

Разработка износостойких резцов комбайнов калийных рудников

Д.С. Грибов¹✉, Д.И. Шишлянников²

¹АО «ВНИИ Галургии», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

✉ dmitriy.gribov@mail.ru

Резюме: Приведены сведения о механизированном способе добычи калийно-магниевого руд и применяемых проходческо-очистных комбайнах. Отмечено, что значительное количество простоев комбайнов калийных рудников, возникающих по причине аварийных отказов, является следствием повреждения узлов и деталей их исполнительных органов, в том числе резцов. Отказы резцов приводят к увеличению силовых и энергетических показателей процесса разрушения калийных руд, оказывая при этом отрицательное влияние на производительность оборудования и стоимость проведения горных выработок. Рассмотрены известные способы повышения наработки резцов на отказ, а также достоинства и недостатки известных решений по повышению износостойкости резцов. Предложена конструкция перспективного тангенциального неповоротного резца РП с крышевидной формой передней грани и треугольной формой режущей кромки. Представлены результаты сравнительных испытаний серийного тангенциального неповоротного резца РС-14 и перспективного резца РП по разрушению блоков калийной руды и изотропного материала – гипсовых плит – на лабораторном стенде. На основании результатов стендовых испытаний и проведенных ранее шахтных исследований обоснованы рациональные параметры и конструкция резцов для комбайнов калийных рудников по критерию повышения их наработки. Предложена конструкция составного резца на базе резца РП, обеспечивающая повышение его износостойкости, увеличение ресурса и снижение материальных издержек предприятий, осуществляющих добычу калийно-магневых руд подземным способом.

Ключевые слова: калийно-магневые руды, проходческо-очистные комбайны, резцовый породоразрушающий инструмент, увеличение наработки, сила резания, удельные энергозатраты, лабораторный стенд, составной резец

Для цитирования: Грибов Д.С., Шишлянников Д.И. Разработка износостойких резцов комбайнов калийных рудников. Горная промышленность. 2026;(4):141–146. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4-141-146>

Development of wear-resistant picks for potash continuous miners

D.S. Gribov¹✉, D.I. Shishlyannikov²

¹ VNII Galurgii JSC, Saint Petersburg, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

✉ dmitriy.gribov@mail.ru

Abstract: The article provides information about a mechanized method of mining potassium-magnesium ores and the heading and winning machines used. It is noted that a significant amount of downtime of potash continuous miners caused by emergency failures is due to damage to the components and parts of their cutters, including the picks. Pick failures lead to higher power requirements and energy consumption of the potash ore crushing operations, while negatively affecting equipment productivity and the cost of the heading operations. The article discusses the known methods for increasing the service life of the picks, as well as advantages and disadvantages of common solutions to improve their wear resistance. A design of a promising tangential non-rotating RP pick is proposed, characterized with the front face shaped as a pitched roof and a triangular form of the cutting edge. The results are presented of comparative tests of the commercial tangential non-rotating RS-14 picks and the promising RP pick for breaking blocks of potassium ore and isotropic material, i.e. gypsum plates, using a laboratory bench. Rational parameters and design of the picks for continuous miners in potash mines are justified based on the bench test results and previous mine studies in order to increase their operating time. A compound pick design is proposed based on the RP pick to increase its wear resistance, extend its service life, and reduce the material costs of underground mining operations for potash and magnesium ores.

Keywords: potassium and magnesium ores, heading and winning machines, rock-cutting tools, increased operating time, cutting force, specific energy consumption, laboratory bench, compound pick

For citation: Gribov D.S., Shishlyannikov D.I. Development of wear-resistant picks for potash continuous miners. Russian Mining Industry. 2026;(4):141–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4-141-146>

Введение

Камерная система разработки широко применяется в России и странах ближнего зарубежья для добычи калийно-магнелийных руд подземным способом. При этом ведение добычных и горнопроходческих работ осуществляется с использованием комплектов горного оборудования – высокопроизводительных механизированных комбайновых комплексов (МКК), в состав которых традиционно входят: проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель, а также один или два самоходных вагона [1; 2].

