

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 622.23.01

ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ РЕЗЦОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Е. А. Аверин¹, А. Б. Жабин², А. В. Поляков², Ю. Н. Линник³, В. Ю. Линник³

¹Скуратовский опытно-экспериментальный завод,

E-mail: evgeniy.averin.90@mail.ru, ул. Экспериментальная, 8, 300911, пос. Комсомольский, г. Тула, Россия

²Тульский государственный университет,

E-mail: zhabin.tula@mail.ru, polyakoff-an@mail.ru, просп. Ленина, 92, 300012, г. Тула, Россия

³Государственный университет управления,

E-mail: yn_linnik@guu.ru, d0c3n7@gmail.com, Рязанский проспект, 99, 109542, г. Москва, Россия

Приводятся рекомендации по схемам расстановки резцов, способствующим недопущению существенного роста усилий на соседних с вышедшим из строя резцах. Предложено решение задачи своевременного выявления повреждения резцового инструмента на основе анализа характера изменения нагруженности трансмиссии исполнительного органа горной машины. Согласно теоретическим расчетам, при выходе из строя резцового инструмента относительный рост усилия подачи не превышает относительного роста усилия резания, в отличие от увеличения нагрузки вследствие изменения прочности разрушаемых горных пород. Данная гипотеза проверена при проходке шахтного ствола на Талицком участке Верхнекамского месторождения калийно-магниевого руд комбайном 1СПКВ-8.0 и получила подтверждение.

Тангенциальный поворотный резец, износ, выход инструмента из строя, резание горных пород, аварийный режим работы, соотношение усилий резания и подачи

DOI: 10.15372/FTPRPI20210511

Эффективность применения проходческих и очистных комбайнов в значительной степени зависит от прочности и износостойкости резцов. Данные характеристики определяют расход инструмента при разрушении пород и других сред с разными физико-техническими свойствами и, как следствие, возможную рациональную область применения горных машин [1–3]. Качество резцов как прямо (их стоимость), так и опосредованно (затраты времени на их замену, снижение ресурсов исполнительного органа, элементов трансмиссии, приводов и других узлов комбайна) влияет на стоимость проведения горных выработок [4, 5]. Научно-исследовательские организации и предприятия-изготовители резцового инструмента в России и за рубежом ведут работы по улучшению конструкции резцов, повышению качества и совершенствованию технологии их изготовления.

В процессе эксплуатации поворотные резцы выходят из строя из-за поломок твердосплавных вставок, повреждений и деформации державок, нередко случаи и потери резцов [6, 7]. Такие виды выхода резцов из строя обусловлены несовершенством конструкции, технологии изготовления и средств крепления, а также в значительной степени нарушением правил и усло-

вий эксплуатации. Примерами последних являются: применение резцов в условиях, не предусмотренных их технической характеристикой по прочности пород, повышенные нагрузки на резцы, обусловленные выходом из строя соседних резцов и своевременно не обнаруженные обслуживающим персоналом.

Изучению различных аспектов износа и выхода из строя тангенциальных поворотных резцов посвящено множество исследований. В основном рассматривалось установление физической картины и механизма износа поворотных резцов. Так, на основании исследований с применением автоэлектронной сканирующей микроскопии и спектроскопического анализа в энергодисперсионном рентгеновском излучении [8] выявлены следующие основные процессы, характеризующие износ: растрескивание и дробление зерен твердого сплава; формирование каверн, или полостей; проникновение частиц породы в тело инструмента; коррозия; мезо- и макрорастрескивание; нагревание инструмента; деформирование головки державки инструмента.

Для предотвращения выхода резцов из строя в настоящее время применяется ряд технических мер. Во-первых, используются устойчивые к износу и воздействию высоких температур материалы. Практически всеми фирмами, выпускающими тангенциальные поворотные резцы, применяются твердосплавные вставки, полученные в результате спекания смеси порошков монокарбида вольфрама и кобальта [8, 9]. Во-вторых, совершенствуется конструкция самих резцов. Основные решения касаются формы режущей головки и твердосплавной вставки. Тенденции направлены на снижение областей концентрации напряжений за счет использования симметричных (для обеспечения равномерного износа при проворачивании резцов) эллипсоидных вставок и округлых головок с плавными линиями [10, 11]. В-третьих, существенным моментом, оказывающим влияние на долговечность резцов, является их пространственное положение на исполнительном органе горной машины [12, 13]. Инструмент устанавливается на исполнительном органе так, чтобы он имел возможность свободно проворачиваться вокруг собственной оси, благодаря чему обеспечивается симметричный износ. Углы резания, близкие к 45° , — наиболее рациональные, поскольку в таком случае снижается трение (и как следствие, выделение тепла) между инструментом и породой, а также увеличивается концентрация высоких напряжений в породе, что позволяет снизить необходимые для эффективного разрушения усилия. Важным параметром является угол наклона резца относительно линии резания. Его рациональные значения лежат в диапазоне значений $65-70^\circ$, что снижает вибрации на исполнительном органе и уменьшает энергоемкость разрушения.

