ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(12):132-143
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.023.05: 622.026 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_132

ОЦЕНКА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА РЕЗЦОВ ГОРНЫХ КОМБАЙНОВ

А.Б. Жабин[1], Ан.В. Поляков[2], Ал.В. Поляков[2]

[1] Тульский государственный университет, Тула, Россия
[2] ООО «Единый консалтинговый холдинг», Москва, Россия, e-mail: polyakoff-an@mail.ru

Аннотация: Определение удельного расхода резцов горных комбайнов остается актуальной задачей. В то же время какой расход резцов считать нормальным, а какой катастрофическим – интересует горняков в неменьшей степени, чем конструкторов режущего инструмента. На примере комбайна МС-430/009 и результатов его шахтных испытаний выполнена оценка удельного расхода резцов. Дана краткая техническая характеристика и описание исполнительного органа комбайна МС-430/009. Приведены основные сведения о методике расчета удельного расхода резцов горных комбайнов, учитывающей влияние физико-технических свойств пород, параметров режима резания, материала и геометрии инструмента, а также внешних условий эксплуатации. Представлены результаты расчета удельного расхода резцов для серийно выпускаемых отечественных комбайнов с учетом влияния прочности пород на сжатие, частоты вращения исполнительных органов, числа резцов, находящихся в контакте с породой, диаметра твердосплавной вставки и индекса абразивности CAI. Дано сопоставление расчетных данных с результатами шахтных испытаний комбайна МС430/009, полученных на шахте «Денисовская». Показано, что полученный при испытаниях расход резцов на рабочем органе комбайна МС 430/009 не является не только катастрофическим, но даже значительным, а вполне нормальным или обычным. Это в целом согласуется и не противоречит результатам шахтных испытаний различных резцов и горных комбайнов, полученных и другими авторами.

Ключевые слова: горный комбайн, поворотный резец, износ резцов, удельный расход резцов, шахтные испытания, методика расчета, результаты расчетов, сопоставление данных расчетов и шахтных испытаний.

Для цитирования: *Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Поляков Ал. В.* Оценка удельного расхода резцов горных комбайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 12. – С. 132–143. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_132.

Assessment of unit consumption of shearer picks

A.B. Zhabin[1], An.V. Polyakov[2], Al.V. Polyakov[2]

[1] Tula State University, Tula, Russia
[2] United Consulting Holding LLC, Moscow, Russia, e-mail: polyakoff-an@mail.ru

Abstract: It is yet a topical problem to assess unit consumption of shearer picks. Which consumption is a norm and which is a disaster? This point concerns equally miners and designers. The unit consumption of cutting picks is assessed as a case-study of shearer model MS-430/009 and its testing results in a mine. A brief specification of the shearer and its drum is given. The

assessment procedure of the unit consumption of shearer picks is described; it takes into account the physicotechnical parameters of rocks, the cutting regime, the pick material and geometry, and the operating conditions. The unit consumptions of picks are calculated for series-produced domestic shearers with regard to the compression strength of rocks, rotary velocity of shearer drums, number of picks in contact with rocks, diameter of tungsten carbide insert and the Cerchar Abrasivity Index (CAI). The calculations are compared with the results of field testing of shearer MS-430/009 in the Denisovskaya Mine. It is shown that the consumption of picks on the drum of shearer MS-430/009 is neither disastrous nor even high, but is quite normal and regular. This inference agrees with the in-situ test data of different cutting picks and shearers from other researchers.

Key words: shearer, rotary pick, wear of picks, unit consumption of picks, field tests, calculation procedure, calculation results, calculation and field test data comparison.

For citation: Zhabin A. B., Polyakov An. V., Polyakov Al. V. Assessment of unit consumption of shearer picks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12):132-143. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_12_0_132.

Введение

Изнашивание резцов горных комбайнов является многогранным физическим процессом, который по своей сложности и значению можно поставить в один ряд с процессами изнашивания других основных деталей и узлов подземного горно-шахтного оборудования. Специфичность процессов разрушения угля и горных пород придает этому явлению свои, присущие только ему, особенности, что позволяет считать закономерности изнашивания резцов и связанные с ними вопросы крупной научной проблемой [1 — 5].

На износостойкость и удельный расход резцов, во-первых, важнейшее влияние оказывает абразивность и прочность горных пород, а во-вторых, — частота вращения исполнительного органа (скорость резания) и геометрические параметры инструмента. Кроме того, эти показатели зависят от охлаждающей жидкости, соотношения шага резания и глубины стружки. Любая из этих причин может привести к увеличению износа и выхода резцов из строя. Следует полагать, что это ряд взаимосвязанных факторов [3 — 10].

