© А.Ю. Чебан, С.А. Шемякин, 2008

УДК 621.879.38:622.232

А.Ю. Чебан, С.А. Шемякин

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКРЕПЕРОВ С ПОДГРЕБАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ ВНУТРИ КОВША

Семинар № 21

Длину ковшей скреперов, считая от кромки боковых ножей до задней стенки, принято выбирать из условия удовлетворительного заполнения ковша связной породой под давлением срезаемой стружки. Из этого условия длина ковша составляет 0,55-0,80 его ширины. Большинство технических решений в области скреперостроения направлено в настоящее время на создание различного рода интенсификаторов, повышающих коэффициент заполнения таких коротких ковшей. Из большого разнообразия предлагаемых технических решений следует выделить интенсификаторы в виде подгребающих промежуточных стенок (ППС), позволяющих заполнять значительно более длинные ковши, чем те, которые имеют место на современных скреперах [1].

В исходном положении ППС находится рядом с заслонкой (положение I, рис. 1). После полного заполнения породой передней и средней части ковша, ППС перемещается в заднюю часть ковша (положение II), а освобожденная передняя часть ковша снова заполняется породой под давлением срезаемой стружки.

Увеличение длины, а следовательно, вместимости ковша, ведет, с одной стороны, к увеличению производительности скрепера, а с другой - к увеличению времени копания породы, собственной массы скрепера, к снижению транспортных скоростей, возрастанию времени рабочего и холостого пробега, увеличению общего времени цикла работы и, как следствие, к снижению производительности.

При увеличении длины ковша масса скрепера возрастает, во первых, за счет увеличения объема породы над днищем ковша (объем АБСД, рис. 1) и эта зависимость линейная, но не прямопропорциональная. Во-вторых, масса скрепера возрастает в связи с удлинением металлоконструкции рабочего оборудования, увеличения диаметра шин, утяжеления седлового шарнира, бампера и т.д. Эта зависимость ускоренно возрастающая (параболическая), а поэтому общая зависимость увеличения массы машины от удлинения ковша параболическая. Зависимость изменения скорости дви-жения скрепера, а следовательно и производительности от его массы практически прямо-пропорциональ-ная. Качественные отличия в функциональных изменениях скорости движения скрепера и его массы предопределяют наличие оптимальной длины ковша. Следует также учитывать, что на карьерах скреперы и автосамосвалы движутся из-за мер предосторожности и плохих, временно устроенных дорог, со средней скоростью 20–25 км/ч и развивают несколько

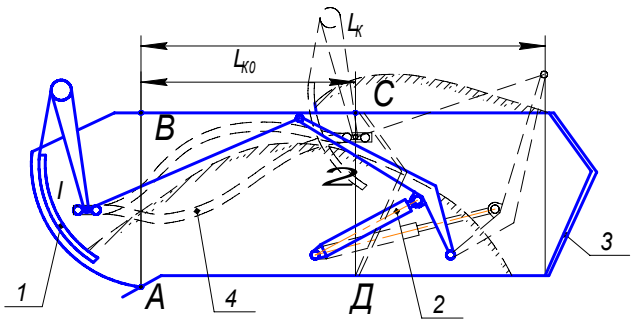

Рис. 1. Продольный профиль короткого (L_{K0}) и длинного ковша (L_K):

1 - ППС; *2* - гидромеханизм перемещения ППС; *3* - задняя стенка; *4* - направляющие движения ППС

большую скорость (до 30…40 км/ч) только на коротких участках пути [2].

Для определения оптимальной длины ковша скрепера с ППС составлена целевая функция, представляющая собой зависимость удельных затрат на разработку и перемещение единицы объема породы скрепером $C_{iуд}$ от длины ковша l_i при определенной дальности транспортировки $L_{тр}$. В основу целевой функции заложена известная зависимость для определения себестоимости выполнения единицы объема работ i машины

$$C_{iУД} = \frac{C_i}{П_{iЭ}} + \frac{S_i E_H}{П_{iЭ} T_Г}, \qquad (1)$$

где C_i - себестоимость часа работы i-ой машины; $П_{iЭ}$ – часовая эксплуатационная производительность i-й машины; S_i - стоимость i-й машины; E_H - коэффициент рентабельности машины; $T_Г$ - фонд времени работы машины в году.

