Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, т. XXXIII, вып. I, 1956 г.

УСТАНОВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ И СЕЧЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ТРАНШЕЙ

Л. Г Тымовский

Практическое значение вопроса способа определения величины продольного уклона траншей и их поперечного сечения заключается в снижении объемов работ по строительству капитальных траншей, которые в среднем по карьерам составляют около 10—15% от общего объема земляных работ, а в абсолютных цифрах достигают нескольких миллионов кубических метров.

Таблица 1

Объем строительных работ по капитальным траншеям угольных карьеров

Карьер	Объем работ по въездным траншеям, тыс. $м^3$
Тюльганский № 2	6100
Ермолаевский	6000
Байдаковский .	1100
Ворошиловский	1100
Назаровский	500

Приведенные в табл. 1 объемы траншей по группе угольных карьеров показывают, что при средней стоимости 1 $м^3$ 8—10 руб. даже незначительное сокращение земляных работ позволит снизить капитальные затраты по карьерам на несколько миллионов рублей.

С этой целью были проанализированы три основные технические параметра, относящиеся к проектированию траншей:

1) продольный уклон, определяемый объемом горных работ (грузооборотом), родом тяги, типом локомотива и условиями эксплуатации карьерных путей;

2) ширина основания траншей, устанавливаемая в зависимости от колеи, количества укладываемых рельсовых путей и условий водоотвода;

3) углы заложения откосов, устанавливаемые в зависимости от геотехнических свойств грунтов, в которых проходится траншея.

I. ПРОДОЛЬНЫЙ УКЛОН ТРАНШЕИ

Продольный уклон траншеи является основным параметром при вскрытии и эксплуатации карьеров, так как численное его значение предопределяет объем капитальных работ, вес поезда и провозную способ-

ность откаточных путей. Главнейшими факторами, определяющими выбор уклона, являются размеры ожидаемого грузооборота, пропускная способность лимитирующего перегона и мощность локомотива.

Идея определения величины уклона с учетом провозной способности принадлежит М. Н. Курепину, а возможные решения предложены Е. Ф. Шешко и А. С. Фиделевым [5, 6]. Предлагаемый, несколько отличный от указанных выше способов, графо-аналитический метод расчета дополнительно рассматривает фактор безопасности движения поездов с учетом их тормозных средств. Этот метод решения определения величины уклона траншей исходит из следующих положений.

1. В пределах до $40^0/_{00}$ оптимальным является максимально допустимый уклон для намечаемого объема перевозок, так как, чем больше уклон, тем меньше объем капитальных траншей, тем короче длина откатки и продолжительность рейса. Это положение подтверждается расчетами, выполненными проектными организациями и, в частности, Уралшахтопроектом при составлении проекта углубки Коркинских карьеров № 1 и 2.

2. Основным фактором, определяющим наибольшее значение руководящего уклона, является намечаемый сменный грузооборот.

3. При ограниченном числе типов локомотивов и вагонов для карьерных условий типы электровоза и вагона выбираются заранее и их технические параметры являются величинами известными.

4. Известными также являются: глубина траншеи, определяемая по условиям горных работ, и период графика, характеризующий путевую схему и соответствующие ей затраты времени по приему, отправлению и следованию поезда по расчетному участку.

5. Установленный по условиям ожидаемого грузооборота и мощности локомотива продольный уклон должен обеспечивать безопасное следование поездов по траншеям при имеющихся в составе поезда тормозных средствах.

6. Число вагонов в составе при максимально допустимом уклоне должно быть при локомотивной тяге не менее 3—4.

1. Определение уклона и веса поезда по объему перевозок и пропускной способности расчетного перегона

Для расчетного перегона (траншеи) потребная пропускная способность, выраженная в поездах грузового направления в зависимости от грузооборота,

$$N_1 = \frac{1{,}15 Q_{см}}{Q_н} \text{ поездов,} \qquad (1)$$

где $Q_{см}$ — сменный грузооборот по ископаемому и вскрыше, *т*;
1,15 — коэффициент, учитывающий людские и хозяйственные перевозки;
$Q_н$ — вес поезда нетто, *т*.

$$Q_н = \frac{Q_б' q_н}{q_б}, \qquad (2)$$

где $Q_б'$ — вес поезда брутто, *т*;
$q_б$ — вес вагона брутто, *т*;
$q_н$ — вес вагона нетто, *т*.