Приведенные рекомендации основываются на опыте многолетних наблюдений и испытаний на разных шахтах и других объектах горной промышленности и обобщают наиболее актуальные технологические тенденции. Маловероятно, что в ближайшее время возможно качественное улучшение ситуации с изнашиваемостью резцов при условии их изготовления на современном уровне за счет исключительно технических усовершенствований.

Особую важность приобретают организационные меры, направленные на предотвращение неконтролируемого выхода из строя режущего инструмента. Они должны основываться на проверенных и адекватных реальным процессам износа и выхода инструмента из строя методиках. Основными детерминантами в таких методиках должны быть прочностные и абразивные свойства горных пород [14].

Имеющееся методическое обеспечение, как правило, направлено на определение расхода режущего инструмента для конкретных горно-геологических условий или его среднего ресурса до выхода из строя по причине износа или, гораздо реже, по другим причинам [14, 15]. Широко распространены также расчетные методы, учитывающие влияние износа инструмента на суммарные усилия резания и подачи на исполнительном органе комбайна [16]. Влияние заключа-

ется в изменении геометрии режущего инструмента в процессе работы, вследствие чего уменьшается площадь контакта инструмента с горной породой, что приводит также к смене характера взаимодействия инструмента с горным массивом. Полный выход режущего инструмента из строя приводит к гораздо более сложному процессу — изменению режима резания от нормального к аварийному из-за несоответствия вновь образованной схемы с заложенной на этапе проектирования рациональной конструкцией и рабочими параметрами исполнительного органа (скорости подачи и резания).

Описание изменения режима резания должно производиться путем оценки влияния нерациональных соотношений режимных параметров на показатели резания. Основными режимными параметрами механического разрушения горных пород принято считать глубину h и шаг t резания, при этом часто в расчетах фигурирует их соотношение t/h [17]. Важным условием эффективного механического разрушения горных пород является близость указанного соотношения к так называемому оптимальному значению, при котором обеспечивается наименьшая энергоемкость процесса для заданных условий. Однако, как показывают последние исследования, отличие соотношения t/h от оптимального значения лучше всего подходит для определения границы перехода от полублокированного резания к блокированному [18]. Степень неоптимальности “внутри” границ полублокированного резания следует оценивать отношением имеющего шага t к оптимальному шагу, получаемому из соотношения для определения оптимального значения t/h [18, 19].

Для оценки нагруженности привода трансмиссии исполнительных органов горных машин, оснащенных тангенциальными резами, необходимо определить значения усилий резания и подачи на каждом инструменте, а затем определенным образом их просуммировать. Усилие резания на каждом конкретном резце находится из выражения [19]:

$$F_z = 1.5P_k K_r K_{тр} K_{хп} K_{об} (0.25 + 0.018th), \quad (1)$$

где P_k — показатель контактной прочности; K_r — коэффициент, учитывающий влияние геометрии резца на усилие резания; $K_{хп}$ — коэффициент, учитывающий влияние хрупко-пластических свойств породы; $K_{тр}$ — коэффициент, учитывающий влияние трещиноватости пород; $K_{об}$ — коэффициент, учитывающий влияние степени обнажения забоя.

Усилие подачи определяется как

$$F_y = F_z (0.15 + 0.00056P_k) \frac{2.5}{h^{0.4}}. \quad (2)$$

Коэффициент $K_{об}$ описывает влияние неоптимальности режима резания и рассчитывается по следующей формуле [18]:

$$K_{об} = 1.3 - 0.78 \frac{t}{t_{опт}} + 0.48 \left(\frac{t}{t_{опт}} \right)^2, \quad (3)$$

здесь $t_{опт}$ — оптимальный шаг резания, получаемый из выражения [19],

$$t_{опт} = 3.65K_r \operatorname{tg} \varphi \cdot h^{0.5}, \quad (4)$$

$\operatorname{tg} \varphi$ — показатель хрупко-пластических свойств пород по методу ИГД им. А. А. Скочинского.