Как спрогнозировать износ и расход резцов при постановке нового горного комбайна на шахту или новых резцов для работающей машины? Сегодня и это является актуальным вопросом. У заказчиков горного инструмента, предназначенного для оснащения исполнительных органов проходческих и очистных комбайнов, часто возникает вопрос — является ли расход резцов, полученный при шахтных испытаниях, «нормальным» или из-за неэффективной работы резцов идет их перерасход? Такая ситуация сложилась при испытании на шахте «Денисовская» комбайна SANDVIK BOLTER MINER MC 430/009 (далее МС 430/009) при оснащении его исполнительного органа тангенциальными резцами типа P8AA. Расход резцов, полученный при испытаниях, вызвал у представителей шахты сомнения о его «нормальности». В рамках данного исследования попробуем разобраться в такой сложившейся ситуации.

Комбайн МС-430/009 оснащается барабанным исполнительным органом и предназначен для проходки и добычи при камерно-столбовом способе отработки полезных ископаемых. Комбайн

отрабатывает выработки прямоугольного сечения с максимально преодолеваемым продольным (поперечным) углом 150 и крепостью угля до 50 МПа с прослойками породы с толщиной не более 100 мм и крепостью до 80 МПа.

Методы исследований

Показателем надежности резцов по «Отраслевым нормам удельного расхода резцов (зубков) для очистных и проходческих комбайнов» (1985 г.) является величина удельного их расхода в штуках на 1000 т горной массы (шт./1000 т) или в штуках на 1 м^3 объема проходки (шт./м^3). Расчет удельного расхода резцов производился по методике [11], детально проанализированной в работе [12]. Не станем останавливаться подробно на этой методике расчета, отметим лишь следующее. Методика предназначена для определения износостойкости и удельного расхода поворотных резцов разных форм и типоразмеров, которыми оснащены исполнительные органы комбайнов, применяемые в угольной промышленности РФ и за рубежом.

Достоверность результатов расчета по этой методике подтверждена шахтными испытаниями на предприятиях Донецкого, Челябинского и Карагандинского угольных бассейнов. Отклонение расчетных значений интенсивности изнашивания от фактических не превышает 13% [3].

Исходной зависимостью для расчета удельного расхода резцов является выражение

$$Z = \frac{1}{L_{пд} \cdot t \cdot h}, \qquad (1)$$

где $L_{пд}$ — длина пути резания до выхода резца из строя, м; t и h — соответственно шаг и глубина резания, м.

Шаг резания принимается в соответствии со схемой размещения резцов на исполнительном органе, глубина резания определяется исходя из производительности комбайна и реализуемых исполнительным органом напорных усилий по ОСТ 12.44.258-84 «Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика» (1984 г.), а величина рассчитывается с учетом влияния физико-технических свойств пород, параметров режима резания, материала и геометрии инструмента, а также внешних условий эксплуатации [11].

Результаты исследований и обсуждение

Для оценки удельного расхода резцов выполнен его расчет для серийно выпускаемых отечественных комбайнов 1ГПКС и КП-21 и еще эксплуатирующегося на некоторых шахтах комбайна 4ПП-2, а результаты расчетов сопоставлены с результатами шахтных испытаний комбайна МС430/009.

Расчеты показывают следующее. Для комбайна 1ГПКС производства АО «Копейский машзавод» с частотой вращения исполнительного органа 54,5 об/мин, мощностью двигателя 55 кВт, абразивностью пород 3 мг и прочностью пород на сжатие 20, 30, 40, 50 и 60 МПа удельный расход резцов составляет соответственно 0,025; 0,042; 0,063; 0,089 и 0,116 шт./м^3. Для более мощного комбайна 4ПП-2 с мощностью двигателя 120 кВт и частотой вращения рабочего органа, например, 29,6 об/мин для той же прочности пород на сжатие удельный расход резцов составляет соответственно 0,008; 0,013; 0,021; 0,028 и 0,036 шт./м^3.

А для комбайна КП-21 (АО «Копейский машзавод») с частотой вращения исполнительного органа 48,0 об/мин, мощностью двигателя 110 кВт, абразивностью пород 3 мг и прочностью на сжатие 20, 40, 60, 80 и 100 МПа удельный расход резцов составил 0,026; 0,075;

Рис. 1. Выход из строя резцов вследствие истирания боковой кромки корпуса (а) и отрыва твердого сплава (б)

Fig. 1. Failure of the picks due to abrasion of the side edge of the housing (a) and separation of the hard alloy (b)

0,145, 0238 и 0,36 шт./м^3 соответственно. Шахтные испытания комбайна МС430/009 осуществлялись при проведении выработок КСО № 3–4 пласта К4 шахты «Денисовская». Мощность пласта варьировалась от 2,86 до 4,32 м, а крепость угля — 0,6 — 1,5.

Сопротивление угля резанию составляло 140 кН.