С другой стороны, пропускная способность в зависимости от путевой схемы и средств СЦБ может быть выражена через время занятия перегона

$$N_2 = \frac{60T_{см}}{T_п} \text{ поездов,} \tag{3}$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены, час.;

$T_п$ — период графика или расчетный интервал занятия перегона одним или парой поездов, определяемый путевой схемой и средствами связи, мин.

Подставляя в уравнение (1) значение $Q_н$[формула (2)] и приравнивая значения N_1 и N_2, получим

$$\frac{1{,}15Q_{см}q_б}{Q_б'q_н} = \frac{60T_{см}}{T_п},$$

откуда

$$T_п = \frac{60T_{см}Q_б'q_н}{1{,}15Q_{см}q_б}, \text{ мин.} \tag{4}$$

В зависимости от технических параметров расчетного участка (перегона) и схемы путевого развития период графика определяется из уравнений:

для однопутного перегона

$$T_п = \frac{2{,}60h}{i_1v_р} + T_0', \text{ мин.,} \tag{5}$$

для двухпутного перегона

$$T_п = \frac{60h}{i_2v_р} + T_0'', \text{ мин.} \tag{6}$$

где h — глубина траншеи;

$i_{1;2}$ — уклоны, выраженные в целых числах;

$v_р$ — расчетная скорость движения по наклонной части траншеи, определяемая типом локомотива, *км/час*;

T_0 — время прохождения пути двух горизонтальных участков расчетного перегона с учетом средств связи и путевой схемы, мин.

Приравнивая полученные значения $T_п$ [уравнения (4), (5) и (6)] и решая их относительно i, находим максимально допустимую величину уклона траншеи в зависимости от расчетного объема перевозок (грузооборота) и путевой схемы

для однопутного участка

$$\frac{60T_{см}Q_б'q_н}{1{,}15Q_{см}q_б} = \frac{2{,}60h}{i_1v_0} + T_0',$$

откуда

$$i_1 = \frac{120h}{v_р\left[\frac{60T_{см}Q_б'q_н}{1{,}15Q_{см}q_б} - T_0'\right]}; \tag{7}$$

для двухпутного участка

$$\frac{60T_{см}Q_б'q_н}{1{,}15Q_{см}q_б} = \frac{60h}{i_2v_р} + T_0''$$

откуда

$$i_2 = \frac{60h}{v_р\left[\frac{60T_{см}Q_б'q_б}{1{,}15Q_{см}q_б} - T_0''\right]} \tag{8}$$

Из приведенных выше уравнений могут быть получены и минимальные значения для веса поезда $Q_б$, при котором может быть освоен намеченный объем перевозок

для однопутного участка

$$Q_б' = \frac{1{,}15Q_{см}q_б\left(\frac{120}{iv_р} + T_0'\right)}{60T_{см}q_н},\ т; \tag{9}$$

для двухпутного участка

$$Q_б'' = \frac{1{,}15Q_{см}q_б\left(\frac{60}{i_2v_р} + T_0''\right)}{60T_{см}q_н} \tag{10}$$

Формулы (7), (8), (9), (10) учитывают все главнейшие технические факторы, определяющие величину уклона. Они показывают, какой минимальный вес поезда (или уклон) может быть принят для освоения требуемого объема перевозок $Q_{см}$ при принятом типе откаточного вагона $q_б$ и использовании его грузоподъемности $q_п$, длине наклонной части траншеи $\frac{h}{i}$ выраженной через уклон i, и глубину h, скорости движения поездов по траншее $v_р$ и схемы путевого развития на ближайших остановочных пунктах T_0' и T_0''

Чтобы построить кривую $Q_б' = f(i)$ для расчетного грузооборота [уравнения (9) и (10)], определяем величину веса поезда $Q_б'$ при $i = 10$, 20, 30, 40%.