Граница применимости зависимости (3), представляющей наибольший интерес в контексте настоящей работы, соответствует условию отношения текущего шага резания к текущей глубине резания не более девяти, иначе режим резания переходит к строго блокированному [18]. Выражение для определения коэффициента неоптимальности резания $K_{об}$ имеет параболическую зависимость с ветвями, направленными вверх, что означает следующее. При соотноше-

нии $t/t_{\text{опт}}$, равном единице, значение $K_{\text{об}}$ также равняется единице, и это наименьшее возможное значение данного коэффициента; а при любом $t/t_{\text{опт}}$, не равном единице, значение коэффициента $K_{\text{об}}$ увеличивается независимо от того, с какой стороны от минимума находится имеющееся соотношение. Согласно (1), повышение значения любого из коэффициентов приводит к пропорциональному увеличению усилия резания, а затем и усилия подачи, как следует из (2). Таким образом, изменение режима резания влечет за собой изменение характера нагруженности трансмиссии исполнительного органа горной машины, определяя ее технико-экономические показатели.

ПОИСК РЕШЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫХОДА РЕЗЦОВ ИЗ СТРОЯ

Характер изменения режима резания в случае выхода из строя режущего инструмента может иметь два принципиально различных вида в зависимости от схемы расположения инструментов на разрушающем органе горной машины — один или несколько резцов в линии резания.

В первом случае выход из строя одного резца приводит к увеличению шага резания для резца в следующей линии резания в 2 раза. Если исходная расстановка инструментов на исполнительном органе реализована с учетом выполнения условия равенства единице для отношения реального шага резания к оптимальному шагу, то авария резца приведет к увеличению усилия резания на соседнем инструменте более чем в 1.6 раза соразмерно увеличению коэффициента $K_{\text{об}}$. Нужно учитывать также повышение нагрузки вследствие прямого увеличения объема породы, приходящегося на один резец, что оценивается множителем в скобках из выражения (1). Столь резкий рост усилий на инструменте увеличивает вероятность выхода из строя следующего резца, что, в свою очередь, провоцирует цепную реакцию.

Параболический вид зависимости коэффициента $K_{\text{об}}$ от соотношения $t/t_{\text{опт}}$ позволяет сделать предположение о возможности подбора такого исходного соотношения реального шага резания к оптимальному, после удвоения которого усилие резания не изменится, по крайней мере, на короткую перспективу.

Для решения поставленной задачи составим равенство

$$1.3 - 0.78 \frac{t}{t_{\text{опт}}} + 0.48 \left(\frac{t}{t_{\text{опт}}} \right)^2 = 1.3 - 0.78 \frac{2t}{t_{\text{опт}}} + 0.48 \left(\frac{2t}{t_{\text{опт}}} \right)^2. \quad (5)$$

Решив равенство (5) при исходном отношении $t/t_{\text{опт}} = 0.54$, получим результат, при котором удвоение реального шага резания в случае выхода из строя режущего инструмента не приведет к росту усилий на соседних инструментах. Подставив значение в формулу (3), получим $K_{\text{об}} = 1.05$, т. е. увеличение усилий на инструментах в сравнении с оптимальной схемой расстановки составляет всего 5 %, что можно считать допустимым компромиссом. Однако отношение реального шага к оптимальному 0.54 означает более плотную расстановку инструментов на исполнительном органе. При неизменных параметрах трансмиссии исполнительного органа захват разрушающего органа следует соразмерно уменьшить примерно в 1.84 раза, что приведет к существенным потерям в производительности.

В случае аварии одного инструмента при нескольких резцах в линии резания — глубина резания резца, следующего за вышедшим из строя в той же линии резания, увеличивается в 2 раза. Составив равенство, аналогичное выражению (5) с учетом влияния изменения глубины резания на оптимальный шаг резания, согласно зависимости (4), и решив его относительно величины $t/t_{\text{опт}}$, получим следующий результат. При исходном отношении $t/t_{\text{опт}} = 0.96$ удвоение глубины резания в случае выхода из строя режущего инструмента не приведет к росту усилий на соседних инструментах. Данное значение довольно близко к единице, и есть соблазн удо-

влетвориться полученным результатом, признав его соответствующим требованиям эффективности работы горных машин. Однако важно учитывать, что возможности режущего инструмента по обеспечению требуемой глубины резания ограничены его конструктивным вылетом. Таким образом, предусматривая возможность работы разрушающего органа горной машины в аварийном режиме, обусловленном выходом из строя режущего инструмента, при проектировании исполнительного органа необходимо закладывать схему расстановки инструментов и режимные параметры так, чтобы обеспечивался запас глубины резания по конструктивному вылету резцов как минимум в 2 раза. Это, в свою очередь, негативно сказывается на показателях производительности разрушения горных пород.

