

6  
А-39

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР  
УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ

На правах рукописи


Инженер В. И. Ивин

ИССЛЕДОВАНИЕ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ НАУЧНЫХ  
ОСНОВ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ

05. 172 — Горные машины

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Фрунзе 1970



АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР  
УЧЕННЫЙ СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ

На правах рукописи

Инженер В.И. Ивни

ИССЛЕДОВАНИЕ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАСЧЕТА И  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО  
БУРЕНИЯ ШУРОВ.

05.172 - Горные машины

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени  
кандидата технических наук

ФРУНЗЕ 1970

Работа выполнена во Фрунзенском политехническом институте  
и в Отделе комплексной механизации и автоматизации буровой  
техники Института автоматики АН Киргизской ССР.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
И.Т. дворников.

Научный консультант: член-корр. АН Киргизской ССР, доктор  
технических наук, профессор О.Д. Алимов.

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки и техники  
Узбекской ССР, доктор технических наук, профессор И.Д. Чумаков,  
кандидат технических наук В.В. Микитянский.

Ведущее (рецензирующее) предприятие: Кузнецкий машиностроительный завод.

Просим Вас и сотрудников Вашей организации, интересующихся  
темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета,  
посвященного защите этой диссертации, или прислать свои отзывы  
по адресу: г. Фрунзе, б. Дзержинского, 30.

Защита состоится " " 1971 г.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке  
Академии Наук Киргизской ССР, г. Фрунзе, б. Дзержинского, 30.

Ученый секретарь Совета  
кандидат геолого-минералогических наук

В.В. Малигии

Центральная научная  
БИБЛИОТЕКА  
Академии наук Киргизской ССР

## В В Е Д Е Н И Е

Развитие народного хозяйства СССР предусматривает значительное увеличение добычи угля, железной руды, руд цветных металлов и др. полезных ископаемых. Возрастающие масштабы производства требуют совершенствования техники и технологии ведения буровых работ, занимающих в рабочем цикле более половины затрат времени и средств.

Значительное место при ведении буровых работ по породам средней крепости и мягким занимает, в силу присущих ему достоинств, вращательный способ бурения. Эффективность применения вращательного способа зависит от количества энергии передаваемой на забой и эффективности процесса разрушения породы, что, в свою очередь, обуславливается в основном скоростными и прочностными возможностями инструмента. Эти факторы и предопределили выбор направления исследования.

Во время проведения данной работы автор неизменно встречал добровольное отношение и получал большую помощь от работников Отдела научных основ комплексной механизации и автоматизации буровой техники Института автоматики АН Киргизской ССР и Кузнецкого машиностроительного завода и, пользуясь случаем, приносит им глубокую благодарность.

### Г л а в а I. Механизм разрушения горных пород при вращательном бурении и постановка задач исследований

Изучение механизма разрушения горных пород при вдавливании, строгании, вращательном бурении, а также исследования влияния на него геометрических параметров инструмента проводились многими исследователями: О.Д.Алимовым, Р.В.Акоповым, Е.И.Асмыченко, Л.И.Бароном, А.И.Бароном, Г.П.Верескуновым, В.С.Владиславлевым,

А.А.Волковым, В.И.Гетопановым, Л.Б.Глатманом, Л.Т.Дворниковым, А.Д.Ичасом, Ю.Н.Казакон, А.С.Казанским, М.Г.Крапивинным, Ф.И.Кучерявым, Э.О.Миндели, В.Г.Михайловым, Л.В.Назаровым, Г.Н.Покровским, М.М.Протодяконовым, Э.В.Рылевым, М.Симилейским, С.В.Скоробогат вым, В.С.Федоровым, В.В.Царицыным, М.К.Цехинным, И.Д.Чумаковым, Л.А.Шрейнером и др. В результате можно считать установленным, что при вращательном бурении шпуров режущие кромки резца совершают сложное винтовое движение, при этом, по мере приближения к оси вращения резца условия работы точек лезвия изменяются, если на периферии разрушение забоя происходит резанием (напряжения сдвига), то у оси шпура путем вдавливания (напряжения сжатия), и тот и другой процессы могут проявляться либо в чистом виде, либо в совокупности. Изучение механизма разрушения и режимных параметров вращательного бурения приводит к заключению, что значительная и к тому же случайная переменность нагрузок не позволяет отнестись к аналитическим путям прочностного расчета инструмента. Положение это еще усугубляется неравномерностью нагрузок по лезвиям резца и по длине лезвия, что приводит к колебаниям мгновенных скоростей резания. Причем сам процесс возникновения нагрузки и разрушения породы в большой степени зависит от геометрии инструмента и его износа. Изученность режимных параметров и экспериментальная доказанность основных зависимостей позволяет принять их за исходные при исследовании инструмента.

Таким образом, единственный возможный путь выбора рациональных конструкций инструмента, отыскания методов его расчета и проектирования — экспериментальный, за исходные параметры и критерии оценки инструмента могут быть приняты параметры, описывающие процесс бурения.

За годы с 1935 по 1969 исследованием режущего инструмента,

применяемого при вращательном бурении было посвящено большое количество работ. Изучение методик и результатов проведенных исследований позволяет заключить, что внимание исследователей было обращено на следующие элементы резцов: задний и передний углы заточки, угол резания, ширину и форму рассечки, форму режущих кромок, форму передней поверхности лезвия, углы при вершине пера и резца, число перьев и влияние этих параметров на эффективность процесса вращательного бурения. Обобщенные данные исследований приведены в табл. I.

Таблица I

Автор и пределы исследования	Порода и вид разрушения	Граница влияния	Рекомендации
1	2	3	4
	<b>З а д н и й   у г о л</b>		
Михайлов В.Г. и др. 10° - 60°	Креп. известняк, бурение.	Не влияет	Выше 10°
Казак Ю.П., 5° - 20°	Уголь $f = 1,5-1,7$ , строгание.	$\alpha > 10^\circ$ не влияет	10° - 12°
Гетопанов В.И., 1° - 15°	Сланец $f = 5$ , строгание.	$\frac{D}{рез}$ и $\frac{D}{прд}$ до $\alpha = 8-10^\circ$ сниж.	10°
Логунцов Б.М.	Породы $f = 1 + 6$ , строгание.	$\alpha \geq 5$ не влияет	-
Акопов Р.В., 3° - 30°	Тугофрезерование, $\sigma_{кр} = 2,2-4,4 \frac{кг}{мм^2}$	Не влияет	-
Берон А.И., 5° - 20°	Строгание.	$\alpha > 12$ не влияет	10° - 12°
Ефимов В.В., Буронов В.А., 4° - 25°	Бурение.	С увел. $\alpha - V_{бур}$ растет.	25°-30° углы, 18°-23° породы
Скоробогатов С.В., 0° - 34°	Песчаники, строгание.	Износостойк. увел. с увел. $\alpha$	-
Казанский А.С., Романенко Е.С., 5° - 20°	Строгание.	С увел. $\alpha, \rho$ рез сниж. на 30%	-
Зварыгин В.И., 30° - 60°	Строгание.	Не влияет	-
Френкель К.Г. и др., 0° - 10°	Угли, известн., песчан., бурение.	В диапазоне $0^\circ - 10^\circ; V = k \sqrt{\alpha}$	20°-22° углы, 18° известн., 10° песчаник