В составе МКК преимущественно применяются проходческо-очистные комбайны с пространственными планетарно-дисковыми исполнительными органами – типа «Урал» производства АО «Копейский машиностроительный завод», и его аналоги – «КПО» производства ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством» и «Универсал» производства ОАО «ЛМЗ Универсал» (УПП «НИВА», г. Солигорск). Комбайны с роторными исполнительными органами применяются в составе МКК в ограниченном количестве, а комбайны с барабанными и плоскими планетарно-дисковыми исполнительными органами после проведения ряда опытно-промышленных испытаний на калийных рудниках в составе МКК на данный момент не используются [1; 3].

Анализ работы комбайнов на калийных рудниках показывает, что значительное количество простоев (более 50%) из-за технических неполадок приходится на повреждение узлов и деталей их исполнительных органов, в том числе резцов. Эксплуатация изношенных резцов приводит в первую очередь к увеличению силовых и энергетических показателей процесса разрушения калийных руд, оказывая при этом отрицательное влияние как на производительность проходческих и добычных машин, так и на стоимость проведения горных выработок в целом. В связи с этим повышение наработки на отказ используемых резцов и обоснование их рациональных параметров и конструкции по критерию увеличения износостойкости являются актуальной задачей, а её решение представляет научный и практический интерес.

Материалы и методы

Конструкция исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов калийных рудников, а также применяемого для них резцового породоразрушающего инструмента (резцов) принципиально не менялась на протяжении последних 40–50 лет. Так, в качестве породоразрушающего инструмента для комбайнов типа «Урал» и его аналогов, как правило, применяются серийно изготавливаемые тангенциальные неповоротные резцы РС-14 (РС-14У) с прямоугольной долотчатой формой режущей кромки и плоской формой передней грани (рис. 1). Резцы РС-14 используются для разрушения вязких калийных руд или при резании соляных пород стружками малой толщины, а при затуплении армирующей (твердосплавной) вставки указанные резцы возможно перетачивать и переставлять, что позволяет использовать их повторно. Кроме того, простой и надежный способ крепления резцов РС-14 на исполнительном органе комбайна минимизирует вероятность их потери в процессе эксплуатации вследствие разбалтывания в посадочном отверстии кулака-резцедержателя [1; 3; 4].

В процессе разрушения калийного массива на контактные поверхности резца со стороны массива действуют силы с переменным циклическим характером, величина которых имеет наибольшее значение в области, располо-

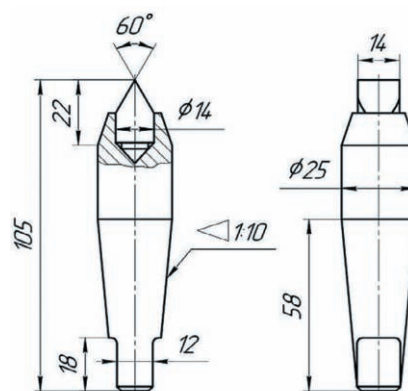


Рис. 1
Геометрические параметры и общий вид серийного тангенциального неповоротного резца РС-14



Fig. 1
Geometric parameters and a general view of the RS-14 commercial tangential non-rotating pick

женной вблизи к режущей кромке, а при удалении от нее резко убывает по кривым гиперболического вида. Для преодоления указанных сил к резцу со стороны горной машины (комбайна) приложены следующие усилия: P_z – сила резания, P_y – сила подачи, P_x – боковая сила, из которых только сила резания P_z совершает полезную работу, разрушая калийный массив.

Нагрузки, воспринимаемые резцом во время эксплуатации, обуславливают его нагрев и интенсивное изнашивание. При этом наибольшему изнашиванию, как правило, подвергается именно головная часть резца (головная часть державки), что в дальнейшем может привести к потере твердосплавной армирующей вставки и переходу резца в неработоспособное состояние [5–9].

