

УДК 621.9.025.7

А.В. Калакуцкий

РАСЧЕТ ГИБКОГО РЕЖУЩЕГО ОРГАНА УСТАНОВОК ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Рассмотрены приводы пил с гибким режущим органом и области их применения. Приведены сведения по расчету гибкого режущего органа с возвратно-поступательным действием.

Ключевые слова: установка пилы, возвратно поступательное действие, гибкий рабочий орган, траектория движения, усилие в тяговых канатах.

Семинар № 21

Все установки с гибким режущим органом, предназначенные для распиловки природного камня, угля, каменной соли можно разделить на два типа:

1 – установки с бесконечным рабочим органом;

2 – установки с рабочим органом возвратно-поступательного действия.

К установкам первого типа можно отнести ныне существующие в России и зарубежом канатные пилы. Основной характеристикой этих установок является одностороннее движение каната (рис. 1).

Основной проблемой применения установок с бесконечным рабочим органом является значительный износ наружного слоя режущих втулок и большое количество разрывов несущего каната, происходящих преимущественно в местах соединения концов контура [1].

К установкам второго типа (Рис.2) относятся установки возвратно-поступательного движения, привод которых получил название ПП (привод пилы).

Приводы типа ПП предназначены для работы в комплексе с челноковыми гибкими режущими органами или

канатно-цепными пилами. Пилы получили успешное применение в угольной, пищевой и рудной промышленности в конце XX века.

Принципиальная конструкция привода ПП была разработана Кузнецким научно-исследовательским институтом (КузНИУИ). В изготовлении и совершенствовании приводов принимали участие Киселевский и Горловский заводы, а также ВНИИСоля.

Привод ПП предназначен для сообщения рабочему органу возвратно-поступательного движения резания и движения подачи. Преобразование вращательного движения вала электродвигателя в возвратно-поступательное движение пилы с ходом в 1 м осуществляется с помощью рычажно-роликового реверсора. Реверсор не препятствует работе канатных барабанов, обеспечивающих кинематически определенную подачу режущего органа на забой.

Привод снабжается специальным устройством — ограничителем канатного вращающегося блока, предназначенного для предотвращения сбрасывания каната с рабочих роликов. В комплексе с приводом могут применяться специальные блоки для направления канатов в скважины.



Рис. 1. Установка с бесконечным рабочим органом

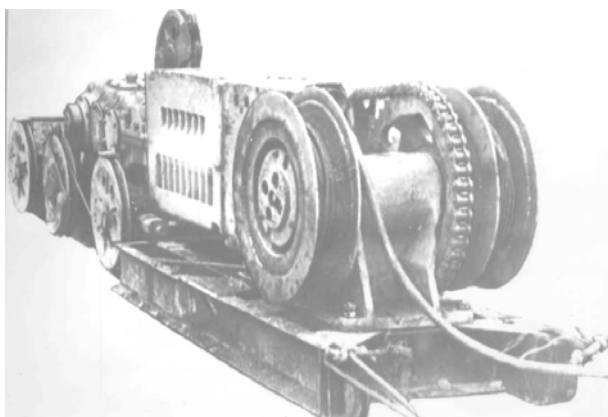


Рис. 2. Установка возвратно поступательного движения с приводом типа ПП

Известны три конструктивные модификации привода пилы типа ПП: ПП-1, ПП-2 и ППГ. Характеристики трех конструктивных модификации привода пилы приведены в табл. 1.

Привод ПП-1 прошел промышленные испытания на шахтах комбината Кузбассуголь, но при этом были выявлены следующие конструктивные недостатки: недостаточная длительная мощность двигателя при удовлетворительной часовой; ненадежность болтовых соединений рамных конструкций; невозможность замены электро-

двигателя пневматическим двигателем.

Для устранения недостатков привода ПП-1 в КузНИУИ был разработан опытный образец привода ПП-2. Опытные образцы привода ПП-2 были испытаны в производственных условиях угольных и соляных шахт в Кузбассе и рудоуправлении Артем-соль.

Испытания привода ПП-2 показали высокую надежность его основных узлов, правильность выбора кинематической схемы. Впоследствии конструкция привода ПП-2 была переработана при одновременном значительном увеличении мощности электродвигателя, и привод получил обозначение ППГ.

В зависимости от конструкции исполнительного органа (каната) канатные установки можно условно подразделить на канатные установки с неармированным рабочим органом, установки с алмазно-канатные и установки с цепным

режущим органом.

Процесс пиления блоков из природного камня канатной установкой с неармированным канатом осуществляется с использованием кварцевого песка крупностью 0,10-1,00 мм, непрерывно подаваемого в пропи́л посредством питателя. В последнее время канатные установки с неармированным канатом вытеснились алмазно-канатными установками, обеспечивающими более качественный пропи́л и более высокую производительность.