Продолжение таблицы I

I	2	3	4
Передний угол			
Михайлов В.Г. и др. 0° - -50°	Бурение.	Минимум в зоне $\gamma = -20^\circ$	- 20°
Казак Ю.П. +30° - -30°	Уголь f = I, 5-2, 3, строгание.	+30± 0 прирост на град. 2% от 0° -30° -8, 5%	-
Гетопанов В.И., +60° - -30°	Пес.-глин. сланец, строгание.	+60± 0% резувел. на 50%, а от 0 ± -30° на 250%	-
Догунцов Б.М., +40° - -30°	Строгание.	$\rho = \rho \frac{\sin(90^\circ - \beta)}{\sin(\delta + \beta)}$	Мин. $\rho$ рез при $\gamma = 40^\circ$
Баран А.И., +80° - -30°	Угли раз. креп.	$\rho$ разрастет все время до $\gamma = -30^\circ$	-
Граф К.Е., др., +30° - -30°	Строгание.	$\rho$ разраст. с ув. отрицат. $\gamma$	Примен. отриц. углов ув. ст.
Зварыгин В.И., +60° - -60°	Строгание.	+60± 0° изм. неан. 0± -60° резко растут $\rho$ рез $\rho$ под	-
Акопов Р.В., +17° - -25°	Туф 440 кг/см <sup>2</sup> , фрезерование.	Уд. усилие ли- нейно растет	-
Скоробратов С.В., +40° - 0°	Строгание.	С ув. $\gamma$ интенс. затупл. падает	-
Акопов Р.В., +20° - -15°	Туф 440 кг/см <sup>2</sup> , фрезерование.	То же	-
Радиус расщечки			
Владиславлев В.С.	Бурение.	при $\gamma = 50\% R \sqrt{V}$ бур увел. в 3 раза	-
Михайлов В.Г. и др.	Бурение.	$\rho = 1131 - 41, 5z$ кг $N = 1, 335 - 0, 00094z^2$ $- 0, 01762z$ квт	U - образ. 10 мм
Рылев Э.В.	Песчан. f = 12-14, бурение.	$\rho = 380 - 8, 4d$ кг	U - образ. 10 мм
Крапивин М.Г.	Уг. цем. блок f = 2, 1, бурение.	V бур раст. проп.	U - образ. до 30 мм
Асыченко Е.И.	f = II - 17, бурение.	d расщечки $\rho$ подвяз. с d p	U - образ. до 20 мм
Чумаков И.Д., Назаров Л.В.	Бурение.	От 0 до 30 мм V бур растет	V - образ. 18 - 20 мм
Чайковский Е.И.	-	Теоретическое исследование	U - образ. 10 - 12 мм

I	2	3	4
Форма режущей кройки			
Михайлов В.Г. и др., треуг., скругл.	Бурение.	$\rho$ под для резцов о треуг. рез. кроик. несколько ниже Треуг. кройка на 65% выше V бур	Скруглен. Скруглен. для повн. ст. $\rho$ и к
Алимов О.Д., треуг., скругл.	Гранит f = 17-19, бурение.	$\rho$ раз полукруг. на 20%, трапец. на 60% выше прям.	Скруглен.
Асыченко Е.И., прямоуг., трапец., скруглен.	Габбро f = 8-10, бурение.	Лучшие показат. у прямоуг. и тре- угольных	Треугольн.
Зварыгин В.И., прямоуг., треуг., скруглен.	Строгание.	Мин. $\rho$ рез у прям. стойк. скруг. выше	Скруглен.
Казанский А.С., Ро- маненко Е.С., прям. трапец., скруглен.	Строгание.	Абраз. стойк. у скруг. 180-290%	Скруглен.
Цехин М.К., треуг., скруглен.	Породы f = 6-9, бурение.	С увел. $\rho$ кривиз. растут $\rho$ рез $\rho$ под	Прямоуг.
Шиповский И.А., скруглен.	Строгание.	Форма передней поверхности	
Асыченко Е.И., плоск., выпуклая	Габбро f = 8-10, строгание.	При выпукл $\rho$ рез на 65% выше	-
Зварыгин В.И., плоск., клиновая	Строгание.	Лучш. показ. у плоск. поверхн.	Плоская
Казанский А.С., Ро- маненко Е.С., плоск. выпук., вогн., клин.	Антрациты, строгание.	Наимен. $\rho$ рез. при выпукл. и вогнутой	Выпуклая, клинообраз.
Угол при вершине пера			
Михайлов В.Г. и др.	Бурение.	Не влияет	115° - 140°
Акопов Р.В.	Туф $\rho = 4, 4 \frac{кг}{мм^2}$ , фрезерование.	С увел. $\rho$ рез раст. в степен. завис. от $\sin \epsilon$	-
Зварыгин В.И., 90 - 180	Строгание.	$\rho$ рез при $\epsilon = 90$ меньше	90°
Количество перьев			
Михайлов В.Г. и др. 2-3-4	Песчаник, бурение.	Увел. кол. пер. увел. $\rho$ под и N	-
Алимов О.Д. и др. 2-3	f = 12-16, бурение.	В услов. трещин. пород стойкость трещер. выше в 10-50 раз	Трехперье

Как видно из данных, приведенных в табл. I, твердость горных пород и их физико-механические свойства практически не оказывают влияния на качественную картину процесса бурения при изменении того или иного геометрического параметра. Большинство исследований проводилось при строгании, резании горных пород, когда поддержание постоянного значения исследуемого параметра в процессе эксперимента достигается наиболее просто. Качественное и количественное различие приведенных данных, трудность их сопоставления из-за различия применявшихся методик исследований, а также, в ряде случаев, малый общий количественный материал потребовали проведения специальных экспериментальных исследований с целью отработки конкретных рекомендаций по изысканию путей совершенствования буровых резцов.

На основании проведенного обзора и анализа известных работ определены следующие направления исследований резцов для вращательного бурения шпуров:

1. Проведение обзора и анализа конструкций резцов, созданных в СССР за последние 50 лет.
2. Анализ и определение основных тенденций развития и совершенствования резцов за рубежом.
3. Разработка классификации буровых резцов по основным отличительным признакам.
4. Исследование влияния параметров бурения, расположения и ориентации режущей кромки резца в пространстве на величину действительных углов резания в процессе работы.
5. Отыскание объективных критериев оценки и сравнения различных типов резцов, разработка на их основе методики для исследования влияния как отдельных параметров, так и эффективности конструкции резца в целом.

6. Лабораторные и промышленные исследования влияния геометрических параметров, углов заточки и конструкции резца в целом на эффективность процесса бурения.
7. Разработка рекомендаций по совершенствованию бурового режущего инструмента.

Г л а в а II. Обоснование предпосылок к путям совершенствования бурового инструмента, применяемого при вращательном бурении

В главе II сделан обзор более 100 моделей резцов для вращательного бурения, созданных в СССР и за рубежом, рассмотрены тенденции развития и совершенствования инструмента. Значительное количество моделей, резко отличающихся по конструкции и геометрии, вероятно, явилось следствием большого разнообразия физико-механических свойств буримых пород и попыток создать, с одной стороны, наиболее приспособленный для конкретных условий резец, с другой — универсальный инструмент, пригодный для бурения большинства горных пород.

