

УДК 625.768.5

*Г.Г. Воскресенский, Г.М. Вербицкий*

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВИБРОРЕЗАНИЯ  
ЗУБЬЕВ-РЫХЛИТЕЛЕЙ КОВША ЭКСКАВАТОРА**

Семинар № 21

**О**дним из путей повышения производительности машин для разрушения прочных пород является активизация их рабочих органов, т.е. передача в зону контакта с разрушаемой породой дополнительной энергии. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, наиболее эффективно для активизации могут быть использованы динамические нагрузки, позволяющие развивать на рабочем органе значительные усилия [1, 3, 4, 5].

Ковши с активными зубьями представляют собой сменное оборудование к экскаваторам и предназначены для разработки мерзлых и прочных пород без их предварительного рыхления. Экскаваторы с такими ковшами могут обеспечить законченный цикл работы: разработку породы и её погрузку.

Развитие горнорудной деятельности по добыче драгоценных металлов связано с удлинением сезонных работ, вовлечением в хозяйственный оборот значительных объемов воды, которая после её использования в зимний период замерзает в отвалах и накопителях, а иногда и в складках местности, что наносит существенный вред экологии региона. Разрушение такого вида ледяных образований и погрузка в транспорт в стесненных горных условиях представляет техническую проблему. Определенные затруднения возникают при разрушении наледей, образующихся на горных доро-

гах. Эффективная разработка таких ледяных образований в соответствии с рекомендациями А.Н. Зеленина возможна с использованием ковшей активного действия [1].

Первая конструкция ковша с активными пневматическими зубьями была предложена ещё в 1937 г. Ю.С. Верниковским [2]. В последующие годы работы по созданию таких ковшей были продолжены Институтом горного дела АН СССР им. А.А. Скочинского, Институтом горного дела СО АН СССР, ИНИИС МИНТРАНСтроя СССР, НЭТИ, ВНИИземмаш, Карагандинским политехническим институтом, СибАДИ и другими научными организациями.

В настоящее время пока отсутствуют серийно выпускаемые ковши активного действия не только в Российской Федерации, но и за рубежом. Основными причинами, сдерживающими развитие и производство ковшей активного действия по нашему мнению являются:

1. Сравнительно малая погонная энергия удара на единицу ширины лезвия рабочего органа 500...1000 Дж/м;
2. Значительное усложнение конструкции и утяжеление ковша из-за размещения непосредственно на ковше механизмов привода вибромолотов.

Использование гидропневмоударных механизмов позволяет существенно снизить массу ковшей. Однако в гидро-

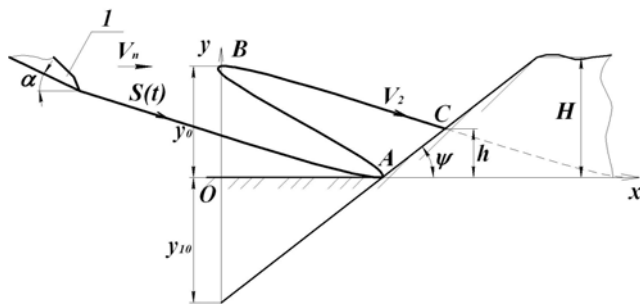


Рис. 1. Расчетная схема процесса виброрезания наклонным рабочим инструментом

пневмоударных механизмах осуществляется принцип передачи ударного импульса от бойка рабочему органу, находящемуся в контакте с разрушаемой средой, при этом коэффициент полезного действия зависит от соотношения масс бойка и рабочего органа. Для равных масс бойка и рабочего органа, находящегося в разрушаемой среде, КПД составляют 0,5 [1]. Поэтому заслуживает внимания способ разрушения, когда рабочий орган является одновременно подвижной массой гидropневмоударника и его энергия полностью реализуется на разрушении породы.

В способе разрушения, получившем название виброрезание, рабочий орган, имеющий начальную скорость  $V_2$ , внедряется в разрушаемую среду горизонтально или, применительно к ковша активного действия, под углом к основной траектории движения ковша. В результате взаимодействия рабочего органа со средой происходит скол частицы под углом  $\psi$ , затем режущая кромка выходит из зоны разрушения, возвращается в исходное состояние и вновь разгоняется до соударения с разрушаемой средой.

