



УДК 622.23.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Кузнецов М.А.¹, Баканов А.А.²

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

² ГБУ ДПО Кузбасский региональный институт развития профессионального образования им. А.М.Тулеева



Информация о статье

Поступила:

16 октября 2024 г.

Рецензирование:

25 февраля 2025 г.

Принята к печати:

10 марта 2025 г.

Ключевые слова:

горный буровой инструмент, проектирование горных инструментов, методика расчета геометрических параметров, неуравновешенная радиальная составляющая силы резания, геометрические параметры

Аннотация.

В данной работе проведено исследование статических геометрических параметров буровых инструментов вращательного действия. В качестве предмета исследования приняты конструкции буровых инструментов БИ-741 и РП-42. Результаты исследования, выполненного с применением существующей методики расчета статических геометрических параметров буровых инструментов, представляют собой зависимости углов, заданных в статической системе координат, от значений радиуса бурового инструмента. Исследование проводилось с учетом указанных в литературе рекомендуемых диапазонов геометрических параметров, заданных в инструментальной системе координат. В статической системе координат после закрепления инструмента в штанге буровой установки возникает отклонение инструмента от собственной оси вращения, что в процессе бурения напрямую влияет на стойкость и работу инструмента. Результаты исследования показали, что геометрические параметры, заданные в инструментальной системе и полученные в статической системе координат, могут отличаться в разной степени. С помощью полученных графиков можно определить диапазоны геометрических параметров, в которых прочность буровых инструментов будет иметь наибольшее значение. Благодаря проведенному исследованию при изготовлении инструмента есть возможность сократить разницу параметров, заданных в инструментальной и статической системе, что позволит снизить износ бурового инструмента.

Для цитирования: Кузнецов М.А., Баканов А.А. Исследование геометрических параметров буровых инструментов вращательного действия // Техника и технология горного дела. – 2025. – № 1(28). – С. 52-69. – DOI: 10.26730/2618-7434-2025-1-52-69, EDN: LRRYMK

Введение

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в процессе бурения в зависимости от заданных геометрических параметров лезвия может возникать существенная неуравновешенная радиальная составляющая силы резания, значительно снижающая работоспособность горного бурового инструмента вращательного действия. На основании изложенного определена цель работы: исследовать статические геометрические параметры горных буровых инструментов.

К буровым инструментам относятся рабочие инструменты, которые применяются для бурения массивов горных пород специальной техникой: комбайнами, стругами, перфораторами, буровыми станками, отбойными молотками, врубными сверлами и др.

Существуют различные виды буровых инструментов, которые классифицируются как режущие, дробящие, раздавливающие и отбойные [1].

Принцип работы режущего инструмента заключается в отделении стружки от забоя горной породы посредством постоянного статического воздействия и подачи инструмента. Данный



инструмент имеет высокую эффективность бурения породы только в случае правильного выбора режимов бурения [2]. Конструкция рассматриваемого инструмента простая, имеет низкую стоимость изготовления и широко распространена. Однако у рассматриваемого инструмента есть существенный недостаток, затупление режущей кромки, в связи с чем снижается производительность буровой техники и возрастает потребляемая мощность [3]. Эта причина сокращает область применения инструмента и делает его непригодным для бурения крепких и абразивных горных пород, но в случае армирования рабочей части инструмента особо твердыми и износостойкими материалами, например, алмазами, позволит применять данный инструмент даже по крепким породам [4]. К режущему инструменту относятся резцы комбайнов, буровых машин, алмазные пилы и коронки [5].

Принцип действия дробящего инструмента заключается в том, что он способен внедряться в массивы горных пород под действием ударных нагрузок. В результате этого процесса под лезвиями инструмента порода разделяется на мелкие частицы и в массиве горной породы образуется лунка. После каждого удара инструмент перемещается в указанное оператором положение. При этом в промежутках между лунками происходит скалывание породы [6]. Комбинированный и дробящий инструменты применяются для бурения крепких пород в связи с более низкими затратами на энергию трения, чем при использовании режущего инструмента, при этом процесс затупления идет медленнее. Однако сам способ такого бурения значительно более энергоемкий по сравнению с резанием. В связи с этим данный инструмент считается недостаточно эффективным и его область применения ограничена лишь бурением шпуров [7]. К дробящему инструменту относятся различные коронки перфораторов и долота станков с ударным принципом действия [5].

Раздавливающий инструмент имеет схожий с дробящим принцип действия. Их различие заключается в том, что раздавливающий инструмент эксплуатируется при статическом приложении силы. Статическое вдавливание требует значительных осевых усилий, в этой связи рассматриваемый инструмент эффективно эксплуатируется исключительно в составе с горными машинами, имеющими большую массу и габариты [8]. К раздавливающему инструменту относятся шарошки и дробовые коронки [5].

Инструменты, работающие по принципу ударно-вращательного бурения, эксплуатируются с целью бурения шпуров и скважин различных диаметров. В процессе бурения ударно-вращательным способом, когда основным является ударное движение, параметры такого бурового инструмента будут схожи с параметрами коронок перфораторов. В свою очередь, при вращательно-ударном способе, когда основным движением является вращательное, геометрические параметры бурового инструмента будут сочетать в себе параметры буровых коронок и резцов вращательного действия [9].

К отбойному инструменту в общем случае относятся буровые инструменты, которые изготавливаются из стали, с термообработкой пиков молотков, забивающихся в горную породу при помощи специального ударного механизма молотка [5].

Основная часть

Процесс эксплуатации горных буровых инструментов происходит в сложных условиях: динамические нагрузки с пиками в 6-9 раз больше относительно средних; изменяющиеся свойства породы в процессе бурения, высокие температуры в зоне разрушения породы и прочее. С увеличением производительности и мощности горной техники возрастает нагрузка на инструмент, что влечет за собой повышенные требования к прочности, стойкости и работоспособности горного инструмента. Зачастую следить за состоянием горного инструмента в процессе бурения не представляется возможным. По этим причинам горные буровые инструменты должны соответствовать следующим требованиям: обладать повышенной эффективностью бурения массива горной породы при минимальном расходе энергии и высокой производительностью; конструкция должна быть выполнена с большим запасом прочности и износостойкости, особенно рабочих кромок; инструмент должен иметь возможность замены изношенных элементов (пластин, вставок); в процессе бурения инструментом должно быть

минимальное пылеобразование; инструмент должен соответствовать форме, размерам, геометрическим параметрам и свойствам разрушаемых пород, а также конструкции штанги, либо исполнительного органа и кинематики его работы; просто и надежно крепиться в державках, иметь возможность быстрой замены при износе; обладать высокой технологичностью изготовления; отвечать требованиям стандартизации и унификации [10, 11].

Буровые инструменты для бурения шпуров имеют стандартизированный размерный ряд основного параметра – диаметр 40-43 мм, который выбирается в соответствии с диаметром серийно выпускаемых патронов и вместе с тем из условия возможности эксплуатации буровых резцов для вспомогательных работ в случае проведения горных выработок (диаметры 28-32 и 60 мм) [12].

В процессе бурения режущая пластина бурового инструмента подвергается высокой степени износа рабочих поверхностей. Изнашивание поверхностей в свою очередь непременно приводит к поломке пластины и режущего инструмента.

Процесс изнашивания бурового инструмента характеризуется разрушением рабочих поверхностей режущей пластины инструмента из-за контактного трения поверхностей о стенки забоя [4].

Физические факторы, сопровождающие процесс износа бурового инструмента, идентичны изнашиванию пар трения. Однако условия возникновения таких факторов отличаются тем, что процесс бурения происходит при большом значении подачи инструмента, высоких скоростях вращения инструмента, а также высокой температуре в зоне бурения. При этом поверхности трения постоянно обновляются [8].

Процесс изнашивания поверхности определяется графиком классической кривой износа, представленной на Рис. 1. Данный график представлен в общем виде при использовании бурового инструмента [4].

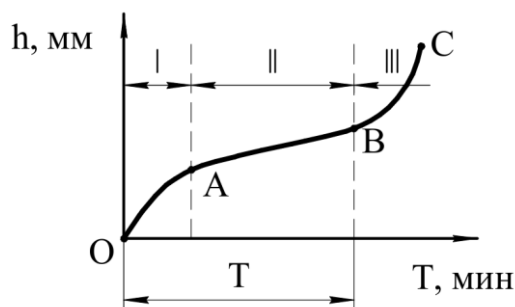


Рисунок 1 – Кривая износа бурового инструмента в общем виде
Figure 1 – Drilling tool wear curve in general form

Рассмотрим участки кривой износа бурового инструмента более подробно.

На графике (рис.1) указаны периоды износа I, II, III которые характеризуются конкретными участками кривой износа OA, AB, BC.