На основании проведенного обзора разработана классификация резцов по конструктивным параметрам, оказывающим наибольшее влияние на эффективность процесса бурения, при этом, за исходные классификационные признаки приняты: 1. Конструктивные особенности и геометрические параметры головки резца; 2. Конструктивные особенности и геометрические параметры твердосплавных вставок, применяемых для армирования режущей части; 3. Конструктивные особенности и тип соединения резца со штангой. Схема классификации приведена на рис. I, на ней заштрихованы те формы головок, вставок и хвостовиков, которые не нашли широкого применения в практике вращательного бурения в настоящее время.

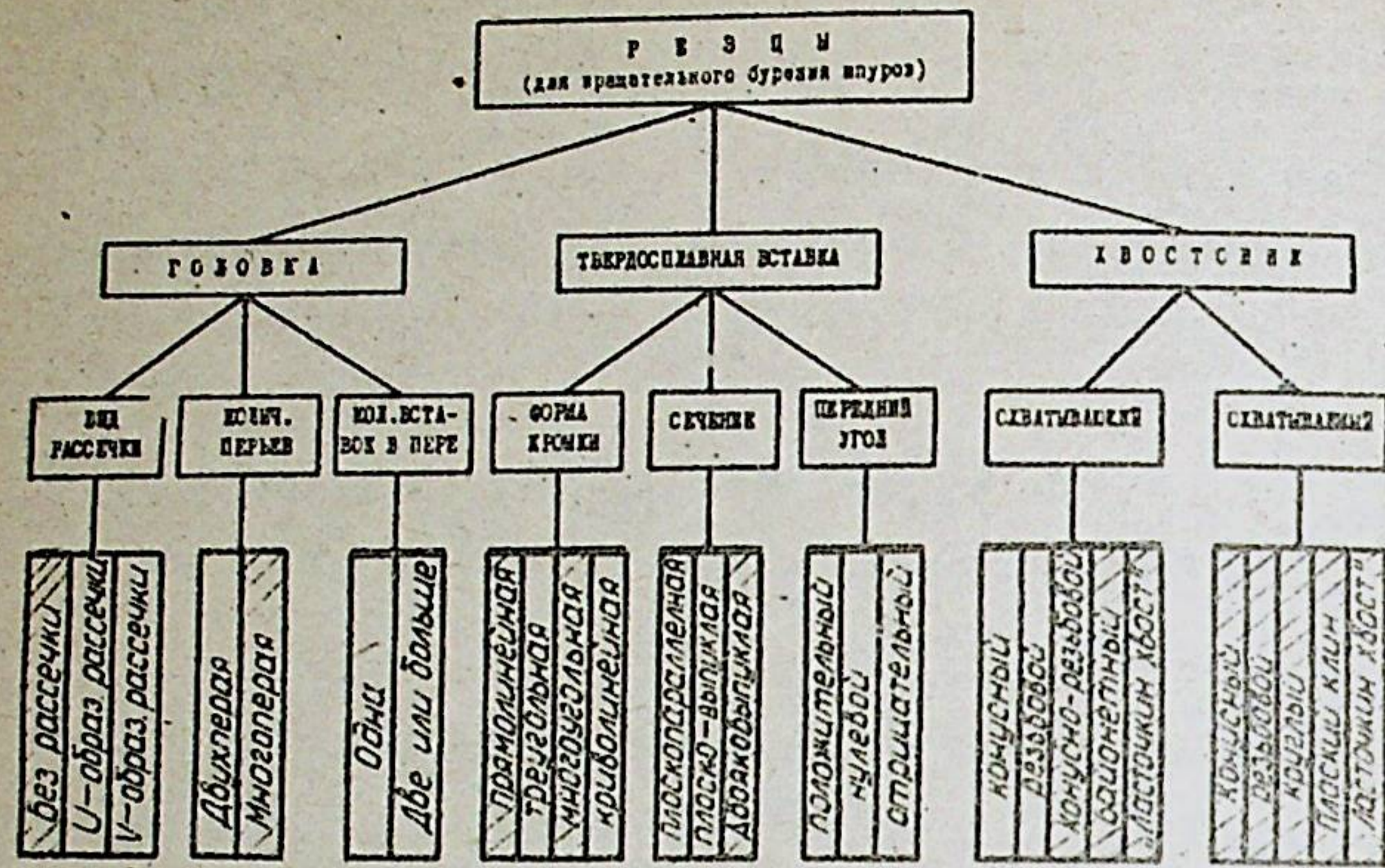


Рис. 1.

Основываясь на проведенном анализе конструкций и разработанной классификации, представляется возможным оценивать эффективность конструкции по любому из трех признаков: типу хвостовика, виду головки, форме и ориентации твердосплавной вставки и углам её заточки определяют вид режущей кромки и её расположение в пространстве забоя.

Теоретическое описание режущей кромки резца в пространстве забоя и геометрическое сравнение резцов, по нашему мнению, являются одним из главных путей исследования режущего инструмента для вращательного бурения.