Для удобства расчетов уравнения (9) и (10) приводим к виду

$$Q = K_1\left(\frac{K_2}{i} + K_3\right), \tag{11}$$

где K_1, K_2, K_3 — постоянные коэффициенты для рассматриваемых условий, полученные в результате подстановки известных величин $Q_{см}$, $q_б$, h, $v_р$, T_0, $T_{см}$ и $q_н$ в формулы (9) и (10)

$$K_1 = \frac{1{,}15Q_{см}q_б}{60T_{см}q_н}, \tag{12}$$

$$K_2 = \frac{60h}{v_р} \text{ или } K_2 = \frac{120h}{v_р}, \tag{13}$$

$$K_3 = T_0' \text{ или } T_0''. \tag{14}$$

2. Определение уклона и веса поезда в зависимости от типа локомотива и вагона

Возможность применения веса поезда, полученного из условий грузооборота, зависит также от конструкционных параметров принятого типа локомотива, его силы тяги, веса, сопротивления движению и т. д.

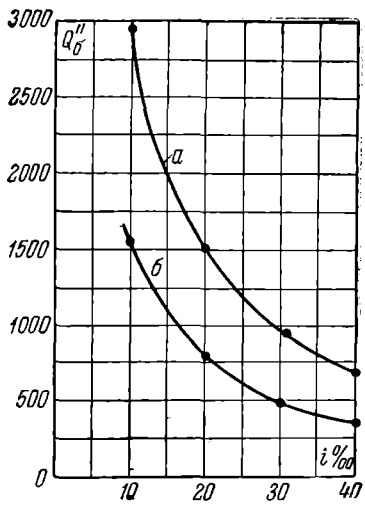


Рис. 1. Зависимость $Q_б'' = f(i)$ для электровозов:
а — 150-тонного; *б* — 80-тонного

По теории тяговых расчетов эта зависимость выражается формулой

$$Q_б'' = \frac{F_к - P(w_л + i)}{w_в + i}, \; т, \qquad (15)$$

откуда

$$i = \frac{F_к - Qw_в - Pw_л}{Q + P}, \; ‰, \qquad (16)$$

где $F_к$ — расчетная сила тяги локомотива, *кг*;

$w_в$ и $w_л$ — удельное сопротивление соответственно вагона и локомотива;

P — расчетный вес локомотива, *т*.

Поскольку для карьерных условий число типов электровозов ограничено, то для применяющихся в настоящее время двух локомотивов-электровозов весом 80 и 150 *т* могут быть заранее построены постоянные кривые зависимости $Q_б'' = f(i)$, по которым можно достаточно точно определить вес поезда Q при различных уклонах [уравнение (15)].

При четырехосных большегрузных вагонах весом от 80 до 105 *т* и скоростях движения $v_р$ от 10 до 25 *км/час* величина удельного сопротивления для постоянных балластированных путей изменяется:

а) для локомотивов	$w_л$ от 1,75 до 2,43 *кг/т*
б) для четырехосных груженых вагонов	$w_в$ от 1,47 до 1,85 *кг/т*

Незначительные пределы изменения сопротивлений позволяют в расчете величины веса поезда ориентироваться на средние постоянные значения $w_л = 2{,}0$ *кг/т* и $w_в = 1{,}5$ *кг/т*.

Принимаем для расчетов силу тяги 80-тонного электровоза IV-КП-1 $F_к = 19\,200$ *кг*, 150-тонного ПЭ $F = 36\,000$ *кг* и приведенные выше значения $w_л$ и $w_в$. Вес поезда брутто для четырех значений уклона приведен в табл. 2.

Таблица 2

Значение $Q_б'' = f(i)$

Уклон,	Вес поезда брутто (*т*) при электровозе		Примечание
	80-тонном IV-КП-1	150-тонном ПЭ	
10	1550	2945	Принятый коэффициент сцепления $\psi = 0{,}24$ соответствует постоянным путям в хорошем состоянии
20	810	1515	
30	530	985	
40	390	715	

Пользуясь данными табл. 2, строим кривые зависимости веса поезда от расчетной силы тяги и уклона $Q''_Б = f(i)$, (для двух типов электровозов, рис. 1).