После выявления зависимостей $S_i, П_{iЭ}, C_i$ от длины ковша, целевая функция принимает вид (см. формлу 2).

Где G_i - суммарный вес скрепера и грунта; $G_i^м, R_i^{сц}, G_i^ш$ - соответственно металлоемкость, сцепной вес, вес пары шин при i-й длине ковша; $K_{iн}^{пз}$ - коэффициент наполнения передней части ковша (область заслонки); l_i - отношение фактической длины ковша к длине ковша эталонной машины; $N_{iв}^{гр}, N_{iв}^{хх}$ - мощности, затрачиваемые на преодоление ветрового сопротивления, соответственно при движении с груженым и порожним ковшом; $\varphi_{сц}, \omega, \delta_к, e$ - соответственно коэффициенты сцепления, сопротивления качению, буксования и уклона местности при копании; $S_у$ - рыночная цена скрепера, приведенная к единице его веса; $H_Р, H_А$ -норма годовых затрат на ТО и ремонт и соответственно, амортизационных отчислений; $З_п, H_з$ - соответственно зарплата машиниста и начисления на зарплату; $З_т, З_с, З_р$ - соответственно затраты на топливо, смазочные материалы и рабочую жидкость; $Ц_ш$ - рыночная цена шин, приведенная к единице их веса; $n_ш, П_ш$ - соответственно, число шин на скрепере и нормативный пробег шины; $П_Г$ - годовой пробег скрепера; $K_{дш}$ - коэффициент, учитывающий затраты на доставку шин и на проведение работ по их замене; $K_{разр}$ - коэффициент разрыхления породы; $K_р$ - коэффициент удельного сопротивления резанию; $K_{вр}$ - коэффициент, учитывающий потери времени при копании; $q_{пз}, q_{1д}$ - соответственно геометрические объемы ковша в области заслонки и эталонного ковша в

$$C_{iУД}=\frac{\left[\frac{G_i^м S_у\left(H_A+H_P\right)}{100T_Г}+З_П+H_З+З_т+З_с+З_р+\frac{Ц_ш G_i^ш K_{дш} n_ш П_Г}{2П_ш T_Г}\right]T_Г+S_у G_i^м E_н}{3600\left(q_{пз}K_{iн}^{пз}+q_{iд}l_i K_н^д\right)K_в T_Г K_{разр}}:$$

$$:\left\{\begin{array}{l}\frac{2K_р K_{вр}\left(R_i^{сц}\varphi_{сц}-\sum G_i\omega\right)\left(q_{пз}K_{iн}^{пз}+q_{iд}l_i K_н^д+УВH^2\right)}{\left(BhK_р+R_i^{сц}\varphi_{сц}-\sum G_i\omega\right)K_{разр}\left(N-N_в-N_И\right)\eta\left(1-\delta_к\right)\left(1+\frac{\left(\omega\pm e\right)\sum G_i}{R_i^{сц}}\right)}+\\ +\frac{\sum G_i L_{тр}\left(\omega_{тр}\pm e_{тр}\right)}{\left(N-N_в-\frac{N_{iв}^{гр}}{\eta}\right)\eta K_{дN}\left(1-\delta_{тр}\right)}+\frac{l_1 l_i}{V_{з.с}}+\frac{G_i^м L_{тр}\left(\omega_{тр}\pm e_{тр}\right)}{\left(N-N_в-\frac{N_{iв}^{хх}}{\eta}\right)\eta K_{дN}\left(1-\delta_{тр}\right)}+t_{доп}\end{array}\right\},\quad (2)$$

области днища; $K_н^д$ -коэффициент наполнения породой области над днищем ковша; $У$ - коэффициент, учитывающий объем породы перед заслонкой; B,H - соответственно ширина ковша и высота наполнения; h - минимальная толщина стружки в конце копания; $N,N_в,N_И$ - соответственно мощность двигателя и мощности, затрачиваемые на привод вспомогательных механизмов и интенсификатора; $K_в$ - коэффициент использования машиной внутрисменного времени; $L_{тр}$ - дальность транспортирования породы; η - КПД трансмиссии; $K_{дN}$ - коэффициент, учитывающий использование двигателя по мощности в транспортном режиме; $\omega_{тр},e_{тр},\delta_{тр}$ - соответственно, коэффициенты сопротивления качению, сопротивления уклона мес-тности и буксования в транспортном режиме; l_1 - длина эталонного ковша; $V_{з.с}$ - скорость выдвижения задней стенки; $t_{доп}$ - дополнительное время на развороты и переключение передач.