Одно из перьев резца (рис. 2), в общем случае, может быть пред-

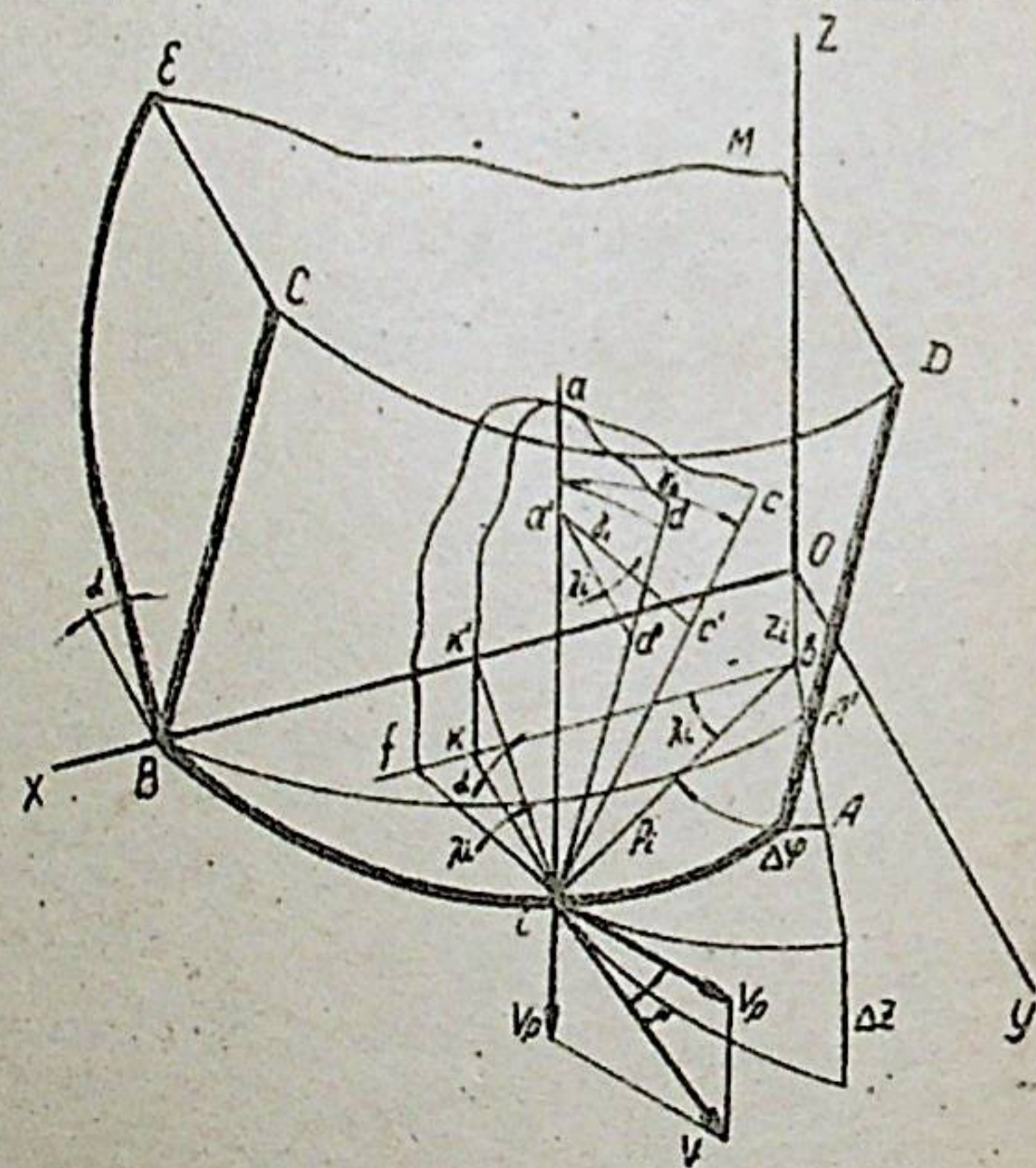


Рис. 2.

ставлено как клин, ограниченный передней, задней, боковой поверхностями и поверхностью рассечки. Передняя поверхность  $F_n(z, \rho, \lambda) = 0$  выполнена криволинейной с образующей  $CB$ , наклоненной к плоскости  $XOZ$  под углом  $\gamma$  (угол  $\gamma$  - передний угол заточки на теле резца), и направляющей - кривой  $AB$ . Форма задней и боковых поверхностей может быть произвольной, обеспечивающей отсутствие контакта этих поверхностей с разрушаемой породой.

Систему координат выбираем таким образом, чтобы ось  $OZ$  совпадала с осью вращения резца, а  $Ox$  была перпендикулярна  $OZ$  и проходила через периферийную точку  $B$  режущей кромки резца  $AB$ . Положение в пространстве любой  $i$  точки режущей кромки однозначно определится координатами  $(z_i, \rho_i, \lambda_i)$  в полярной цилиндрической системе координат.

Ввиду того, что режущие кромки лезвий описывают в процессе бурения винтовые поверхности, действительные углы резания при работе резца отличаются от углов на теле резца, полученных при заточке.

В результате аналитического описания режущей кромки резца, как линии пересечения двух проектирующих поверхностей (на координатные плоскости  $XOY$  и  $YOZ$ ), удалось установить связь между действительными рабочими углами в данной точке лезвия, углами заточки на теле резца, расположением в пространстве точки режущей кромки и параметрами процесса бурения. Для переднего угла резания зависимость имеет вид

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \mu_i \cdot \cos \lambda_i}{\cos \lambda_i + \operatorname{tg} \mu_i \cdot \operatorname{tg} \gamma} \quad (I)$$

Для заднего угла резания -

II

$$\operatorname{tg} \alpha'_p = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \lambda_i - \operatorname{tg} \mu_i}{1 + \operatorname{tg} \mu_i \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \lambda_i} \quad (2)$$

В данных зависимостях:

$\gamma_p$  и  $\alpha_p$  — соответственно передний и задний рабочие углы резания,  
 $\mu_i$  — угол наклона винтовой траектории движения точки лезвия.

Используя полученные зависимости (1) и (2), можно исследовать влияние расположения режущей кромки пера резца в пространстве забоя на величину действительных рабочих углов резания в процессе бурения, или, имея определенный закон изменения действительных рабочих углов резания при бурении, найти форму и положение в пространстве всех точек режущей кромки, обеспечивающих получение данного закона изменения углов.

Наиболее важно определить действительные геометрические параметры тех резцов, которые выпускаются серийно — РП-7, РП-12, БИ 741А, БИ 742П, РБ 42-2, и некоторых экспериментальных — Д-2Су, РЭСу, СКР-2, РКС, БИ 741Р. Геометрическая оценка резцов, по нашему мнению, должна состоять из двух разделов: 1. Геометрического анализа; 2. Кинематического анализа. Геометрический анализ выполнен для сравнения резцов по основным углам заточки. Кинематический анализ резцов проведен с целью определения значения рабочих углов резания  $\gamma_p$  и  $\alpha_p$  с учетом движения лезвия по винтовой траектории.

Для конкретного исследуемого типа резца величина переднего угла заточки на тело резца  $\gamma$  и координаты любой точки режущей кромки известны или могут быть замерены. На основании кинематического анализа с использованием выражения (1) получены зависимости изменения переднего рабочего угла резания  $\gamma_p$  по длине ре-

жущей кромки для исследуемых резцов (рис.3). Величина переднего угла резания служит характеристикой эффективности процесса разрушения и прочности лезвия резца.

Величина максимального возможного внедрения резца за один оборот зависит от величины действительного заднего угла  $\alpha_g$  вблизи рассечки, так как вероятность касания задней поверхности и забоя с уменьшением расстояния до оси вращения резца увеличивается из-за увеличения угла наклона винтовой траектории движения  $\mu_i$ . Используя зависимость (2) можно найти максимально допустимое внедрение резца за один оборот. Результаты исследований приведены в табл.2.