Может показаться, что данный раздел статьи противоречит ранее высказанному тезису о незначительности технических усовершенствований для решения проблем, вызванных износом резцов, на современном этапе развития горной науки и технологий. Однако неоднократно отмечалось снижение производительности в случае применения указанных технических ухищрений, связанных с расстановкой резцов. В то же время положительный эффект от их применения может быть достигнут только в определенных горно-геологических условиях — при разрушении абразивных и/или крепких пород. Данные технические меры не являются универсальными, они предназначены для минимизации негативных последствий выхода из строя резцового инструмента и рекомендуются к применению только в особых случаях.

ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА РЕЗЦОВ ИЗ СТРОЯ НА ХАРАКТЕР НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВОДА ТРАНСМИССИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГОРНОЙ МАШИНЫ

В настоящее время активно ведется работа по созданию алгоритмов автоматизации горных машин [20, 21], но широкого применения предлагаемые решения не получили. Современные алгоритмы разрабатываются под стабильные режимы работы горных машин, акцентируя внимание на недопущении превышения допустимых нагрузок на привод трансмиссии исполнительного органа, причем под основной причиной повышения нагрузки подразумевается увеличение прочности разрушаемых горных пород. Однако рост нагрузки может свидетельствовать также о выходе из строя режущего инструмента. В связи с этим возникает закономерный вопрос: возможна ли дифференциация причин повышения нагрузки на трансмиссию исполнительного органа горной машины?

Отметим, что, согласно выражениям (1) и (2), в случае если в процессе разрушения горного массива прочность разрушаемой породы повышается, рост усилия подачи значительно превышает рост усилия резания, что очевидно из-за наличия в скобках в формуле (2) прочностного показателя. Проверим данное утверждение. В табл. 1 представлены результаты расчетов для трех ситуаций:

— в группе колонок “Исходные данные” приведены основные режимные параметры (глубина h и шаг t резания) и показатели (отношение усилия резания F_y к усилию подачи F_z) работы горной машины в стабильном режиме;

— в группе колонок “Один резец в линии резания” представлен измененный параметр — шаг резания после выхода из строя резцового инструмента $t_{ав}$ для схемы расстановки с одним резцом в линии резания (при этом значение глубины резания h соответствует значению из группы колонок “Исходные данные”), а также отношение усилия резания к усилию подачи после выхода из строя резцового инструмента $(F_z / F_y)_{ав}$ и отношение этой величины к аналогичной в стабильном режиме $\delta(F_z / F_y)_{ав}$.

— в группе колонок “Два резца в линии резания” представлен измененный параметр — глубина резания после выхода из строя резцового инструмента $h_{ав}$ для схемы расстановки с двумя резцами в линии резания (при этом значение шага резания t соответствует значению из группы колонок “Исходные данные”), а также отношение усилия резания к усилию подачи после выхода из строя резцового инструмента $(F_z / F_y)_{ав}$ и отношение этой величины к аналогичной в стабильном режиме $\delta(F_z / F_y)_{ав}$.

ТАБЛИЦА. Влияние выхода из строя резцового инструмента на характер изменения нагруженности привода трансмиссии исполнительного органа горной машины

Исходные данные			Выход из строя резцового инструмента					
h , мм	t , мм	F_z / F_y	Один резец в линии резания			Два резца в линии резания		
			$t_{ав}$, мм	$(F_z / F_y)_{ав}$	$\delta(F_z / F_y)_{ав}$	$h_{ав}$, мм	$(F_z / F_y)_{ав}$	$\delta(F_z / F_y)_{ав}$
5	10	1.90	20	1.90	1	10	2.51	1.32
10	10	2.51	20	2.51	1	20	3.31	1.32
15	10	2.95	20	2.95	1	30	3.90	1.32
5	15	1.90	30	1.90	1	10	2.51	1.32
10	15	2.51	30	2.51	1	20	3.31	1.32
15	15	2.95	30	2.95	1	30	3.90	1.32
5	20	1.90	40	1.90	1	10	2.51	1.32
10	20	2.51	40	2.51	1	20	3.31	1.32
15	20	2.95	40	2.95	1	30	3.90	1.32
5	25	1.90	50	1.90	1	10	2.51	1.32
10	25	2.51	50	2.51	1	20	3.31	1.32
15	25	2.95	50	2.95	1	30	3.90	1.32