Результаты испытаний комбайна МС430/009 сводятся к следующему:

• основной причиной выхода из строя резцов является истирание боковой кромки их корпуса и отрыв твер-

Таблица 1

Результаты расчетов
Calculation results

Тип комбайна	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения исполнительного органа, об/мин	Скорость резания, м/с	Тип резца	Диаметр твердо-сплавной вставки, мм	Число резцов в контакте с породой, шт.	Удельный расход резцов, шт./м^3 при прочности породы, МПа						
							20	30	40	50	60	80	100
1ГПКС	55,0	54,5	1,91	РГ401.12	12,0	13	0,025	0,04	0,063	0,089	0,116	—	—
4ПП-2	120,0	29,6	1,35	РГ501.16	15,5	11	0,008	0,01	0,021	0,028	0,036	—	—
		46,0	2,10				0,014	0,02	0,037	0,053	0,068	—	—
КП-21	110,0	48,0	1,25	ПС2-16	15,5	17	0,026	0,05	0,075	0,11	0,145	0,23	0,4
МС 430/009	2×200	34,9	2,28	Р8АА	20,0	38	0,018					—	—

Примечание. Все данные по расходу резцов приведены для абразивности пород 3 мг. Представленные комбайны способны разрушать породы абразивностью до 15 мг в соответствии с технической характеристикой. При этом с увеличением абразивности расход инструмента будет возрастать.

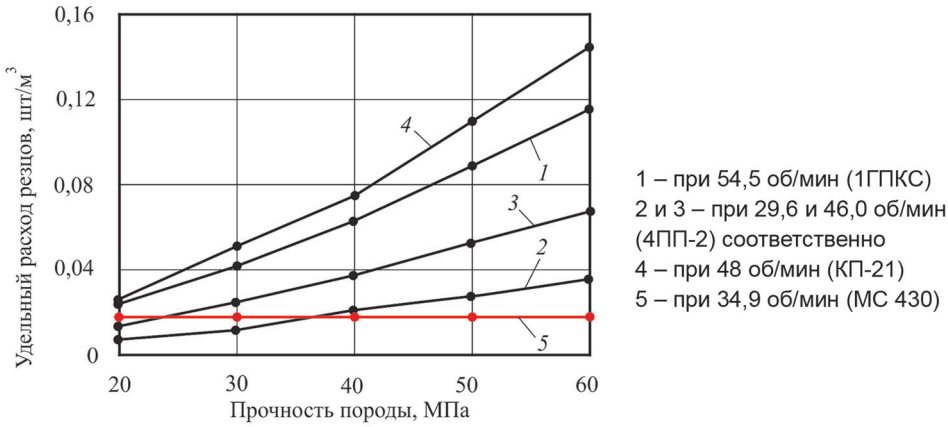


Рис. 2. Зависимости удельного расхода резцов от прочности пород на сжатие и частоты вращения исполнительных органов комбайнов

Fig. 2. The dependences of the specific picks consumption on the compressive strength of rocks and the frequency of rotation of the executive bodies of miner

дого сплава из-за работы резцов одной плоскостью (см. рис. 1);

• удельный расход резцов составил 12,866 шт./1 тыс. т. С учетом плотности угля в среднем 1,4 т/м^3 расход резцов при работе данного комбайна составит 0,018 шт./м^3. Беглый взгляд на эти цифры показывает, что данное число (0,018 шт./м^3) вписывается в тот же ряд чисел, что и для комбайнов 1ГПКС, 4ПП-2, КП-21, и не кажется значительным.

Для большей наглядности приведенные данные при абразивности пород 3 мг для комбайнов 1ГПКС, 4ПП-2 и КП-21 сведены в табл. 1. Из приведенных данных видно, что с увеличением прочности горных пород и частоты вращения исполнительного органа для всех типов комбайнов расход режущего инструмента возрастает по линейным (или близким к ним) зависимостям, так, как показано на рис. 2. Красная прямая линия (5) на этом рисунке соответствует расходу резцов 12,866 шт./тыс. т (0,018 шт./м^3), установленному при испытаниях комбайна МС 430/009. В диапазоне 20—40 МПа отрезок этой прямой находится между графиками *3* (частота вращения 46 об/мин) и *2* (частота вращения 29,6 об/мин). Частота вращения рабочего органа комбайна МС 430 составляет 34,9 об/мин. Это свидетельствует о том, что частота вращения рабочих органов комбайнов 4ПП-2 (*2* и *3*) и МС 430/009 (5) и расход режущего инструмента сопоставимы в диапазоне прочности пород от 20 до 40 МПа (см. рис. 2).

Для комбайна 4ПП-2 можно проследить зависимость расхода резцов от скорости резания. Из табл. 1 видно, что расход резцов с повышением скорости резания от 1,35 до 2,1 м/с для всех прочностных показателей пород от 20 до 60 МПа возрастает в среднем в 1,5—2 раза и составляет от 0,014 до 0,068 шт./м^3 во всем диапазоне изменения прочности пород. Подчеркнем, что такой диапазон изменения прочности угля и породного прослойка присутствовал и при испытаниях комбайна МС 430/009. При этом расход резцов для него составил, как было установлено при испытаниях, 0,018 шт./м^3. Если учесть, что скорость резания составляла 2,28 м/с для этого комбайна, то такой расход резцов не кажется значительным.