Участок OA является началом изнашивания инструмента, его еще называют периодом приработки (период I). На данном участке рабочие поверхности пластины инструмента постепенно выравниваются от микронеровностей, оставленных после изготовления инструмента. Одновременно с этим происходит расширение опорной площади трения рабочих поверхностей. Высокий темп износа на рассматриваемом участке зависит от высокого значения контактного давления, возникающего из-за минимальной величины площади контакта. Со временем площадка контакта увеличивается и темп износа замедляется.

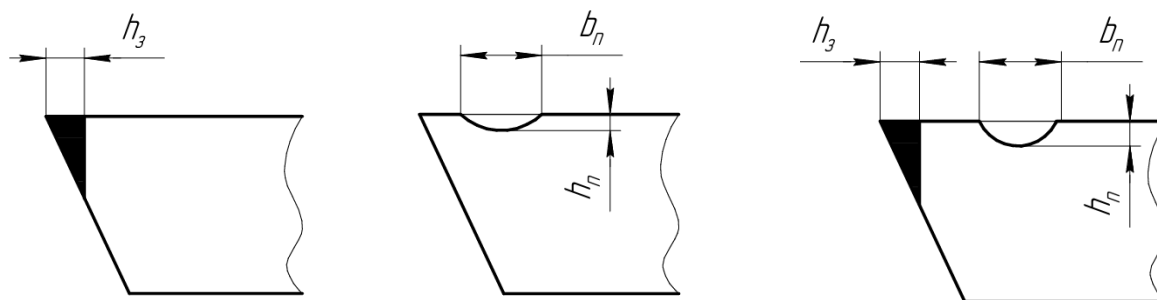
На участке AB представлен период нормального износа (период II), на этом участке режущая кромка инструмента изнашивается стабильно, сохраняя при этом свои геометрические параметры на уровне допустимых значений.

В процессе бурения пластины инструмента стабильно изнашиваются до тех пор, пока не наступит период катастрофического износа – участок BC (период III). При этом в точке C режущие пластины инструмента находятся в таком состоянии, что продолжать процесс бурения не представляется возможным. Режущие пластины инструмента нельзя доводить до



катастрофического износа, так как при этом может произойти поломка пластины или инструмента. А при заточке изношенной пластины придется снимать большой слой материала, из которого изготовлена пластина, что приведет к значительному снижению прочности пластины. Процесс бурения, очевидно, следует приостановить в точке В, перед началом третьего периода [4, 5, 6].

Существуют следующие виды износа режущей кромки буровых инструментов, такие как износ по задней поверхности, передней поверхности, а также одновременно по задней и передней поверхности.



а) износ по задней
поверхности

б) износ по передней
поверхности

в) износ по задней и передней
поверхности

Рисунок 2 – Виды износа режущей кромки пластины бурового резца вращательного действия

Figure 2 – Types of wear of cutting edge of rotary drilling cutter insert: a) wear on the rear surface; b) wear on the front surface; c) wear on the rear and front surfaces

Износ по задней поверхности, представленный на Рис. 2, а, может возникать из-за трения при низких скоростях бурения; при воздействии различных химических реакций между пластиной и массивом горной породы на высоких скоростях бурения; при естественной работе бурового инструмента. Такой износ характеризуется истиранием задней поверхности на величину h_z .

В процессе вращательного бурения происходит скалывание абразивных частиц массива горной породы, которые воздействуют на режущую пластину бурового инструмента таким образом, что на передней поверхности образуется лунка износа (Рис. 2, б). Со временем лунка на передней поверхности увеличивается по глубине b_n и ширине h_n , что в свою очередь приводит к отрыву части режущей кромки.

Рассмотренные виды износа могут возникать одновременно, в процессе бурения (Рис. 2, в). Они являются естественными и происходят равномерно, при условии, что выставлены соответствующие режимы бурения.

От величины износа зависит стойкость инструмента. Продолжительность работы бурового инструмента между переточками режущей кромки при конкретных режимах бурения называется стойкостью инструмента, T , мин [4].

В свою очередь, стойкость напрямую зависит от геометрических параметров режущей кромки бурового инструмента [4]. Рассмотрим более подробно виды координатных плоскостей, относительно которых задаются геометрические параметры горнорезущих инструментов [13].

Геометрические параметры режущих кромок горных инструментов в процессе проектирования, а также изготовления и эксплуатации принято рассматривать в прямоугольной системе координат $P_v t P_n$. При этом P_v – основная плоскость, t – произвольная точка, расположенная на режущей кромке, P_r – главная секущая плоскость, а P_n – плоскость бурения. Плоскость P_v проходит через произвольную точку t перпендикулярно вектору скорости главного движения резания. В свою очередь, плоскость P_n проходит через режущую кромку и задается параллельно вектору скорости главного движения и перпендикулярно основной плоскости [13].

Существуют различные системы координат (Рис. 3 а, б, в), в которых задаются параметры режущей кромки, такие как инструментальная ($P_{vu} t P_{nu}$), статическая ($P_{vt} P_{nc}$) и кинематическая



Статическая система координат является переходной системой от инструментальной к кинематической.

Кинематические параметры – это параметры, которые характеризуют инструмент в процессе бурения. К таким параметрам относится скорость и ускорение поступательного движения, а также угловая скорость и угловое ускорение вращения инструмента вокруг оси [1, 15].

Стойкость, прочность и работоспособность бурового инструмента, эксплуатируемого в тяжелых условиях, в значительной степени зависят от геометрических параметров инструмента [1].

В связи с этим тема исследования геометрических параметров буровых инструментов актуальна, так как в зависимости от заданных геометрических параметров лезвия может возникать существенная неуравновешенная радиальная составляющая силы резания, значительно снижающая работоспособность горного бурового инструмента вращательного действия [16, 17].

В работах [16, 17] рассмотрена методика анализа геометрических параметров горных режущих инструментов, однако нет информации о расчете геометрии конкретного бурового инструмента, а именно статических геометрических параметров (φ_c , λ_c , α_c , γ_c) в произвольной точке на лезвии инструмента:

- φ_c – статический угол в плане.
- λ_c – статический угол наклона режущей кромки.
- α_c – статический задний угол.
- γ_c – статический передний угол.

В работе [17] представлены различные конструкции буровых резцов для вращательного бурения шпуров, их достоинства и недостатки, пути улучшения материала лезвия буровых резцов, виды резцов с конкретной применяемой геометрией, актуальность исследования параметров режущей кромки буровых резцов с целью повышения работоспособности инструмента, снижения энергоемкости процесса бурения, расширения области применения вращательного бурения шпуров.

Однако на основании информации, представленной в работе [17], можно сделать вывод, что геометрия различных видов буровых резцов подбирается лишь опытным путем, и отсутствует информация по расчету статических геометрических параметров (φ_c , λ_c , α_c , γ_c) в произвольной точке лезвия бурового резца по известной форме пластины и ее ориентации в корпусе инструмента. Повышение работоспособности инструмента такого типа возможно за счет оптимизации геометрических параметров его рабочей части [17].

Рассмотрим методику расчета статических геометрических параметров (φ_c , λ_c , α_c , γ_c), представленную в работе [15] на примере формы пластин буровых резцов вращательного действия БИ-741 и РП-42. Размеры буровых резцов представлены на Рис. 4 [17].

Резцы БИ-741 предназначены для выполнения горных буровых работ в том числе для бурения дегазационных, водоотводных, а также разгрузочных скважин. Используются совместно с коронкой расширителя, либо в качестве отдельного инструмента [1, 17].

Конструкция бурового инструмента БИ-741 имеет отрицательный передний угол, равный 15° , габаритные размеры: диаметр 43 мм и длина 75 мм. При этом конструкция обеспечивает надежное соединение с буровой штангой шестигранного сечения за счет конусного соединения, выполненного на хвостовике резца [5, 17].

Буровые резцы РП-42 применяются при бурении крепких горных пород буровыми машинами. Особенность конструкции РП-42 заключается в смещении главной и боковой кромок твердосплавной режущей пластины с радиального направления в сторону вращения. Такое техническое решение также позволяет снизить уровень воздействия вибрации на конструкцию при бурении. Рассматриваемые резцы относятся к классу высокопрочных и применяются в процессе бурения с высокими скоростями и усилием подачи, не превышающей 20 кН [1, 5, 17].

