Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института, том XXII, 1948

К вопросу о характере изменения статических усилий скреперных лебедок

Канд. техн. наук Л. Ф. Шклярский

Как известно [1], во время движения груженого скрепера действуют следующие сопротивления:

1) сопротивление движению захваченного скрепером материала,
2) сопротивление движению самого скрепера,
3) сопротивление движению канатов,
4) сопротивление в блоках и от жесткости канатов,
5) сопротивление зачерпыванию скреперируемого материала.

Во время движения порожнего скрепера действуют только сопротивления (2), (3) и (4), сопротивления (1) и (5) приравниваются нулю.

Однако закономерность изменения сопротивления движению захваченного скрепером материала (обозначаемого в дальнейшем z_1) и сопротивления зачерпыванию скреперируемого материала (обозначаемого в дальнейшем z_5) во время заполнения скрепера по существу не исследована. А между тем знание данной закономерности является весьма желательным с точки зрения перегрузки двигателя скреперной лебедки и, следовательно, более обоснованного теоретически выбора мощности данного двигателя. Основываясь на существующих данных эксплоатации скреперных установок, в частности, на существующих коэфициентах трения и значениях удельной работы зачерпывания, ниже нами предлагается следующая интерпретация закономерности изменения во время заполнения скрепера указанных выше двух видов сопротивления. Как известно, сопротивление движению захваченного скрепером материала (z_1) определяется из выражения:

$$z_1 = f_1 \cdot Q \cdot \cos\alpha \pm Q \cdot \sin\alpha, \qquad (1)$$

где α — угол, образованный горизонтом и плоскостью скреперирования,
f_1 — коэфициент трения материала в скрепере о почву,
Q — вес материала в килограммах в объеме скрепера.

[1] См. проф. А. А. Щукин, Справочник по скреперным работам 1935 г. Проф. В. И. Геронтьев, Рудничный транспорт, ч. 1, 1939 г. Державин, Скреперные установки, 1933 г.

Однако величина z_1 не остается в течение всего пути заполнения скрепера постоянной. Скрепер заполняется материалом до значения Q не сразу, а постепенно, от нуля в самом начале рабочего хода скрепера, до значения Q в конце пути заполнения скрепера. Однако, каков истинная закономерность нарастания количества материала в скрепере в процессе его заполнения, сказать весьма трудно. В зависимости от угла наклона режущей (внедряющейся) стенки скрепера по отношению к плоскости скреперирования, а также в зависимости от конфигурации бортов скрепера, сопротивление z_1 в функции пути скрепера может представлять выпуклую или вогнутую кривую. Кроме того на характер кривой заполнения влияет еще целый ряд факторов, не поддающихся учету, как то: наличие во время заполнения скрепера трения материала о стенки скрепера, затем характер скрепе рируемого материала и проч. Таким образом, аналитический закон из менения сопротивления z_1 с учетом всех факторов не представляется возможным установить. По нашему мнению можно допустить без боль шой погрешности для некоторых средних условий, что сопротивление z_1 в функции пути заполнения скрепера аналитически представляется в виде уравнений прямой линии, чем обусловливается соотношение

$$Q_x = \frac{Q \cdot x}{S_з}, \qquad (2)$$

где Q_x — количество материала в скрепере при данном значении пути x, пройденного скрепером с начала рабочего хода.

$S_з$ — путь заполнения скрепера в метрах.

Полагая в выражении (1) величину $Q = Q_x$ и подставляя ее значение из выражения (2), получаем:

$$z_1 = f_1 \frac{Q \cdot x}{S_з} \cdot \cos\alpha \pm \frac{Q \cdot x}{S_з} \cdot \sin\alpha. \qquad (3)$$

Графически выражение (3) представлено на рис. 1.

В отношении изменения величины сопротивления z_5 при зачерпывании материала скрепером также необходимо заметить, что аналитическую закономерность установить весьма трудно. На величину и характер изменения сопротивления z_5 оказывают влияние угол наклона внедряющейся стенки скрепера, форма и вес скрепера, характер скреперируемого материала и ряд других факторов. Причем, степень влияния других факторов не представляется возможным точно установить. Не располагая соответственными опытными данными, можно, однако, в отношении изменения сопротивления z_5 притти к следующим выводам.