Анализ литературных источников показал, что пока отсутствуют рекомендации по выбору параметров процесса виброрезания, определяемого скоростью поступательного движения ковша, амплитудой и частотой колебаний рабочего органа.

Представим расчетную схему процесса виброрезания рабочего инструмента, совершающего гармонические колебания по зависимости  $S = a \cdot (1 - \cos \omega t)$  и уста-

новленного на ковше движущегося со скоростью  $V_n$ , где  $a$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – частота колебаний,  $t$  – время (рис. 1).

Допустим, ось периодического движения рабочего органа 1 составляет угол  $\alpha$  с направлением траектории поступательного движения ковша.

Представим координаты движения режущей кромки

$$x = V_n \cdot t + a \cdot (1 - \cos \omega t) \cdot \cos \alpha ;$$

$$y = y_0 - a \cdot (1 - \cos \omega t) \cdot \sin \alpha ;$$

$$y_0 = 2a \cdot \sin \alpha .$$

Будем считать, что предыдущее воздействие режущей кромки на среду заканчивается в точке А, в которой происходит скол частицы под углом  $\psi$  к направлению движения ковша.

Координата точки А может быть определена

$$x_A = V_n \cdot \frac{T}{2} + 2a \cdot \cos \alpha ,$$

где  $T = 2\pi / \omega$  – период колебаний.

Координата точки В, из которой происходит начало следующего движения

$$x_B = V_n \cdot T .$$

Перенесем в точку В новые координаты  $(x, y)$  и представим движение режущей кромки из точки В.

Через точку А проходит поверхность скола частицы, которую в плоскости чертежа представим прямой

$$y = y_{10} + \operatorname{tg}\psi \cdot x$$

Начальная координата  $y_{10}$  может быть определена

$$y_{10} = -(x_A - x_B) \cdot \operatorname{tg}\psi.$$

Тогда линию скола представим

$$y_1 = \operatorname{tg}\psi (x - x_A + x_B).$$

Для определения начальной скорости  $V_2$  внедрения режущей кромки в разрушаемую среду приравняем координаты  $y$  и  $y_1$ , что соответствует времени  $t_2$  от начала движения рабочего органа. Для расчета времени  $t_2$  была составлена итерационная программа определения разности

$$dy = y_1 - y = \operatorname{tg}\psi (x - x_A + x_B) - y_0 + a(1 - \cos\omega t) \sin\alpha$$

$$x = V_n \cdot t + a(1 - \cos\omega t) \cdot \cos\alpha$$

Если  $dy > 0$ , тогда принимается время  $t = t_2$ .

С учётом времени  $t_2$  скорость  $V_2$  может быть определена

$$V_2 = V_n \cdot \cos\alpha + a \cdot \omega \sin\omega t_2.$$

Координата точки С определяется

$$x_C = V_n \cdot t_2 + a(1 - \cos\omega t_2) \cdot \cos\alpha.$$

Выразим время  $t_A$ , при котором происходит остановка режущей кромки

$$t_A = \frac{\pi}{\omega} + \frac{1}{\omega} \arcsin\left(\frac{V_n}{a \cdot \omega \cos\alpha}\right) \quad (a)$$

Уравнение (а) может быть разрешено, если  $\frac{V_n}{a \cdot \omega \cdot \cos\alpha} \leq 1$ .

Время взаимодействия рабочего органа со средой  $t_1 = \frac{T}{2} - t_2$ .

Как показали результаты исследований Д. Кумабэ, усилия виброрезания существенно зависят от времени взаи-

модействия рабочего органа со средой [2]

$$P = \frac{t_1}{T} \cdot P_0 + \frac{2}{\pi} P_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(n \frac{t_1}{T} \pi\right) \cos n\omega t,$$

где  $P_0$  – сила статического резания.