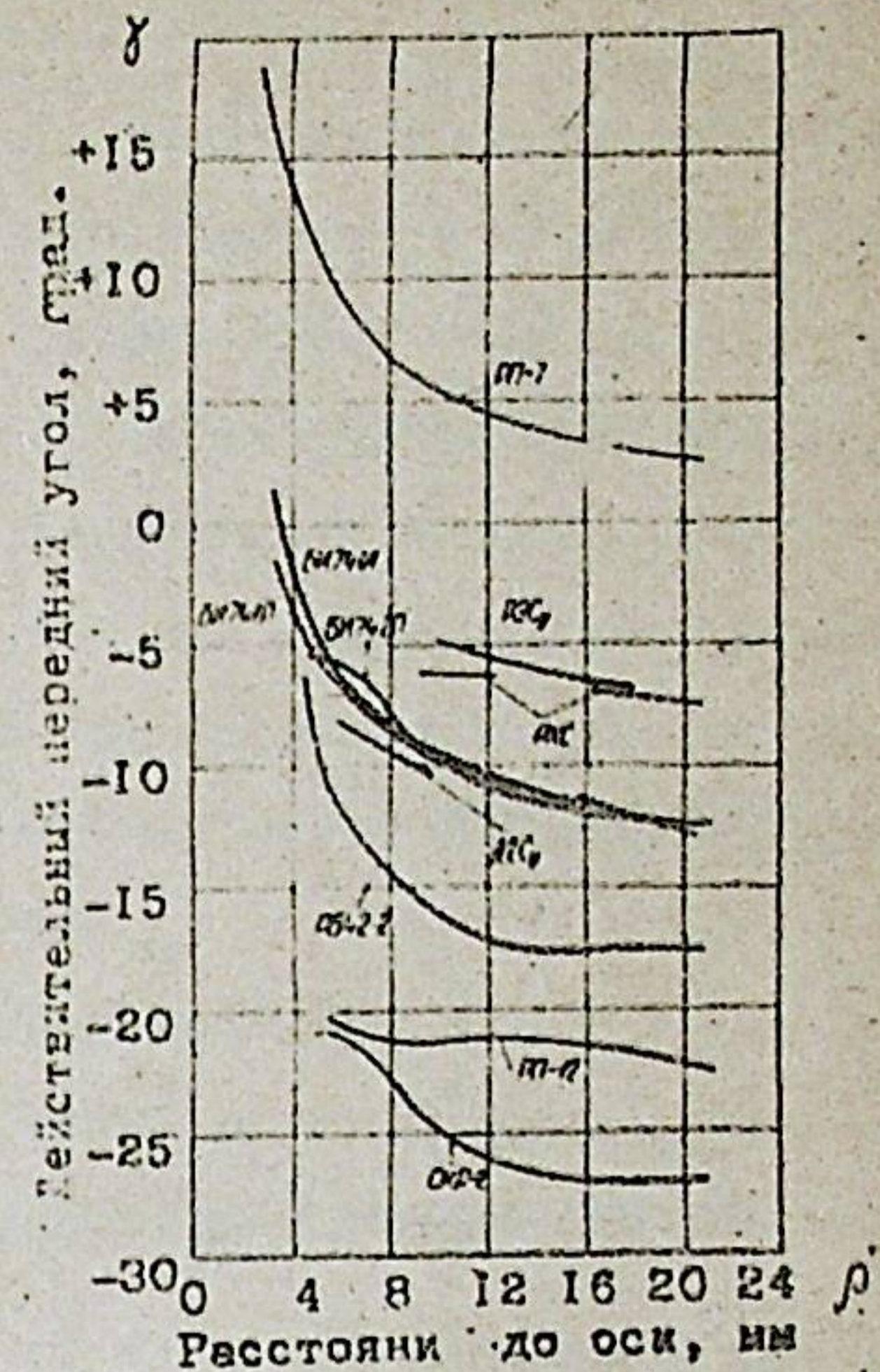


Рис.3.

Таблица 2.

Тип резца	Координаты рассечки		Задний угол заточки $\alpha_1$	Угол наклона зад. пов. к оси ОХ $\varphi$	Действительный зад. угол резца $\alpha_g$	Макс. доп. подача на оборот $h_{max}$
	$\rho_2$	$\lambda_2$				
РП-7	3	0°	20°	45°	27°15	9,69
РП-12	5,4	38°	43°	45°	52°40	35,2
БИ 741А	3,2	19°30	32°	45°	41°30	16,7
БИ 742П	4,7	30°30	30°	0°	30°	14,5
РБ 42-2	4,5	0°	20°	0°	20°	10,1
Д-2Су	5,87	31°20	30°	0°	30°	18,2
РКС	9,4	40°40	20°	0°	20°	14,0
РЭСу	10,5	0°	20°	0°	20°	24,0
БИ 741Р	3,5	30°	30°	29°	33°30	12,6
СКР-2	4,7	30°30	20°	0°	20°	8,77



В результате геометрической оценки резцов установлено, что действительный передний угол у всех исследованных моделей резцов в процессе работы переменный по длине лезвия. Наибольшие скорости возможно, оцениваемые по действительным задним углам заложены в резцах РП-12, РЭСу, Д-2Су, наименьшие - у резцов СКР-2, РП-7 и РГ 42-2. Принципиально возможно создание резцов с такой формой твердосплавной вставки, которая обеспечит любой наперед заданный закон изменения действительных углов резания по длине режущей кромки в процессе работы.

Глава III. Лабораторные сравнительные испытания различных типов бурового инструмента, применяемого при вращательном бурении шпуров.

На основании имеющихся данных по режимным параметрам и основным зависимостям вращательного бурения, разработана методика сравнения различных конструкций резцов и влияния отдельных геометрических параметров на эффективность процесса бурения, главными критериями которой принимались: производственно-скоростной, или коэффициент эффективности бурения острым резцом

$$K_0 = \frac{V}{D - D_0}, \quad (3)$$

характеризующий насколько интенсивно увеличивается скорость бурения данным резцом при увеличении усилия подачи; энергетический, или показатель энергозатрат

$$z = h(A - A_0), \quad (4)$$

показывающий как быстро снижаются энергозатраты на бурение при увеличении углубления резца за оборот; стойкостной

$$\alpha_s = \frac{L}{K_0 - K}, \quad (5)$$

характеризующий интенсивность падения скорости бурения при затуплении резца; и стоимостной

$$И = C_u \left(1 + \frac{e \cdot \rho_{пер}}{100}\right) \frac{T_m \cdot C}{T_{изн} \cdot C_u \cdot 50}, \quad (6)$$

учитывающий затраты на изготовление, стойкость резца и возможность его повторного использования, где

$V$  - скорость бурения, мм/мин,

$D$  - усилие подачи, кг,

$D_0$  - критическая величина усилия подачи, при которой начинается объемное разрушение горной породы,

$h$  - подача инструмента за один оборот, мм/об,

$A$  - объемная работа разрушения, кгм/см<sup>2</sup>,

$A_0$  - минимальная объемная работа разрушения при оптимальных режимах бурения,

$K$  - коэффициент эффективности бурения затупившимся резцом,

$L$  - глубина бурения, см,

$C_u$  - стоимость резца, руб.,

$e$  - затраты на переточку, в % от первоначальной стоимости,

$\rho_{пер}$  - количество переточек,

$C$  - количество работающих машин,

$e_u$  - глубина бурения за цикл, м,

$T_m$  - машинное время бурения, мин.,

$T_{изн}$  - время работы резца до износа, час..

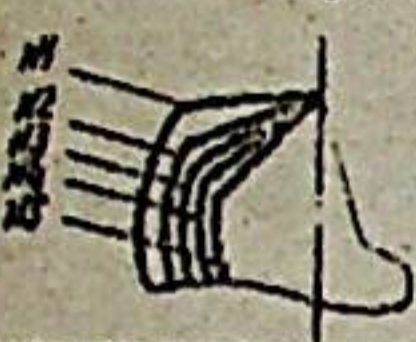
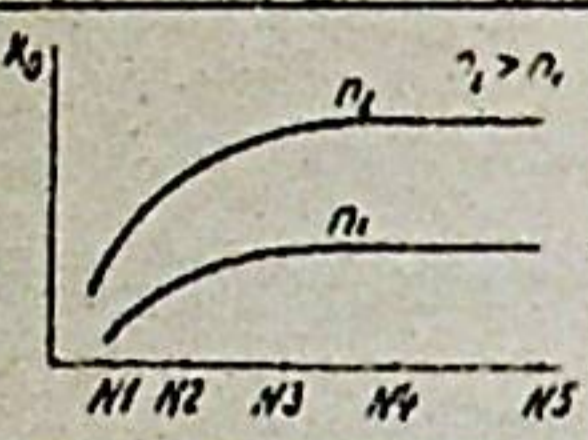