1. Для подковообразного скрепера (рис. 2) можно сказать, что в начале рабочего хода внедрение скрепера, а также сопротивление z_5 от нуля постепенно увеличивается. При определенном количестве материала в скрепере, соответствующем максимальному его погружению, величина z_5 достигает также максимума. В дальнейшем увеличивается количество материала в скрепере, а внедрение его уменьшается; следовательно, уменьшается сопротивление z_5, и при полностью загруженном скрепере $z_5 = 0$. Это обстоятельство объясняется

тем, что при превышении скреперируемым материалом уровня $\alpha\alpha$ давление заполняющего скрепер материала направлено будет уже не вниз (r'), а вверх (r''), так как верхние части бортов скрепера загнуты внутрь его, и по величине r'' все время будет возрастать, вызывая не

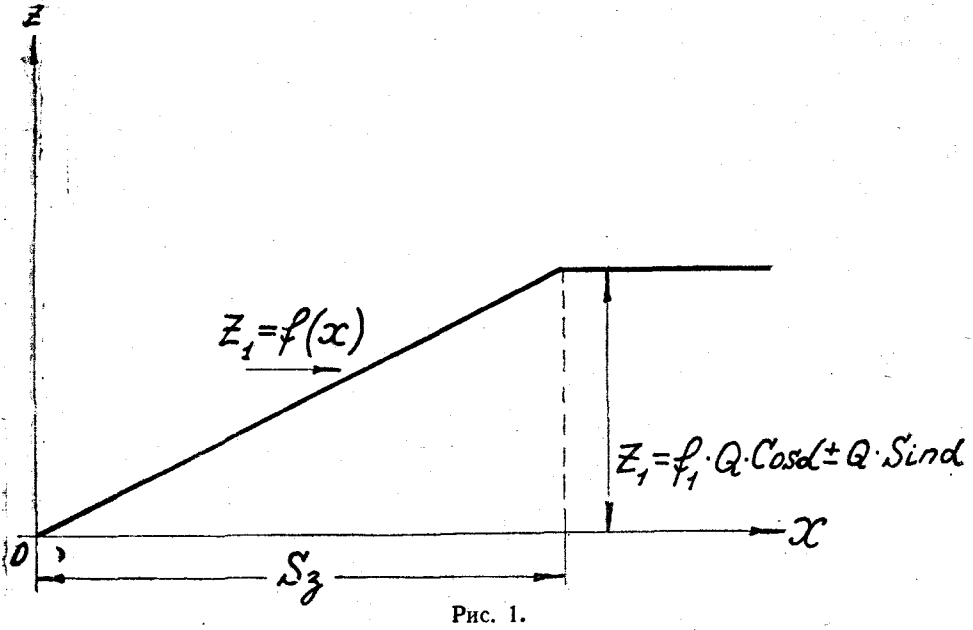


Рис. 1.

погружение, а извлечение скрепера из кучи материала, благодаря чему будет уменьшаться сопротивление z. На глубину погружения скрепера и на то, в какой момент z достигает своего максимума, влияют также все перечисленные выше факторы (угол наклона внедряющейся стенки,

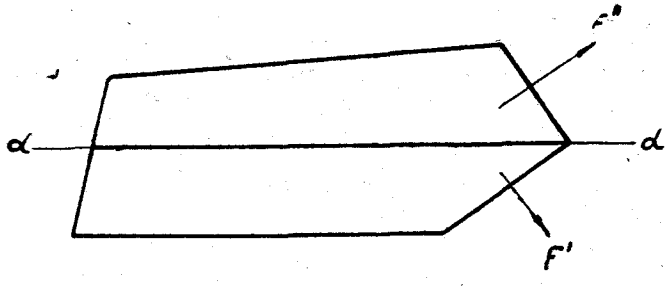


Рис. 2.

форма скрепера и проч.). Для подковообразных скреперов можно полагать, что максимум z_5^* располагается несколько ближе к началу хода скрепера, чем к концу заполнения его. Таким образом, на основании всего изложенного следует, что в течение заполнения скрепера сопротивление z_5 возрастает от нуля до максимума, а затем падает

до нуля. Как видно, прямолинейный закон изменения z_5 в функции пути заполнения скрепера здесь не приемлем; z_5 изменяется по некоторой кривой, имеющей максимум.