Увеличение наработки резцового породоразрушающего инструмента проходческо-очистных комбайнов возможно следующими известными способами:

- применение износостойких материалов в конструкциях резцов;
- совершенствование процесса термообработки в процессе изготовления резцов;
- совершенствование конструкции резцов, в том числе определение их рациональных геометрических параметров, способствующих повышению долговечности инструмента в целом;
- создание составных резцов со сменной головной (наиболее изнашиваемой) частью.

Опыт эксплуатации резцового породоразрушающего инструмента проходческо-очистных комбайнов свидетельствует, что применение более качественных износостойких материалов, в частности высоколегированных сталей, для изготовления державок резцов способствует лишь замедлению процесса их износа, значительно увеличивая, в свою очередь, стоимость породоразрушающего инструмента. При этом в условиях экономических санкций, действующих в настоящее время против РФ, некоторые марки зарубежных качественных сталей становятся недоступными для закупки и использования.

К числу достоинств способа, связанного с совершенствованием процесса термообработки и обеспечивающего повышение локальной твердости отдельных зон державки резца за счет применения высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), следует отнести [10; 11]:

- увеличение износостойкости головной части держав-

ки резца до 1,9 раз в сравнении с серийными экземплярами;

– увеличение наработки комплекта резцов, установленных на исполнительном органе проходческо-очистного комбайна до 1,6 раз.

Указанный способ несмотря на отмеченные достоинства не устраняет проблему нерационального использования материала резца при износе головной части и потере твердосплавной вставки. Сохранившая работоспособность хвостовая часть державки не может быть использована в дальнейшем и утилизируется.

Согласно отраслевой методике, разработанной в середине 1980-х годов на основании исследований, выполненных специалистами АО «ВНИИ Галургии» и Гипроуглегормаша¹, определение силовых параметров разрушения калийных руд режущими исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов, в частности, расчет средней силы резания на одиночном резце, выполняется согласно эмпирической формуле:

$$P_Z = A_p h k_{t/h} k_b k_a k_{зат} k_{\phi} k_{\psi}, \quad (1)$$

где P_Z – сила резания на неповоротном резце, Н; A_p – сопротивляемость калийного массива резанию, Н/мм; h – глубина реза (толщина стружки), мм; $k_{t/h}$ – коэффициент степени блокированности реза; k_b – коэффициент ширины режущей кромки резца; k_a – коэффициент угла резания; $k_{зат}$ – коэффициент затупления резца; k_{ϕ} – коэффициент формы передней грани резца; k_{ψ} – коэффициент ориентации резца.

Анализ зависимости (1) и ее составляющих, в частности коэффициента формы передней грани резца k_{ϕ} (табл. 1), свидетельствует, что снижение нагрузок на резцы, а также удельных энергозатрат процесса резания возможно за счет оптимизации формы резца. При этом вследствие уменьшения нагрузок может быть повышена и стойкость резца.

Таблица 1
Коэффициент формы передней грани резца k_{ϕ}

Форма режущей кромки	Форма передней грани		
	плоская	полукруглая выпуклая	крышевидная
Полукруглая выпуклая	0,57–0,62	0,57	0,66–0,74
Прямоугольная долотчатая	0,93–1,0	Не применяется	Не применяется
Треугольная	0,79–0,84	0,68–0,71	0,77–0,85

Анализ табл. 1 показывает, что одним из направлений совершенствования тангенциальных резцов по критерию повышения их наработки является применение тангенциальных неповоротных резцов с крышевидной формой передней грани и треугольной формой режущей кромки [12]. На основании указанного вывода авторами разработан перспективный резец РП и изготовлена его полноразмерная модель из стали У10 (рис. 2).