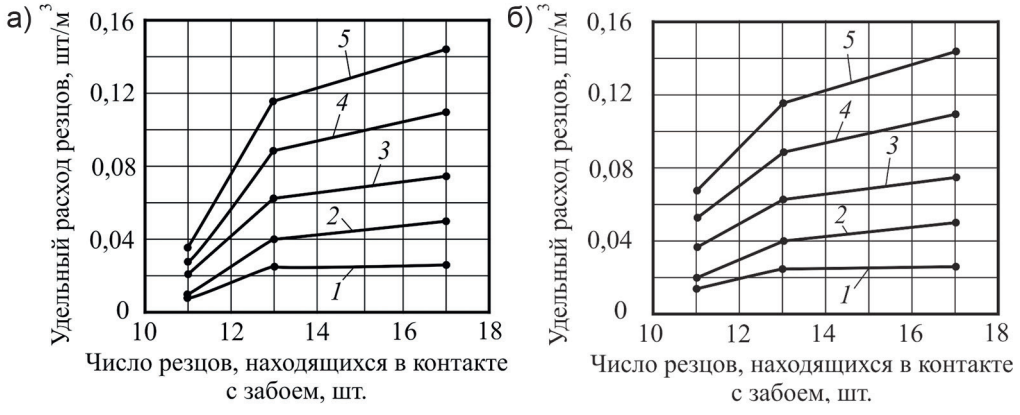
Теперь определим влияние на расход инструмента количества резцов, находящихся в контакте с забоем. Из табл. 1 видно, что для комбайна 4ПП-2 число резцов, находящихся в контакте с забоем, составляет 11 шт., для комбайна 1ГПКС — 13 шт., для комбайна КП-21 — 17 шт., а для комбайна МС 430/009 — 38 шт.

Зависимости расхода инструмента от количества резцов, находящихся в контакте с забоем, при различной прочности горных пород на сжатие представлены на рис. 3. При этом на рис. 3, *а* приведены зависимости для комбайнов 1ГПКС, КП-21 и 4ПП-2 при частоте вращения его исполнительного органа 29,6 об/мин, а на рис. 3, *б* — 46,0 об/мин. Анализ рисунка показывает, что с увеличением количества резцов, находящихся в контакте с забоем, их расход повышается. При этом на более прочных породах интенсивность расхода инструмента возрастает. Это объясняется более высокой нагруженностью инструмента и, как следствие, его более высоким износом и поломками. Что касается числа резцов, находящихся в контакте с породой, у комбайна МС 430/009 равного 38, то если мысленно продолжить, например, кривую *1*, соответствующую 20 МПа, то можно предположить, что она не будет резко уходить вверх, а, скорее всего, незначительно увеличится. Расход резцов комбайна МС 430/009 составляет 0,018 шт./м^3, что также вписывается в указанный диапазон.

Расход инструмента при повышении прочности пород на сжатие, как уже было отмечено выше, будет увеличиваться.

Рассмотрим такой фактор, как диаметр твердосплавной вставки резца. Из табл. 1 и рис. 4 следует, что с повышением этого параметра от 12 до 15,5 мм расход резцов уменьшается при всем изменении диапазона прочности пород от 20 до 60 МПа. При этом с возрастанием прочности пород интенсивность износа и расхода резцов повышается.

У резцов Р8АА диаметр твердосплавного керна 20 мм и расход, равный 0,018 шт./м^3, соответствующий этому значению, подтверждает эту закономерность и вполне укладывается в линию трендов, приведенных на рис. 4.



1 – при 20 МПа; 2 – при 30 МПа; 3 – при 40 МПа; 4 – при 50 МПа; 5 – при 60 МПа

Рис. 3. Зависимости удельного расхода резцов от числа резцов, находящихся в контакте с породой и прочности горных пород на сжатие

Fig. 3. The dependences of the specific picks consumption on the number of picks in contact with the rock and the compressive strength of rocks

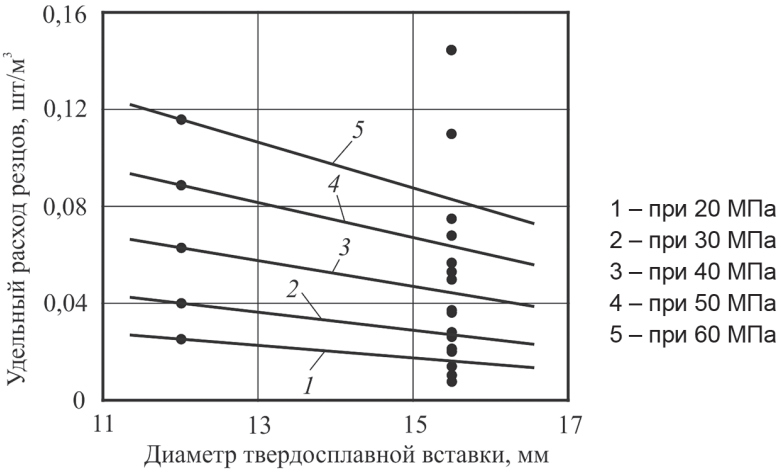


Рис. 4. Зависимости удельного расхода резцов от диаметра твердосплавной вставки и прочности пород на сжатие