3. Сопоставление результатов расчета

Для наглядного представления зависимости величины уклона i и веса поезда Q от ограничивающих факторов наносим на сетку графика две кривые:

1) $Q' = f(i)$, т. е. кривую веса поезда из условий требуемого объема перевозок (грузооборота) при известной путевой схеме и параметрах расчетного перегона;

2) $Q'' = f(i)$ — кривую веса поезда для принятого типа локомотива по известным его параметрам $F_к$, P и $w_д$.

При анализе построенных кривых могут иметь место три случая, вытекающие из взаимного расположения этих кривых в одних координатах.

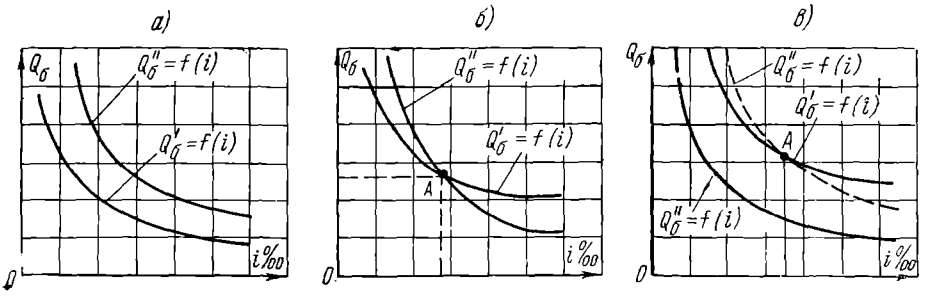


Рис. 2. Три (*а*, *б*, *в*) случая расположения кривых $Q_б = f(i)$ и $Q_б'' = f(i)$ в одной системе координат

Случай I. Кривая $Q'_б = f(i)$, построенная по уравнениям (9), (10) из условия требуемого намечаемого объема горных работ (грузооборота), расположена ниже кривой $Q''_б = f(i)$, построенной по уравнению (15) для условий силы тяги локомотива (рис. 2, *а*) В этом случае требуемый (намечаемый) расчетный грузооборот может быть освоен при максимальном уклоне, допускаемом для данного рода тяги и типа локомотива, и величина расчетного грузооборота здесь не является фактором, лимитирующим величину продольного уклона.

Такое положение характерно для карьеров малой и средней производительности. Уточнение численного значения величины уклона в этом случае производится определением наивыгоднейшего числа вагонов в составе для двух-трех различных составов с числом вагонов n, $n + 1$ и $n + 2$, где n — минимальное число вагонов при максимальном уклоне в $40‰$ (электрическая тяга).

Методика определения наивыгоднейшего состава по числу вагонов заключается в технико-экономическом сопоставлении двух-трех вариантов составов с различным числом вагонов, по трем главнейшим показателям: 1) потребным паркам локомотивов и вагонов; 2) поездному штату, обслуживающему эти составы; 3) объему капитальных траншей, длина которых определяется по уклонам, соответствующим сравниваемым составам [4].

Случай II. Кривые $Q_б' = f(i)$ и $Q_б'' = f(i)$ пересекаются (рис. 2, *б*). Ограничение веса поезда и уклона производится двумя факторами: размерами грузооборота и типом локомотива. При этом точка пересе-

чения кривых A соответствует оптимальному значению уклона для этих двух определяющих его факторов.

Если точка пересечения A окажется в интервале уклона $i = 10—20$, то следует применить более мощный локомотив и за счет его повысить величину уклона, сократив этим объем работ по капитальным траншеям. Этот случай характерен для карьеров средней и большой производительности.

Случай III. Кривая $Q_б' = f(i)$ располагается выше кривой $Q_б'' = f(i)$ (рис. 2, *в*).

Для рассматриваемых конкретных условий при данном типе локомотива и путевой схеме расчетный грузооборот не может быть освоен. Для выполнения требуемого объема перевозок в этом случае необходимо соорудить двухпутную траншею или повысить провозную способность съезда за счет применения более мощного локомотива, позволяющего увеличить вес поезда. Отмеченные мероприятия могут применяться как порознь, так и одновременно. При этом, как показывает практика, имеются карьеры, где даже при использовании всех современных средств транспорта иногда приходится ограничивать объем горных работ.