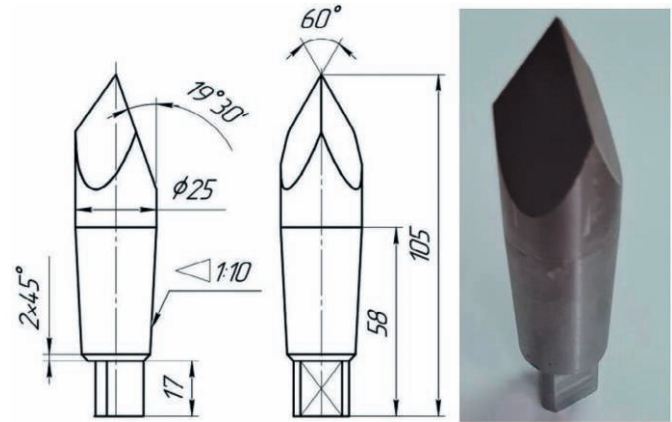


Рис. 2
Геометрические параметры и общий вид перспективного тангенциального неповоротного резца РП

Fig. 2
Geometric parameters and a general view of the perspective RP tangential non-rotating pick

Процесс разрушения соляных пород, в частности калийно-магниевых руд, резцами проходческо-очистных комбайнов следует рассматривать как случайный, описываемый соответствующими характеристиками, количественная оценка которых возможна посредством использования экспериментального метода исследования, реализуемого в условиях рудников или на лабораторных стендах [13].

Сотрудниками кафедры «Горная электромеханика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) при участии специалистов АО «ВНИИ Галургии» разработан лабораторный стенд (рис. 3) на базе поперечно-строгального станка 7307ТД. Стенд является физической моделью механизма разрушения соляного массива одиночным резцом горного комбайна и позволяет определять силовые параметры и энергетические показатели процесса разрушения блоков соляных пород одиночным резцом, а также выполнять исследования гранулометрического состава продуктов разрушения, отделяемых от блоков резами с заданными параметрами и схемой расположения, посредством различных типов резцов [3].

Согласно методике экспериментальных исследований, выполненных авторами с использованием лабораторного стенда, учитывались следующие условия [3]:

– для проведения исследований использовались серийно выпускаемые резцы РС-14 и экспериментальные (опытные) – перспективные резцы РП;

– исследования были проведены на блоках калийной руды (выполнены установочные резы), а также плитах гипса строительного – изотропного материала, свойства которого приближены к свойствам калийной руды, но характеризующегося меньшей величиной сопротивляемости резанию, что обеспечивает выполнение проводимых исследований в полном объеме при фактических прочностных характеристиках стенда;

– плиты гипса разрушались с применением последовательной и шахматной схем резания с шагом резания $t = 20; 40; 60$ мм и толщиной стружки $h = 5; 10; 15$ мм.

Предварительно для сравнения сопротивляемости резанию блоков калийной руды и гипсовых плит были выполнены установочные резы с выровненной поверхности эталонным резцом, результаты которых подтвердили разницу

¹ Комбайны проходческо-очистные для добычи калийных руд. Выбор показателей назначения и расчет параметров разрушения горных пород. Отраслевая методика. Л.: ВНИИГ; 1986. 54 с.

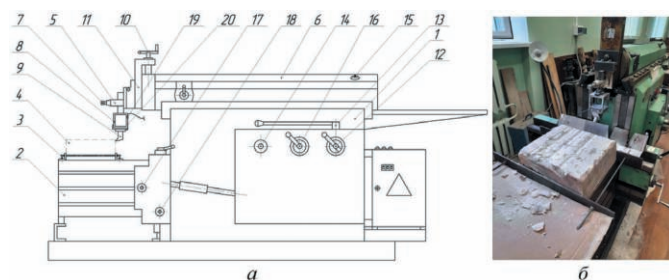


Рис. 3
Схема (а) и общий вид (б) лабораторного стенда:
1 – станина;
2 – стол;
3 – захваты;
4 – блок исследуемого материала;
5 – резцедержатель;
6 – ползун;
7 – крепежный винт;
8 – измерительная головка;
9 – одиночный резец;
10 – штурвал суппорта;
11 – суппорт;
12, 14, 15 – рукоятки управления ползуном;
13 – тормоз ползуна;
16, 17, 18 – рукоятки управления столом;
19 – тензорезисторы;
20 – стойки для крепления тензорезисторов