Таблица 1

Техническая характеристика приводов	ПП-1	ПП-2	ППГ
Тип привода возвратно-поступательного движения	Электродвигатель		
Максимальное тяговое усилие на канате, кг	500	5000	10000
Средняя скорость резания, м/с	0,87	1,4	0,87
Ход пилы, мм	1000	1000	1000
Диаметр тягового каната, мм	18,5	18,5	20
Тип подающей части	Фрикционно-пульсирующая	Гидравлическая КОФ-41/4	
Скорость подачи, м/мин рабочая /маневренная	0-0,66/0-6,5	0-2,2/0-6,7	
Электродвигатель			
Тип	МА-191/10	КОФ-41/4	ЭДКО4-2М
Мощность часовая, кВт	47	-	105
Мощность длительная, кВт	15	40(50)	75
Число оборотов в минуту	1470	1470	1465
Канатоемкость одного барабана, м	120	120	70
Габаритные размеры привода, мм:			
Длина	5170	3540	4860
Ширина	900	950	1330
Высота	1415	1385	1370
Вес, кг	6100	6300	8243

Алмазно-канатные установки отличаются от установок с неармированными пилами тем, что имевший место прямолинейный контур неармированного рабочего каната заменен на небольшой длины криволинейный контур алмазного каната, чаще всего при работе принимающий форму параболической петли.

К недостаткам алмазно-канатных установок можно отнести: необходимость использования воды для охлаждения инструмента, что затрудняет работу, особенно в зимнее время, требуя обеспечивать подогрев или использовать незамерзающую жидкость типа «Тасол».

Для выемки угольных пластов институтами ДГИ-ВНИМИ и КузНИУИ; для каменной соли – институтом ВНИИСоль, были созданы установки с цепным режущим органом. При создании гибких режущих органов задача была облегчена тем, что имелся огромный опыт применения цепных режущих органов врубовых машин и

угольных комбайнов. Пилы КузНИУИ получили название канатноцепных, так как режущие инструменты – фрезы соединяются между собой отрезками круглозвенной цепи, а с приводом – тяговыми канатами. Пилы ДГИ-ВНИМИ называются канатными, так как соединение фрез обеспечивается одним и тем же гибким звеном – тяговым канатом. Режущий инструмент получил название «фреза» ввиду внешнего сходства с металлорежущим, инструментом и возможностью периодического проворота фрезы вокруг продольной оси в процессе резания.

Исследованию работы пил возвратно-поступательного действия посвящены работы Гойзмана Э.И. [2], Горшкова В.А. [3], Губина В.В. [4], Степанова Е.А. [5], Бардовского А.Д. [6] и др.

Впервые теоретическое обоснование работы канатных пил приведено Гойзманом Э.И. [2]. Им дан метод расчета уравнения траектории дви-

жения пилы и выведена формула для определения усилий в канатах.

В первом приближении форма забоя принимается полукруглой и тогда формула приобретает вид:

$$T = T_0 e^{\mu n} \left(\frac{\sqrt{\rho} + f' \sqrt{D}}{\sqrt{\rho} - f' \sqrt{D}} \right)^{\frac{n}{2}} \times \left[\frac{\sqrt{\rho} + \sqrt{D} \left(\frac{k}{c} + f' \right)}{\sqrt{\rho} - \sqrt{D} \left(\frac{k}{c} + f' \right)} \right]^{\frac{n}{2}} \quad (1)$$

где T – натяжение на рабочей ветви каната; T_0 – натяжение в холостой ветви каната; ρ – радиус кривизны забоя; D – высота зарубной щели; f' – коэффициент сопротивления резания угля затупленным резцом ($f' = 0,4$); c – некоторая постоянная, определяемая по формуле:

$$C = \frac{2}{\pi} \cdot C' \quad (2)$$

где C' – коэффициент, зависящий от крепости угля; табл. 2.

Таблица 2

A_1	до 100	Свыше 100 до 200	Свыше 200
C	24,5	158	114

n – общее количество режущих инструментов; μ – коэффициент трения каната или цепи о камень.

Коэффициент k определяется по формуле;

$$k = A \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{0,35b + 0,3}{b + \beta} \cdot t_3 \cdot k_\alpha \cdot k_t \cdot k_0 \quad (3)$$

где b – ширина отдельного режущего инструмента, см; β – некоторая величина, зависящая от толщины среза и угла бокового развала; t_3 – шаг резания (между зубками), см; k_α – коэффициент, учитывающий влияние угла резания зубков (для углов 60° - 70° $k_\alpha = 1,0$); $k_{t/h}$ – коэффициент, завися-

щий от шага резания (для существующих инструментов пил $k_{t/h} = 0,9$ - $1,0$); k_0 – коэффициент отжима (для небольших толщин среза $k_0 = 1,0$).