Fig. 4. The dependences of the specific picks consumption on the diameter of the carbide insert and the compressive strength of the rocks

Полученные результаты расчетов, а также шахтных испытаний резцов типа Р8АА, установленных на исполнительном органе комбайна МС 430/009 в условиях шахты «Денисовская», в целом согласуются и не противоречат результатам шахтных испытаний различных резцов и горных комбайнов, получен-

Таблица 2

Удельный расход резцов в зависимости от горно-геологических условий угольных пластов

Specific picks consumption depending on the mining and geological conditions of coal seams

Предприятие/ шахта	Пласт, лава	Комбайн	Резец	Удельный расход, шт./тыс. т
Хакасская	«Великан» № 44	К500Ю	РШ32-70/18SK	12,9
Хакасская	«Великан» № 42	К500Ю	РШ32-70/16SK	59,3
Хакасская	«Великан» № 42	SL300	РШ38-110/16SK	20,1
Романовская-1	«Абрамовский» № 2	К500Ю	РШ32-70/17.5	16,7
Романовская-1	«Абрамовский» № 2	К500Ю	РШ32-70/16S.M1	27,1
Романовская-1	«Абрамовский» № 2	К500Ю	РШ32-70/18SK	89,1
Хакасская	«Великан 2» № 24	К500Ю	РШ32-70/17.5, РШ32-70/16MW	9,3 -----
Березовская	«XXII» № 16-10	KGS345	РШ32-78/18SK (35ХГСА) РШ32-78/18SK (35ХГМ)	0,85 1,4
Юбилейная	16 № 16-13	SL300	РШ38-110/16.M2	0,7
Заречная	«Полысаевский 2» № 804	MB12	РШ32-70/16	1,7
Чертинская-Коксовая	№ 567	KGS345	РШ32-85/16SK	6,5
Листвяжная	№ 1108	4LS20	РШ35-95/18SK	1,1

ных другими авторами. Для сравнения в табл. 2 представлены результаты шахтных испытаний тангенциальных резцов для условий Кузнецкого угольного бассейна [3]. Угольные пласты, в пределах которых проводились испытания, имели значения крепости угля от *f* 1,0 до 2,0, лишь в отдельных случаях крепость угля достигала *f* = 2,5. Мощность пласта изменялась в интервале значений 1,5 — 4,0 м, в ряде пластов присутствовали твердые включения. Таким образом, значения удельного расхода резцов варьируются в интервале 0,15 — 89,1 шт./тыс. т, что дает возможность применения полученных закономерностей и выводов к шахтам, обладающим схожими горно-технологическими условиями.

Вместе с тем наиболее распространенным за рубежом способом ориентировочного (перед эксплуатацией горного оборудования) определения расхода круглых (поворотных) резцов является метод, основанный на использовании графиков, построенных по эмпирическим данным и связывающих расход инструмента с абразивностью горных пород *CAI* и пределом их прочности на сжатие. Такие графики разработаны и компанией Sandvik для различных круглых резцов. На рис. 5 приведены зависимости для резцов с диаметром твердосплавной вставки 20 мм [13].

Отметим, что индекс абразивности *CAI* рекомендуется Международным обществом механики горных пород в качестве основного геомеханического показателя добываемости, буримости и разрушаемости горных пород механическим инструментом [14 — 18].

Теперь, воспользовавшись этим графиком (см. рис. 5), приняв *CAI* = 1,3 (очень низкая абразивность горных пород) и учитывая условия работы комбайна, а именно то, что он разрушает