Fig. 3
Layout (a) and a general view (b) of the laboratory bench:
1 – machine bed frame;
2 – table;
3 – clamp;
4 – a slab of the investigated material;
5 – pick holder;
6 – sliding bar;
7 – locking screw;
8 – measuring head;
9 – single pick;
10 – flywheel of the tool head;
11 – tool head;
12, 14, 15 – control handles;
13 – sliding bar brake;
16, 17, 18 – table control handles;
19 – strain gauges;
20 – mounting racks for strain gauges

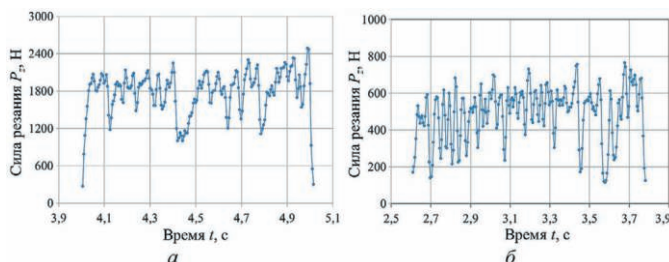


Рис. 4
Изменение мгновенных значений силы резания от времени $P_{zi}(t)$ в процессе разрушения блоков калийной руды (а) и плит гипса (б) резами с выровненной поверхности эталонным резцом при толщине стружки $h = 7$ мм

Fig. 4
Changes in the momentary cutting force values versus time $P_{zi}(t)$ when cutting potash ore slabs (а) and gypsum slabs (б) with the picks from a surface leveled using a reference pick with the chip thickness of $h = 7$ мм

в физико-механических свойствах указанных материалов (рис. 4) [3]. Вместе с тем последующий анализ силовых параметров резания и установление зависимости изменения средней силы резания от толщины стружки $P_z(h)$ для калийной руды и для гипса позволили [3]:

- сделать вывод о качественной схожести физико-механических свойств калийной руды и гипса в процессе резания одиночным резцом, что подтвердило возможность использования гипсовых блоков для проведения стендовых исследований;

- определить, учитывая схожую тенденцию приращения средней силы резания (P_z) от толщины стружки (h), значения средней сопротивляемости резанию, которые составили для блоков калийной руды 267 Н/мм, для гипсовых плит – 53 Н/мм.

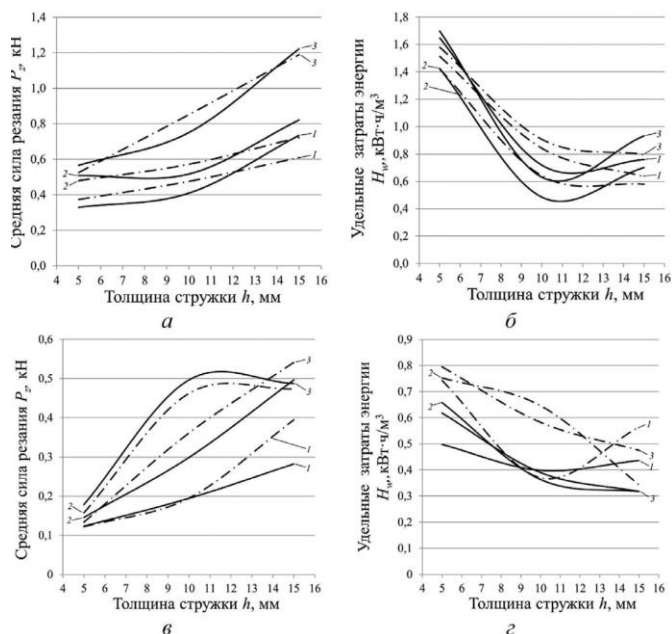


Рис. 5
Изменение показателей процесса разрушения гипсовых плит последовательными (а, б) и шахматными (в, г) резами от толщины стружки h :
а, в – средние силы резания;
б, г – удельные затраты энергии;
1 – шаг резания $t = 20$ мм;
2 – $t = 40$ мм;
3 – $t = 60$ мм;
— – РС-14;
— — РС-14;
— · — РП