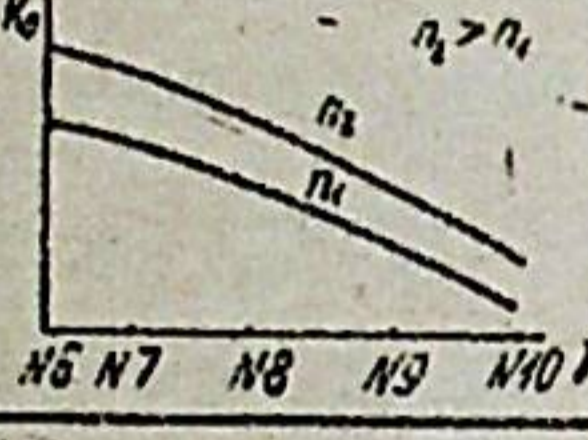

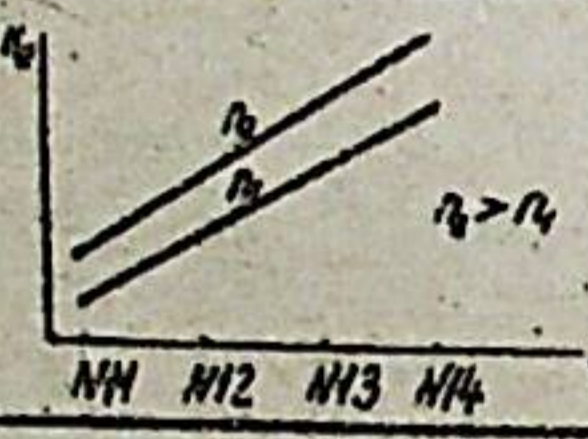

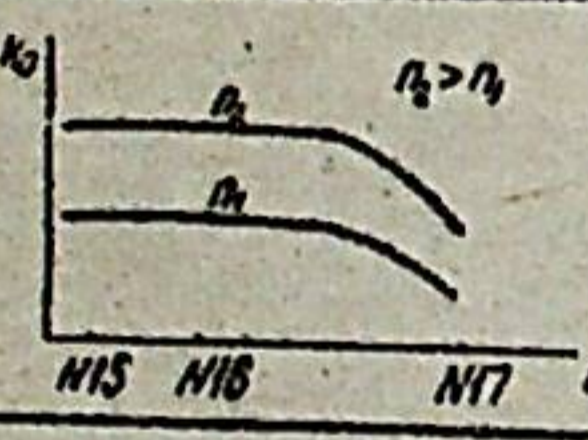

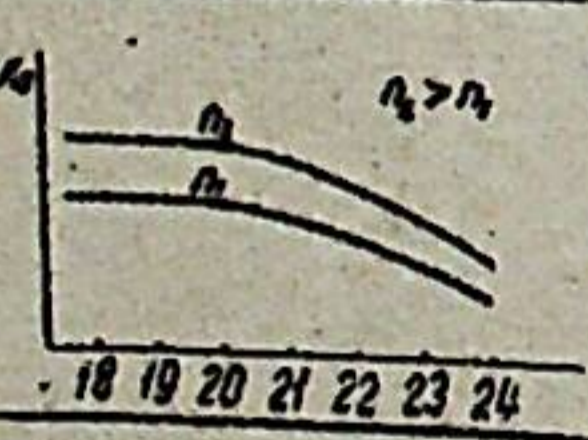
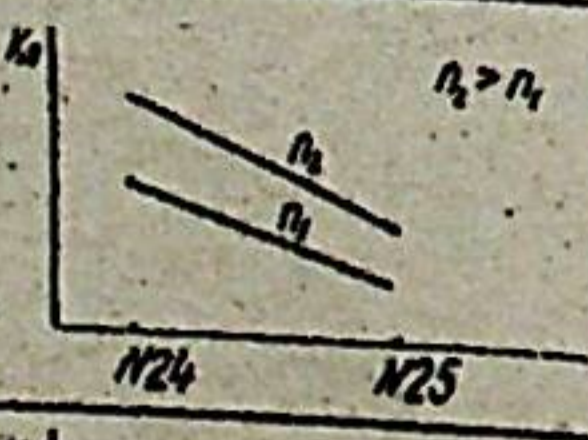
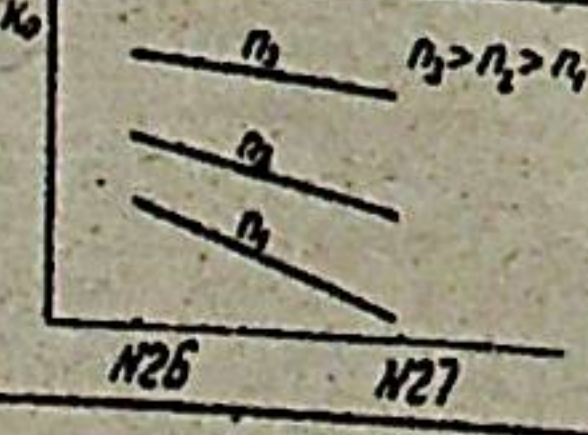
Бурение осуществлялось на буровом стенде БСУ-55 Института автоматизации АН Киргизской ССР, который представляет собой комплексный агрегат, предназначенный для исследования инструмента и режимов вращательного бурения, и позволяет с достаточной степенью точности фиксировать значения режимных параметров.

После предварительного опробывания для проведения эксперимен-

тов были выбраны три типа пород: мрамор с  $f = 3,5-5$ , аргилит с  $f = 8-10$  и гранит с  $f = 18-20$ .

Для исследования влияния отдельных геометрических параметров и углов заточки на эффективность процесса с режущими были изготовле-

Таблица 3

Исследуемый параметр	Характер зависимости
Задний угол $\alpha$ 	
Передний угол $\gamma$ 	
Радиус расщелин $r$ 	
Угол при вершине $\epsilon$ 	
Форма режущей кромки 	
Форма передней поверхности N24 плоская N25 выпуклая	
Количество перьев N26 - двухперый N27 - трехперый	

ны специальные комплекты резцов, причем в комплекте изменялся только исследуемый параметр, а остальные сохранялись постоянными. Всего в процессе исследований было проделано более 2000 опытов. По средним экспериментальным данным строились зависимости скоростного, энергетического и стойкостного показателя от изменения исследуемого параметра. Результаты исследования приведены в табл.3. При этом установлено, что увеличение заднего угла заточки перьев от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  ведет к росту скоростного показателя, дальнейшее увеличение заднего угла до  $45^\circ$  на скоростном показателе практически не сказывается. С увеличением отрицательного переднего угла заточки от  $0$  до  $-35^\circ$  скоростной показатель

бурения ухудшается на 50% по близкому к линейному закону. Увеличение ширины расщелины приводит к возрастанию скоростного показателя бурения, однако с увеличением ширины // -образной расщелины более 10 мм и V -образной расщелины более 21 мм ухудшаются условия разрушения керна породы. Величина угла при вершине пера в пределах  $115^\circ-180^\circ$  не оказывает влияния на скоростной показатель бурения. Эффективность бурения резцами со скругленной режущей кромкой на 20% ниже, чем резцами с прямоугольной кромкой. Резцы с выпуклой передней поверхностью имеют скоростной показатель на 20% ниже резцов с плоской передней поверхностью. Увеличение количества перьев снижает скоростной показатель бурения, однако, при увеличении скорости вращения инструмента, эта разница уменьшается за счет меньших (относительных) приростов скоростного показателя с увеличением скорости вращения у двухперых резцов.

Все вышеперечисленные геометрические параметры и углы заточки резцов в исследованных пределах практически не влияют на энергетические показатели бурения, экспериментальные точки ложатся вокруг одной усредняющей кривой, занимая вдоль нее различные зоны, их разброс в пределах точности опытов.