Поэтому весьма важно определить влияние параметров процесса виброрезания на отношение  $t_1/T$ , которое в наших расчётах обозначено как  $\tau$ , а  $t_2/T = \tau_1$ . Удобно оценивать предлагаемые безразмерные параметры времени  $\tau$ ,  $\tau_1$  в зависимости от безразмерного параметра скорости взаимодействия рабочего органа со средой  $\bar{V} = V_n/a \cdot \omega \cdot \cos\alpha$ .

Расчёты выполнены для см,  $\alpha = 20 \dots 60^\circ$ ,  $\omega = 100 \dots 300$  рад/с,  $V_n = 0,6 \dots 1,2$  м/с. Безразмерная скорость  $\bar{V}$  ограничена условием  $\bar{V} \leq 1$  в соответствии с уравнением (а). Если принять  $\bar{V} \geq 1$ , тогда процесса виброрезания не наблюдается, так как режущая кромка будет постоянно контактировать со средой.

Скорость внедрения  $V_2$  рабочего органа (рис. 2 а, б) в разрушаемую среду снижается с увеличением  $\bar{V}$ .

а)  $\alpha = 20^\circ$ ; б)  $\alpha = 30^\circ$ .

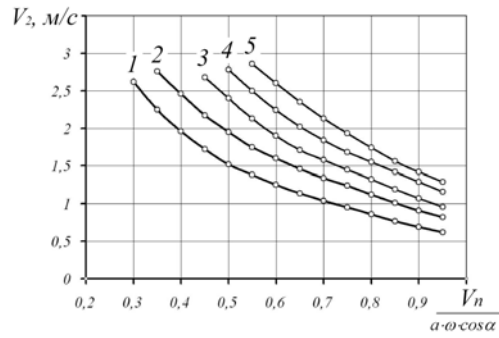
Скорость внедрения рабочего органа  $V_2$  в основном определяется частотой колебаний  $\omega$  и в меньшей степени зависит от угла  $\alpha$  и поступательной скорости ковша  $V_n$  (рис. 3, 4).

Безразмерные параметры  $\tau$ ,  $\tau_1$  для углов  $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$  в зависимости от  $\bar{V}$  представлены на рис. 5 а, б.

Снижение безразмерного параметра  $\bar{V}$  сокращает время взаимодействия рабочего органа со средой  $\tau$  и, можно предположить, усилие резания. Выбор рациональных параметров процесса виброрезания можно представить в сле-

дующей последовательности: назначаем значение  $\bar{V}$  в диапазоне 0,35...0,45 и определяем по графикам  $\tau(\bar{V})$  значения  $\tau, \tau_1$

а)  $\alpha = 20^\circ$



б)  $\alpha = 30^\circ$

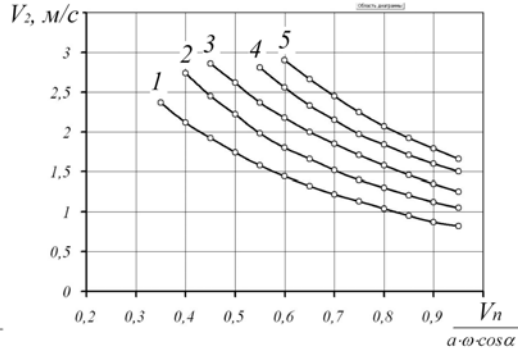


Рис. 2. Влияние  $V_n / a \cdot \omega \cdot \cos \alpha$  на скорость внедрения режущей кромки: а) рабочий орган установлен под углом  $\alpha = 20^\circ$ ; б)  $\alpha = 30^\circ$ ; 1 –  $V_n = 0,6$  м/с; 2 –  $V_n = 0,75$  м/с; 3 –  $V_n = 0,90$  м/с; 4 –  $V_n = 1,05$  м/с; 5 –  $V_n = 1,2$  м/с.