Основным мероприятием для увеличения возможного грузооборота является применение более мощного локомотива. В этом случае на графике (рис. 2, *в*) строится третья кривая $Q_б'' = f(i)$ для нового более мощного локомотива (рис. 2, *в*, пунктирная линия) и в зависимости от ее положения на графике величина уклона определяется по случаю I или II (рис. 2, *в*, точка A — случай II).

Случай III характерен только для карьеров с большим объемом горных работ, для которых производительность карьера и календарный план горных работ практически устанавливаются по транспортным условиям. Это положение было подтверждено на ряде карьеров, при составлении проектов которых Ленгипрошахтом использован приведенный метод определения уклона.

Так как в условиях карьеров горная масса обычно просыпается на путь, а также возможны некоторые отступления от проектного профиля и плана, полученный продольный уклон следует снизить на 2—3‰, компенсируя тем неучтенные дополнительные сопротивления и возможное снижение коэффициента сцепления на отдельных участках.

Численное значение величины уклона для рассматриваемых условий может быть получено также и аналитически — совместным решением уравнений (9) и (10) с уравнением (15). Но выражение для уклона тогда получается более сложным, а сам метод менее наглядным. Кроме того, численное значение уклона часто выходит за пределы допускаемых значений, что требует дополнительного анализа полученного результата и повторных расчетов.

4. Пример определения величины руководящего уклона и веса поезда

Для карьера со сменной производительностью $Q_{см} = 7500$ *т* требуется определить руководящий уклон при следующих исходных данных: глубина траншеи $h = 24$ *м*; продолжительность смены $T_{см} = 7$ час.; вес вагона нетто $q_н = 50$ *т*; вес вагона брутто $q_б = 82$ *т*; электровоз 80-тонный IV-КП-1.

Вскрытие произведено тупиковыми траншеями с устройством однопутевого съезда. Скорость движения 15 *км/час*. Период графика $T_0 = 8$ *м*.

Подставляя численные значения в формулу (9), приводим ее к виду

$$Q_б' = \frac{1{,}15 \cdot 7500 \cdot 82\left(\frac{120 \cdot 24}{i15} + 8\right)}{60 \cdot 7 \cdot 50} = 33{,}68\left(\frac{192}{i} + 8\right).$$

Давая разные значения i, находим соответствующие $Q_б$:

при	$i = 10$	$Q_б' = 916$ *m*
	$i = 20$	$Q_б' = 593$
	$i = 30$	$Q_б' = 485$
	$i = 40$	$Q_б' = 437$

Полученные значения $Q_б'$ наносим на график с ранее вычисленной кривой веса поезда $Q_б'' = f(i)$ для принятого электровоза IV-КП-1 (рис. 3).

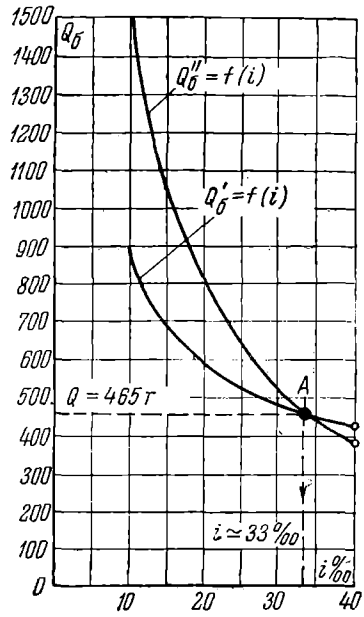


Рис. 3. Кривая $Q_б = f(i)$ (к примеру)

Точка пересечения кривых *A* показывает, при каком уклоне и весе поезда может быть освоен требуемый объем перевозок при принятых технических средствах транспорта.

В нашем случае величина уклона $i = 33‰$ и $Q = 465$ *m*.

С учетом приведенного выше значения окончательно принимаем $Q = 465m$, $i_р = 30‰$.

5. Проверка величины уклона по тормозным средствам поезда

В подавляющем числе случаев, когда расчетный грузооборот карьера при принятом роде тяги, типе двигателя, средствах связи и СЦБ осваивается с уклонами, близкими к предельным значениям, окончательное значение продольных уклонов должно устанавливаться условиями безопасности движения поездов, т. е. по наличию тормозных средств поезда. При современной высокоразвитой технике локомотиво-вагоностроения, наличии на электровозах ручных, воздушных и электрических систем тормозов, оборудовании всего карьерного подвижного состава автотормозами и автосцепкой, практически исключающей разрывы поездов (разрывное усилие 150—200 *m*), безопасность движения полностью обеспечивается.