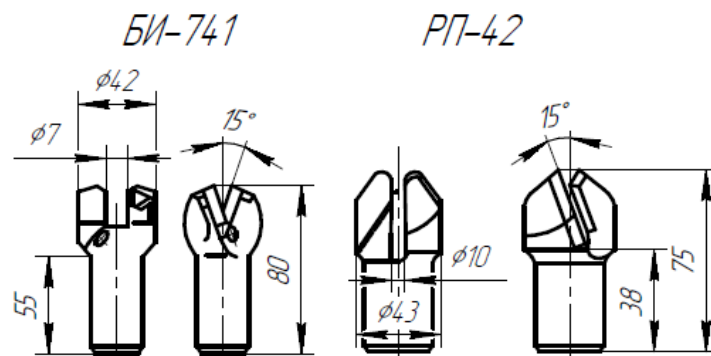


Рисунок 4 – Размеры буровых резцов БИ-741 и РП-42
Figure 4 – Dimensions of BI-741 and RP-42 drilling cutters

В работе [15] отмечается, что рассматриваемая методика расчета статических геометрических параметров (φ_c , λ_c , a_c , γ_c) подходит для расчета различных буровых режущих инструментов вращательного действия.

Пластины буровых резцов БИ-741 и РП-42 имеют следующие основные геометрические параметры, заданные в инструментальной системе координат, представленные на Рис. 5.

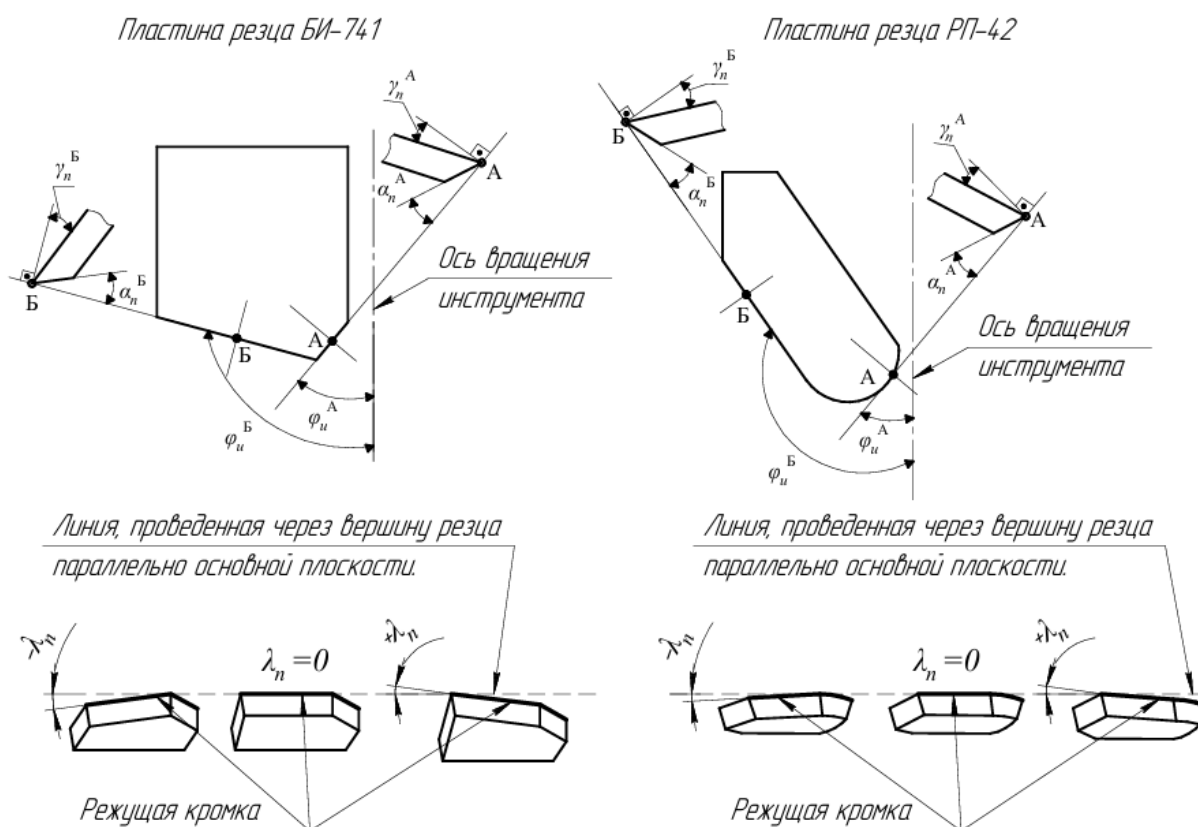


Рисунок 5 – Геометрические параметры пластин буровых резцов БИ-741 и РП-42
Figure 5 – Geometric parameters of BI-741 and RP-42 drilling cutter plates

Расчет статических геометрических параметров (φ_c , λ_c , α_c , γ_c) производится в соответствии со следующими формулами (1-6).

Профильный угол ориентации режущей пластины в точке 0 (1).



$$\sin \gamma_Y^0 = \frac{c}{R_u}, \quad (1)$$

где, c – расстояние от вершины пластины до диаметральной плоскости,
 R_u – радиус инструмента.

Профильный угол ориентации режущей пластины в произвольной точке А (2):

$$\sin \gamma_Y^A = \frac{R_A}{R_u} \cdot \sin \gamma_Y^0, \quad (2)$$

R_A – величина радиуса инструмента в точке А.

Тангенс статического угла в плане в произвольной точке А (3):

$$\operatorname{tg} \varphi_c^A = - \frac{\sin \gamma_x \cdot \sin \gamma_Y^A + \operatorname{tg} \varphi_u^A \cdot \cos \gamma_Y^A}{\cos \gamma_x}, \quad (3)$$

где γ_x – фронтальный угол; γ_Y^A – профильный угол в точке А; φ_u^A – инструментальный угол в плане в точке А.

В отличие от γ_x , имеющего одно и то же значение для всех точек главной режущей кромки, величина γ_Y^A зависит от радиуса текущей точки А.

Синус статического угла наклона режущей кромки в точке А (4):

$$\sin \lambda_c^A = \sin \varphi_u^A \cdot \sin \gamma_Y^A - \cos \varphi_u^A \cdot \sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_Y^A, \quad (4)$$

Синус статического заднего угла в точке А (5):

$$\begin{aligned} \sin \alpha_c^A = & \cos \alpha_n^A \cdot (\sin \varphi_u^A \cdot \sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_Y^A + \cos \varphi_u^A \cdot \sin \gamma_Y^A) + \\ & + \sin \alpha_n^A \cdot \cos \gamma_x \cdot \cos \gamma_Y^A, \end{aligned} \quad (5)$$

где α_n^A – задний угол, заданный формой пластины.

Синус статического переднего угла в точке А (6):

$$\begin{aligned} \sin \gamma_c^A = & -\cos \gamma_n^A \cdot (\cos \varphi_u^A \cdot \sin \gamma_Y^A + \sin \varphi_u^A \cdot \sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_Y^A) + \\ & + \sin \gamma_n^A \cdot \left[\sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_x \cdot \sin \gamma_Y^A \cdot (\sin \varphi_u^A \cdot \cos \varphi_u^A - \cos^2 \varphi_u^A) - \right. \\ & \left. - \cos \gamma_x \cdot \cos \gamma_Y^A \cdot (\sin \varphi_u^A \cdot \cos \varphi_u^A + \cos^2 \varphi_u^A) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

где γ_n^A – передний угол, заданный формой пластины.

Схема расположения пластин в гнездах резцов БИ-741 и РП-42 представлена на Рис. 6, 7, 8 и 9.

Для проведения расчета статических геометрических параметров лезвия инструмента были заданы рекомендуемые параметры буровых резцов БИ-741 и РП-42, представленные в работе [1]. Значения данных параметров приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры буровых инструментов БИ-741 и РП-42

Table 1 – Geometric parameters of BI-741 and RP-42 drilling tools

Буровой инструмент	Геометрические параметры						
	γ_x°	δ°	α_n°	λ_n°	R_u , мм	φ_u°	R_A , мм
БИ-741	-15	60	15	0	21,5	45...110	3,5...21,0
РП-42	-15	60	15	0	21,5	0...150	5...21,0

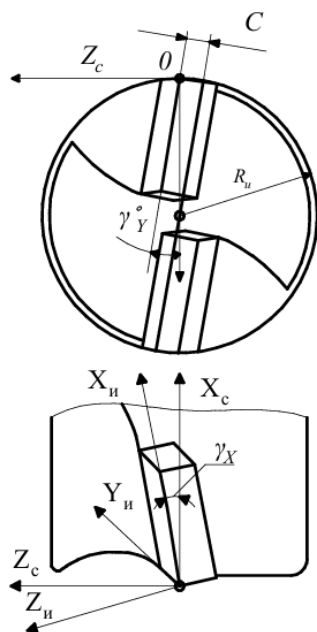


Рисунок 6 – Углы γ_x и γ_y ориентации пластины в корпусе резца
Figure 6 – Orientation angles γ_x and γ_y of the plate in the cutter body