2. Рассматривая характер изменения сопротивления z_5 во время заполнения скрепера применительно к другим его формам, например, прямоугольной, ящичного типа, получившего наибольшее распространение в каменноугольной промышленности для доставки угля из забоя, следует заметить, что кривая z_5 здесь носит несколько более условный характер, нежели в случае, рассмотренном выше, так как у прямоугольного скрепера отсутствуют загнутые внутрь борты, что нарушает авто-

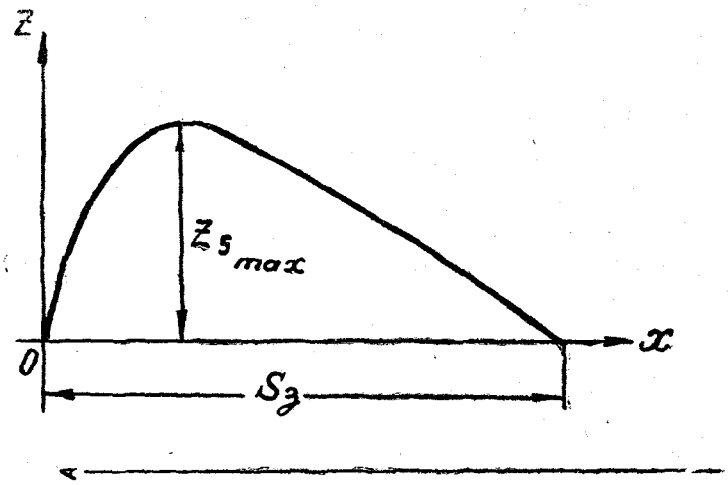


Рис. 3.

матизм загрузки и самоизвлечение скрепера из кучи материалов. Однако и для этой формы скрепера очевидно, что в начале хода заполнения скрепера $z_5 = 0$. По мере углубления скрепера z_5 возрастает. После того как ящичный скрепер оказывается загруженным, т. е. погружение его отсутствует, $z_5 = 0$. Переход от максимального значения сопротивления до его нулевого значения в этом случае осуществляется быстрее, нежели в случае с подковообразным скрепером. В этом случае максимум сопротивления перемещается ближе к концу заполнения, и изменение от максимума до нуля является весьма быстрым. Таким образом, если для подковообразного скрепера кривая имеет форму, как представлено на рис. 3, то для прямоугольного скрепера эта кривая представлена на рис. 4. Иные конструкции скреперов могут обусловить и иной характер кривой z_5.

Однако так как влияние ряда факторов, упомянутых выше, на форму кривой сопротивления z_5 точно не установлено, то, по нашему мнению, независимо от формы скрепера, для некоторых средних условий кривую z_5 можно мыслить в виде параболы (рис. 5), так как она лучше всего соответствует данным условиям, и аналитическое ее выражение проще других кривых.

Уравнение данной параболы в координатных осях $z' - x'$, как известно, имеет вид:

$$z'^2 = A \cdot x'. \tag{4}$$

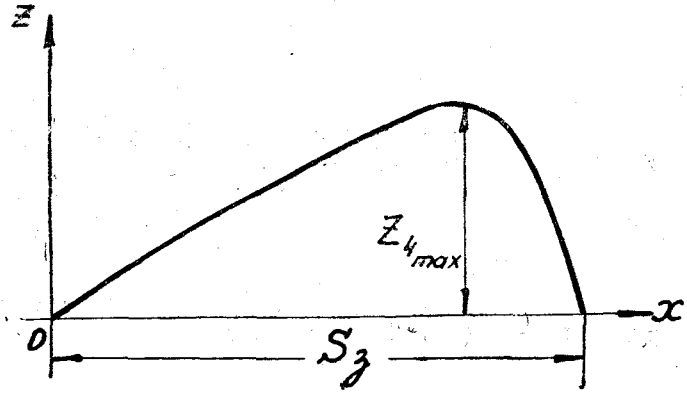


Рис. 4.