Подтвердим это положение данными, полученными в результате произведенного исследования движения поездов по уклонам въездных траншей.

Как известно, безопасность движения поездов по заданному уклону (спуску) въездной траншеи прежде всего обеспечивается такой силой тормозного нажатия на единицу веса поезда, которая гарантирует его остановку в любой точке фронта работ в разрезной траншее.

Совершенно очевидно, что указанным карьерным условиям не может удовлетворить предусмотренная Правилами технической эксплуатации железных дорог общего пользования таблица тормозного нажатия на 100 *m* веса поезда, так как она составлена для тормозного пути 800 *м* и уклонов не более 20‰. Поскольку Правилами технической эксплуатации

горно-рудных предприятий длина тормозного пути в законодательном порядке не установлена, нами предлагается в качестве временного норматива принимать для внутрикарьерных и отвальных путей длину тормозного пути 100 *м*. Рекомендуемая длина тормозного пути соответствует наиболее характерным условиям работы: уклонам от 20 до 40‰, длине карьерного поезда 100—120 *м*, средней длине расчетного участка траншеи 300—600 *м*. Кроме того, рекомендуемый тормозной путь обеспечивает остановку движущегося поезда по руководящему уклону въездной траншеи у экскаватора, когда он находится в начале забоя, т. е. в самом невыгодном месте в смысле торможения и остановки поезда, а также остановку поезда в любом месте в забое и на отвале при движении его со скоростью до 15—20 *км/час*.

Для рекомендуемого тормозного пути 100 *м* путем решения тормозных задач второй группы составлены кривые тормозного нажатия на 100 *т* веса поезда при движении его со скоростями 10—15 *км/час* по руководящим уклонам до 40‰ (рис. 4). Кривые рис. 4 составлены для колеи 1524 *мм* с учетом обращения на карьерах всех имеющихся типов думпкаров для перевозки вскрыши и вагонов типа гондола и хопер — для перевозки ископаемого.

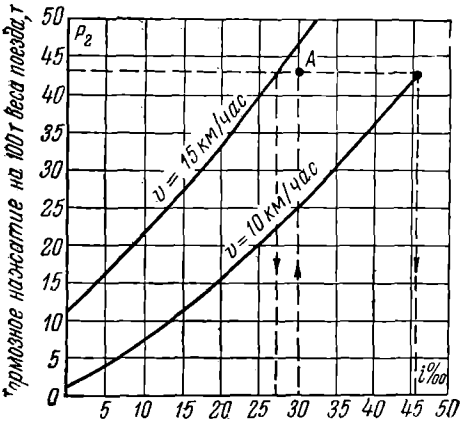


Рис. 4. Кривые тормозного нажатия на 100 *т* веса состава при тормозном пути 100 *м* без учета тормозов локомотива

Пользование указанными кривыми покажем на приведенном выше примере.

Для полученного веса поезда брутто $Q = 465$ *т* число четырехосных думпкаров в составе будет

$$465 : 82 = 5 \text{ единиц.}$$

и, соответственно, вес поезда в порожнем направлении

$$5 \times 32 = 160 \text{ т.}$$

Проверку производим по порожнему направлению, т. е. при движении поезда по спуску.

Фактическое тормозное нажатие всех колодок при 100-процентном числе тормозных вагонов в составе и порожнем режиме торможения

$$P_1 = nmp, \text{ т}, \tag{17}$$

где n — число тормозных осей вагона;

m — число вагонов в составе;

p — тормозное нажатие на ось, равное 3,5 *т* при порожнем режиме торможения.

Для рассматриваемых условий

$$P_1 = 4 \cdot 4 \cdot 3{,}5 = 70 \text{ т}$$

и, соответственно, на 100 *т* веса поезда

$$P_2 = \frac{70 \cdot 100}{160} = 43{,}8 \text{ т}.$$

Пользуясь кривыми тормозного нажатия (рис. 4), по найденному значению P_2 определяем возможную величину уклона по условиям тормозных средств состава:

при $v = 15$ *км/час* $\quad i = 27‰$

„ $v = 10$ *км/час* . . . $\quad i = 46‰$

Сопоставляя полученные значения уклонов с найденной ранее величиной 30‰, устанавливаем, что уклон может быть принят при условии снижения скорости движения с 15 до 14 *км/час* (рис. 4, точка *А*).

