;¹ из профиля видно, что он может быть разделен на

¹ В случае отсутствия плана, профиль в условиях полевой работы может быть построен одним из общеизвестных простых способов, например, с помощью горного компаса и мерной ленты.

Графики

для определения расчетной скорости
падения камней по нагорному склону



три элемента: верхний — крутой скальный, средний — более отлогий одернованный и нижний — опять более крутой скальный (штрихом на профиле отмечены элементы скальные); имеющиеся небольшие изменения крутизны склона в пределах некоторых элементов можно не учитывать и принимать среднюю их крутизну, так например, средняя крутизна верхнего элемента равна 79° , среднего 35° и нижнего 48° . Высота откоса равна 8 м, крутизна его 78° .

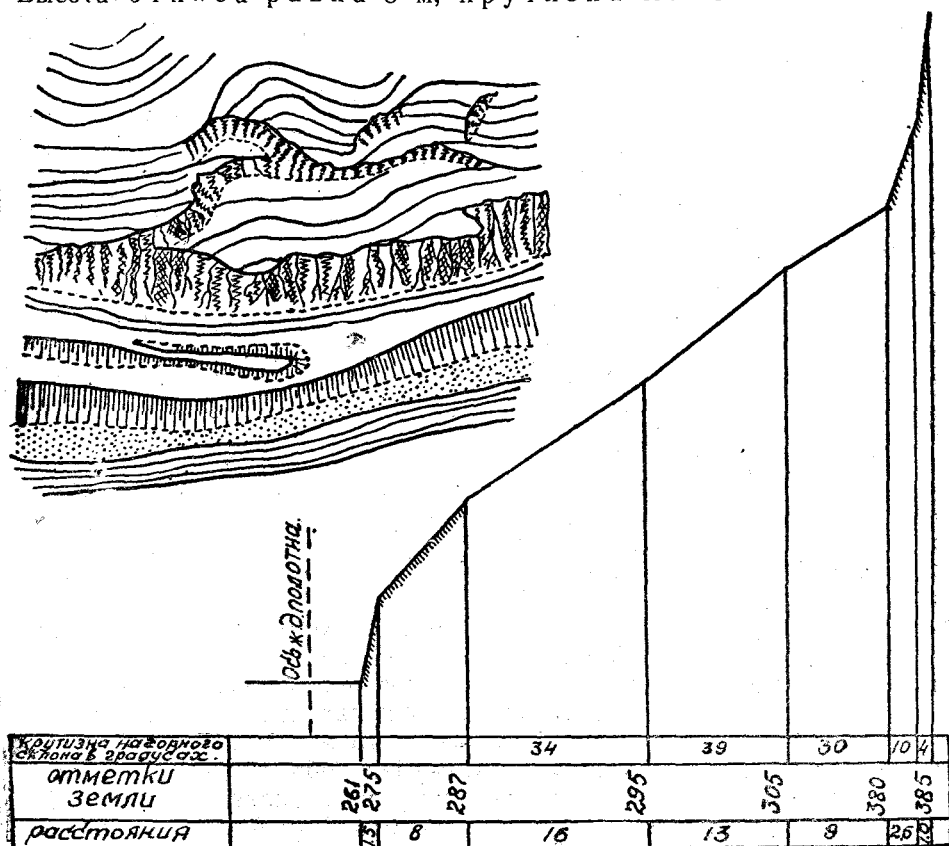


Рис. 6.

Таким образом для определения необходимой ширины улавливающей площадки остается определить расчетную скорость. Расчетная скорость определяется последовательно по элементам. Для удобства ее и наглядности расчет сведен в следующую таблицу:

пк или № проф.	Разн. углов накл. элем. склона	Cos 44°	Характер склона	Крутизна склона в градусах	Коэффициент сопротивления	Скорость, перешедши с вышележащего элемента	Высота падения	Скорость свободного падения в м/сек.	Развивавшаяся скорость в конце уч. в м/сек.	Суммарная скорость в конце участка в м/сек.	Расчетная скорость в м/сек.
—	44,0	0,719	Скальный задернован.	79	1,1	—	15	17,5	15,9	15,9	—
—	13	—	скальный	35	2,9	3,9	23	21,0	7,2	11,1	—
				48	2,3	4,8	12	16,0	6,9	11,7	11,7

Из таблицы видно, что для рассматриваемого примера расчетная скорость оказалась равной 11,7 м/сек. Пользуясь вышеприведенной формулой, находим, что для откоса высотой 8 м и крутизной 78°, крутизной нагорного склона на участке, прилегающем к бровке откоса, 48° и при расчетной скорости 11,7 м/сек, — необходимая ширина улавливающей площадки должна быть равна 8,5 м. Существующая площадка в основании откоса значительно меньше данной величины, следовательно, попадание обвала на путь неизбежно.