Формула 1, выведенная для инструмента, опирающегося на забой одной кромкой, не содержит в своей структуре исходного параметра скорости подачи.

В работе [3] были исследованы факторы, влияющие на производительность установки пилы, определена форма забоя щели. Основным достоинством этой работы является доказанность того факта, что форма забоя щели при стационарном движении меняется от полуокружности в начале запиливания полосы до полуэллипса (овала) с параметрами $a_3 = 0,5B$ и $b_3 = 0,9B$ (где B – ширина полосы).

В работе [5] выведена формула для определения усилий в тяговых канатах для привода пилы с кинематически определенной скоростью подачи и нерегулируемым усилием натяжения тягового каната при косинусоидальном законе движения резания.

Усилие в рабочем и холостом канатах определяются по формулам:

$$T = \frac{d}{A_x} a_i + \frac{\pi}{\omega} V_n i \left[k b_0 (B_x - qd) + cd \right],$$

$$T_0 = \frac{i}{a_0} \cdot \left[\frac{d}{A_x} + \frac{\pi}{\omega} \cdot V_n (c - b_0 q \cdot k) \right],$$

где i – количество зубков в одном веере фрезы, принимающих участие в резании; a – коэффициент, зависящий от крепости разрушаемого материала и износа режущего инструмента; ω – угловая скорость вращения ведущего рычага реверсирующего механизма, c^{-1} ; V_n – скорость подачи; A_x , a_0 , b_0 , d и B_x – безразмерные коэффициенты, определяемые по специальным номограммам. Коэффициент q

вычисляется в зависимости от конструкции фрезы по формуле:

$$q = A_x + \frac{B}{\ell_\phi}, \quad (5)$$

где ℓ_ϕ – длина фрезы.

В этой работе разработаны и частично осуществлены требования к конструкции привода, определяемые конкретными условиями работы пилы. Исследование работы исполнительного механизма типа ПП, представленное в работе [5] для заданного однометрово-го хода режущего органа ($\ell_{\max} = 1\text{м}$), позволило определить скорости движения рабочего и холостого канатов:

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{раб}} &= \omega \ell_{\max} \begin{pmatrix} 0,495 \sin \omega t + 0,07 \sin 2\omega t - \\ -0,028 \sin 3\omega t \end{pmatrix}, \\ V_{\text{хол}} &= \omega \cdot \ell_{\max} \begin{pmatrix} 0,495 \sin \omega t - 0,07 \sin 2\omega t - \\ -0,028 \sin 3\omega t \end{pmatrix}, \end{aligned} \right\} (6)$$

Как видно, $V_{\text{раб}} \neq V_{\text{хол}}$, и поэтому канаты в процессе резания движутся несинхронно.

Теоретически максимальная несогласованность движения канатов составляет величину, равную 1,4% от

максимального хода пилы. Авторы конструкции предполагали, что этот, так называемый дефект кинематики, не окажет существенного влияния на работу пилы ввиду упругости тяговых канатов и податливости узлов крепления привода и направляющих блоков. Однако частые порывы гибкого режущего органа доказывают обратное. Экспериментально установлено, что усилие в рабочем канате достигает максимальной величины не в конце хода режущего органа, что должно происходить при непрерывном равномерном наматывании канатов на барабаны подачи, а в середине хода, когда несогласованность движения канатов наибольшая, что является причиной резкого скачка усилия.

Таким образом, одним из наиболее жизнеспособных приводов канатных установок является привод типа ПП, обеспечивающий возвратно-поступательное движение рабочего органа. Однако существенным недостатком этого привода является несинхронность движения тяговых канатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левковский Г.Л., Давтян К.Д. «Технология алмазно-канатного пиления и комплексное использование минерального сырья» М., 2004.

2. Гойзман Э.И. «Исследование работы исполнительного органа угольной канатной пилы. Кандидатская диссертация М., 1962.

3. Горшкова А.В. «Исследование параметров угольных пил для выемки крутых пластов полосами по восстанию. Кандидатская диссертация, Пермь 1965.

4. Губин В.В. «Исследование условий применения и параметров систем разработ-

ки при безлюдной выемке угля канатными пилами на крутых пластах мощностью до 6,0» Кандидатская диссертация, Новокузнецк, 1962.

5. Степанова Е.А. «Исследование привода гибкого исполнительного органа возвратно-поступательного действия для резания горных пород» Кандидатская диссертация, Прокопьевск, 1965.

6. Степанов Е.А., Бардовский А.Д. Приводы гибких режущих рабочих органов типа ПП. М., 1972. **ИДAS**

Коротко об авторе

Калакуцкий А.В. – аспирант каф. «Теоретическая и прикладная механика», Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru