

К ПРОБЛЕМЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ГОРНЫХ ВЬЕМОЧНЫХ МАШИН

В. В. Габов¹, Д. А. Задков¹, Нгуен Ван Суан², М. С. Хамитов³, В. В. Молчанов³

¹ Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Россия;

² Институт энергетической и горной механики — Винакомин, 100000, Ханой, Вьетнам;

³ ООО «Горный инструмент», 654015, Новокузнецк, Россия

Аннотация: Горный рабочий инструмент, используемый для отделения породы от массива в процессах добычи полезных ископаемых, проведения горных выработок, дробления пород и обработки камня, прошёл длительный путь развития. На протяжении сотен тысяч лет его изменения были незначительными, и только в последние два столетия интенсивность его развития резко увеличилась, особенно в последние 50–80 лет. В статье представлен анализ особенностей этапов развития горного инструмента. Отмечено, что с каждым этапом развития горного инструмента совершенствуются исполнительные органы, горные машины и технологические процессы горного производства, интенсивность ведения горных работ возрастает. Рассмотрены закономерности процесса развития рабочего инструмента, обусловившие появление современных резцов выемочных машин, а также эволюция требований к материалам, структуре и конструктивному исполнению резцов. Отмечена роль рабочего инструмента в развитии горных машин и в техническом прогрессе горной добывающей отрасли. Выделены основные и вспомогательные признаки качества, которые были характерны для горнорабочего инструмента на разных этапах его развития. Сформулированы требования к качеству процесса отделения угля от массива и к резцам современных выемочных машин. Показано направление развития резцового инструмента очистных комбайнов для разработки пластовых месторождений на современном этапе.

Ключевые слова: горный инструмент, совершенствование, резец, исполнительный орган, выемочная машина, эффективность, износостойкость, надежность.

Благодарность: Исследование выполнено за счет субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2021 г. № FSRW-2020–0014.

Для цитирования: Габов В. В., Задков Д. А., Нгуен Ван Суан, Хамитов М. С., Молчанов В. В. К проблеме совершенствования рабочего инструмента горных выемочных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6–2. — С. 205–222. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_205.

To the problem of improvement the working tools of mining excavation machines

V. V. Gabov¹, D. A. Zadkov¹, Nguyen Van Xuan², M. S. Hamitov³, V. V. Molchanov³

¹ St. Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Russia;

² Institute of Energy and Mining Mechanical Engineering — Vinacomin, 100000, Hanoi, Vietnam;

³ OOO "Gornij instrument", 654015, Novokuznetsk, Russia

Abstract: The mining working tool used to separate the rock from the massif in the processes of mining, mining, crushing of rocks and processing of stone, has passed a long way of development. For hundreds of thousands of years, its changes have been slow, barely noticeable, and only in the last two centuries has the intensity of its development sharply accelerated, especially in the last 50–80 years. The article presents an analysis of the features of the stages of development of mining tools. It is noted that with each stage of the development of mining tools, executive bodies, mining machines and technological processes of mining production are being improved, the intensity of mining operations is increasing. The regularities of the process of development of the working tool, which led to the appearance of modern chisels of cutting machines, as well as the evolution of requirements for materials, structure and design of cutters, are considered. The role of the working tool in the development of mining machines and in the technical progress of the mining industry is noted. The main and auxiliary quality features that were characteristic of the mining tool at different stages of its development are highlighted. The requirements for the quality of the process of separating coal from the array and to the cutters of modern mining excavating machines are formulated. The direction of development of the cutting tool at the present stage is shown.

Key words: mining tool, improvement, cutter, executive body, mining excavation machine, efficiency, wear resistance, reliability.

Acknowledgement: The study was carried out at the expense of a subsidy for the fulfillment of the state task in the field of scientific activity for 2021 No. FSRW-2020–0014.

For citation: Gabov V. V., Zadkov D. A., Nguyen Van Xuan, Hamitov M. S., Molchanov V. V. To the problem of improvement the working tools of mining excavation machines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–2):205–222. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_205.

Введение

Горный рабочий инструмент (ГРИ) относится к группе древнейших рабочих инструментов, созданных человеком и обладающих особым свойством — создавать в контакте с породой высокое давление, достаточное для отделения кусков породы от массива. Эту особенность человек подсмотрел во взаимодействии древних инструментов с твердыми предметами в процессе их обработки и приспособления к своей пользе.

Необходимость в совершенствовании рабочего инструмента существовала всегда и возникала как реакция на его изнашивание, потерю формы, ресурса и качества. От качества ГРИ в значительной степени зависят производительность и долговечность горных машин, расход энергии, качество и себестоимость добываемой продукции [1–3].

С каждым этапом развития ГРИ возрастает интенсивность горных работ.

Механические способы отделения пород от массива используются при разработке всё более крепких пород, вытесняя буровзрывной, экологически небезупречный, способ [4–6]. Условия работы ГРИ становятся все более тяжелыми [7], быстро возрастает их расход [8–10]. Необходимость совершенствования ГРИ становится постоянно действующей актуальной задачей, а выявление тенденций и закономерностей развития ГРИ является необходимым условием для обоснованного выбора актуальных направлений и способов повышения его эффективности.

Методы исследований

Для выявления особенностей и закономерностей процесса развития ГРИ использовался системный метод, включающий выбор определяющих его факторов, действительных на рассматриваемых этапах развития, выявление основных, постоянно действующих

щих, и второстепенных, свойственных отдельным этапам, признаков качества ГРИ. Качество ГРИ зависит от свойств используемого материала для его изготовления и от совершенства форм инструмента. К основным свойствам (признакам качества) рабочего инструмента относятся те, которые были существенно значимыми на всех этапах его развития:

– функциональная пригодность: наличие в инструменте рабочих частей в виде наковальни (место, по которому наносится удар), конусного заострения с достаточной стойкостью или лезвийного заострения с достаточной твердостью, обеспечивающих сохранение формы при длительном их использовании в процессах разделения кусков породы на части или в процессах их обработки и создания из них предметов, пригодных для дальнейшего использования;

– твердость и вязкость материала, из которого изготовлен инструмент, определяющие его стойкость и возможность длительного использования инструмента по назначению;

– совершенство структуры и устойчивости формы инструмента.

Вспомогательные признаки качества могут иметь существенное значение для оценки эффективности ГРИ на отдельных этапах его развития или для оценки значимости отдельных его свойств, внешних условий, вида энергии или способа её передачи, совершенства способа или технологии получения исходного материала, технологичности изготовления и широты области его использования.

Анализ особенностей этапов развития ГРИ

Горный рабочий инструмент прошел длительный путь эволюции от камней, фрагментов животных, рас-

тений и других естественных природных образований, ставших «ручными орудиями труда» первобытного человека, до современных алмазных сверл и сложнейших буровых долот.

Начало возникновения горного рабочего инструмента относят на 2,6 млн лет назад [11], к каменному веку. Первобытный человек начал использовать камни в качестве рабочего инструмента в совокупности с другими предметами без какой-либо их обработки. В дальнейшем, с увеличением потребности в ГРИ, стала формироваться осознанная обработка камней, проявляющаяся в создании в них необходимой рабочей части в виде лезвийных или конусных заострений.

Были выработаны требования к камню как к исходному материалу для изделия. Он должен быть твердым, легко обрабатываться, образовывать острую кромку при скалывании, быть распространенным на поверхности земли. Этим требованиям более всего соответствовали кремневые камни.

К основному фактору, определяющему качество ГРИ каменного века — твердости, вероятно, относился и не осознаваемый первобытным человеком фактор формы — наличие рабочей заостренной части и державки, придающей удобство удержания рабочего инструмента при передаче ему мускульной энергии в процессе обработки изделия. Значимым шагом в развитии ГРИ стало оснащение его рукоятями и рычагами, увеличивающими предварную скорость инструмента или усилие отрыва кусков породы от массива, что существенно расширяло возможности человека. Интенсивность и объем работ по поиску и созданию простого, а затем составного и разборного ГРИ возросли. Наметились признаки специализации работ в процессах поиска, отбора и обработки камней.

В бронзовом веке (3500—1200 гг. до н.э. [11]), с освоением более пластичных и достаточно твердых материалов — меди и бронзы, человек осознанно стал придавать изделиям ковкой целесообразные формы. Бронзовые орудия постепенно вытесняют каменные, и начинается период металлических горных орудий. Началось массовое изготовление ГРИ, возникли признаки специализации и дифференциации при его использовании в качестве простого ручного инструмента. Возникло изготовление инструмента специального назначения с приданием ему специфических форм, соответствующих характеру процессов использования его по назначению: обработки твердых предметов, охоты, затем составного и разборного инструмента, что расширило область его применения на земляные и строительные работы, обработку и возделывание земли, повысило функциональность, долговечность и эффективность его использования.

Появилась технология получения литьем «конструкционного» материала с заданными свойствами, соответствующими требованиям того времени к ГРИ: к твердости, вязкости, технологии изготовления и придаваемой им форме. Изготавливается, совершенствуется и используется рабочий инструмент простой и составной, с рабочей частью и с державками (рукоятями), соединенными вместе для удобства и повышения эффективности использования. Появляются первые бронзовые кайла, молотки и клинья. Начала развиваться устойчивая специализация рабочего инструмента при его изготовлении. Развивая новую технологию — выплавку металла и изготовления из него рабочего инструмента, человек достиг небывалых успехов в совершенствовании орудий ручного труда и производств, что и предопределило назва-

ние этого периода в истории развития человеческой цивилизации — «Бронзовый век» [12]. Бронзовый век — эпоха начального освоения технологии изготовления достаточно твердого и вязкого конструкционного металла литьем, эпоха перехода цивилизации от технологий каменного века к веку металлургии.

Железный век начался с освоения человеком технологии выплавки железа и новых способов его обработки: обезуглероживания и закаливания, и продолжался с IX—VII века до н.э. до I века н.э. [11]. Человек научился делать из железа ГРИ приданием ему большего разнообразия целесообразных форм, повышением прочности его режущих лезвий и конусных заострений, качества и удобства державок (рукоятей), что привело к массовому его использованию и существенно увеличило возможности человеческого общества. У всех образцов ГРИ нижний конец делали острым, приспособленным для того, чтобы разбивать крепкие породы и руды, а верхний конец делали широким и четырёхугольным — по нему наносили удары молотом. Широкая распространенность и сравнительная легкость разработки железных руд, получение железа более технологичным методом — литьем, и в большом количестве, а также совершенствование технологии производства железа и его сплавов стали решающими факторами, которые предопределили железу роль локомотива для технического переворота, расширившего власть человека над природой. Это привело к более глубокой специализации и выделению специфических групп населения, постоянно занимающихся изготовлением орудий труда для других групп населения, существенно увеличивая их возможности. Некоторые железные орудия того времени и сейчас известны

у горняков — молот, клин, кайло, железный лом, лопата, зубчатый лом, мотыга, обушок, поддира.

Изготовление ГРИ необходимой твёрдости, вязкости, осознанное придание ему целесообразной формы, использование внешней энергии (мускульной силы животных, воды или пара) обеспечили быстрый рост качества и массовости производства ГРИ. Продолжительность железного века, по сравнению с каменным и бронзовым веками, невелика. Однако железный век (ЖВ) повышением качества рабочего инструмента (твёрдости, вязкости, разнообразия форм ГРИ), интенсификацией производства, подводом энергии от внешних источников ускорили технический прогресс, привели к возникновению групп ремесленников [12].

Следующий этап — век развития машин. К этому периоду развития производственным опытом уже было установлено, что механическое отделение горных пород от массива более доступно и технологично по сравнению с другими уже известными гидравлическим и физическими способами, менее опасное, чем взрывной способ.

Создание в начале XX в. первых горных машин: врубовой машины и проходческого комбайна, было связано с удачной попыткой интенсификации процесса добычи угля оснащением их баровых исполнительных органов десятками однотипных резцов и увеличением мощности их привода. Началось массовое производство резцов, на первом этапе «зубков» и «клеваков», затем изготовление армированного инструмента и орудий труда для использования их при ведении горных и земляных работ, обработке камня и других твёрдых материалов. Отличительными признаками наступившего современного этапа развития ГРИ стали:

– групповое использование однотипных видов ГРИ на специальных исполнительных органах горных машин;

– подвод энергии к горным машинам (к их исполнительным органам) от внешних источников в любом месте горных выработок предприятий по создаваемым распределённым электрическим, пневматическим или гидравлическим сетям;

– дифференциация и специализация процессов изготовления и использования ГРИ;

– повышение стойкости горного инструмента армированием его рабочей части пластинками или кернами из специальных износостойких материалов.

Начала развиваться специализация резцов: для выемочных и проходческих комбайнов, стругов, агрегатов, буровых машин. Резцы стали различать по месту установки на исполнительном органе: забойные, кутковые, торцевые; по конструкции: цельные или составные; по количеству лезвий: однолезвийные и двухлезвийные на реверсивных исполнительных органах комбайнов; по типу и формам армирующих элементов; по способам охлаждения резцов и подавления образующейся пыли.

Производительность горной машины стала определяться значениями трех её параметров: количеством одновременно используемых резцов, мощностью привода и удельными затратами энергии на разрушение полезного ископаемого или породы. За последние 50 лет энерговооружённость горных машин существенно возросла [13–15]. Например, мощность привода очистных комбайнов, работающих на мощных и средней мощности угольных пластах, увеличилась в 15–20 раз.

Одновременно развивался ГРИ других групп горных машин: перфораторов, бурильных машин и установок,

Признаки качества горного рабочего инструмента по периодам его развития
Signs of the quality of a mining working tool by the periods of its development

№ п/п	Периоды	Признаки качества основные			Вид используемой энергии	Количество признаков качества: основных (N_0), вспомогательных ($N_{всп}$), внешних ($N_{вн}$), всего ($N_э$)			
		Твердость	Вязкость	Форма		N_0	$N_{всп}$	$N_{вн}$	$N_э$
1	Каменный век (КВ)	+	-	-	Мускульная непосредственная	1	-	-	1
2	Бронзовый век (БВ)	+	+	-	Мускульная непосредственная	2	-	-	2
3	Железный век (ЖВ)	+	+	+	Мускульная непосредственная или внешняя, преобразованная (механический ворот)	2	1	-	3
4	Век развития машин (ВРМ)	+	+	+	Механическая, (преобразованная от тепловой, гидравлической, электрической)	3	1	2	6
5	Механико-энергетический век (МЭВ)	+	+	+	Механо-гидро-электро-физическая	3	2	2	8

отбойных молотков, буровых станков, рыхлителей и экскаваторов. Сформировались многочисленные устойчивые группы ГРИ массового использования и специализированные предприятия для их производства.

Результаты

В таблице и на рис. 1 приведено количество наиболее существенных признаков качества ГРИ по периодам его развития. К основным признакам качества (N_0) отнесены те, значимость которых сохраняется во всех периодах развития рабочего инструмента. К ним относятся признаки, которые обусловлены свойствами конструкционных материалов (твердость, вязкость) и формой инструмента.

Вспомогательные признаки качества ($N_{всп}$) обусловлены наличием конструктивных особенностей, или вспомогательных элементов (резцедержатель, упор, рычаг), которые придают исполнительному органу возможность выполнять вспомогательные функции. Вспомогательными признаками качества оценивается возможность выполнения ГРИ нерегулярных функций. Существенное значение при этом могут иметь внешние элементы [16, 17]: резцедержатель, тип исполнительного органа, тип привода и приобретаемые соответствующие внешние признаки качества ($N_{вн}$) выполнения как основных, так и вспомогательных функций. С развитием горных машин и резцов значение внешних их элемен-

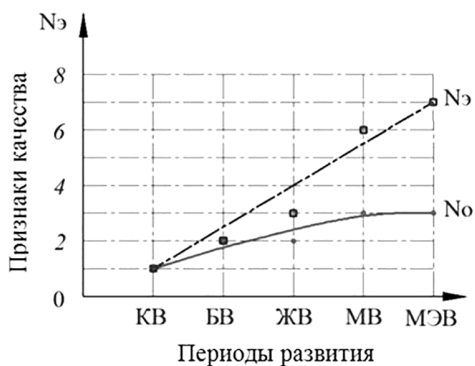


Рис. 1. Изменение количества признаков качества горного рабочего инструмента по этапам их развития (получен авторами)
 Fig. 1. Change in the number of signs of the quality of mining working tool by stages of their development

тов и признаков качества, по влиянию на эффективность процесса отделения угля (породы) от массива, возрастает (рис. 1).

Как видно из данных таблицы и рис. 2, повышение качества горного рабочего инструмента на всех

этапах его эволюции осуществлялось совершенствованием как основных, так и вспомогательных его элементов. При этом количество основных признаков качества оставалось постоянным на всех этапах развития ГРИ, количество вспомогательных и внешних элементов увеличивалось, что приводило к росту количества вспомогательных признаков их качества. При этом основные признаки качества ГРИ улучшались совершенствованием вспомогательных структурных элементов и повышением их качества, например, повышением твёрдости поверхностного слоя головки реза закалкой, наплавкой или армировкой металлокерамикой.

Резцы современных выемочных машин, в соответствии с конструктивными их признаками, выпускаются трех типов: Р — радиальные (рис. 2, а); ТН — тангенциальные неповоротные (рис. 2, б); ТП — тангенциальные поворотные (рис. 2, в).

Резцы по форме их режущих элементов и по виду контакта в процессе

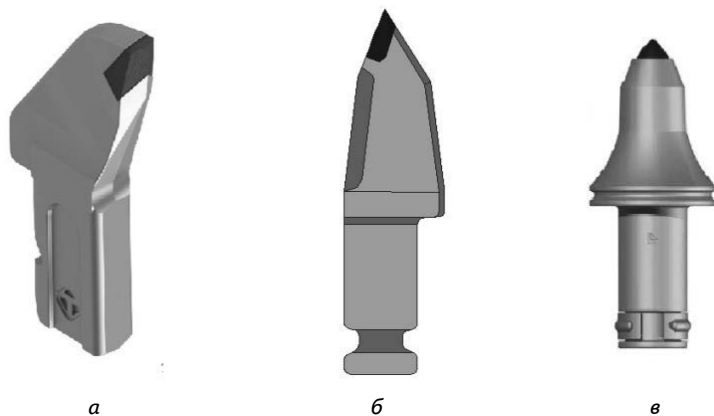


Рис. 2. Типы резцов очистных комбайнов¹: а — радиальный; б — тангенциальный неповоротный; в — тангенциальный поворотный
 Fig. 2. Types of cutter of cleaning combines: a — radial; б — tangential non-rotating; в — tangential rotary

¹ а — взят из каталога ООО «Техпоставка»; б — получен авторами; в — взят из каталога ООО «Горный инструмент».

резания с разрушаемым массивом делятся на две группы: резцы лезвийные, включающие радиальные и тангенциальные неповоротные, и резцы конусные тангенциальные поворотные. Процессы взаимодействия резцов этих двух групп с разрушаемым массивом существенно различаются.

Процесс взаимодействия лезвийных резцов (рис. 2, а, б) с породным массивом характеризуется следующими основными особенностями:

- наибольшее напряжение создается в узкой линейной зоне контакта лезвия резца со структурными, более прочными элементами массива, что обуславливает неизбежность последовательного их разрушения, высокую динамику нагрузок;

- интенсивное изнашивание лезвий резцов с образованием площадок притупления и необходимость повторных заточек резцов;

- высокая вероятность первичных сколов лезвий и малый их ресурс.

Процесс взаимодействия конусных поворотных резцов с массивом, по сравнению с процессом взаимодействия лезвийных резцов, характеризуется следующими особенностями:

- большая площадь контакта выступающего керна резца с массивом обуславливает большую зону концентрации напряжений в массиве по сравнению с зоной, создаваемой лезвийными резцами и большую вероятность образования наведенных трещин, формирующих опережающие выколы угля (породы);

- поворотные резцы при работе могут поворачиваться относительно продольной их оси в резцедержателе под действием неуравновешенных сил трения в контакте с массивом, что сопровождается уменьшением расхода энергии на трение, равномерным изнашиванием конусной части резца с эффектом самозатачивания;

- на поверхности режущей части резцов, представляющих собой тело вращения (конус, цилиндр или их сочетание), при работе с вращением не образуется площадка притупления;

- менее выраженная концентрация нагрузок на рабочей поверхности резцов в контакте с массивом, что повышает износостойкость резцов;

- большие удельные нагрузки при резании пород с малыми толщинами срезов и меньшие удельные нагрузки при больших толщинах срезов по сравнению с лезвийными резцами.

Резцы тангенциальные поворотные не имеют режущих кромок, по существу резцами не являются. По своей конструктивной форме они, как указано в работе [18], соответствуют понятию «клык», а отделение угля от массива осуществляется последовательными элементарными сколами, опережающими конусное заострение резца [19, 20]. Эти резцы обеспечивают более эффективное разрушение горного массива при больших толщинах срезов, менее эффективное разрушение массива при малых толщинах срезов [21], отличаются простотой изготовления, установки, обслуживания, относительно высоким сроком службы и меньшей стоимостью. Поэтому они получили массовое использование, что привело к снятию с производства многих ранее использовавшихся типов резцов.

Резцы горных машин для добычи угля эксплуатируются в условиях, которые характеризуются:

- переменными по характеру и величине нагрузками, пиковые значения которых в 5–10 раз превышают средние их значения [22];

- высокой абразивностью разрушаемых углей и пород [10, 23];

- фрикционным искрением и высокими температурами нагрева режущих кромок резцов в процессе резания;

– опасностью возгорания и взрыва метана и угольной пыли [24].

Дальнейшее повышение энерговооруженности и производительности горных машин ведет к увеличению нагрузок на резы [25], в связи с чем условия их эксплуатации ужесточаются, повышаются требования как к резам, так и к процессу отделения угля от массива [26].

Требования к процессу отделения угля от массива целесообразно сформулировать по четырем основным направлениям (рис. 3):

– качество получаемого продукта по гранулометрическому составу и удельным энергозатратам;

– технологичность оформления забоя: устойчивость формы и размеров забоя, исключение выхода негабаритных кусков, вывалов из кровли и груди забоя, качество обрабатываемой поверхности забоя;

– условия эксплуатации: удобство замены резцов, обслуживания резцов и исполнительных органов;

– эффективность мероприятий обеспечения безопасности процесса резания.

К основным недостаткам процесса отделения угля (породы) от массива резами горных выемочных машин на современном этапе относят:

– низкое качество получаемого продукта по гранулометрическому составу (до 40% мелких классов от общего объёма продукта, в том числе до 10% штыба и пыли [27, 28]) и высокий удельный расход энергии;

– в процессе резания углей и пород выделяется большое количество мелкодисперсной взрывоопасной пыли, для подавления которой требуются высокоэффективные системы пылеподавления;

– процесс резания сопровождается фрикционным искрением, большим расходом энергии на трение, что обуславливает нагрев режущих элементов резцов и необходимость использования высокоэффективных систем охлаждения [23];



Рис. 3. Структура требований к качеству процесса отделения угля от массива и к резам выемочных машин (получен авторами)

Fig. 3. Structure of requirements for the quality of the process of separating coal from the array and to the cutters of mining machines

– недостаточные износостойкость и надёжность резцов [29];

– ограниченная вследствие недостаточной износостойкости резцов [30] область эффективного их использования по крепости разрушаемых твердых включений и прослоев породы;

– однократность использования и непригодность для повторного применения. В результате после износа 20–30% массы реза оставшиеся 70–80% массы попадают в отходы [18], что весьма расточительно с позиций эффективности и ресурсосбережения.

Обсуждение результатов

Известно, что прочность разрушаемого угольного массива меньше прочности составляющих его структурных элементов вследствие наличия ослабляющих массив слоистости и систем трещиноватостей [31]. Однако траектории движения резцов роторных исполнительных органов добычных комбайнов в процессе резания не согласуется с направлением наименьшей прочности массива, что является их недостатком, как и серпообразная форма срезов.

Разрушаемость угольных пластов изменяется в широком диапазоне — от весьма слабых до особо крепких. Параметры рациональных процессов их резания также изменяются. Процесс изнашивания резцов существенно интенсифицируется при резании комбайнами крепких прослоев пород и твердых включений в угольном пласте. По данным фирм-производителей соотношение (кратность) расходов резцов по углю и песчанику с $\sigma_{сж} = 100$ МПа доходит до 100 раз (300 м³/резец для угля и 3 м³/резец для песчаника) [32]. Любой первичный скол армирующих элементов вызывает последующий прогрессивный износ резцов, как правило, с образованием одной, двух или трех, реже пяти плоскостей, что связано с заклинива-

нием резцов и неустойчивым вращением их в резцедержателях. Образование плоскостей в результате изнашивания резков увеличивает нагрузки на резец, динамику нагрузок на резцы и исполнительные органы и, следовательно, скорость выработки ресурса комбайном в целом. Перечисленные проблемы пока не решены. Известные попытки снижения динамических нагрузок комбайна установкой специальных демпфирующих устройств [33], уменьшающих диапазон изменчивости его скорости подачи, к сожалению, не получили последующего развития.

На современном этапе активно ведутся работы по совершенствованию резцов развитием их косвенных признаков качества, т.е. вспомогательных и внешних элементов ГРИ.

Продолжаются работы по упрочнению резцов повышением твердости их поверхностного слоя [34–36], а также армирующих наконечников [37]. Для увеличения срока службы резцов ГРИ предлагаются оребрение головок резцов для лучшего их вращения и равномерности их изнашивания, а также защита зоны крепления наконечника в корпусе, например, путем установки карбидного кольца для защиты стального корпуса от преждевременного изнашивания и для увеличения срока службы твердосплавной вставки [30]. Предлагаются резцы с головками, усиленными режущими пластинами. Ведутся работы по созданию составного рабочего инструмента [38, 39], обеспечивающего его многократное восстановление и использование. Исследуются процессы при гидромеханическом резании, как с подачей воды через резец, так и с опережающей или отстающей струей воды высокого давления [40]. Накопленный опыт производства и эксплуатации такого инструмента выявил часто неоправданную сложность предлагаемых технических

решений, многотипность резцов, низкий ресурс и высокую стоимость ГРИ.

Существующие методы повышения качества горного рабочего инструмента сводятся к точечному либо комплексному подходу. Точечный подход направлен на совершенствование отдельных свойств основных элементов.

Наиболее эффективный комплексный подход включает совершенствование структуры не только горного рабочего инструмента, но и его вспомогательных элементов, повышение качества используемых материалов и качества изготовления всех основных и вспомогательных структурных элементов; совершенствование технологических процессов термообработки; улучшение технологических условий разрушения резцом массива; оптимизацию схем и параметров установки резцов на исполнительных органах [41, 42].

Поэтому для решения обозначенных проблем предлагается групповая схема расстановки резцов на шнековом исполнительном органе очистного комбайна (рис. 4), лопасти которого оснащены специальными резцедержателями для групповых резцов, расположенных с резцедержателями для резцов в чередующихся плоскостях вращения. Дополнительные резцедержатели 3 выполнены с четырьмя гнездами для установки группы резцов, причем опережающее гнездо парных резцов 4 выполнено для установки в параллельных плоскостях вращения сближенных, без опережения друг друга, парных резцов 7. Последующие левый резец 8 и правый резец 9 установлены в гнезде левого резцедержателя 5 и в гнезде правого резцедержателя 6 (рис. 4, а), по нормали к соответствующим боковой левой поверхности борозды парного среза 14 (рис. 4, в) и боковой правой поверхности борозды парного среза 15 (рис. 4, г), опережающего парного среза

10 (рис. 4, б) и с отставанием от опережающего резца не менее чем наполовину радиального вылета резца.

Использование энергоэффективных подрезных, парного и группового срезов с общим для каждого полем напряжений в подрезцовом пространстве массива, создающих благоприятные условия для скалывания целиков тангенциальными резцами, позволяет уменьшить пылеобразование, выход мелких классов угля и удельный расход энергии, улучшить гранулометрический состав добываемого угля и снизить ограничение по производительности. При этом происходит увеличение толщины среза и шага расстановки резцов на исполнительном органе, увеличение площади сечения срезов использованием эффекта парности сколов и формированием групповых и комбинированных срезов.

Заключение

1. Повышение качества горного рабочего инструмента на всех этапах его эволюции осуществлялось ростом количества его вспомогательных признаков качества, при этом количество основных признаков качества оставалось постоянным.

2. Основные признаки качества горного рабочего инструмента улучшаются повышением качества их вспомогательных структурных элементов, например, повышением твердости поверхностного слоя головки резца закалкой, наплавкой или армировкой металлокерамикой.

3. Наиболее эффективен комплексный подход повышения качества горного рабочего инструмента, включающий совершенствование структуры не только горного рабочего инструмента, но и его вспомогательных элементов (фиксаторов, резцедержателей, исполнительных органов, систем орошения и прочих устройств), повышение качества используемых материалов и качества изготовле-

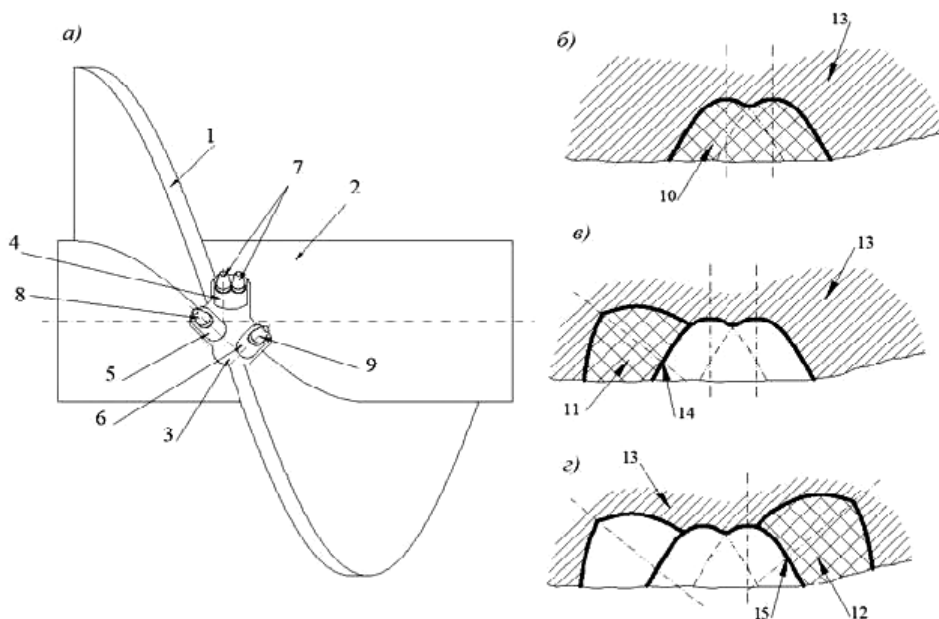


Рис. 4. Схема расстановки резцов на лопасти шнека (а) и ступени формирования сечения группового среза (б, в, г) (получен авторами): 1 – лопасть; 2 – ступица; 3 – резцедержатель; 4 – гнездо парных резцов; 5 – гнездо левого резца; 6 – гнездо правого резца; 7 – парные резцы; 8 – левый резец; 9 – правый резец; 10 – парный срез; 11 – подрезной левый срез; 12 – подрезной правый срез; 13 – угольный массив; 14 – боковая левая поверхность борозды парного среза; 15 – боковая правая поверхность борозды парного среза

Fig. 4. Scheme for installing cutters on auger blades (a) and the steps for forming the section of the group cut (b, c, d) (obtained by the authors): 1 – blade; 2 – hub; 3 – tool holder; 4 – socket of paired incisors; 5 – socket of the left incisor; 6 – socket of the right incisor; 7 – paired incisors; 8 – left incisor; 9 – right incisor; 10 – paired slice; 11 – undercut left slice; 12 – undercut left section; 13 – coal mass; 14 – lateral left surface of the furrow of the paired cut; 15 – lateral right surface of the furrow of the paired cut

ния всех основных и вспомогательных их структурных элементов; совершенствование технологических процессов термообработки; улучшение технологических условий разрушения резцом массива; оптимизацию схем и параметров установки резцов на исполнительных органах.

4. Необходимо дальнейшее совершенствование схем расстановки резцов с использованием более энергоэффективных парных и последовательно групповых сечений срезов.

5. Повышение качества горного рабочего инструмента на всех этапах его развития оказывало решающее влияние на рост интенсивности процесса добычи

полезных ископаемых и на развитие выемочных и других типов горных машин.

6. Расширение знаний в областях развития горного рабочего инструмента является необходимым условием для выработки стратегии дальнейшего совершенствования и повышения ресурса резцов выемочных машин.

Вклад авторов

Габов В. В. – формирование идеи исследования, постановка цели и задач исследования.

Задков Д. А. – выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

Нгуен Ван Суан — сбор, анализ и подготовка данных для исследований.

Хамитов М. С. — получение данных для анализа, поиск библиографических источников.

Молчанов В. В. — формулировка выводов и заключения, оформление статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Габов В. В., Задков Д. А., Нгуен К. Л.* Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин // Записки Горного института. — 2019. — Т. 236.– С. 153–161. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.153.

2. *Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Цехин А. М., Борисов А. Ю., Ананьев К. А., Ермаков А. Н.* Горные машины и комплексы. Режущий инструмент горных машин. Кемерово: КузГТУ. — 2018. — 286 с.

3. *Babyr N. V., Korolev A. I., Neupokoeva T. V.* Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, vol. 194, no. 3, art. 032004. DOI: 10.1088/1755-1315/194/3/032004.

4. *Маметьев Л. Е., Хорешок А. А., Борисов А. Ю.* Направление повышения зарубежной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2014. — № 5. — С. 21–24.

5. *Маметьев Л. Е.* Разработка исполнительных органов и инструмента для стреловых проходческих комбайнов и бурошнековых машин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2015. — № 5. — С. 56–64.

6. *Рыбак Я., Хайрутдинов М. М., Кузиев Д. А., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Бабырь Н. В.* Прогнозирование геомеханического состояния массива при отработке соляных месторождений с складкой // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 61–70. DOI: 10.31897/PMI.2022.2.

7. *Хорешок А. А., Цехин А. М., Борисов А. Ю.* Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов // Горное оборудование и электромеханика. — 2012. — № 6. — С. 2–5.

8. *Болобов В. И., Бобров В. Л., Талеров М. П., Бочков В. С.* Причина быстрого износа тангенциальных резцов // Записки Горного института. — 2012. — Т. 195. — С. 238–240.

9. *Хорешок А. А., Маметьев М. Е., Цехин А. М., Борисов А. Ю., Бурков П. В., Буркова С. П., Крестовоздвиженский П. Д.* Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин: монография // Юрг. технолог. ин-т — Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. — 296 с.

10. *Dewangan S., Chattopadhyaya S.* Characterization of wear mechanisms in distorted conical picks after coal cutting // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016, vol. 49, № 1, pp. 225–242. DOI: 10.1007/s00603-015-0726-x.

11. *Ткач С. М., Батугин С. А.* Этапы развития знаний о природных ресурсах земли и горных науках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 3. — С. 333–337.

12. *Аренс В. Ж.* Горное дело и его влияние на развитие цивилизаций // Вестник РАЕН. — 2016. — Т. 16. — № 5. — С. 24–29.

13. *Казанин О. И., Сидоренко А. А., Мешков А. А.* Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 4–13. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13.

14. Мешков А. А., Казанин О. И., Сидоренко А. А. Реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования — ключевое направление совершенствования подземной добычи энергетических углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 12. — С. 156–165. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-156–165.

15. Прокопенко С. А., Шлапаков П. А. Повышение безопасности и эффективности отбойки горной массы в шахтах // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2015. — № 2. — С. 27–31.

16. Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Цих А. Д. Закономерности влияния надежности исполнительных органов и свойств угольных пластов на производительность очистных комбайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11. — С. 169–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_169.

17. Захаров В. Н., Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Цих А. Д. Влияние конструкции исполнительных органов выемочных машин на процесс разрушения и погрузку угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3. — С. 5–16. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-5-16.

18. Прокопенко С. А., Лудзиш В. С. Эволюция конструкции резцов для шахтных комбайнов // Горная промышленность. — 2015. — № 2. — С. 65–66.

19. Jinxia L., Chao M., Qingliang Z., Kuidong G. Discrete Element Simulation of Conical Pick's Coal Cutting Process under Different Cutting Parameters // Hindawi Shock and Vibration. 2018, vol. 2018 (4), art. 7975141, pp. 1–9. DOI: 10.1155/2018/7975141.

20. Li X., Wang Sh., Ge Sh., Malekian R., Li Zh. Numerical simulation of rock fragmentation during cutting by conical picks under confining pressure // Comptes Rendus Mécanique. 2017, vol. 345, no. 12, pp. 890–902. DOI: 10.1016/j.crme.2017.09.004.

21. 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 // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 230–247.

22. Li X., Huang B., Ma G., Zeng Q. Study on roadheader cutting load at different properties of coal and rock // The Scientific World Journal. 2013, vol. 2013, art. 624512, pp. 1–8. DOI: 10.1155/2013/624512.

23. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Оценка влияния абразивности горных пород на параметры породоразрушающих машин // Записки Горного института. — 2019. — Т. 240. — С. 621–627. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.621.

24. Павленко М. В., Хайдина М. П., Кузиев Д. А., Пихторинский Д., Муратов А. З. Факторы воздействия комбайна при добыче угля на увеличение метаноотдачи массива в рабочее пространство лавы // Уголь. — 2019. — № 4. — С. 8–11. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-8-11.

25. Yungmeister D. A., Lavrenko S. A., Yacheikin A. I., Urazbakhtin R. Y. Improving the shield machine cutter head for tunneling under the conditions of the Metrostroy Saint Petersburg mines // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 15, no. 11, pp.1282–1288.

26. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Пути развития теории разрушения углей и горных пород резцовым инструментом // Уголь. — 2019. — № 9. — С. 10–12. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-24-28.

27. 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.

28. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of “Ural-20R” heading-and-winning machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017, vol. 87, art. 022025. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022025.

29. Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Петров И. В., Цих А. Д. Оценка надежности резцов угледобывающих машин // Уголь. — 2021. — № 2. — С. 10–13. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-10–13.

30. Прокопенко С. А., Шлапаков П. А. Повышение безопасности и эффективности отбойки горной массы в шахтах // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2015. — № 2. — С. 27–31.

31. Gabov V. V., Zadkov D. A., Kuzkin A. Y., Elikhin A. S. Fractured-laminar structure of formations and methods of coal // Key Engineering Materials. 2020, vol. 836, pp. 90–96. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.836.90.

32. Prokopenko S. A., Sushko A. V., Kurzina I. A. New design of cutters for coal mining machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015, vol. 91, art. 012058, pp. 1–8. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012058.

33. Загривный Э. А., Басин Г. Г. Формирование внешней динамики горных машин // Записки горного института. — 2016. — Т. 217. — С. 140–149.

34. Болобов В. И., Бочков В. С. О возможности повышения износостойкости быстро изнашиваемых элементов горно-обогатительного оборудования термомеханической обработкой // Записки горного института. — 2016. — Т. 221. — С. 688–691. DOI: 10.18454/pmi.2016.5.688.

35. Клишин В. И., Никитенко С. М., Герике Б. Л., Крестовоздвиженский П. Д. Новые армирующие вставки для тангенциальных поворотных резцов // Горный журнал. — 2014. — № 12. — С. 89–92.

36. Plotnikova N. V., Skeebe V. Y., Martyushev N. V., Miller R. A., Rubtsova N. S. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016, vol. 156, no. 1, art. 012022. DOI: 10.1088/1757-899X/156/1/012022.


37. Sakuntala N., Somnath C., Saurabh D., Sergej H., Grzegorz K., Stanislaw L. Microstructural study of failure phenomena in wc 94%-co 6% hard metal alloy tips of radial picks // Advances in Science and Technology Research Journal. 2017, vol. 11, pp. 36–47. DOI: 10.12913/22998624/68457.

38. Прокопенко С. А. Перспективные конструкции резцов для повышения сортности добываемого шахтами угля // Уголь. — 2017. — № 4. — С. 29–31. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-4-29–31.

39. Болобов В. И., Плащинский В. А. Влияние продолжительности удара на эффективность разрушения горных пород и пластического деформирования металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 3. — С. 78–96. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_78.

40. Liu X., Liu S., Li L., Cui X. Experiment on conical pick cutting rock material assisted with front and rear water jet // Advances in Materials Science and Engineering, 2015, vol. 2015, article 506579. DOI: 10.1155/2015/506579.

41. Кантович Л. И., Клементьева И. Н., Кузиев Д. А. Обзор конструкций и технологических возможностей современных очистных комбайнов // Техника и технология горного дела. — 2020. — № 2. — С. 26–41. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-2-26–41.

42. Khoreshok A., Kantovich L., Kuznetsov V., Preis E., Kuziev D. The results of cutting disks testing for rock destruction // E3S Web of Conferences. 2017, vol. 15, 03004. DOI: 10.1051 / E3SCONF / 20171503004. 

REFERENCES

1. Gabov V. V., Zadkov D. A., Nguen K. L. Features of the formation of elementary chips in the process of cutting coals and isotropic materials with a reference cutter of mining machines. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 236, pp.153–161.[In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.153.

2. Horeshok A. A., Mamet'ev L. E., Cekhin A. M., Borisov A. YU., Anan'ev K. A., Ermakov A. N. Mining machines and complexes. Cutting tools of mining machines. *Kemerovo: KuzSTU*, 2018, 286 p. [In Russ].

3. Babyr N. V., Korolev A. I., Neupokoeva T. V. *Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018, vol. 194, no. 3, art. 032004. DOI: 10.1088/1755-1315/194/3/032004.

4. Mamet'ev L. E., Horeshok A. A., Borisov A. YU. The direction of increasing the cutting capacity of the executive bodies of tunneling combines with axial crowns. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014, no. 5, pp. 21–24. [In Russ].

5. Mamet'ev L. E. Development of executive bodies and tools for boom tunneling combines and drilling machines. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2015, no. 5, pp. 56–64. [In Russ].

6. Rybak J., Khayrutdinov M. M., Kuziev D. A., Kongar-Syuryun P. B., & Babyr N. V. Prediction of the geomechanical state of the rock mass when mining salt deposits with stowing. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 61–70. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.2.

7. Horeshok A. A., Cekhin A. M., Borisov A. YU. The influence of the operating conditions of mining combines on the design of their executive bodies. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2012, no. 6, pp. 2–5. [In Russ].

8. Bolobov V. I., Bobrov V. L., Talerov M. P., Bochkov V. S. The reason for the rapid wear of tangential cutters. *Journal of Mining Institute*. 2012, vol. 195, pp. 238–240. [In Russ].

9. Horeshok A. A., Mamet'ev M. E., Cekhin A. M., Borisov A. YU., Burkov P. V., Burkova S. P., Krestovozdvizhenskij P. D. Production and operation of destructive tools of mining machines: monograph. YUrginskij tekhnologicheskij institut – Tomsk: Publ. Tomskogo Politekhnikheskogo universiteta. 2013, pp. 296. [In Russ].

10. Dewangan S., Chattopadhyaya S. Characterization of wear mechanisms in distorted conical picks after coal cutting. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016, vol. 49, no. 1, pp. 225–242. DOI: 10.1007/s00603-015-0726-x.

11. Tkach S. M., Batugin S. A. Stages of development of knowledge about natural resources of the earth and mining sciences. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 3, pp. 333–337. [In Russ].

12. Arens V. ZH. Mining and its impact on the development of civilizations. *Vestnik RAEN*. 2016, vol. 16, no. 5, pp. 24–29. [In Russ].

13. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Meshkov A. A. Organizational and technological principles of realizing the potential of modern high-performance cleaning equipment. *Ugol'*. 2019, no. 12, pp. 4–13. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13.

14. Meshkov A. A., Kazanin O. I., Sidorenko A. A. Implementation of production potential of high-performance equipment – A key trend of improvement in underground mining of power-generating coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 12, pp. 156–165. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-156-165.

15. Prokopenko S. A., SHlapakov P. A. Improving the safety and efficiency of rock breaking in mines. *Vestnik nauchnogo centra po bezopasnostirabot v ugol'noj promyshlennosti*. 2015, no. 2, pp. 27–31. [In Russ].

16. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zhabin A. B., Zich A. D. Patterns of influence exerted by cutting drum reliability and coal seam properties on cutter-loader capacity. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11, pp. 169–180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_169.

17. Zakharov V. N., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zhabin A. B., Zich A. D. Effect of mining machine cutting head design on coal fracture and loading efficiency. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3, pp. 5–16. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-5-16.

18. Prokopenko S. A., Ludzish V. S. Evolution of the design of cutters for mining combines. *Russian Mining Industry*. 2015, no. 2, pp. 65–66. [In Russ].

19. Jinxia L., Chao M., Qingliang Z., Kuidong G. Discrete Element Simulation of Conical Pick's Coal Cutting Process under Different Cutting Parameters. *Hindawi Shock and Vibration*. 2018, vol. 2018 (4), art. 7975141, pp. 1–9. DOI: 10.1155/2018/7975141.

20. Li X., Wang Sh., Ge Sh., Malekian R., Li Zh. Numerical simulation of rock fragmentation during cutting by conical picks under confining pressure. *Comptes Rendus Mécanique*. 2017, vol. 345, no. 12, pp. 890–902. DOI: 10.1016/j.crme.2017.09.004.

21. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Sarychev V. I. The state of scientific research in the field of rock destruction with a chisel tool at the turn of the century. *Proceedings of Tula State University. Earth Sciences*. 2018, no. 1, pp. 230–247. [In Russ].
22. Li X., Huang B., Ma G. Zeng Q. Study on roadheader cutting load at different properties of coal and rock. *The Scientific World Journal*. 2013, vol. 2013, art. 624512, pp. 1–8. DOI: 10.1155/2013/624512.
23. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Assessment of the impact of rock abrasiveness on the parameters of rock-breaking machines. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 621–627. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.621.
24. Pavlenko M. V., Hajdina M. P., Kuziev D. A., Pihtorinskij D., Muratov A. Z. Factors of the impact of the combine during coal mining on the increase in the methane output of the array into the working space of the lava. *Ugol'*. 2019, no 4. pp. 8–11. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-8-11.
25. Yungmeister D. A., Lavrenko S. A., Yacheikin A. I., Urazbakhtin R. Y. Improving the shield machine cutter head for tunneling under the conditions of the Metrostroy Saint Petersburg mines. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020, no. 11, vol. 15, pp. 1282–1288.
26. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Ways of development of the theory of destruction of coals and rocks with a cutting tool. *Ugol'*. 2019, no. 9, pp. 10–12. [In Russ] DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-24-28.
27. Shishlyannikov D. I., Trifanov M. G., CHekmasov N. V., Ivanov S. L. The choice of technically sound modes of operation of Ural combines based on the assessment of the load of their drives in real operating conditions. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2017, no. 7, pp. 3–8. [In Russ].
28. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of “Ural-20R” heading-and-winning machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 87, art. 022025. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022025.
29. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Petrov I. V., Cih A. D. Assessment of reliability of cutters of coal mining machines. *Ugol*. 2021, no. 2, pp. 10–13. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-10-13.
30. Prokopenko S. A., Shlapakov P. A. Improving the safety and efficiency of rock breaking in mines. *Bulletin of the Scientific Center for the safety of work in the coal industry*. 2015, no. 2, pp. 27–31. [In Russ].
31. Gabov V. V., Zadkov D. A., Kuzkin A. Y., Elikhin A. S. Fractured-laminar structure of formations and methods of coal. *Key Engineering Materials*. 2020, vol. 836, pp. 90–96. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.836.90.
32. Prokopenko S. A., Sushko A. V., Kurzina I. A. New design of cutters for coal mining machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 91, art. 012058, pp. 1–8. DOI: 10.1088 / 1757-899X / 91/1/012058.
33. Zagrivnyj E. A., Basin G. G. Formation of the external dynamics of mining machines. *Journal of Mining Institute*. 2016, no. 217, pp. 140–149. [In Russ].
34. Bolobov V. I., Bochkov V. S. On the possibility of increasing the wear resistance of rapidly wearing elements of mining and processing equipment by thermomechanical treatment. *Journal of Mining Institute*. 2016, vol. 221, pp. 688–691. [In Russ]. DOI: 10.18454/pmi.2016.5.688.
35. Klishin V. I., Nikitenko S. M., Gerike B. L., Krestovozdvizhenskij P. D. New reinforcing inserts for tangential rotary cutters. *Gornyj Zhurnal*. 2014, no. 12, pp. 89–92. [In Russ].
36. Plotnikova N. V., Skeebea V. Y., Martyushev N. V., Miller R. A., Rubtsova N. S. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, vol. 156, no. 1, art. 012022. DOI: 10.1088/1757-899X/156/1/012022.
37. Sakuntala N., Somnath C., Saurabh D., Sergej H., Grzegorz K., Stanislaw L. Micro structural study of failure phenomena in wc 94%-co 6% hard metal alloy tips of radial

picks. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2017, vol. 11, pp. 36–47. DOI: 10.12913/22998624/68457.

38. Prokopenko S. A. Prospective design of cutters for increasing the grade of coal produced by the mines. *Ugol'*. 2017, no. 4, pp. 29–31. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-4-29-31.

39. Bolobov V. I., Plashchinsky V. A. Influence of impact duration on fracture efficiency in rocks and on plastic deformation of metals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 78–96. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_78.

40. Liu X., Liu S., Li L., and Cui X. Experiment on conical pick cutting rock material assisted with front and rear water jet. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 2015, art. 506579. DOI: 10.1155/2015/506579.

41. Kantovich L. I., Klementyeva I. N., Kuziev D. A. Review of designs and technological capabilities of modern cleaning combines. *Technique and technology of mining*. 2020, no. 1, pp. 26–41. [In Russ]. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-2-26-41.

42. Khoreshok A., Kantovich L., Kuznetsov V., Preis E., Kuziev D. The results of cutting disks testing for rock destruction. *E3S Web of Conferences*. 2017, vol. 15, 03004. DOI: 10.1051 / E3SCONF / 20171503004.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Габов Виктор Васильевич — докт. техн. наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0002-6587-2446>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: gvv40@mail.ru;

Задков Денис Александрович — канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-1709-431X>, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: dzadkov@yandex.ru;

Нгуен Ван Суан — канд. техн. наук, инженер, <https://orcid.org/0000-0003-2538-2394>, Институт энергетической и горной механики — Винакомин, 100000, Ханой, Вьетнам, e-mail: xuan.iemm@gmail.com;

Хамитов Михаил Сергеевич — начальник конструкторско-технологического отдела, ООО «Горный инструмент», 654015, Новокузнецк, Россия, e-mail: hamitov@grins.ru;

Молчанов Виктор Вячеславович — инженер-конструктор, ООО «Горный инструмент», 654015, Новокузнецк, Россия, e-mail: Molchanov@grins.ru.

Для контактов: *Задков Денис Александрович*, e-mail: dzadkov@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gabov V. V., Dr. Sci. (Eng.), professor, <https://orcid.org/0000-0002-6587-2446>, St. Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Russia, E-mail: gvv40@mail.ru;

Zadkov D. A., Cand. Sci. (Eng.), associate professor, <https://orcid.org/0000-0002-1709-431X>, Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia, E-mail: dzadkov@yandex.ru;

Nguyen Van Xuan, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, engineer, <https://orcid.org/0000-0003-2538-2394>, Institute of Energy and Mining Mechanical Engineering — Vinacomin, 100000, Hanoi, Vietnam, e-mail: xuan.iemm@gmail.com;

Hamitov M. S., head of the Design and Technology Department, ООО “Gornyj instrument”, 654015, Novokuznetsk, Russia, e-mail: hamitov@grins.ru;

Molchanov V. V., design engineer, ООО “Gornyj instrument”, 654015, Novokuznetsk, Russia, e-mail: Molchanov@grins.ru.

Получена редакцией 14.01.2022; получена после рецензии 18.04.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 14.01.2022; received after the review 18.04.2022; accepted for printing 10.05.2022.