Данные исследования влияния основных параметров режущей части резцов, а так же обобщения по конструкциям буровых резцов, разработанных в нашей стране, анализа тенденций развития инструмента за рубежом и геометрической оценки различных моделей позволяют считать наиболее отвечающим основным требованиям, предъявляемым к резцам вращательного бурения, серийные резцы БИ741А, БИ 742П, РБ 42-2, и опытные - РЭСу, БИ 741Р, РКС. Исследование данных моделей были проведены с использованием методики проведения экспериментов и сравнения по разработанным критериям оценки.

По средним экспериментальным данным построены зависимости ско-

рости от усилия подачи при бурении аргиллита (рис. 4, а, б) и мрамора (рис. 4, в).

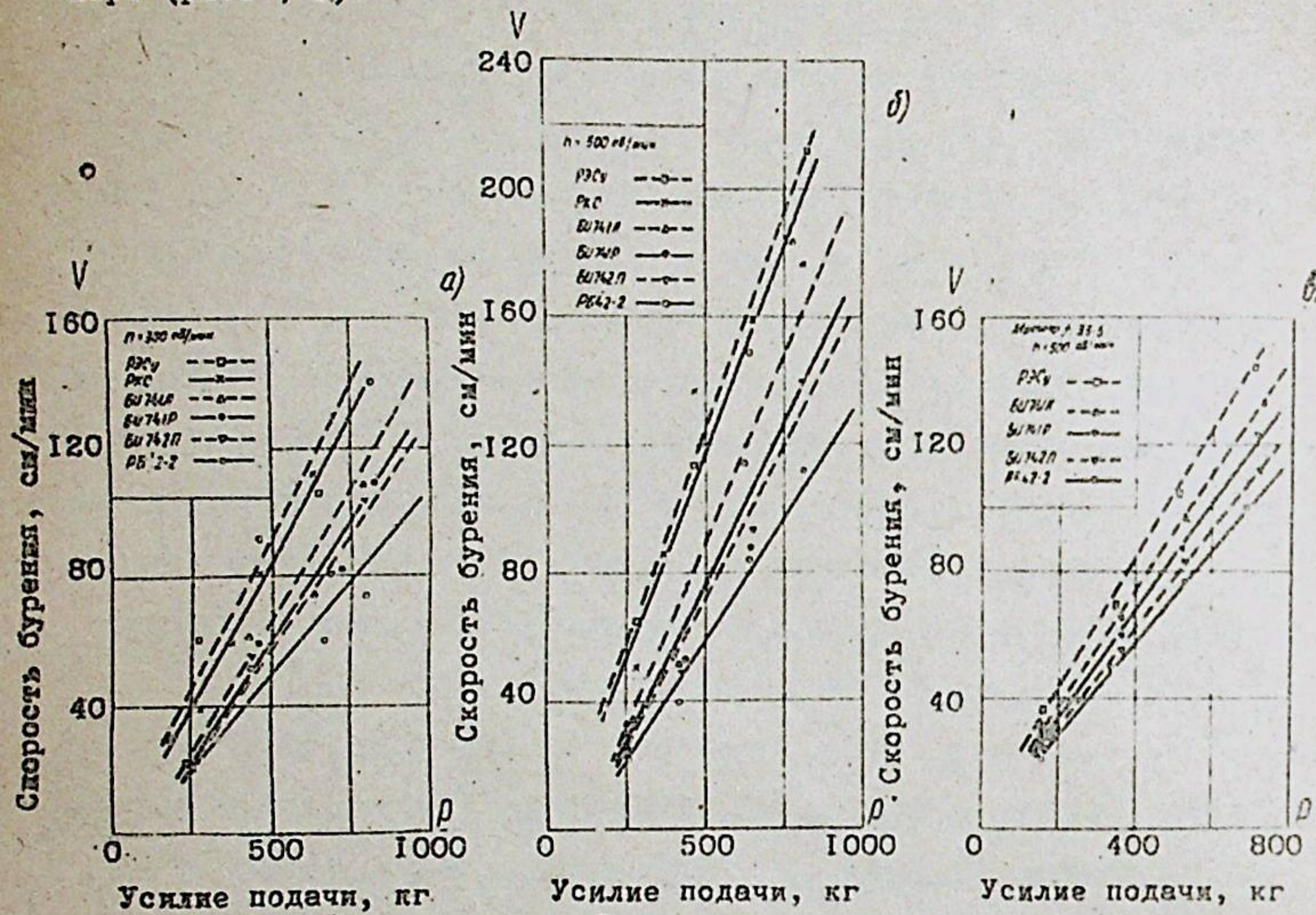


Рис. 4.

Как видно из рис. 4, наивысшие скоростные показатели как при бурении аргиллита, так и при бурении мрамора имеют резцы РЭСу.

Это, по-видимому, объясняется тем, что у резцов РЭСу широкая

V-образная рассечка, малая длина главных режущих кромок, меньший по сравнению с другими резцами передний отрицательный угол заточки.

Несколько ниже показатели у резцов РКС. Это можно объяснить тем, что у данной модели длина режущего лезвия больше, рассечка U-образная и почти в 3,5 раза уже, чем у РЭСу, но лезвие резца образовано двумя вставками - прерывистое, это позволило получить довольно высокий скоростной показатель (лишь на 5% ниже, чем у

РЭСу). Примерно на 20% ниже, чем у РЭСу, но самый высокий из всех серийных резцов скоростной показатель у модели БИ 741А. Треугольной формы режущая кромка с углом при вершине  $\epsilon = 114^\circ$ , плоская передняя поверхность вставки и U-образная рассечка обеспечили ему преимущества по скорости бурения перед другими серийными моделями БИ 742П (на 19%) и РБ 42-2 (на 34%).

Экспериментальные резцы БИ 741Р имеют скоростные показатели ниже в сравнении с другими экспериментальными моделями.

Необходимо отметить, что энергозатраты на бурение резцами всех моделей отличаются незначительно (рис. 5), но у моделей РЭСу, РКС, РБ 42-2 они наибольшие и примерно одинаковы, а у БИ 742П и БИ 741Р наименьшие.

Исследования абразивной стойкости резцов проводились при бурении гранита. Шпуры бурились с постоянным усилием подачи 800 кг и 170 об/мин бурового инструмента.

Все исследованные резцы были армированы твердым сплавом ВК 8.

По данным опытов построены зависимости падения скорости бурения от длины бурения (рис. 6, а) и вычислены коэффициенты абразивной стойкости  $A_2$ . Из рис. 6, а следует, что наименьшая абразивная стойкость у серийных резцов модели БИ 741А, несколько выше стойкость у резцов моделей БИ 742П и РКС, наиболее высокие показатели у РБ 42-2, РЭСу и БИ 741Р, что объясняется у РЭСу его работой в режиме объемного разрушения, а у РБ 42-2 и БИ 741Р увеличенной длиной режущей кромки, участвующей в работе. На рис. 6, б показаны