II. ШИРИНА ОСНОВАНИЯ ТРАНШЕЙ

Ширина одно-и двухпутных траншей, установленная Правилами технической эксплуатации угольного месторождения, изменяется от 8,0 до 12,0 *м* [2]. Однако, как показывает проектная практика, приведенные в ПТЭ размеры основания траншей не обеспечивают размещения верхнего строения путей требуемой мощности и водоотводных устройств нормального сечения. Для уточнения этих размеров были запроектированы детальные поперечные профили земляного полотна и верхнего строения для двух типов колеи и на основании их установлены минимальные значения оснований. Приведенные в табл. 3 размеры соответствуют конструктивным элементам верхнего строения пути, которые устанавливаются с учетом типа колеи, категории грунта, грузооборота и нагрузок на ось обращающегося подвижного состава.

При строительстве траншей в нескальных грунтах, как следует из табл. 3, предпочтение следует отдавать траншеям с деревянными или железобетонными лотками, так как при них ширина основания траншей меньше, и исключаются дорогостоящие работы по укреплению русла. Поверочные гидравлические расчеты лотков размером 0,5 × 0,5 *м* с подсчетом расхода по методу предельных интенсивностей показывают, что даже при траншеях глубиной до 60 *м* лотки обеспечивают пропуск расчетного количества осадков. Получаемая при этом экономия в объемах работ составляет в среднем на карьере до 30—50 *тыс. м*³, а по капитальным затратам до 500—700 тыс. руб. на траншею (в зависимости от ее длины).

Таблица 3

Сечения капитальных траншей для рельсового транспорта

Колея, *мм*	Ширина траншеи трапецоидального сечения, *м*				Применяется при			
	однопутной		двухпутной		грунте основания	грузообороте, *тыс. т* в год	нагрузке на ось	
	с лотком	с кюветом	с лотком	с кюветом			локомотива	вагона
1524	7,0	8,3	11,1	12,4	Скальные породы, гравий, песок	До 1500	15—18,5	До 21
1524	7,5	8,8	11,6	12,9	Все грунты, кроме скальных	1500 и более	18,5 и более	Более 21
750	5,0	6,3	8,0	9,3	Скальные породы, песок, гравий	100 и более	6,5	—
750	5,4	6,7	8,4	9,7	Все грунты, кроме скальных	100 и более	6,5	—

III. УГЛЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ОТКОСОВ

В практике проектирования и строительства откосы траншей обычно устанавливаются по общим описательным характеристикам грунтов, без учета всех геотехнических факторов. Между тем как уполаживание откосов вызывает дополнительные капитальные затраты в несколько миллионов рублей. Например, анализ одной траншеи глубиной около 40 *м* показал, что изменение угла откоса в среднем на 3—4° позволяет сократить объем земляных работ на 480 000 *м*³ и общую стоимость строительства на 5 млн. руб.

Во избежание такого рода необоснованных затрат необходимо при проектировании карьера производить расчеты откосов во всех случаях, когда глубина траншеи превышает 12—15 *м*. Вопрос о том, какой метод расчета применить к карьерным откосам, специально изучался Ленгипрошахтом.[1] Были рассмотрены наиболее известные способы расчета — В. В. Соколовского, Н. П. Пузыревского, П. М. Цымбаревича, Н. Н. Маслова, Г И. Терцаги и др.