Из практики работы на обвальных участках известно, что при оценке обвальных явлений часто приходится иметь дело не с отдельными пунктами, а с целым рядом обнажений и скальных массивов, расположенных по склону, образование обвалов из которых вполне вероятно. Такие массивы на нагорном склоне могут быть расположены различно, как по высоте, так и в плане. Поэтому при оценке угрожаемости обвалов на таких участках следует исходить из случаев наиболее неблагоприятных, при которых может произойти наибольшая дальность отлета от откоса. Наибольшую дальность отлета могут вызвать обвалы, обрушившиеся из скальных массивов, расположенных на наибольших относительных высотах и могущих развить наибольшую скорость движения. Поэтому при оценке угрожаемости обвалов на таких участках, расчет возможности попадания обвала на путь следует делать не для каждого угрожаемого образованием обвала массива, а только для некоторых, могущих вызвать наибольший отлет. На плане одного из участков земельного полотна, приведенном на рисунке 7, видно, что на нагорном склоне расположено несколько скальных массивов, охватывающих со всех сторон лог, спускающийся со склона и подрезанный откосом выемки. Такие логa на обвальных участках обычно многочисленны и представляют большую угрозу для пути, так как являются своего рода «камнесборами» и «транзитными» путями, по которым происходят обвалы. В пределах лога, изображенного на прилагаемом плане, обнаружен ряд пунктов, из которых возможны обвалы. Поэтому для оценки возможности попадания их на путь целесообразно оконтурить «камнесбор», как это и сделано пунктиром, наметить наиболее вероятные пути движения обвалов и для случаев наиболее неблагоприятных построить профили и сделать расчет. На рассматриваемом участке такими точками будут точки № 2 и 4, как расположенные на наивысших отметках, а профили, по которым наиболее вероятно движение обвала, получаются наиболее крутые.

Для конкретизации оценки степени угрожаемости обвалов следует выделить, так же как при оценке угрожаемости вывалов, участки особо угрожаемые, угрожаемые, менее угрожаемые и неугрожаемые. При этом к участкам особо угрожаемым следует относить такие, в пределах которых породы в скальных обнажениях по нагорному склону разбиты редкими трещинами, дающими крупные весьма опасные обвалы, попадание на путь которых неизбежно. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть меньше единицы. Обвалы здесь могут повлечь за собой аварии или долговременное закрытие перегона.

К участкам угрожаемым следует относить такие, где породы в скальных массивах на нагорном склоне разбиты трещинами средней густоты, дающими обвалы небольших размеров, попадание на путь которых при данной высоте и крутизне откоса вероятно. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть близок к единице, т. е. иметь недостаточный запас «прочности», значительных разрушений