Fig. 5
Changes in the process of cutting gypsum slabs by sequential (а, б), staggered (в, г) cuts depending on the chip thickness h :
а, в – average cutting forces;
б, г – specific energy consumption;
1 – cutting step $t = 20$ мм;
2 – $t = 40$ мм;
3 – $t = 60$ мм;
— – RS-14 pick;
— — PC-14;
— · — RP pick

Результаты

Стендовые испытания, проведенные авторами и связанные с разрушением гипсовых плит одиночными резами РС-14 и РП, позволили получить зависимости изменения силы резания $P_z(h)$ и удельных затрат энергии $H_w(h)$ (рис. 5), а также оценить динамику изменения нагрузок на одиночном резце (рис. 6) при разрушении блоков гипса с различными значениями шага резания t с использованием шахматной и последовательной схем резания.

Анализ полученных зависимостей (см. рис. 5) свидетельствует, что:

- для реза РП удельные затраты энергии в целом находятся на уровне удельных затрат энергии для реза РС-14 как для последовательной, так и для шахматной схем резания;

- наибольшую эффективность применения резцов РП по критерию минимальных удельных затрат энергии на процесс резания возможно обеспечить при реализации последовательной схемы с большой толщиной стружки ($h > 15$ мм).

Динамика изменения нагрузок на одиночном резце в процессе разрушения гипсовых плит последовательными и шахматными резами (см. рис. 6) позволяет сделать следующие выводы:

- при реализации последовательной схемы резания для реза РП динамика изменения силы резания при принятых

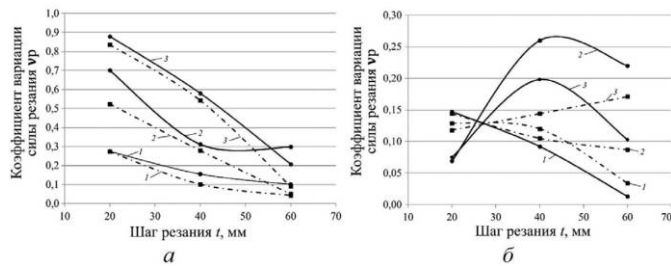


Рис. 6
Динамика изменения нагрузок на одиночном резце в процессе разрушения гипсовых плит последовательными (а) и шахматными резами (б):
1 – шаг резания $t = 20$ мм;
2 – $t = 40$ мм;
3 – $t = 60$ мм;
— – РС-14;
— . . – РП

Fig. 6
Dynamics of the load changes on a single pick when cutting gypsum slabs by sequential (a) and staggered cuts (б):
1 – cutting step $t = 20$ mm;
2 – $t = 40$ mm;
3 – $t = 60$ mm;
— – RS-14 pick;
— . . – RP pick

толщинах стружки $h = 5, 10, 15$ мм и на всем принятом диапазоне шагов резания $t = 20, 40, 60$ мм качественно схожа с серийно выпускаемым резцом РС-14 и в среднем меньше последнего на 31–47% (см. рис. 6, а);

– при реализации шахматной схемы резания для резца РП динамика изменения силы резания при толщинах стружки $h > 10$ мм и практически на всем принятом диапазоне шагов резания $t = 20, 40, 60$ мм меньше аналогичных показателей для резца РС-14 на 27–60 % (см. рис. 6, б).

Полученные результаты стендовых испытаний согласуются с результатами ранее выполненных специалистами АО «ВНИИ Галургии» испытаний в условиях действующего калийного рудника перспективного резца РС-35, также характеризующегося крышевидной формой передней грани и треугольной формой режущей кромки. Результаты рудничных испытаний показали, что наработка резцов с крышевидной формой передней грани и треугольной формой режущей кромки превышает в 3,7 раза наработку серийно выпускаемых резцов РС-14 [12].