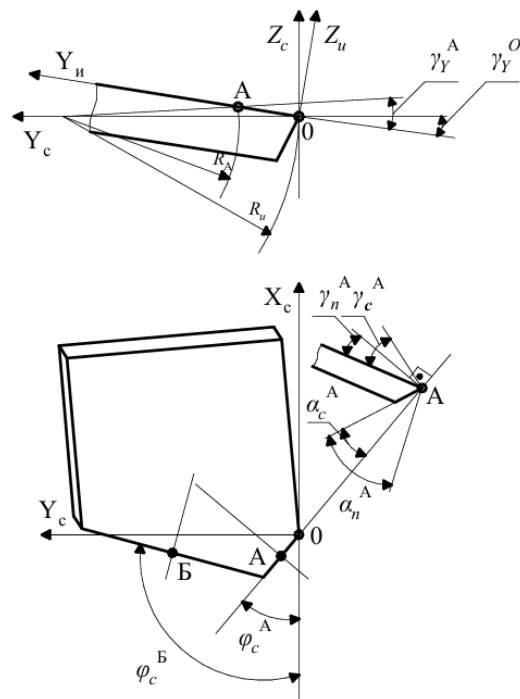


Рисунок 7 – Геометрические параметры пластины при ориентации в корпусе резца БИ-741
Figure 7 – Geometric parameters of the plate when oriented in BI-741 cutter body

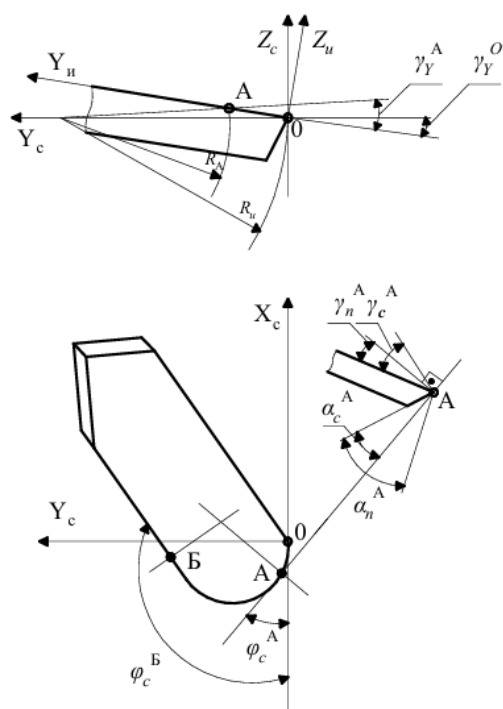
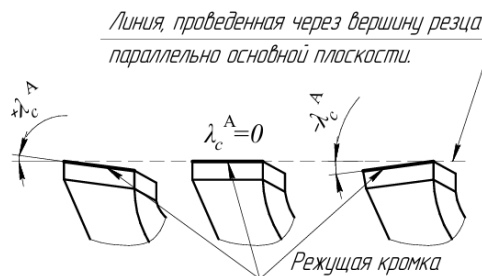


Рисунок 8 – Геометрические параметры пластины при ориентации в корпусе резца РП-42
Figure 8 – Geometric parameters of the plate when oriented in RP-42 cutter body



Статический угол наклона режущей кромки БИ-741

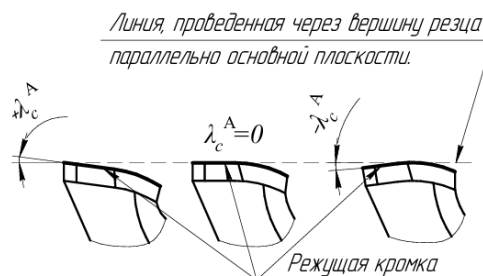


Рисунок 9 – Угол наклона режущей кромки λ_c^A пластин при ориентации в корпусе резцов БИ-741 и РП-42
Figure 9 – Geometric parameters of the plate when oriented in RP-42 and BI-742 cutter bodies



В Таблице 1: γ_x° – передний угол ориентации пластины в корпусе резца, градус.; δ° – угол заострения резца, градус.; λ_n° – угол наклона режущей кромки, градус.; R_{II} – радиус инструмента, мм; φ_u° – главный инструментальный угол в плане резца, заданный формой пластины, градус.; R_A – радиус инструмента в точке А с разбивкой 0,5 мм по контуру режущей кромки резца, представленный на Рис. 7 и 8, мм; α_n° – задний угол резца, заданный формой пластины, градус.; γ_n° – передний угол резца, заданный формой пластины, градус.

Задний угол резца α_n° рассчитывается по известной формуле (7) [17]:

$$\alpha_n^\circ = 90 - \gamma_n^\circ - \delta^\circ, \quad (7)$$

В работе [1] представлены рекомендуемые значения угла $\gamma_x^\circ = (-15^\circ \dots -25^\circ)$, однако нет информации об исследовании диапазона значений этого угла. Поскольку в работе [1] утверждается, что при угле γ_x° , имеющем значения до -25° , резцы эксплуатируются без поломки режущей кромки, то целесообразно исследовать диапазон значений от -15° до -25° . Для исследования были выбраны значения угла γ_x° , представленные в Таблице 2, под номерами от 1 до 6.

Таблица 2 – Диапазоны угла γ_x°

Table 2 – Angle γ_x° ranges

№	1	2	3	4	5	6
γ_x°	-15	-17	-19	-21	-23	-25

Результаты расчета статического угла в плане представлены на рисунках (Рис. 10) для резца БИ-741 и (Рис. 11) для резца РП-42.

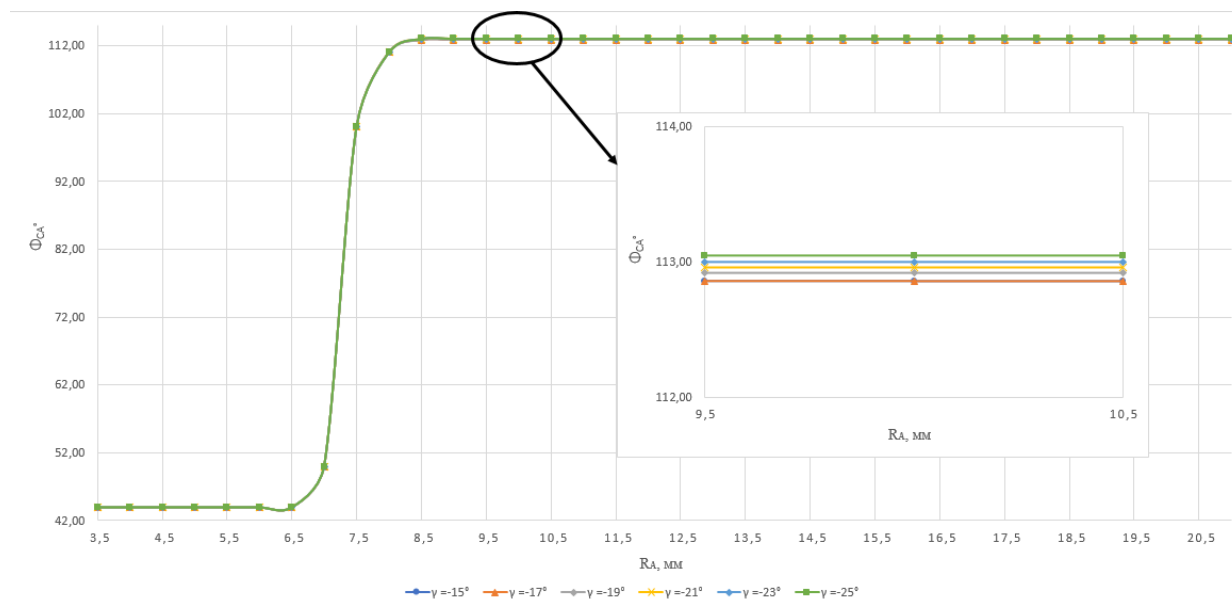


Рисунок 10 – График изменения статического угла φ_c^A по длине режущей кромки для резца БИ-741

Figure 10 – Graph of changes in the static angle φ_c^A along the length of the cutting edge for BI-741 cutter

Рассматривая графики (Рис. 10, 11), представленные в общем виде, можно сделать вывод, что существует незначительное отклонение между инструментальным и статическим углами в плане φ_u и φ_c^A . Это связано с тем, что угол φ_u изменяется в широком диапазоне значений от 45° до 110° для резца БИ-741 и от 0° до 150° для резца РП-42 (Таблица 1), при этом угол φ_c^A отличается от φ_u в пределах менее 1° в диапазоне угла $\gamma_x^\circ = -15^\circ \dots -25^\circ$.