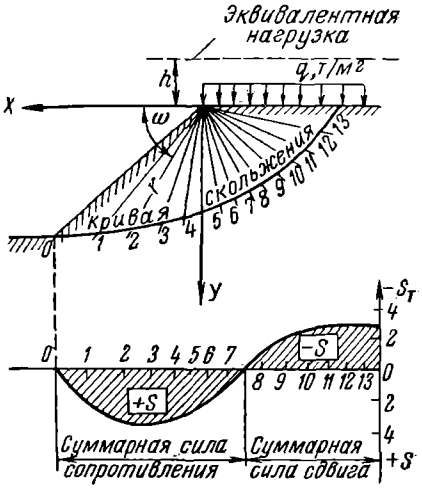


Рис. 5. Кривая скольжения и интегральная кривая сил сдвига и сопротивления

В результате анализа перечисленных методов был рекомендован к применению метод Н. П. Пузыревского, основанный на теории напряженности грунтов. По рекомендации Н. А. Цытовича этот метод был дополнен введением ранее не учтенных сил сцепления и доведен до практического пользования при производстве расчетов на устойчивость откосов.

По этому методу координаты точек кривой скольжения (рис. 5) определяются уравнением

$$r = \Theta \frac{1 + \sin \varphi}{1 + \sin (\omega - \varphi)}, \qquad (18)$$

а силы сдвига $-S$ и сопротивления $+S$ уравнением

$$\pm S = \gamma h \frac{\sin (\psi + \varphi)}{\cos \varphi} + C, \qquad (19)$$

где r — радиус-вектор точки кривой скольжения;
φ — угол внутреннего трения грунта, град.;
ω — угол между радиусом-вектором и осью x;
Θ — постоянная, определяемая при каждом изменении угла, т. е. при переходе из одного грунта к другому;
γ — объемный вес грунта, $т/м^3$;
C — сцепление грунтов, $т/м^2$;
h — высота эквивалентной нагрузки, $м$;
ψ — угол сдвига.

Указанный метод расчета по своим конечным результатам весьма близок наиболее совершенному методу В. В. Соколовского [3], но по технике производства расчетов он значительно проще.

Коэффициент устойчивости n по предлагаемому методу определяется из соотношения сил сопротивления и сил сдвига (рис. 5)

$$n = \frac{+S}{-S} \qquad (20)$$

Независимо от применяемого метода расчета для ориентировочных подсчетов величину коэффициента устойчивости n можно считать пропорциональной объему работ, т. е. повышение коэффициента устойчивости с 1 до 1,5 увеличивает объем работ по устройству откосов примерно на 50%. В абсолютных цифрах влияние коэффициента устойчивости на объем работ может достигать нескольких сот тысяч кубических метров. Поэтому желательно, чтобы коэффициент устойчивости для откосов карьерных траншей был установлен в приказном порядке. Целесообразно

[1] П. И. Кожевниковым, Е. П. Пуйковичем и Л. Г. Тымовским.

установить несколько коэффициентов устойчивости в пределах от 1 до 1,5 в зависимости от грунтов, высоты откоса, наличия нагрузок и эксплуатационного срока сооружения.

Все сказанное об установлении откосов въездных наклонных траншей в равной мере относится и к нерабочему борту разрезной траншеи, откос которого должен устанавливаться также расчетным путем.

Как показывает опыт применения в Ленгипрошахте указанного расчетного метода для установления крутизны откоса, при наличии геологических данных устойчивые откосы можно проектировать без излишних объемов земляных работ.

ВЫВОДЫ

Во избежание излишних объемов работ при строительстве карьеров можно рекомендовать:

1) при проектировании капитальных траншей величину продольного уклона устанавливать с учетом ожидаемого объема перевозок с последующей проверкой его по тормозным средствам поезда;

2) ширину основания траншей устанавливать с учетом категории грунта, расчетного грузооборота и нагрузок на ось от подвижного состава (табл. 3);

3) крутизну откосов глубоких въездных траншей и нерабочего борта разрезной траншеи устанавливать расчетным путем на базе гидрогеологических обследований.

Литература

1. Бабичков А. М. и Егорченко Б. Ф. Тяговые расчеты. Трансжелдориздат, 1949.

2. Правила технической эксплуатации угольных месторождений открытым способом. Углетехиздат, 1949.

3. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. Изд. АН СССР, 1942.

4. Тымовский Л. Г Рельсовый транспорт на карьерах. Углетехиздат, 1951.

5. Фиделев А. С. Расчетные методы при проектировании комплексно механизированных карьеров. Изд. АН УССР, 1954.

6. Шешко Е. Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей. Углетехиздат, 1953.