Необходимо отметить, что к достоинствам перспективных резцов РП относится возможность изготовления на их базе резцов, имеющих составную конструкцию (рис. 7), с использованием сменной головки, что, в свою очередь, способствует повышению их износостойкости, увеличению ресурса и снижению материальных издержек горнодобывающих предприятий. На данное техническое решение получен патент на изобретение [14].

Закключение

Применение для проходческо-очистных комбайнов калийных рудников перспективных резцов РП, характеризующихся крышевидной формой передней грани и треугольной формой режущей кромки, будет способствовать

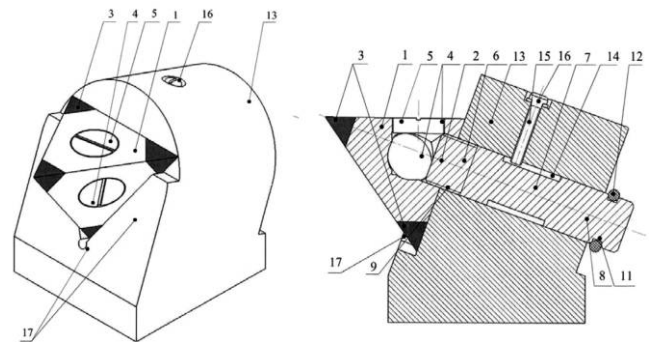


Рис. 7
Составной резец на базе перспективного резца РП:
1 – сменная рабочая головка;
2 – державка;
3 – твердосплавная вставка;
4 – глухое отверстие под разъемные соединения с державкой резца;
5 – заглушка;
6, 7, 8 – передний, промежуточный, хвостовой участки державки;
9 – разъемное соединение (резьба);
11 – проточка;
12 – стопорное кольцо;
13 – резцедержатель;
14 – сквозное отверстие в резцедержателе;
15 – глухое резьбовое отверстие;
16 – стопорный винт;
17 – упор

Fig. 7
A compound pick design based on the promising RP pick:
1 – replaceable working head;
2 – pick body;
3 – hard-alloy insert;
4 – a blind hole for the detachable connection with the pick body;
5 – cap;
6, 7, 8 – front, intermediate, and tail sections of the pick body;
9 – detachable connection (threaded);
11 – locking ring groove;
12 – locking ring;
13 – pick holder;
14 – a through hole in the pick holder;
15 – a blind threaded hole;
16 – locking screw;
17 – a rest for the pick head

повышению эффективности процесса разрушения калийного массива резанием ввиду увеличения наработки на отказ указанных резцов в сравнении с серийно выпускаемыми резцами РС-14. Возможность изготовления на базе перспективных резцов РП резцов, имеющих составную конструкцию, также положительно скажется на продолжительности их эксплуатации.

Рациональность предложенных технических решений при конструировании перспективного резца РП по критерию повышения его наработки на отказ подтверждена результатами стендовых испытаний на лабораторном стенде.

Данные стендовых испытаний, полученных авторами, согласуются с результатами проведенных ранее испытаний в условиях действующего рудника аналогичного резцового породоразрушающего инструмента, обладающего характеристиками, приближенными к характеристикам резца РП.

Список литературы / References

1. Старков Л.И., Земсков А.Н., Кондрашев П.И. Развитие механизированной разработки калийных руд. Пермь: Изд-во Пермского гос. технического ун-та; 2007. 522 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/12939> (дата обращения: 15.04.2026).