Решение целевой функции численными методами для каждого конкретного скрепера дает возможность выявить оптимальную длину ковша, при которой себестоимость работ достигает минимального значения (рис. 2).

Оптимальная длина ковшей скреперов превышает (рис. 2) длину ковшей существующих скреперов в 1,54…1,77 раза в зависимости от дальности транспортировки породы и модели скрепера.

С целью определения затрат энергии и мощности на перемещение ППС внутри ковша, разработана расчетная схема для определения сопротивлений движению стенки (рис. 3).

Сопротивление перемещению ППС по сложной траектории можно разложить на две составляющие $P_{X'},P_{Z'}$, которые в общем виде равны:

$$P_{X'}=P_p cos\left(\beta-\alpha_c\right)+2P_{тр.б}+P_{тр.дн}\cos\alpha_c-$$
$$-P_{тр}\cos\alpha_p+\left(G+G_c\right)\sin\alpha_c+P_j,$$
$$P_{Z'}=P_p\sin\left(\beta-\alpha_c\right)-P_{тр.дн}\sin\alpha_c+$$
$$+P_{тр}\sin\alpha_p+\left(G+G_{ПВЛ}+G_c\right)\cos\alpha_c,$$

где P_p - сопротивление резанию, определяемое из условия предельного состояния при пассивном отпоре породы

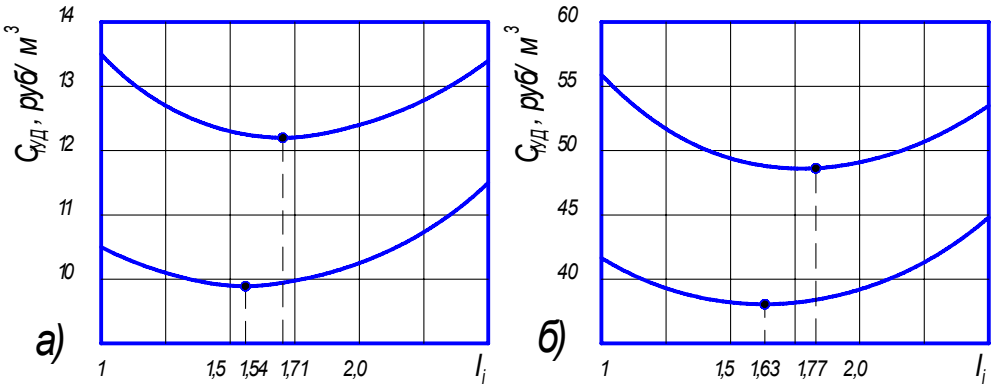

Рис. 2. Изменение удельной себестоимости разработки и транспортировки породы $C_{iуд}$ скреперами в зависимости от относительной длины ковша l_i: а) для дальности транспортировки 400 м; б) для дальности транспортировки 3000м; *1* - для скрепера ДЗ-13; *2* - для скрепера ДЗ-107

призмы выпирания (ПВ), надвигающейся ППС; $P_{тр.б}$ - сопротивление трения породы ПВ по стенке ковша; $P_{тр.дн}$ - сопротивление сдвигу основания ПВ; $P_{тр}$ - сопротивление трения породы ПВ о лобовую поверхность ППС; G - вес породы ПВ; G_c - вес ППС; Pj - сопротивление, связанное с преодолением сил инерции, при разгоне прирастающей массы породы в ПВ; α_c - угол наклона траектории движения ППС к горизонту; α_p - угол установки ППС (резания породы); β - угол наклона ПВ по поверхности сдвига к горизонту.