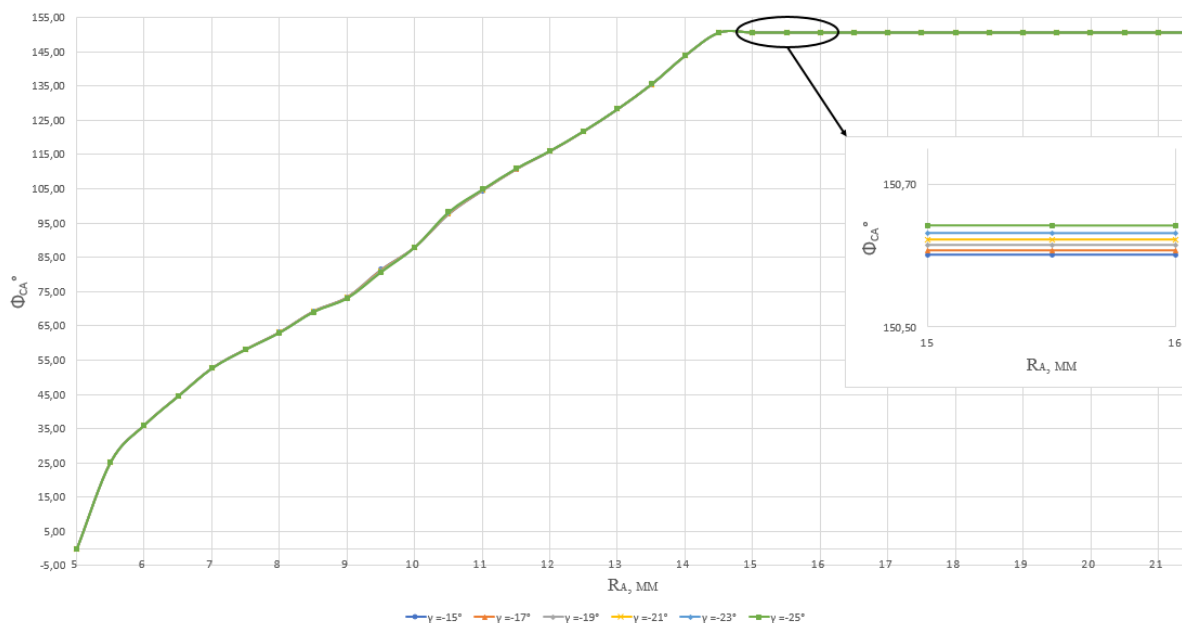


Рисунок 11 – График изменения статического угла $\varphi_{сА}$ по длине режущей кромки для резца РП-42

Figure 11 – Graph of changes in the static angle $\varphi_{сА}$ along the length of the cutting edge for RP-42 cutter

Очевидно, что при переходе из инструментальной системы координат в статическую углы φ_u и $\varphi_{сА}$ практически не отличаются по значениям. Однако в некоторых случаях даже небольшое отклонение рассматриваемых значений может оказывать влияние на процесс бурения [14]. Так, например, уменьшение угла φ_u само по себе увеличивает прочность режущей кромки, а при установке инструмента в штангу возникает угол $\varphi_{сА}$ по значению меньше угла φ_u , что дополнительно увеличивает прочность режущей кромки. Этот факт позволяет решить задачу повышения прочности в небольших диапазонах в условиях доработки инструмента после изготовления.

Значения статического угла наклона режущей кромки $\lambda_{сА}$ представлены на рисунках для резца БИ-741 (Рис. 12) и для резца РП-42 (Рис. 13).

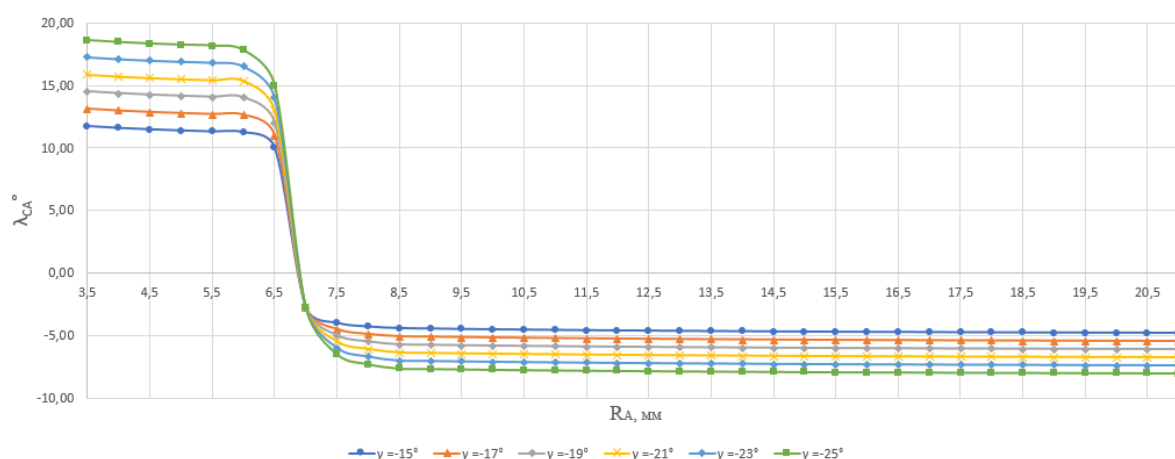


Рисунок 12 – График изменения статического угла наклона режущей кромки $\lambda_{сА}$ по длине режущей кромки для резца БИ-741

Figure 12 – Graph of changes in the static angle of inclination of the cutting edge $\lambda_{сА}$ along the length of the cutting edge for the BI-741 cutter

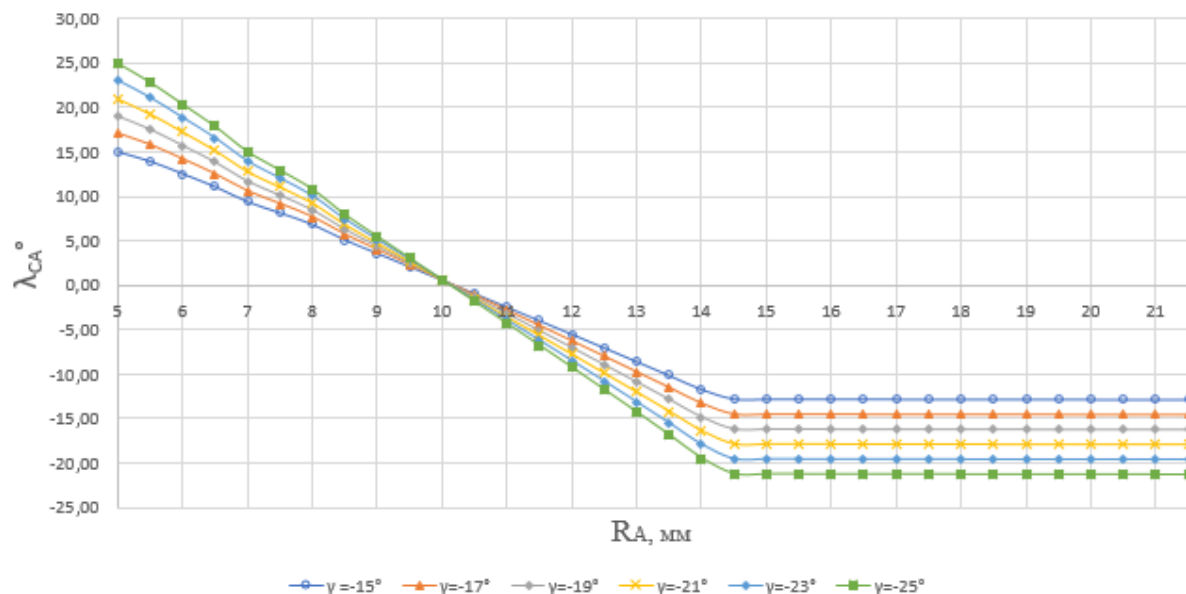


Рисунок 13 – График изменения статического угла наклона режущей кромки λ_c^A по длине режущей кромки для резца РП-42

Figure 13 – Graph of changes in the static angle of inclination of the cutting edge λ_c^A along the length of the cutting edge for the RP-42 cutter

Изменение угла λ_c^A вдоль режущей кромки бурового резца БИ-741 в целом происходит равномерно, однако при значении радиуса инструмента в точке 6,5 мм происходит резкое изменение значений угла наклона режущей кромки инструмента с положительных на отрицательные.

Аналогично изменяется угол λ_c^A вдоль режущей кромки бурового резца РП-42, однако в данном случае изменение угла происходит более стремительно, а при значении радиуса в точке 14,5 мм значения угла наклона режущей кромки стабильно отрицательные.

Для рассматриваемых инструментов изменение угла λ_c^A обусловлено зависимостью угла наклона режущей кромки от значений главного инструментального угла в плане φ_u в рассматриваемой точке.

Положительное или отрицательное значение угла наклона режущей кромки λ_c^A однозначно определяет направление вылета стружки, а также нагрузку, возникающую в точке резания. Изменение угла наклона режущей кромки особенно влияет на прочность режущей кромки инструмента. При положительном угле наклона прочность режущей кромки возрастает, что влечет за собой обеспечение долговечности и стойкости инструмента. В свою очередь, отрицательный угол наклона режущей кромки снижает прочность инструмента [13].

Очевидно, что наибольшие прочностные характеристики режущей кромки будут обеспечиваться в диапазоне радиуса инструмента до 7 мм для резца БИ-741 и до 10 мм для резца РП-42. Оставшиеся диапазоны значений статического угла наклона режущей кромки не гарантируют обеспечение должных прочностных характеристик режущей кромки бурового инструмента.

По графикам (Рис. 12, 13) также можно отметить, что значения статического угла наклона режущей кромки отличаются от значений аналогичного угла, заданного в инструментальной системе координат.

Значения статического заднего угла α_c^A представлены на Рис. 14 для резца БИ-741 и Рис. 15 для резца РП-42.

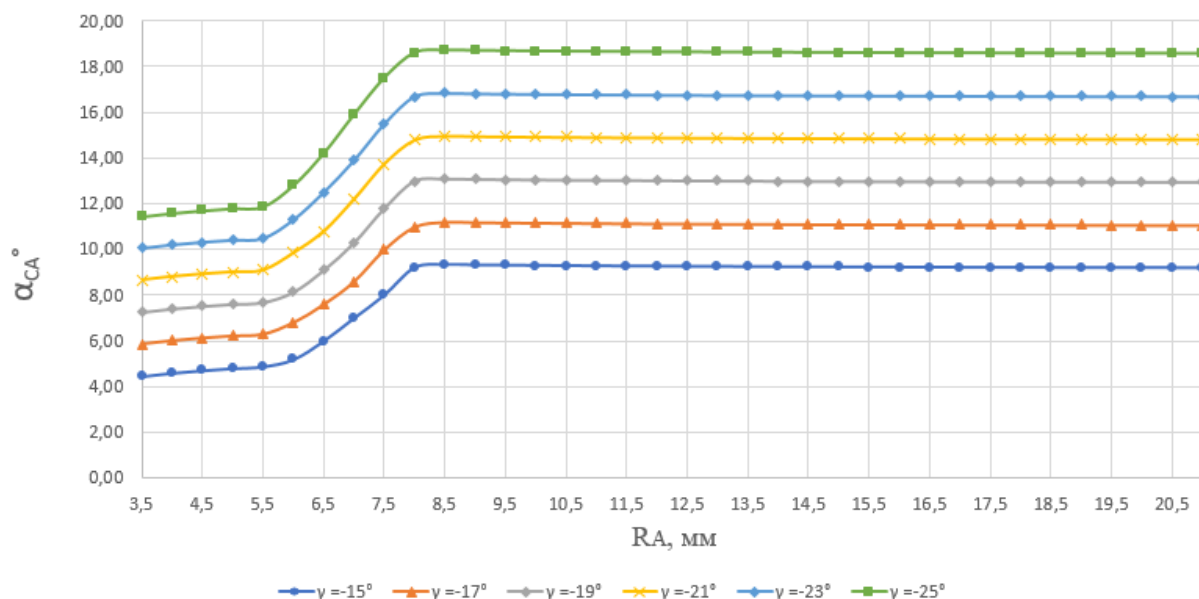


Рисунок 14 – График изменения статического заднего угла α_c^A по длине режущей кромки для резца БИ-741

Figure 14 – Graph of changes in the static relief angle α_c^A along the length of the cutting edge for the BI-741 cutter

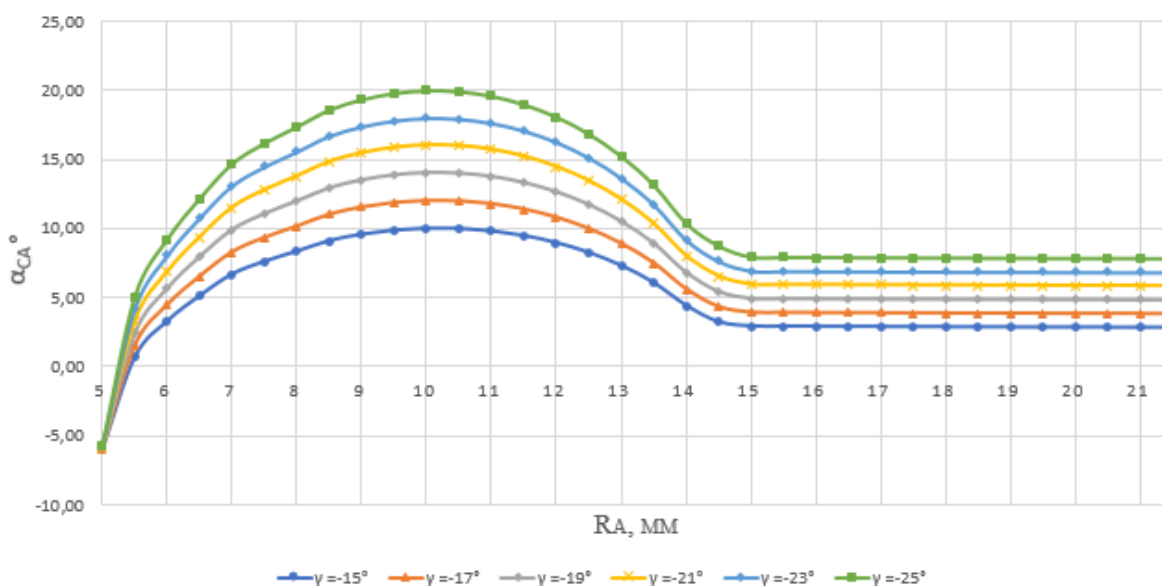


Рисунок 15 – График изменения статического заднего угла α_c^A по длине режущей кромки для резца РП-42

Figure 15 – Graph of changes in the static relief angle α_c^A along the length of the cutting edge for the RP-42 cutter

Увеличение статического заднего угла (Рис. 14, 15) приводит к снижению контактного трения между инструментом и массивом горной породы. За счет увеличения рассматриваемого угла можно достичь снижения силы резания и повышения производительности процесса бурения. Однако стоит учитывать, что при высоких значениях заднего угла снижается прочность режущей кромки инструмента [13]. На графиках (Рис. 14, 15) очевидно, что изменение статического заднего угла в большей степени зависит от формы режущей кромки бурового инструмента, заданной диапазоном значений главного инструментального угла в плане $\phi_{и}$.



При этом необходимо отметить, что в диапазоне $R_A=5...5,5$ мм резца РП-42 угол α_c^A имеет отрицательные значения. Как известно, при нулевом и отрицательном значениях заднего угла процесс резания не может быть осуществлен, это необходимо учитывать на этапе проектирования инструмента.

При изучении графиков (Рис. 14, 15) становится очевидно, что при изменении угла γ_x° в диапазоне « $-15^\circ...-25^\circ$ » статический задний угол значительно отличается от заданного формой пластины заднего угла.

Проведем анализ значений статического переднего угла γ_c^A , представленных для резца БИ-741 (Рис. 16) и для резца РП-42 (Рис. 17).

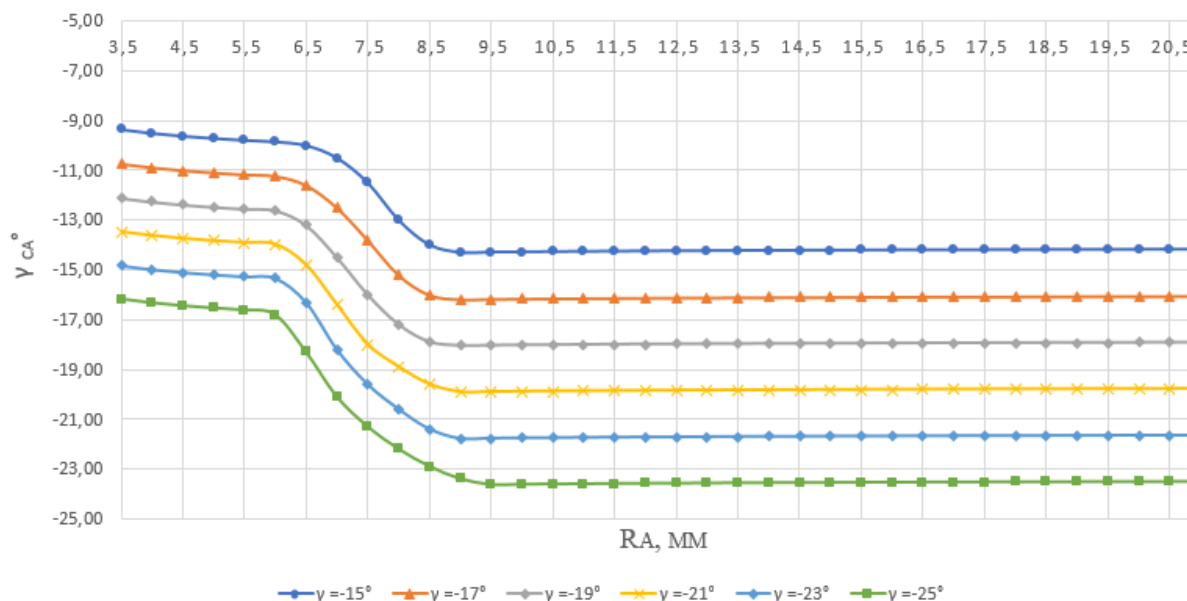


Рисунок 16 – График изменения статического переднего угла γ_c^A по длине режущей кромки для резца БИ-741

Figure 16 – Graph of changes in the static rake angle γ_c^A along the length of the cutting edge for the BI-741 cutter

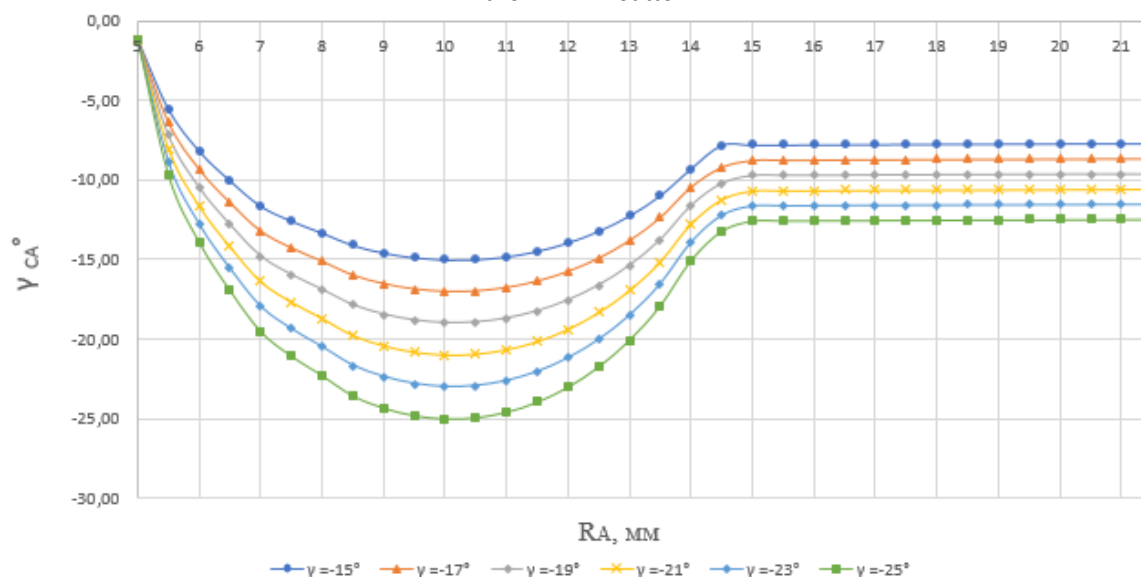


Рисунок 17 – График изменения статического переднего угла γ_c^A по длине режущей кромки для резца РП-42

Figure 17 – Graph of changes in the static rake angle γ_c^A along the length of the cutting edge for the RP-42 cutter



На графиках (Рис. 16, 17) статический передний угол γ_c^A имеет исключительно отрицательные значения, что говорит о высокой прочности рассматриваемых буровых инструментов.

С уменьшением значений статического переднего угла повышается прочность режущей кромки бурового инструмента [13]. При этом в процессе бурения инструмент выталкивается из зоны бурения и возникает большая вибрация, что влечет за собой высокий износ инструмента и оборудования. Это явление объясняется тем, что при уменьшении значений переднего статического угла увеличивается сила резания. Если статический передний угол будет иметь положительное значение, то процесс бурения будет протекать с наименьшей вибрацией, сила резания при этом будет минимально возможной для рассматриваемых условий, однако прочность инструмента при этом будет ниже.

После анализа графиков (Рис. 16, 17) становится очевидно, что при изменении угла γ_c° в диапазоне $-15^\circ \dots -25^\circ$ статический передний угол значительно отличается от заданного формой пластины переднего угла.

Выводы и рекомендации

Инструментально заданные формой пластины геометрические параметры в разной степени могут отличаться от статических геометрических параметров резца, которые задаются за счет ориентации пластины в корпусе резца.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что при переходе из инструментальной системы координат в статическую углы ϕ_u и ϕ_c^A практически не отличаются по значениям. Однако в некоторых случаях даже небольшое отклонение рассматриваемых значений может оказывать влияние на процесс бурения. Так, например, уменьшение угла ϕ_u само по себе увеличивает прочность режущей кромки, а при установке инструмента в штангу возникает угол ϕ_c^A по значению меньше угла ϕ_u , что дополнительно увеличивает прочность режущей кромки. Этот факт позволяет решить задачу повышения прочности в небольших диапазонах, в условиях доработки инструмента после изготовления.

В свою очередь, изменение угла λ_c^A вдоль режущей кромки бурового резца БИ-741 в целом происходит незначительно, однако при значении радиуса инструмента в точке 6,5 мм происходит резкое изменение значений угла наклона режущей кромки инструмента с положительных на отрицательные.

Аналогично изменяется угол λ_c^A вдоль режущей кромки бурового резца РП-42, однако в данном случае изменение угла происходит постепенно, а при значении радиуса в точке 14,5 мм значения угла наклона режущей кромки стабильно отрицательные.

Статический задний угол для рассматриваемых резцов имеет положительное значение, следовательно, трение задней поверхности о стенки забоя минимальное. При этом необходимо отметить, что в диапазоне $R_A=5 \dots 5,5$ мм угол α_c^A имеет отрицательные значения. Как известно, при нулевом и отрицательном значениях заднего угла процесс резания не может быть осуществлен, это необходимо учитывать на этапе проектирования инструмента.

Статический передний угол γ_c^A имеет исключительно отрицательные значения, что говорит о высокой прочности рассматриваемых буровых инструментов.

Полученные результаты расчетов статических геометрических параметров свидетельствуют о том, что их использование будет целесообразно спроецировать на различные буровые инструменты вращательного действия. Исследование геометрических параметров буровых инструментов вращательного действия имеет свою уникальную специфику. При этом все полученные результаты в дальнейшем необходимо подтвердить на практике путем 3D моделирования инструмента в CAD среде. После моделирования целесообразно изготовить его и провести замеры статических геометрических параметров с целью их сопоставления с полученными результатами расчетов.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании горных инструментов с целью обеспечения задаваемых статических геометрических параметров, что повлечет за собой повышение стойкости, прочности и в целом работоспособности бурового инструмента.



Одним из направлений дальнейших исследований является проведение силового анализа буровых инструментов вращательного действия БИ-741 и РП-42 по известным методикам, это позволит выявить эффективные диапазоны статических геометрических параметров рассматриваемых буровых инструментов. Также необходимо экспериментальное подтверждение данного исследования при помощи изготовления прототипа инструмента с заданными параметрами из полученных геометрических диапазонов.