2. Шишлянников Д.И., Иванов С.Л., Звонарев И.Е., Зверев В.Ю. Повышение эффективности применения выемочных и транспортирующих машин комбайновых комплексов калийных рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(9):116–124. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124>
Shishlyannikov D.I., Ivanov S.L., Zvonarev I.E., Zverev V.Yu. Improving efficiency of shearing and hauling machines in longwall potash mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(9):116–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124>
3. Грибов Д.С., Ситников Д.А., Шишлянников Д.И. Перспективные конструкции резцового породоразрушающего инструмента комбайновых комплексов калийных рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(11):99–111. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_11_0_99
Gribov D.S., Sitnikov D.A., Shishlyannikov D.I. Promising designs of cutting picks for shearers in potash mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(11):99–111. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_11_0_99
4. Шишлянников Д.И., Трифанов Г.Д., Кускова Я.В. Повышение качества гранулометрического состава калийной руды, добываемой механизированным способом. *Горный журнал*. 2021;(12):45–51. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.12.08>
Shishlyannikov D.I., Trifanov G.D., Kuskova Ya.V. Improvement of particle size distribution in machine mining of potassium ore. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(12):45–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.12.08>
5. Чупин С.А. *Повышение износостойкости поворотных резцов проходческих комбайнов для проведения выработок по породам средней крепости* [дис. ... канд. техн. наук]. СПб.; 2016. 162 с.
6. Dewangan S., Chattopadhyaya S. Characterization of wear mechanisms in distorted conical picks after coal cutting. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016;49(1):225–242. <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0726-x>
7. Болобов В.И., Болобов В.Л., Талеров М.П., Бочков В.С. Причина быстрого износа тангенциальных резцов. *Записки Горного института*. 2012;195:238–240. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/6144> (дата обращения: 15.04.2026).
Bolobov V.I., Bolobov V.L., Talerov M.P., Bochkov V.S. Cause rapid wear tangential cutters. *Journal of Mining Institute*. 2012;195:238–240. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/6144> (accessed: 15.04.2026).
8. Käsling H., Thuro K. Determining rock abrasivity in the laboratory. In: Zhao J., Labiouse V., Dudt J.-P., Mathier J.-F. (eds) *Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering*. EUROCK 2010. London: CRC Press; 2010. pp. 425–428.
9. Zhou Y., Zhang W., Gamwo I., Lin J.-S. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017;100:287–297. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.11.004>
10. Бобров В.Л. *Повышение износостойкости тангенциальных резцов проходческих комбайнов совершенствованием термической обработки при их изготовлении* [дис. ... канд. техн. наук]. СПб.; 2012. 128 с.
11. Чупин С.А., Болобов В.И., Максимов А.Б. Исследование влияния термомеханической обработки материала державок поворотных резцов на его твердость. *Горное оборудование и электромеханика*. 2016;(9):38–42.
Chupin S.A., Bolobov V.I., Maksimov A.B. The investigation of the influence of the thermo mechanical treatment of the cutter body material on its hardness. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2016;(9):38–42. (In Russ.)
12. Брусиловский Д.В., Вировец Л.Н., Ушеренко С.М. *Резущий инструмент отечественных и зарубежных калийных комбайнов*. М.: НИИТЭХИМ; 1983. 42 с.
13. Liu S., Ji H., Liu X., Jiang H. Experimental research on wear of conical pick interacting with coal-rock. *Engineering Failure Analysis*. 2017;74:172–187. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.01.013>
14. Шишлянников Д.И., Суханов А.Е., Васильев А.Л., Борисов А.В., Грибов Д.С. *Составной резец с устройством крепления на исполнительном органе машины*. Патент РФ RU2755106C1, опубл. 13.09.2021.

Информация об авторах

Грибов Дмитрий Сергеевич – начальник горного отдела, АО «ВНИИ Галургии» филиал в г. Санкт-Петербург, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: dmitriy.gribov@mail.ru

Шишлянников Дмитрий Игоревич – доктор технических наук, профессор кафедры горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

Information about the authors

Dmitriy S. Gribov – Head of the Mining Department, VNII Galurgii JSC, Saint-Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-6838-3122>; e-mail: dmitriy.gribov@mail.ru

Dmitriy I. Shishlyannikov – Dr. Sci. (Eng.), Professor of Mining Electromechanics Department, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7395-6869>

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.03.2026

Поступила после рецензирования: 04.05.2026

Принята к публикации: 12.05.2026

Article info

Received: 19.03.2026

Revised: 04.05.2026

Accepted: 12.05.2026