Сопротивление сдвигу по лобовой поверхности ПВ

$$P_p = -\frac{B}{4}\gamma'_з ctg\beta \ln\frac{R_{31}}{R_{32}}\left[\left(H+H_0\right)^2 - H_0^2\right],$$

где $\gamma'_з$ - коэффициент, учитывающий изменение напряжения, возникающего от собственного веса породы, с высотой столба породы, Н/м^3; R_{31}, R_{32} - радиусы следов пересечения (приняты в виде дуги окружности) секущих плоскостей параллельных днищу с лобовой поверхностью ПВ при загрузке ковша ППС, соответственно в верхней и нижней части ПВ, м; H - высота ПВ, м; H_0 - высота породы в шапке ПВ, равномерно распределенной в качестве пригрузки по верхней плоскости ПВ, м; B - ширина ковша скрепера.

Сопротивление трения породы по стенке ковша

$$P_{тр.б} = \left[\left(a_0\frac{\left(H+H_0\right)^2 - H_0^2}{2} + \right.\right.$$

$$\left.+\frac{\left(H+H_0\right)^3 - H_0^3}{3tg\gamma_з} + \frac{\left(H+H_0\right)^3 - H_0^3}{3tg\left(\alpha_p - \alpha_c\right)}\right)\times$$

$$\left.\times\left(\frac{\gamma''_y + \gamma'_y}{2} + \gamma_y\right)\right]\mu_1, + \mu_1\gamma H_0^2 \times$$

$$\times\left(a_0 + \frac{H}{2tg\gamma_з} + \frac{H}{2tg\left(\alpha_p - \alpha_c\right)}\right)tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}\right),$$

где a_0 - длина основания ПВ; $\gamma_з$ - угол наклона линии пересечения лобовой поверхности ПВ и боковой стенки к горизонту; γ'_y, γ''_y - коэффициенты, учиты-

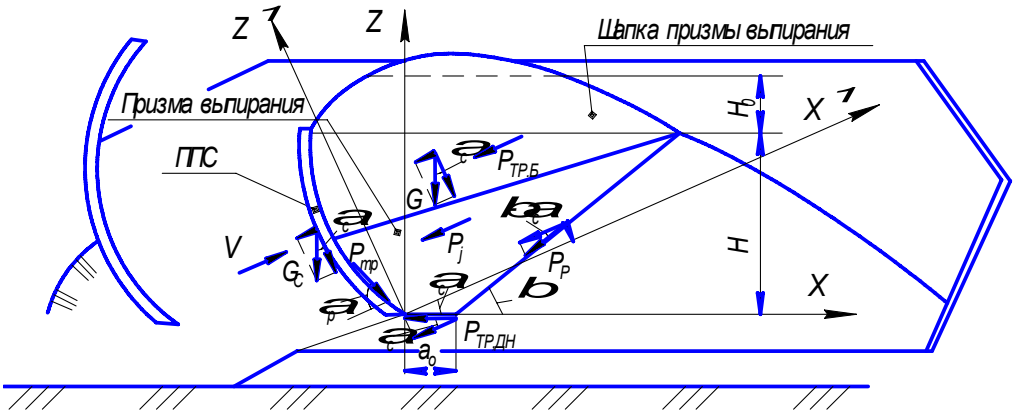

Рис. 3. Расчетная схема к определению сопротивления перемещению ППС

вающие изменение напряжений, возникающих в породе ПВ от давления ППС, с высотой столба породы, соответственно в области контакта лобовой поверхности ПВ с боковой стенкой и ППС с боковой стенкой; γ_y - коэффициент, учитывающий изменение напряжения, возникающего от собственного веса породы с учетом коэффициента бокового расширения, с высотой столба породы; μ_1 - коэффициент трения породы по стали; φ_2 - угол внутреннего трения породы.

Сопротивление сдвигу основания ПВ

$$P_{тр.дн} = \left(\begin{array}{l} a_0 B + R_{32}^2 \arcsin \dfrac{B}{2R_{32}^2} - \\ -\dfrac{1}{2} B \sqrt{R_{32}^2 - \dfrac{B^2}{4}} \end{array} \right) \times$$

$$\times \gamma \left(H + H_0 \right) \mu_2,$$

где γ - объемный вес породы; μ_2 - коэффициент внутреннего трения породы.