Согласно теоретическим расчетам, независимо от исходных и измененных параметров относительный прирост усилия резания равен относительному приросту усилия подачи для исходной схемы расстановки с одним резцом в линии резания. Для схемы расстановки с двумя резцами в линии резания относительный прирост усилия резания в 1.32 раза больше относительного прироста усилия подачи. То есть характер изменения нагруженности привода трансмиссии исполнительного органа горной машины при выходе из строя резцового инструмента отличается от характера изменения нагруженности в случае повышения прочности разрушаемых горных пород. Таким образом, теоретически возможность дифференциации причин повышения нагрузки установлена.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проверка достоверности полученных теоретических выводов осуществлялась по данным бортовых журналов стволопроходческого комбайна 1СПКВ-8.0 производства ООО “Скуратовский опытно-экспериментальный завод” (г. Тула), сопоставленных с наблюдениями при проходке шахтного ствола на Талицком участке Верхнекамского месторождения калийно-магниевого руд, Пермский край. Исследование проводилось в январе 2019 г. при проходке участка ствола, сложенного серым известняком с прослоями песчаника мощностью 5–10 см с пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} = 70$ МПа (на нескольких образцах значение $\sigma_{сж}$ варьировалось от 59.1 до 80.51 МПа), что примерно соответствует значению контактной прочности $P_k = 705$ МПа. Сравнение нагруженности трансмиссии исполнительного органа при разрушении пород другой прочности проводилась для аргиллита с прослоями алевролита мощностью до 10 см с пределом прочности на одноосное сжатие 28 МПа (на нескольких образцах значение $\sigma_{сж}$ варьировалось от 24.84 до 32.16 МПа), что примерно соответствует значению контактной прочности $P_k = 298$ МПа.

В бортовых журналах компьютера записываются следующие сведения, касающиеся настоящего исследования: ток электродвигателя фрезы I_d , являющийся параметром для оценки усилия резания; мощность и частота вращения двигателя поворота рукояти исполнительного органа, на основании которых можно получить значение крутящего момента $M_{кр}$, параметра для оценки совокупного усилия подачи. На рис. 1 показан пример графиков, выводимых на главный монитор комбайна.

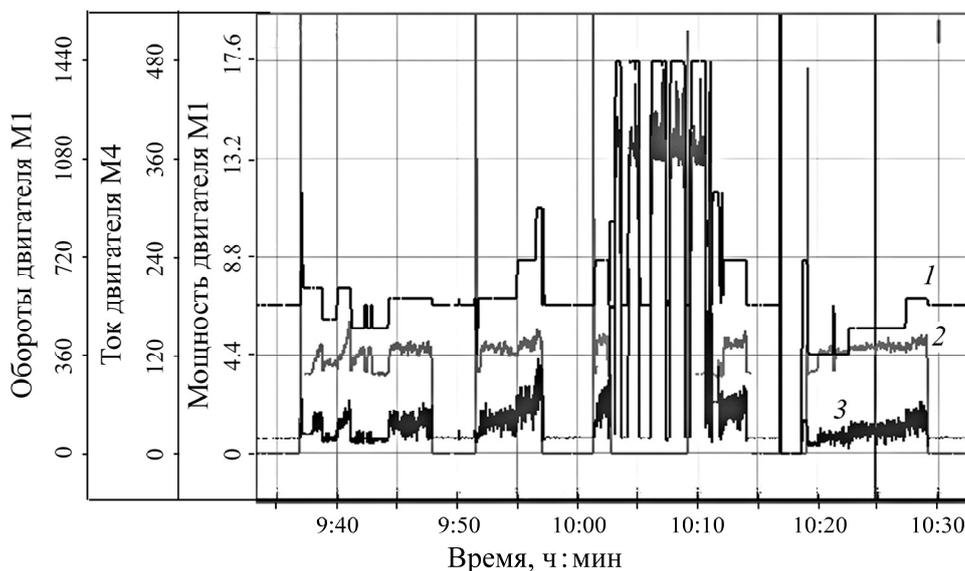


Рис. 1. Пример графиков, характеризующих нагруженность трансмиссии стволопроходческого комбайна 1СПКВ-8.0: 1 — обороты двигателя М1; 2 — ток двигателя М4; 3 — мощность двигателя М1

На протяжении всего исследования постоянными были следующие величины: захват фрезы — 0.52 м; скорость подачи — 0.29 м/мин; скорость вращения фрезы — 39.13 об/мин, глубина резания — 3.75 мм; расстояние между соседними линиями резания (шаг резания) на торцевой (рабочей) части фрезы — 37 мм; число резцов в линии резания — 2.

В качестве данных, характеризующих резание горных пород с вышедшими из строя инструментами, взяты показания от 23 января 2019 г. в период с 10:58:02 по 10:58:11. В 10:58:11 произошла остановка работ с целью замены вышедшего из строя инструмента. Из строя вышло три резца (рис. 2). Замена резцов продолжалась до 11:11:18. В 11:11:18 работа комбайна возобновилась с того места забоя, в котором произошла остановка.