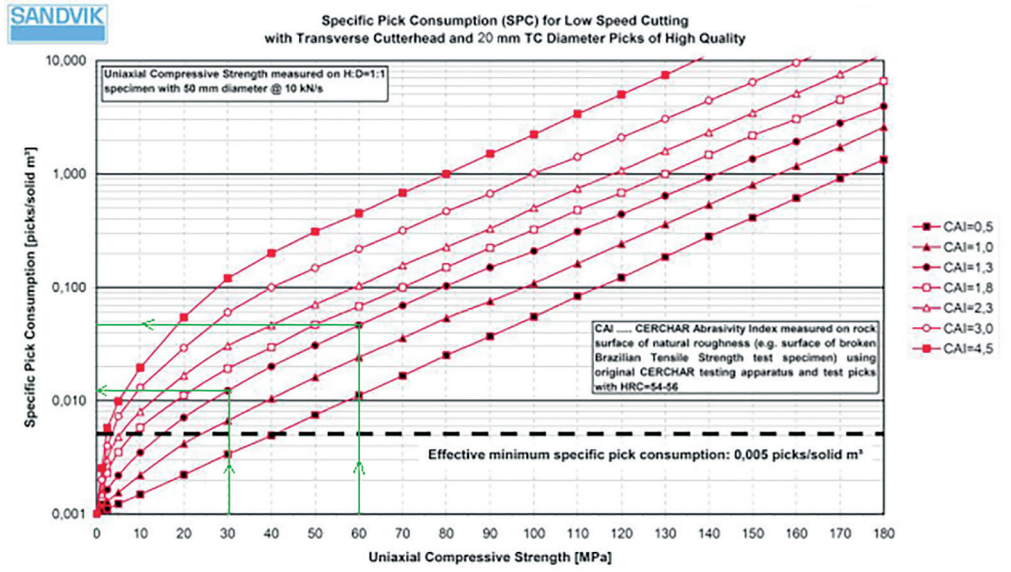


Рис. 5. Номограммы фирмы Sandvik для определения расхода резцов: ось абсцисс — предел прочности на сжатие в МПа; ось ординат — расход резцов, шт./м³; графики кривых соответствуют различным значениям индекса абразивности CAI

Fig. 5. Sandvik nomograms for determining the specific picks consumption: the axis of the abscissa — uniaxial compressive strength [MPa]; the ordinate axis — specific picks consumption, picks/m³; the graphs of the curves correspond to different values of the abrasiveness index CAI

прослоек мощностью до 0,3 м, или 7,5% от общей площади забоя, при средней мощности угольного пласта 3,6 м (92,5%), получим:

- для прочности 30 МПа расход составит 0,012 резцов/м^3;
- для прочности 60 МПа расход составит 0,041 резцов/м^3.

Составив пропорцию, находим резцов/м^3, или 10,1 резцов/тыс. т.

Расчет показывает, что расход резцов, рассчитанный по номограмме фирмы Sandvik и полученный по результатам испытаний проходческого комбайна МС 430/009, одного порядка. Если принять индекс абразивности *CAI* более высокий, то расход резцов, в соответствии с рис. 5, увеличится.

При этом подчеркнем, что способ определения абразивности горных пород в нашей стране отличается от способа определения индекса абразивности *CAI* и взаимосвязи между значениями, полученными по ним, не установлено [19, 20]. Это затрудняет проведение соответствующего анализа и сопоставления полученных значений износа и расхода резцов для различных комбайнов.

Тем не менее, на рис. 5 показана пунктирная линия в диапазоне от 0 до 40 МПа при индексе абразивности *CAI* от 0,5 до 4,5, соответствующая так называемому эффективному минимуму расхода резцов, который составляет 0,005 шт./м^3, или 3,57 шт./тыс. т. Наименьший расход резцов по данным Sandvik составляет 0,001 шт./м^3 (см. рис. 5), или 0,7 шт./тыс. т, что больше по сравнению с комбайном DBT CM (0,55 шт./тыс. т). Однако расход резцов 0,7 — 3,57 шт./тыс. т (0,001 — 0,005 шт./м^3) не характерен в указанном диапазоне изменения прочности пород и индекса абразивности *CAI*, по крайней мере у отечественных проходческих комбайнов.

Неслучайно поэтому в характеристике проходческих комбайнов, как зарубежных, так и отечественных, никогда не указывается расход режущего инструмента в зависимости от абразивности и прочности пород, поскольку эти величины являются вариативными и имеют большой разброс по своим значениям, предсказать которые можно с какой-то долей вероятности. Поэтому говорить о точных значениях не представляется возможным. Скорее всего, речь должна идти о порядке этих значений.

Заключение

Таким образом, проанализировав и сопоставив расход резцов на исполнительном органе комбайна МС 430/009, полученный на шахте «Денисовская», с расходом инструмента на рабочих органах серийно выпускаемых отечественных комбайнов 1ГПКС и КП-21 и еще эксплуатирующегося на некоторых шахтах комбайна 4ПП-2 с учетом влияния прочности пород на сжатие, частоты вращения исполнительных органов, числа резцов, находящихся в контакте с породой, диаметра твердосплавной вставки и индекса абразивности *CAI*, можно заключить, что расход резцов, равный 0,018 шт./м^3, не является не только катастрофическим, но и значительным, а вполне нормальным или обычным для комбайна МС 430/009.

Это в целом согласуется и не противоречит результатам шахтных испытаний различных резцов и горных комбайнов, полученным и другими авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Линник Ю. Н.*, *Линник В. Ю.*, Цих А. Закономерности изнашивания резцедержателей поворотных резцов угледобывающих комбайнов // Уголь. — 2021. — № 1. — С. 30 — 33. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-30-33.

2. *Прокопенко С. А.*, *Лудзиш В. С.*, *Курзина И. А.* Совершенствование режущего инструмента для повышения эффективности разрушения горных пород проходческими комбайнами // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 1. — С. 150—157.

3. *Хорешок А. А.*, *Маметьев Л. Е.*, *Цехин А. М.*, *Борисов А. Ю.*, *Бурков П. В.*, *Буркова С. П.*, *Крестовоздвиженский П. Д.* Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин: монография. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — 296 с.