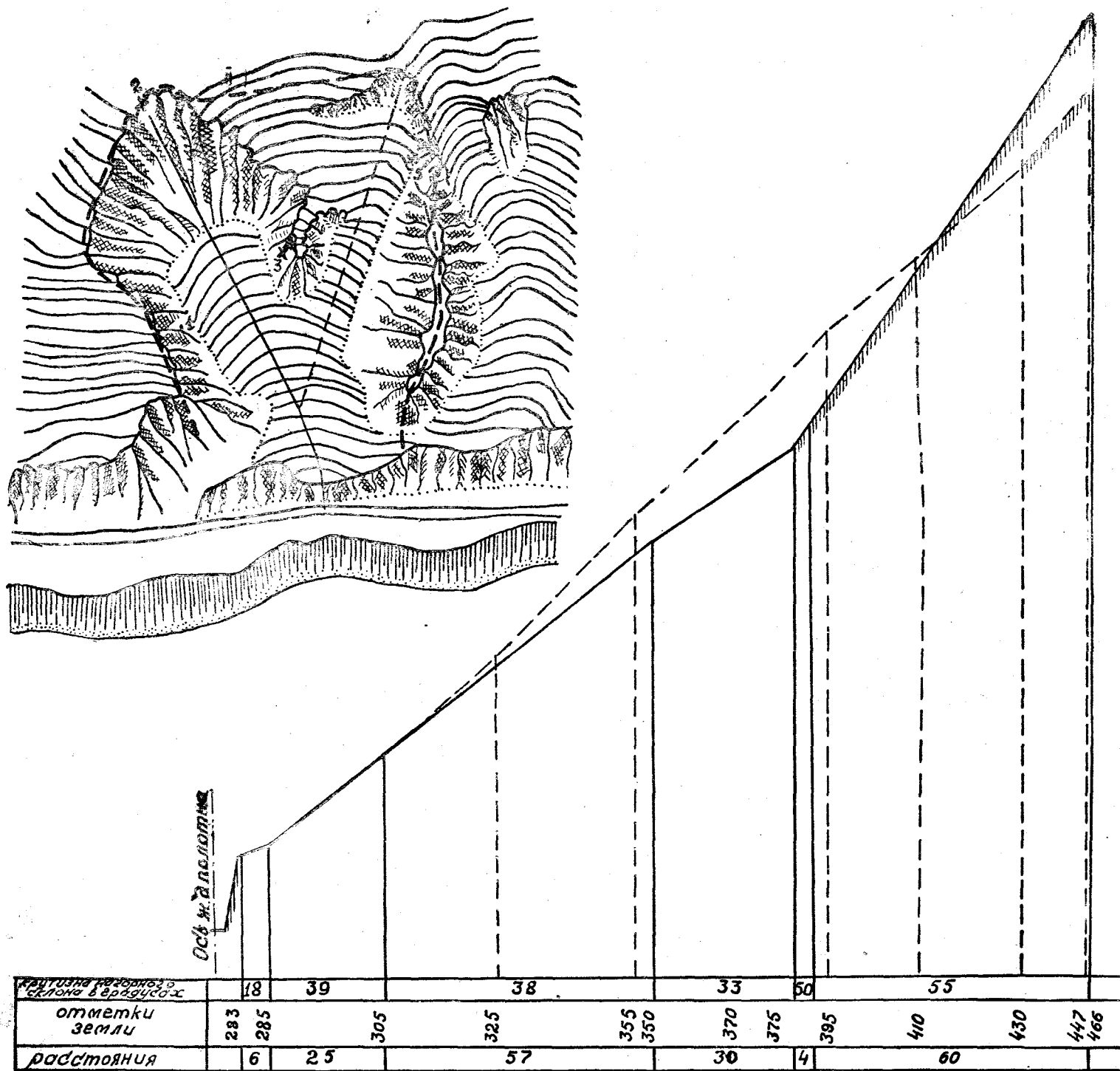


Рис. 7.

пути от обвалов на этих участках и долговременных закрытий перегонов ожидать нет оснований.

К участкам менее угрожаемым следует относить такие, где породы в скальных массивах на нагорном склоне значительно трещиноваты, дают мелкие обвалы и щебенисто-дресвяные осыпи, попадание на путь которых мало вероятно. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть больше 1,5. Закрытия перегона на этих участках ожидать не следует. К участкам неугрожаемым следует относить такие, в пределах которых образование обвалов исключается, или такие, в пределах которых образование обвалов возможно, но попадание их на путь исключается вследствие пологости нагорного склона или наличия в основании откоса площадки достаточной ширины. Коэффициент угрожаемости для этих участков должен быть значительно больше единицы.

Таковы основные соображения о методике инженерно-геологической оценки угрожаемости обвальных участков. Из вышеизложенного видно, что показателем угрожаемости обвальных явлений применительно для дорожных целей может быть рекомендован **коэффициент угрожаемости**. Этим коэффициентом можно пользоваться как для оценки степени угрожаемости отдельных участков, так и для инженерно-геологического районирования угрожаемых обвалами участков дорог.

г. Ленинград, 1946 г.