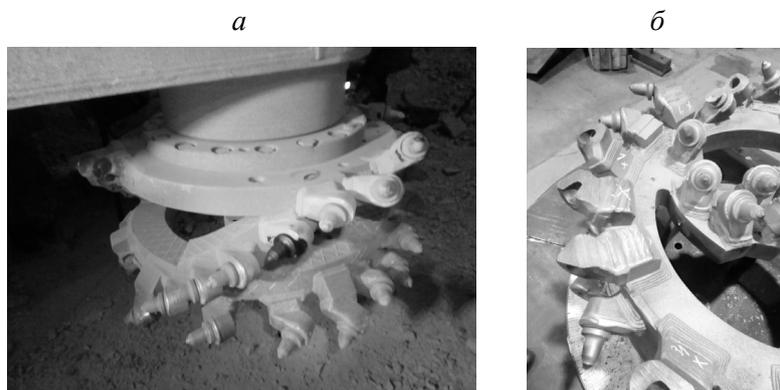


Рис. 2. Общий вид режущего органа комбайна 1СПКВ-8.0: а — фреза с замененным резцом; б — последствия несвоевременного выявления выхода резцов из строя

Период времени с 11:11:18 по 11:11:27 взят в качестве примера данных, характеризующих резание горных пород с полностью исправными резцами. Для сравнения приняты незначительные промежутки времени (по 10 с), поскольку выявление выхода из строя резцов должно быть максимально своевременным с целью недопущения значительных повреждений фрезы. Проходка велась по серому известняку с пределом прочности на сжатие 70 МПа. В качестве данных, характеризующих резание горных пород с полностью исправными резцами по более слабым породам, из бортового журнала взят период времени с 19:39:38 по 19:39:47 от 16 января 2019 г. при проходке участка, сложенного аргиллитом с прослоями алевролита с пределом прочности на одноосное сжатие 28 МПа. За исключением прочности разрушаемых пород все остальные параметры резания идентичны данным от 23 января.

При обозначенных исходных данных, в частности при наличии нескольких резцов в линии резания, разница между характером нагруженности трансмиссии исполнительного органа стволопроходческого комбайна в случае выхода из строя некоторых резцов по сравнению со всеми нормально работающими резцами должна заключаться в более резком росте совокупного усилия резания, чем совокупного усилия подачи. Реальные наблюдаемые значения совокупных усилий резания и подачи, выраженные через ток двигателя фрезы и крутящий момент двигателя поворота рукоятки, показаны на рис. 3.