Для перехода к координатным осям $z - x$ представляется возможным пользоваться известными выражениями из аналитической геометрии

$$x' = a - z; \qquad z' = x - b. \tag{5}$$

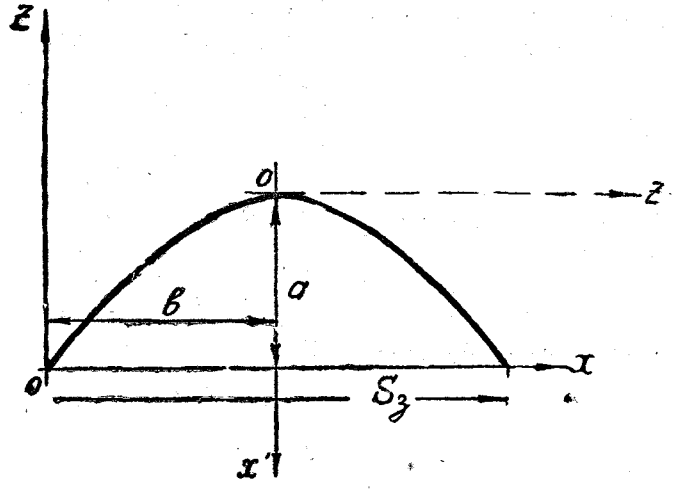


Рис. 5.

Таким образом, уравнение параболы в координатых осях $z - x$ принимает вид

$$x^2 - 2xb + b^2 = A \cdot a - A \cdot z; \tag{6}$$

так как левая ветвь параболы по условию проходит через начало координат осей $z-x$, то, подставляя $x=0$ в выражение (6), имеем

$$b^2 = A \cdot a - A \cdot z.$$

Для получения $z=0$ необходимо, чтобы

$$a = \frac{b^2}{A}. \tag{7}$$

Таким образом, имея в виду выражение (7), уравнение параболы (6) в осях $z-x$ принимает вид:

$$z = \frac{2b}{A} x - \frac{1}{A} x^2. \tag{8}$$

Коэфициенты b и A определяются из следующих соображений:

1. Не трудно видеть (фиг. 5), что

$$b = \frac{S_з}{2}. \tag{9}$$

2. Для определения коэфициента A необходимо сначала определить площадь, ограниченную параболой и осью OX. Данная площадь, очевидно, представляет работу в килограмм-метрах, затрачиваемую для зачерпывания материала в объеме скрепера. Указанная работа численно равна QC,

где Q — вес в килограммах материала в объеме скрепера,

C — удельная работа зачерпывания.

Таким образом, указанная площадь параболы будет:

$$Q\ C = \int_0^{S_з} \left(\frac{2b}{A} \cdot x - \frac{1}{A} \cdot x^2 \right) dx = \frac{1}{A} \left[\frac{2b}{2} \cdot S_з^2 - \frac{S_з^3}{3} \right]. \tag{10}$$

Имея в виду выражения (9) и (10), получаем:

$$Q \cdot C = \frac{S_з^3}{6A},$$

откуда искомый коэфициент будет

$$A = \frac{S_з^3}{6QC}. \tag{11}$$

Коэфициент a, представляющий максимальное значение сопротивления z_5, определяется из выражения (7) после подстановки в него выражений (9) и (11):

$$a = \frac{3QC}{2S_з}. \tag{12}$$

Следовательно, уравнение параболы с учетом выражений (9) и (11) принимает окончательно вид:

$$z_5 = \frac{6QC}{S_з^2} x - \frac{6QC}{S_з^3} \cdot x^2. \qquad (13)$$

Последняя формула представляет, таким образом, аналитическое выражение сопротивления z_5 зачерпыванию материала скрепером в функции пути зачерпывания x.

Таким образом, пользуясь выражениями (3) и 13), а также учитывая известные сопротивления, постоянно действующие при движении скрепера, представляется возможным определить величину суммарного сопротивления в любой момент заполнения скрепера, а следовательно, и величину усилия, развиваемого двигателем скреперной лебедки на окружности рабочего барабана указанной лебедки. При этом значения удельной работы C в выражении (13) можно принимать для различных материалов по данным Е. П. Прокофьева, опубликованным в журнале «Цветные металлы», № 9, 1932 г.

Ниже проделан конкретный пример на предмет определения загрузки двигателя во время заполнения скрепера материалом для лебедки УСА-10, установленной на угольном складе.