Список литературы

1. Крапивин, М.Г. Горные инструменты / М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев // М., 1990. – 254 с.
2. Сысоев, Н.И. Научные основы выбора параметров высокоэффективных режущих инструментов горных машин / Н.И. Сысоев, Н.Н. Буренков, И.Я. Раков, С.Г. Мирный // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – №10. – С. 13-20.
3. Соловьев, Н.В. Механизм разрушения горной породы и определение составляющих сил ее резания буровым инструментом, оснащенным алмазно-твердосплавными пластинами / Н.В. Соловьев, А.М. Исонкин, Р.К. Богданов, С.И. Шестаков // Инженер-нефтяник. – 2010. – №1. – С. 32-36.
4. Рябчиков, С.Я. Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента. – М.: ВИНТИ, 1998. – 70 с.
5. Балаба, В.И. Буровой породоразрушающий инструмент: учебное пособие / В.И. Балаба, И.К. Бикбулатов, Г.И. Вышегородцева, Э.С. Гинзбург, А.С. Оганов // Изд-во РГУ им. Губкина И.М. – 2013. – 246 с.
6. Перспективы применения дискового инструмента для коронок проходческих комбайнов / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, В. В. Кузнецов, А. Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 1(77). – С. 52-54. – EDN LALVCJ.
7. Алимов, О.Д. Бурильные машины / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников // М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
8. Кирсанов, А.Н. Буровые машины и механизмы / А.Н. Кирсанов, В.П. Зиненко, В.Г. Кардыш. – М.: Недра, 1981. – 448 с.
9. Сафохин, М.С. Горные машины и оборудование : учеб. для вузов / М.С. Сафохин, Б.А. Александров, В.И. Нестеров // М.: Недра, 1995. – 463 с.
10. Справочник инженера по бурению. Т.1 / Под ред. В. И. Мищевича, Н. А. Сидорова. – М.: Недра, 1973. – 519 с.
11. Справочник инженера по бурению. Т.2 / Под ред. В. И. Мищевича, Н. А. Сидорова. – М.: Недра, 1973. – 375 с.
12. Советов, Г.А. Основы бурения и горного дела / Г.А. Советов, Н.И. Жабин // М.: Недра, 1991. – 368 с.
13. Петрушин, С.И. Форма криволинейного лезвия инструмента и направление схода породы при косоугольном резании / С.И. Петрушин, А.В. Проскоков // СТИН. – 2003. – №12. – С. 26-29.
14. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-89070-853-3. – EDN TYUONT.
15. Баканов, А.А. Методика анализа геометрических параметров горных режущих инструментов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №S2. – С. 118-124.
16. Петрушин, С.И. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами / С.И. Петрушин, А.А. Баканов, А.В. Махов // Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 101 с.
17. Корнеев, П.А. Поиск рациональных конструкций резцов для вращательного бурения шпуров в отечественной истории горного дела / П.А. Корнеев, В.А. Корнеев, Е.В. Пугачев // Известия УГТУ. – 2020. – №4 (60). – С. 250-258.
18. Баканов, А.А. Совершенствование конструкции сборного сверла со сменными многогранными пластинами / А.А. Баканов, Г.И. Коровин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 2(35). – С. 31-32.
19. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский // М.: Высш. шк. – 1985. – 304 с.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



© 2025 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Кузнецов Максим Алексеевич, аспирант

e-mail: bb1998boss@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Баканов Александр Александрович, к.т.н., доцент, проректор по учебно-методической работе.

e-mail: alekbakanov@yandex.ru

ГБУ ДПО Кузбасский региональный институт развития профессионального образования им. А.М.Тулеева
650070, Россия, г. Кемерово, улица Тухачевского, 38а

UDC 622.23.05

STUDY OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF DRILLING RIG ROTARY TOOLS

Maxim A. Kuznetsov ¹, Alexander A. Bakanov ²

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² A.M. Tuleev Kuzbass Regional Institute of Professional Education Development



Article info

Received:

16 October 2024

Revised:

25 February 2025

Accepted:

10 March 2025

Keywords: mining drilling tools, design of mining tools, method for calculating geometric parameters, unbalanced radial component of the cutting force, geometric parameters

Abstract.

In this paper the study of static geometrical parameters of rotary drilling tools is carried out. Designs of drilling tools BI-741 and RP-42 are taken as the subject of the study. The results of the study, performed using the existing methodology for calculating static geometric parameters of drilling tools, are the dependences of the angles given in the static coordinate system on the values of the radius of the drilling tool. The study was carried out taking into account the recommended ranges of geometric parameters specified in the literature, given in the tool coordinate system. In the static coordinate system after fixing the tool in the drill rod, there is a deviation of the tool from its own axis of rotation, which in the process of drilling directly affects the durability and operation of the tool. The results of the study showed that the geometrical parameters specified in the tool system and obtained in the static coordinate system can differ to a different degree. With the help of the obtained graphs, it is possible to determine the ranges of geometric parameters in which the strength of drilling tools will have the greatest value. Thanks to the conducted research, there is a possibility to reduce the difference of parameters set in the tool and static system during tool manufacturing, which will reduce the wear of drilling tools.

For citation. Kuznetsov M.A., Bakanov A.A. Study of geometrical parameters of drilling rig rotary tools. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2025;1(28):52-69. DOI: 10.26730/2618-7434-2025-1-52-69, EDN: LRRYMK

References

1. Krapivin M.G., Rakov I.Y., Sysoev N.I. Mining tools. Moscow Publishing House, 1990. – 254 p. [In Russ.].



2. Sysoev N.I., Burenkov N.I., Rakov I.Y., Mirny S.G. Scientific bases of the parameters selection for the highly effective cutting tools of the mining machines. *Mining equipment and electromechanics*. 2007;10:13-20. [In Russ.].
3. Solov'ev N.V., Isonkin A.M., Bogdanov R.K., Shestakov S.I. Mechanism of the rock destruction and determination of the components of its cutting forces by a drilling tool equipped with diamond-hard-alloyed plates. *Petroleum Engineer*. 2010;1:32-36. [In Russ.].
4. Ryabchikov S.Ya. Increase of wear resistance of rock-cutting tools. *Moscow, VINITI Publishing House*, 1998. – 70 p.
5. Balaba V.I., Bikbulatov I.K., Vyshegorodtseva G.I., Ginzburg E.S., Oganov A.S. Drilling rock-destroying tools : textbook. *Russian State University named after Gubkin I.M. Publishing House*, 2013, 246 p. [In Russ.].
6. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Kuznetsov V.V., Borisov A.Yu. Perspectives of applying of the disk cutter for bits of heading machines. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2010;1(77):52-54. [In Russ.].
7. Alimov O.D., Dvornikov L.T. Drilling machines. *Moscow, Mashinostroenie Publishing House*, 1976. – 295 p. [In Russ.].
8. Kirsanov A.N., Zinenko V.P., Kardysh V.G. Drilling machines and mechanisms. *Moscow, Nedra Publishing House*, 1981. – 448 p. [In Russ.].
9. Safokhin M.S., Alexandrov B.A., Nesterov V.I. Mining machines and equipment : textbook. *Moscow, Nedra Publishing House*, 1995. – 463 p. [In Russ.].
10. Drilling Engineer's Handbook. Vol. 1 / Edited by Mishchevich V.I., Sidorov N.A. *Moscow, Nedra Publishing House*, 1973. – 519 p. [In Russ.].
11. Drilling Engineer's Handbook. Vol. 2 / Edited by Mishchevich V.I., Sidorov N.A. *Moscow, Nedra Publishing House*, 1973, 375 p. [In Russ.].
12. Sovetov G.A., Zhabin N.I. Fundamentals of drilling and mining. *Moscow, Nedra Publishing House*, 1991, 368 p. [In Russ.].
13. Petrushin S.I., Proskokov A.V. Shape of a curved tool blade and the direction of rock convergence at oblique cutting. *STIN*. 2003;12:26-29. [In Russ.].
14. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Tsekhin A.M., Borisov A.Y. Mining machines and equipment of the underground mining works. Cutting tool of mining machines: textbook. *KuzSTU Publishing House*, 2012. – 288 p. [In Russ.].
15. Bakanov A.A. Methodology for analyzing geometric parameters of mining cutting tools. *Mining information and analytical bulletin*. 2011;S2:118-124. [In Russ.].
16. Petrushin S.I., Bakanov A.A., Makhov A.V. Geometrical analysis of the designs of the prefabricated cutting tools with interchangeable polyhedral inserts. *Tomsk: TPU Publishing House*, 2008. – 101 p. [In Russ.].
17. Korneev P.A., Korneev V.A., Pugachev E.V. Search for rational designs of cutters for rotary borehole drilling in the domestic history of mining. *Izvestiya UGUGU*. 2020;4(60):250-258. [In Russ.].
18. Bakanov A.A., Korovin G.I. Perfection of the prefabricated drill design with interchangeable polyhedral plates. *Metal processing (technology, equipment, tools)*. 2007;2(35):31-32. [In Russ.].
19. Granovsky G.I., Granovsky V.G. Cutting of metals. *High School Publishing House*. 1985, 304 p. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2025 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Maxim A. Kuznetsov – Postgraduate Student

bb1998boss@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennyaya street, Kemerovo, Russian Federation, 650000

Alexander A. Bakanov – C. Sc. in Engineering, associate professor, Vice-Rector for Educational and Methodological Work

e-mail: alekbakanov@yandex.ru

State Budgetary Institution of Additional Professional Education “A.M. Tuleev Kuzbass Regional Institute of Professional Education Development”, 38a Tukhachevsky street, Russia, Kemerovo, 650070