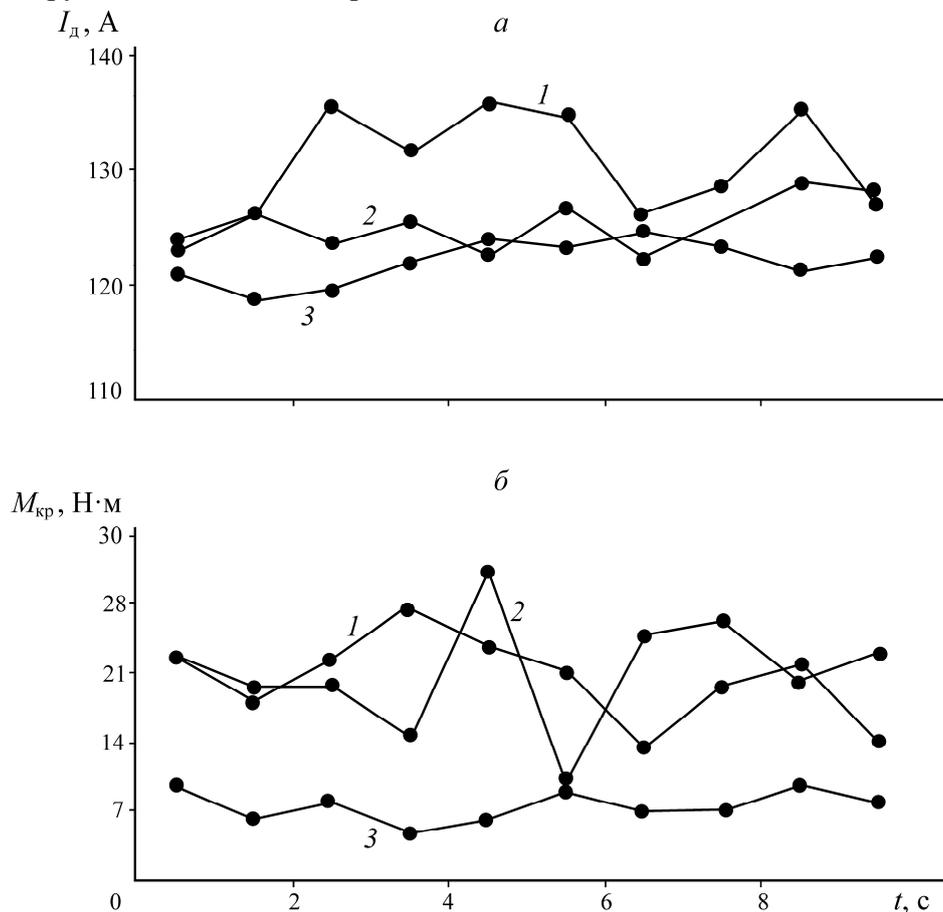


Рис. 3. Характерные зависимости тока электродвигателя фрезы I_d (а) и крутящего момента $M_{кр}$ двигателя поворота рукоятки (б): 1 — при резании известняка фрезой с вышедшими из строя резцами; 2, 3 — при резании известняка и аргиллита фрезой с полностью исправными резцами соответственно

На рис. 3а средние значения силы тока, характеризующей совокупное усилие резания, с учетом доверительных интервалов при 95 % уровне значимости составляют:

- при резании известняка фрезой с вышедшими из строя резцами 130.4 ± 2.9 А;
- при резании известняка фрезой с полностью исправными резцами 125.4 ± 1.4 А;
- при резании аргиллита фрезой с полностью исправными резцами 121.9 ± 1.2 А.

На рис. 3б средние значения крутящего момента, характеризующего совокупное усилие подачи, с учетом доверительных интервалов при 95 % уровне значимости составляют:

- при резании известняка фрезой с вышедшими из строя резцами 20.2 ± 2.7 Н·м;
- при резании известняка фрезой с полностью исправными резцами 21.3 ± 3.7 Н·м;
- при резании аргиллита фрезой с полностью исправными резцами 7.4 ± 1.0 Н·м.

Как видно из приведенных данных, увеличение силы тока вследствие повышения прочности породы для рассматриваемого случая составило примерно 0.7–5.1 %. При этом рост силы тока в результате выхода из строя режущего инструмента составил сопоставимые 0.6–7.5 %.

В то же время крутящий момент вырос в 2.1–3.9 раза из-за повышения прочности горных пород, а его изменение в связи с выходом из строя горнорезущего инструмента варьируется в пределах ± 30 %. Как и было установлено теоретически, совокупное усилие подачи более зависимо от прочности пород, чем совокупное усилие резания.

Таким образом, выводы о возможности дифференциации причин изменения нагрузки на трансмиссию исполнительного органа горной машины, сделанные на основании теоретических изысканий, в целом адекватно отражают реальные процессы резания горных пород.

АЛГОРИТМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРИЧИН ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ТРАНСМИССИЮ ГОРНОЙ МАШИНЫ

Определим основные шаги алгоритма для дифференциации причин изменения нагрузки на трансмиссию горной машины:

- проводится наблюдение за совокупным усилием резания, характеризующимся силой тока двигателя фрезы;
- в случае увеличения совокупного усилия резания, проверяется изменение совокупного усилия подачи, характеризующегося крутящим моментом двигателя поворота рукояти;
- в результате проверки совокупного усилия подачи делается вывод о причинах изменения характера нагруженности трансмиссии исполнительного органа;
- если относительный рост совокупного усилия подачи превышает относительный рост совокупного усилия резания, то причиной увеличения нагрузки следует считать изменение прочностных свойств разрушаемых горных пород;
- если относительный рост совокупного усилия подачи меньше относительного роста совокупного усилия резания, то причиной увеличения нагрузки, весьма вероятно, является выход из строя режущего инструмента.

ВЫВОДЫ

Теоретически обоснована и практически подтверждена принципиальная возможность установления причин изменения характера нагруженности трансмиссии исполнительного органа горной машины на примере стволопроходческого комбайна 1СПКВ-8.0. Установлено, что изменение прочностных свойств разрушаемых горных пород в большей степени отражается на усилии подачи, в то время как выход из строя режущего инструмента влияет на усилие резания. Более надежным показателем изменения характера нагруженности трансмиссии исполнительного органа горной машины является усилие резания, характеризующееся силой тока дви-

гателя фрезы. Закономерности реакции горной машины на изменение прочностных свойств разрушаемых горных пород и на выход из строя режцового инструмента позволили предложить новый алгоритм дифференциации причин изменения нагрузки на ее трансмиссию. Развитие представленного в настоящей статье исследования должно вестись в направлении разработки систем автоматизированного управления горной техникой.