Данные установки:

1. Длина скреперирования	$l = 100$ м,
2. Скорость рабочего хода скрепера	$V_р = 0{,}97$ м/сек,
3. Диаметр каната	$d = 13$ мм,
4. Вес погонного метра каната	$p = 0{,}54$ кг,
5. Вес скрепера	$Q_{ск} = 250$ кг,
6. Полезный груз скрепера	$Q = 700$ кг,
7. Емкость ковша скрепера	$v = 0{,}5$ м^3,
8. Длина пути заполнения скрепера	$S_з = 2{,}5$ м,
9. К. п. д. лебедки	$\eta_л = 0{,}8$,
10. К. п. д. двигателя лебедки	$\eta_m = 0{,}885$,
11. Коэфициент трения угля о почву	$f_1 = 0{,}65$,
12. Коэфициент трения скрепера о почву	$f_2 = 0{,}45$,
13. Удельная работа зачерпывания	$C = 1{,}3$ кг.м.

Как известно, для условий горизонтального скреперирования постоянно действующие сопротивления определяются:

$z_2 = f_2 \cdot Q_{ск}$ — сопротивление движению самого скрепера,

$z_3 = f_3(p_1 \cdot l_1 + p_2 \cdot l_2)$ — сопротивление движению канатов,

$z_4 = W_р \cdot f_4 \Sigma \frac{d}{D}$ — сопротивление в блоках и от жесткости канатов.

Поскольку полагаем максимум сопротивления z_5 соответствующим половине пути заполнения скрепера, $\frac{S_з}{2}$, то усилие, развиваемое в этот момент двигателем на окружности рабочего барабана, будет:

$$F_1 = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5. \qquad (14)$$

Подставляем в выражение (14) соответственные числовые значения:

$$z_2 = 0{,}45 \cdot 250 \cong 110 \text{ кг},$$

$$z_3 = 0{,}45 \cdot 200 \cdot 0{,}54 = 50 \text{ кг},$$

$$z_4 = 10 \text{ кг};$$

из выражений (3) и (13) для $x = \frac{S_3}{2}$ следует

$$z_1 = f_1 \cdot \frac{Q}{2} = 0{,}65 \frac{700}{2} = 227 \text{ кг},$$

$$z_5 = \frac{3}{2} \frac{Q \cdot C}{S_3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{700 \cdot 1{,}3}{2{,}5} = 550 \text{ кг},$$

следовательно,

$$F_1 = 227 + 110 + 50 + 10 + 550 \cong 950 \text{ кг}.$$

Усилие, развиваемое двигателем во время рабочего хода скрепера, т. е. после заполнения скрепера материалом, будет

$$F_2 = z_1 + z_2 + z_3 + z_4,$$

причем

$$z_1 = f_1 \cdot Q = 0{,}65 \cdot 700 \cong 450 \text{ кг},$$

следовательно,

$$F_2 = 450 + 110 + 50 + 10 = 620 \text{ кг}.$$

Мощность на зажимах двигателя, забираемая последним из сети и соответствующая определенным выше усилиям, будет

$$P_1 = \frac{F_1 \cdot V_p}{102 \cdot \eta_л \cdot \eta_m} = \frac{950 \cdot 0{,}97}{102 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}885} = 12{,}5 \text{ квт},$$

$$P_2 = \frac{620 \cdot 0{,}97}{102 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}885} = 8{,}5 \text{ квт}.$$

Следовательно, максимальная нагрузка двигателя в процентах во время загрузки скрепера в данных условиях по отношению к нагрузке его во время рабочего хода скрепера составляет

$$\frac{P_1}{P_2} \cdot 100 = \frac{12{,}5 \cdot 100}{8{,}5} \cong 150\%.$$

Проделав аналогичный расчет для случая установки данной скреперной лебедки на руде, например, в условиях Кривого Рога, следует, что

$$\frac{P_1}{P_2} \cdot 100 \cong 200\%.$$

Таким образом, на основании всего вышеизложенного следует, что при выборе мощности двигателя скреперной лебедки тем или иным способом желательно учитывать перегрузку двигателя во время загрузки скрепера методом, предлагаемым выше.