4. *Болобов В. И.*, *Чупин С. А.*, *Бочков В. С.*, *Мишин И. И.* Увеличение срока службы породоразрушающих резцов путем повышения износостойкости их державок термомеханической обработкой // Горный журнал. — 2019. — № 5. — С. 15—17. DOI: 10.17580/gzh.2019.05.13.

5. *Пелипенко Н. А.*, *Бакланов Р. Р.*, *Процук И. С.* Интегральный анализ износа буровых инструментов // Горный журнал. — 2020. — № 12. — С. 60—63. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.13.

6. *Грубый С. В.* Количественные показатели изнашивания твердосплавных инструментов с учетом вариации твердости // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2023. — № 2. — С. 11—20. DOI: 10.18698/0536-1044-2023-2-11-20.

7. *Li H. S.*, *Liu S. Y.*, *Xu P. P.* Numerical simulation on interaction stress analysis of rock with conical picks // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019, vol. 85, pp. 231—242. DOI: 10.1016/j.tust.2018.12.014.

8. *Wang S., Huang L., Li X.* Analysis of rockburst triggered by hard rock fragmentation using a conical pick under high uniaxial stress // Tunnelling and Underground Space Technology. 2020, vol. 96, article 103195. DOI: 10.1016/j.tust.2019.103195.

9. *Yasar S.* Predictive plots for conical pick performance using mechanical and elastoplastic properties of rocks // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2020, vol. 12, no. 5, pp. 1027—1035. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.12.020.

10. *Su O., Akkaş M.* Assessment of pick wear based on the field performance of two transverse type roadheaders: a case study from Amasra coalfield // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2020, vol. 79, pp. 2499—2512. DOI: 10.1007/s10064-019-01712-x.

11. *Леванковский И. А.* Выбор рациональных конструкций поворотных резцов для различных горногеологических условий // Разрушение горных пород и композиционных материалов поворотными резцами. Сборник научных трудов. Вып. 1. — М.: Изд-во АГН, 1998. — С. 129—142.

12. *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.

13. *Plinninger R. J.* Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR abrasiveness index (CAI) / EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. Schubert (ed.), VGE, 2004, pp. 599—604.

14. *Zhang G., Thuro K., Song Z.* Cerchar abrasivity test and its applications in rock engineering: A review // International Journal of Coal Science & Technology. 2025, vol. 12, article 13. DOI: 10.1007/s40789-024-00731-8.

15. *Hamzaban M. T.*, *Rostami J., Dahl F.* Wear of cutting tools in hard rock excavation process: A critical review of rock abrasiveness testing methods // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2023, vol. 56, pp. 1843—1882. DOI: 10.1007/s00603-022-03187-x.

16. *Мазеин С. В.*, *Вознесенский А. С.*, *Прищепов В. В.* Методы определения абразивности твердых горных пород при механизированной проходке // Геотехника. — 2022. — Т. XIV. — № 3. — С. 44—54. DOI: 10.25296/2221—5514-2022-14-3-44-54.

17. *Gao K., Wang X., Wei H.* Abrasivity database of different genetic rocks based on CERCHAR abrasivity test // Scientific Data. 2024, vol. 11, article 630. DOI: 10.1038/s41597-024-03470-2.

18. *Teymen A.* Estimating the hardness and abrasion properties of igneous rocks from cerchar indentation depth // KONJES. 2024, vol. 12, no. 1, pp. 205—220. DOI: 10.36306/konjes.1340820.

19. *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. DOI: 1018796/0041-5790-2018-11-86-91.

20. *Om Prakash Singh, Dhekne P. Y., Manoj Pradhan* Modelling the performance indicators of surface miners in coal mines using coal cuttability factor // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2024, vol. 72, no. 4, pp. 238—248. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V72I4 P125. ГИАБ

REFERENCES

1. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zich A. Wear patterns of tool holders of rotary cutters of coal mining combines. *Ugol'*. 2021, no. 1, pp. 30 — 33. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-30-33.

2. Prokopenko S. A., Ludzish V. S., Kurzina I. A. Improvement of cutting tools to increase the efficiency of rock destruction by tunneling combines. *Journal of Mining Sciences*. 2016, no. 1, pp. 150 — 157. [In Russ].

3. Khoreshok A. A., Mamet'ev L. E., Tsekhin A. M., Borisov A. Yu., Burkov P. V., Burkova S. P., Krestovozdvizhenskiy P. D. *Proizvodstvo i ekspluatatsiya razrushayushchego instrumenta gornykh mashin: monografiya* [Production and operation of destructive tools of mining machines: a monograph], Tomsk, Izd-vo TPU, 2013., 296 p. [In Russ].

4. Bolobov V. I., Chupin S. A., Bochkov V. S., Mishin I. I. Service life extension for rock cutters by increasing wear resistance of holders by thermomechanical treatment. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 5, pp. 15 — 17. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.05.13.

5. Pelipenko N. A., Baklanov R. R., Protsuk I. S. Integrated analysis of drilling tool wear. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 12, pp. 60 — 63. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.13.