Авторский коллектив выражает глубокую признательность руководству и сотрудникам ЗАО “Верхнекамская калийная компания” и ФГУП “УС-30 СМУ-680” за предоставленную возможность проведения исследования и содействие в его реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prokopenko S. A., Ludzish V. S., and Kurzina I. A. Improvement of cutting tools to enhance performance of heading machines in rocks, *J. Min. Sci.*, 2016, Vol. 52, No. 1. — P. 153–159.
2. Шуо Цяо, Айлунь Ванг, Юмин Сья, Лайкунг Лин, Цзайчжен Лю, Цзиньшу Лю. Оценка влияния расположения режцов коронки на производительность проходческого комбайна // ФТПРПИ. — 2018. — № 6. — С. 98–108.
3. Ордин А. А., Окольников В. В., Рудометов С. В., Метельков А. А. Оценка производительности очистного комбайна при изменяющихся горно-технических и геомеханических характеристиках угольного пласта // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 64–73.
4. Dewangan S. and Chattopadhyaya S. Performance analysis of two different conical picks used in linear cutting operation of coal, *Arabian J. Sci. Eng.*, 2016, Vol. 41, No. 1. — P. 249–265.
5. Линник Ю. Н., Жабин А. Б., Линник В. Ю., Поляков А. В. Оценка влияния отказов режцов и режцедержателей на показатели эффективности работы угледобывающих комбайнов // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2018. — № 2. — С. 247–263.
6. Талеров М. П., Болобов В. И. Долговечность и виды отказов тангенциальных поворотных режцов // Горн. журн. — 2018. — № 4. — С. 77–81.
7. Клишин В. И., Герике Б. Л., Никитенко С. М., Крестовоздвиженский П. Д. Виды и причины отказов тангенциальных поворотных режцов // Горн. журн. — 2016. — № 7. — С. 92–95.
8. Dewangan S. and Chattopadhyaya S. Characterization of wear mechanisms in distorted conical picks after coal cutting, *Rock Mech. Rock Eng.*, 2016, Vol. 49, No. 1. — P. 225–242.
9. Krauze K., Skowronek T., and Mucha K. Influence of the hard-faced layer welded on tangential-rotary pick operational part on to its wear rate, *Arch. Min. Sci.*, 2016, Vol. 61, No. 4. — P. 779–792.
10. Yang D., Jianping L., Zheng K., and Jiang H. High-hardness alloy substituted by low hardness during drilling and cutting experiments of conical pick, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 2017, No. 95. — P. 73–78.
11. Клишин В. И., Никитенко С. М., Герике Б. Л., Крестовоздвиженский П. Д. Новые армирующие вставки для тангенциальных поворотных режцов // Горн. журн. — 2014. — № 12. — С. 89–92.
12. Liu S., Ji H., Liu X., and Jiang H. Experimental research on wear of conical pick interacting with coal-rock, *Eng. Failure Analysis*, 2017, Vol. 74. — P. 172–187.
13. Yang D., Li J., Wang L., Kuidong G., Tang Y., and Wang Y. Experimental and theoretical design for decreasing wear in conical picks in rotation-drilling cutting process, *Int. J. Advanced Manufacturing Techn.*, 2015, Vol. 77, No. 9–12. — P. 1571–1579.
14. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А. О необходимости введения государственного стандарта для определения абразивности горных пород // Уголь. — 2018. — № 11. — С. 86–91.

15. Талеров М. П., Болобов В. И., Чупин С. А. Методика расчета долговечности и установления причины выхода из строя тангенциальных поворотных резцов // Горное оборудование и электромеханика. — 2014. — № 1. — С. 16–23.
16. Dogruoz S., Bolukbasi N., Rostami J., and Acar C. An experimental study of cutting performances of worn picks, Rock Mech. Rock Eng., 2016, Vol. 49, No. 1. — P. 213–224.
17. Wang X., Su O., Wang Q. F., and Liang Y. P. Effect of cutting depth and line spacing on the cuttability behavior of sandstones by conical picks, Arabian J. Geosciences, 2017, Vol. 10, No. 23. — P. 525.
18. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Об учете неоптимальных режимов резания горных пород тангенциальными резцами // Уголь. — 2019. — № 7. — С. 20–24.
19. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Сарычев В. И. Состояние научных исследований в области разрушения горных пород резцовым инструментом на рубеже веков // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 230–247.
20. Шишлянников Д. И., Трифанов М. Г., Чекмасов Н. В., Иванов С. Л. Выбор технически обоснованных режимов работы комбайнов “Урал” на основе оценки нагруженности их приводов в реальных условиях эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. — 2017. — № 7. — С. 3–8.
21. Лукин Д. Г., Юнгмейстер Д. А., Ячейкин А. И., Исаев А. И. Совершенствование работы исполнительного органа проходческого щита КТ 1-5.6М // Горн. журн. — 2018. — № 12. — С. 73–76.

Поступила в редакцию 05/VIII 2020

После доработки 06/VII 2021

Принята к публикации 10/IX 2021