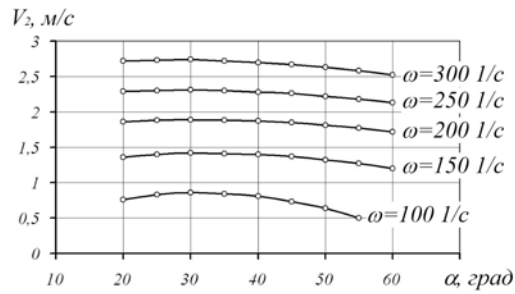


Рис. 3. Влияние угла установки рабочего органа на скорость  $V_2$

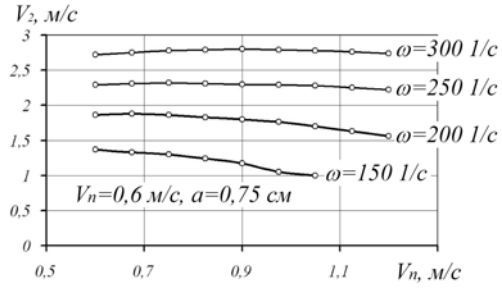
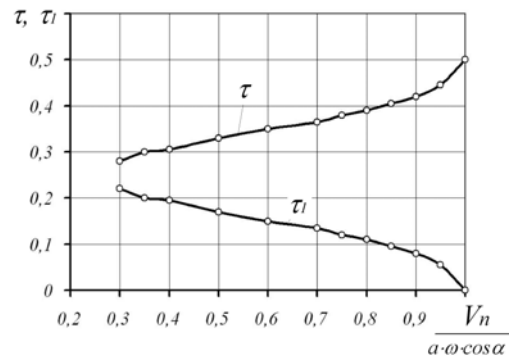


Рис. 4. Влияние поступательной скорости ковша на скорость  $V_2$

а)  $\alpha = 20^\circ$ ;



б)  $\alpha = 30^\circ$

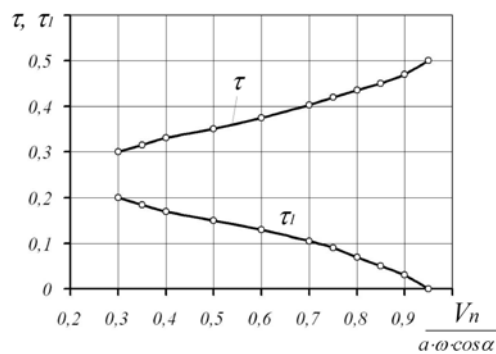


Рис. 5. Зависимость  $\tau$ ,  $\tau_1$  от скорости  $\bar{V}$


(рис. 5, а, б) для углов установки рабочего органа  $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ . Для известной скорости поступательного движения ковша  $V_n$  находим выражение  $a \cdot \omega = V_n / \sqrt{V} \cdot \cos \alpha$  и при заданной частоте колебаний  $\omega$  вычисляем амплитуду колебаний  $a = V_n / \omega \cdot \sqrt{V} \cdot \cos \alpha$ .

Следует отметить, что процесс виброрезания возможен если глубина внедрения  $l_b$  рабочего органа достаточна для образования скола частицы разрушаемой среды и зависит от па-

\*

раметров гидроударных устройств [5]. По результатам наших экспериментальных исследований по разрушению льда  $l_b = 0,4 \dots 0,5H$ , где  $H$  – толщина срезаемого слоя. Амплитуда колебаний должна обеспечить необходимую глубину внедрения рабочего органа  $a > l_b / 2\pi \cdot \sqrt{V} \cdot \cos \alpha$ . Предложенная методика выбора параметров виброрезания позволит на стадии проектирования создать эффективные рабочие органы для разрушения прочных пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968, - 376 с.
2. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С. Л. Масленникова /Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
3. Машины для разработки мерзлых грунтов. – М.: Машиностроение, 1973, - 272 с.
4. Недорезов И.А. и др. Резание и ударное разрушение грунтов. /Недорезов И.А., Федоров Д.И., Федулов А.И., Хамчуков Ю.М. Новосибирск.: Наука, 1965 – 235 с.
5. Семенова И.А., Галдин Н.С. Определение основных параметров рыхлителя активного действия на основе гидроударного механизма к экскаватору. В кн. Качество. Инновации. Наука. Образование: Материалы международной научно-технической конференции, 15-17 ноября 2005 года. - Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. - Книга 1. - 289 с. 

#### Коротко об авторах

Воскресенский Г.Г. – кандидат технических наук, доцент,  
Вербицкий Г.М. – кандидат технических наук, доцент,  
Тихоокеанский государственный университет.

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