Вес породы в ПВ

$$G = \gamma H \left[\begin{array}{l} B \left(a_0 + \dfrac{H}{2tg\gamma_з} + \dfrac{H}{2tg\left(\alpha_p - \alpha_c\right)} \right) + \\ + \left(R_{cp}^2 \arcsin \dfrac{B}{2R_{cp}} - \dfrac{1}{2} B \sqrt{R_{cp}^2 - \dfrac{B^2}{4}} \right) \end{array} \right] +$$

$$+ \gamma H_0 \left[\begin{array}{l} B \left(a_0 + \dfrac{H}{tg\gamma_з} + \dfrac{H}{tg\left(\alpha_p - \alpha_c\right)} \right) + \\ + \left(R_{31}^2 \arcsin \dfrac{B}{2R_{31}} - \dfrac{1}{2} B \sqrt{R_{31}^2 - \dfrac{B^2}{4}} \right) \end{array} \right],$$

где R_{cp} - среднее арифметическое значение радиусов следов пересечения секущих плоскостей параллельных днищу с лобовой поверхностью ПВ.

Сопротивление трения породы ПВ о лобовую поверхность ППС

$$P_{тр} = \frac{\mu_1 \left(2H_0 + H \right) H}{2} \times$$

$$\times \left[\begin{array}{l} \dfrac{\gamma H \cos\left(\alpha_p - \alpha_c\right)}{tg\left(\alpha_p - \alpha_c\right)} + \gamma \lambda B \sin\left(\alpha_p - \alpha_c\right) + \\ + \gamma''_{зх} B \sin\left(\alpha_p - \alpha_c\right) \end{array} \right],$$

где λ – коэффициент бокового давления породы; $\gamma''_{зх}$ - коэффициент, учитывающий изменение напряжения, возникающего в грунте ПВ от давления ППС,

с высотой столба грунта, в области лобовой поверхности ППС.

Сопротивление, связанное с преодолением сил инерции, при разгоне прирастающей массы породы в ПВ

$$P_j = \frac{dm}{dx} a_n$$

или

$$P_j = \rho\left(\left(2ax + в\right)V^2 + \left(3ax + 2вx + c\right) g \sin\alpha_c\right),$$

где ρ - плотность породы; a_n - ускорение породы; dm - приращение разгоняемой массы породы на участке dx; $a, в, c$ - аргументы функции изменения прирастающей массы породы в ПВ; V - скорость движения ППС; g - ускорение свободного падения; x - перемещение ППС по оси x'.

Расчеты по приведенным зависимостям показывают, что для привода интенсификатора типа ППС в зависимости от модели скрепера, длины его ковша и свойств породы может затрачиваться от 30 % до 50 % номинальной мощности двигателя базового тягача. Поскольку копание на заключительной стадии ведется с максимальным использованием мощности тягача, одновременное включение в работу ППС невозможно. Следовательно, для того чтобы включить интенсификатор необходимо остановить скрепер и прекратить копание. Однако, это приведет к увеличению времени цикла машины. В связи с этим, предлагается для привода ППС использовать гидроаккумуляторы, заряжаемые при движении скрепера с порожним ковшом в сторону забоя. В частности для привода интенсификатора скрепера ДЗ-13 потребуются два газогидравлических аккумулятора с полезным объемом 10 литров каждый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шемякин С.А.* Повышение эффективности скреперов// Строительные и дорожные машины. 2001.№1. с. 14-16.
2. *Шемякин С.А., Иванченко С.Н., Мамаев Ю.А.* Ведение открытых горных работ на основе совершенствования выемки пород. - М.: Издательство «Горная книга», 2006. – 315 с.: ил.

ГИАБ

Коротко об авторах

Чебан А.Ю. - старший преподаватель,
Шемякин С.А. - профессор, доктор технических наук,

кафедра «Строительные и дорожные машины» со специализацией «Открытые горные работы» Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ).

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 21 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *Л.А. Кантович.*