6. Grubyi S. V. Quantitative wear indicators in carbide tools with variation in hardness. *Proceedings of Higher educational institutions. Machine building*. 2023, no. 2, pp. 11 — 20. [In Russ]. DOI: 10.18698/0536-1044-2023-2-11-20.

7. Li H. S., Liu S. Y., Xu P. P. Numerical simulation on interaction stress analysis of rock with conical picks. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019, vol. 85, pp. 231 — 242. DOI: 10.1016/j.tust.2018.12.014.

8. Wang S., Huang L., Li X. Analysis of rockburst triggered by hard rock fragmentation using a conical pick under high uniaxial stress. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2020, vol. 96, article 103195. DOI: 10.1016/j.tust.2019.103195.

9. Yasar S. Predictive plots for conical pick performance using mechanical and elastoplastic properties of rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2020, vol. 12, no. 5, pp. 1027 — 1035. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.12.020.

10. Su O., Akkaş M. Assessment of pick wear based on the field performance of two transverse type roadheaders: a case study from Amasra coalfield. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2020, vol. 79, pp. 2499 — 2512. DOI: 10.1007/s10064-019-01712-x.

11. Levankovskiy I. A. Vybor ratsional'nykh konstruktsiy povorotnykh reztsov dlya razlichnykh gornogeologicheskikh usloviy. *Razrushenie gornykh porod i kompozitsionnykh materialov povorotnymi reztsami. Sbornik nauchnykh trudov*. Vyp. 1 [Destruction of rocks and composite materials by rotary cutters. Collection of scientific papers. Issue 1], Moscow, Izd-vo AGN, 1998, pp. 129 — 142. [In Russ].

12. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Y. N., Linnik V. Y. Estimation of abrasiveness impact on the parameters of rock-cutting equipment. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 621 — 627. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.621.

13. Plinninger R. J. Wear prediction in hardrock excavation using the CERCHAR abrasiveness index (CAI). *EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium*. Schubert (ed.), VGE, 2004, pp. 599 — 604.

14. Zhang G., Thuro K., Song Z. Cerchar abrasivity test and its applications in rock engineering: A review. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2025, vol. 12, article 13. DOI: 10.1007/s40789-024-00731-8.

15. Hamzaban M. T., Rostami J., Dahl F. Wear of cutting tools in hard rock excavation process: A critical review of rock abrasiveness testing methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2023, vol. 56, pp. 1843 — 1882. DOI: 10.1007/s00603-022-03187-x.

16. Mazein S. V., Voznesenskii A. S., Prishchepov V. V. Methods of deter-mining the abrasiveness of solid rock during mechanized excavation of long tunneling. *Geotechnics*. 2022, vol. XIV, no. 3, pp. 44 — 54. [In Russ]. DOI: 10.25296/2221 — 5514-2022-14-3-44-54.

17. Gao K., Wang X., Wei H. Abrasivity database of different genetic rocks based on CERCHAR abrasivity test. *Scientific Data*. 2024, vol. 11, article 630. DOI: 10.1038/s41597-024-03470-2.

18. Teymen A. Estimating the hardness and abrasion properties of igneous rocks from cerchar indentation depth. *KONJES*. 2024, vol. 12, no. 1, pp. 205 — 220. DOI: 10.36306/konjes.1340820.

19. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A. Of the need to introduce a state standard for determination of rock abrasivenes. *Ugol'*. 2018, no. 11, pp. 86—91. [In Russ]. DOI: 1018796/0041-5790-2018-11-86-91.

20. Om Prakash Singh, Dhekne P. Y., Manoj Pradhan Modelling the performance indicators of surface miners in coal mines using coal cuttability factor. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2024, vol. 72, no. 4, pp. 238—248. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V72I4P125.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жабин Александр Борисович — д-р техн. наук,
профессор, Тульский государственный университет,
e-mail: zhabin.tula@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5305-4908,
Поляков Андрей Вячеславович[1] — д-р техн. наук,
доцент, эксперт, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0067-6954,
Поляков Алексей Вячеславович[1] — канд. техн. наук,
эксперт, e-mail: polyakoff-al@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0006-6076-6958,
[1] ООО «Единый консалтинговый холдинг».
Для контактов: Поляков Ан.В., e-mail: polyakoff-an@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.B. Zhabin, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Tula State University, 300012, Tula, Russia,
e-mail: zhabin.tula@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5305-4908,
An.V. Polyakov[1], Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Expert, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0067-6954,
Al.V. Polyakov[1], Cand. Sci. (Eng.), Expert,
e-mail: polyakoff-al@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0006-6076-6958,
[1] United Consulting Holding LLC, 109542, Moscow, Russia.
Corresponding author: An.V. Polyakov, e-mail: polyakoff-an@mail.ru.

Получена редакцией 28.07.2025; получена после рецензии 28.08.2025; принята к печати 10.11.2025.
Received by the editors 28.07.2025; received after the review 28.08.2025; accepted for printing 10.11.2025.