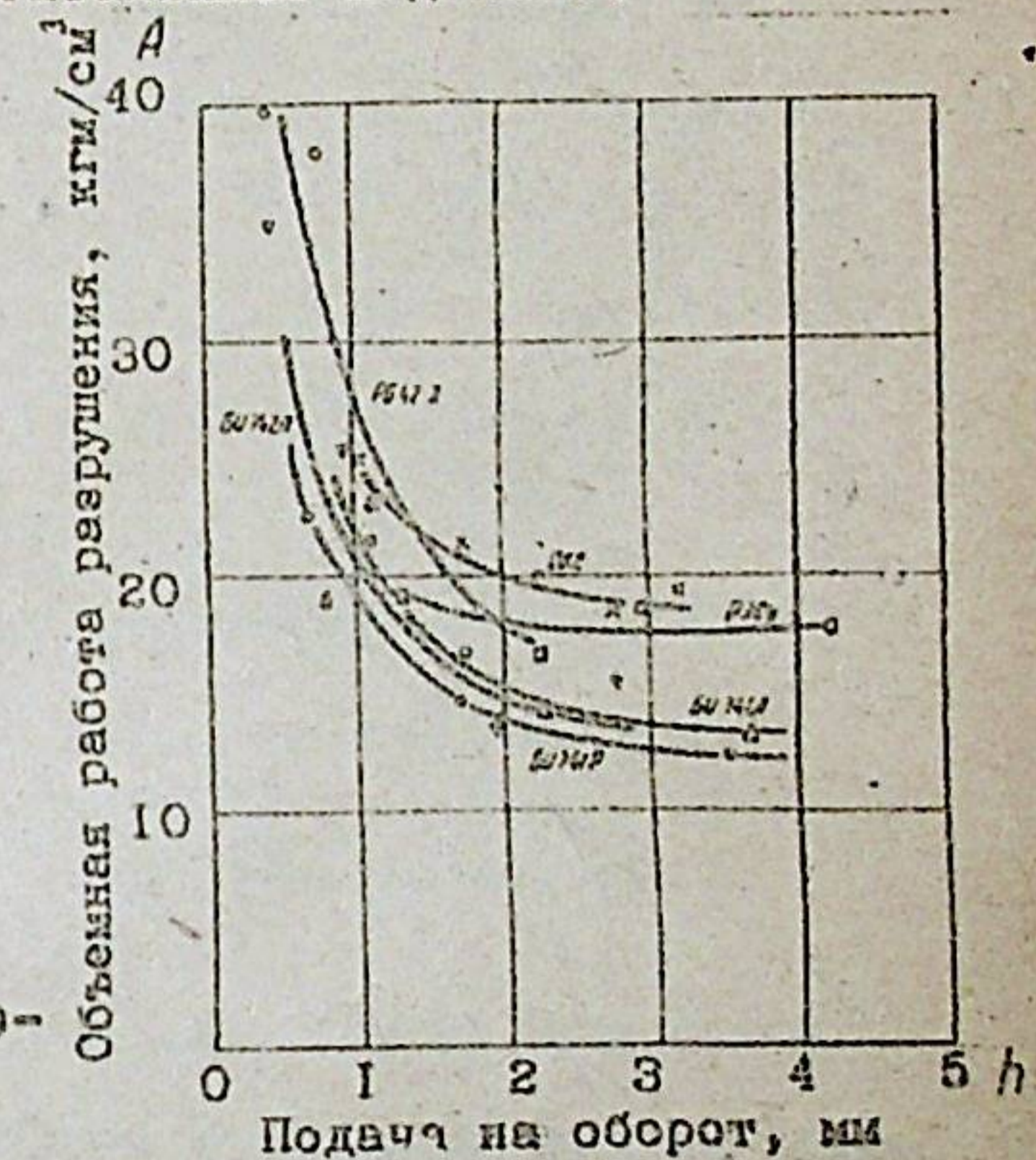


Рис. 5.

в плане площадки затупления после одинаковой глубины обуривания резцами различных моделей.

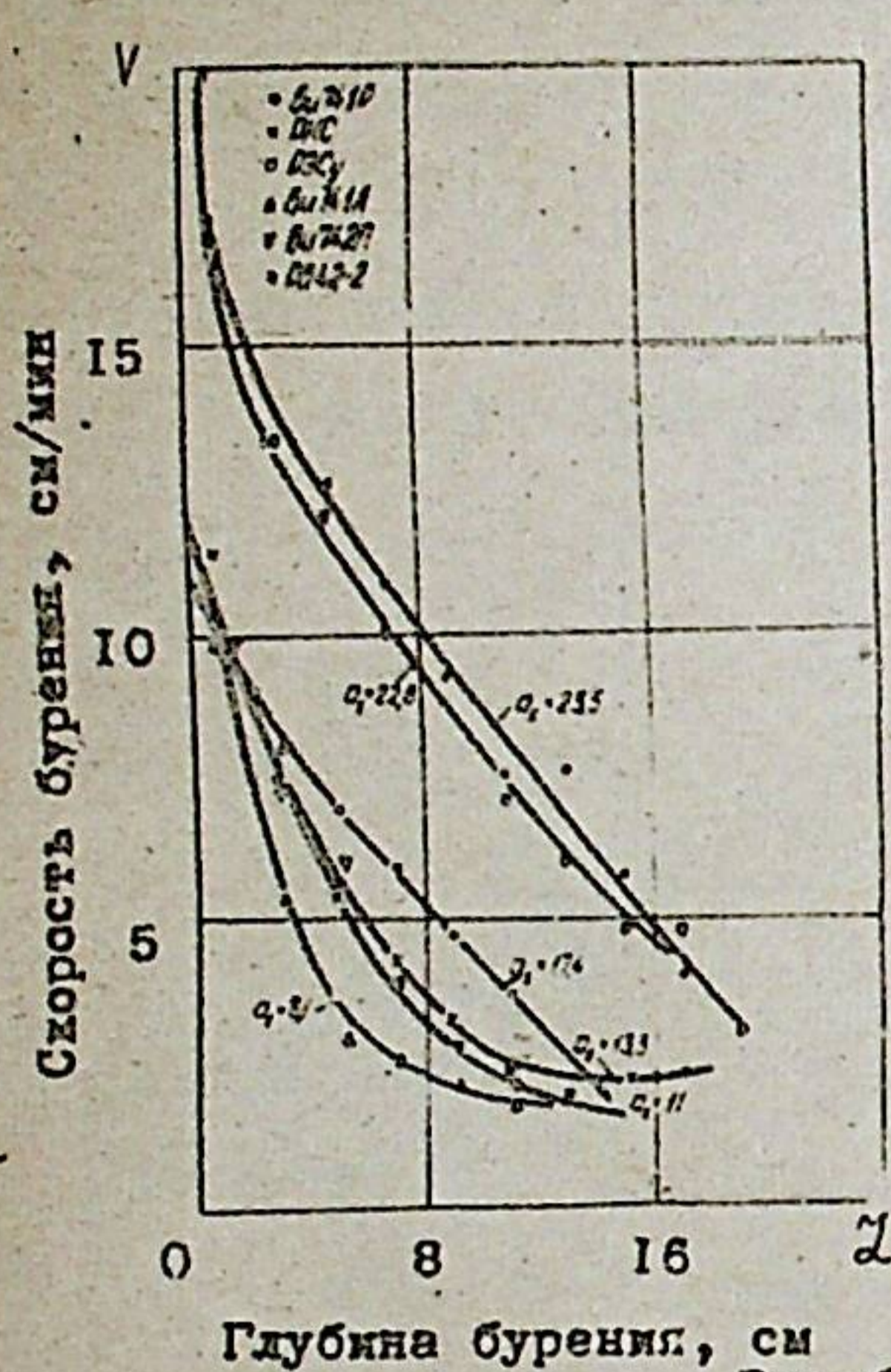
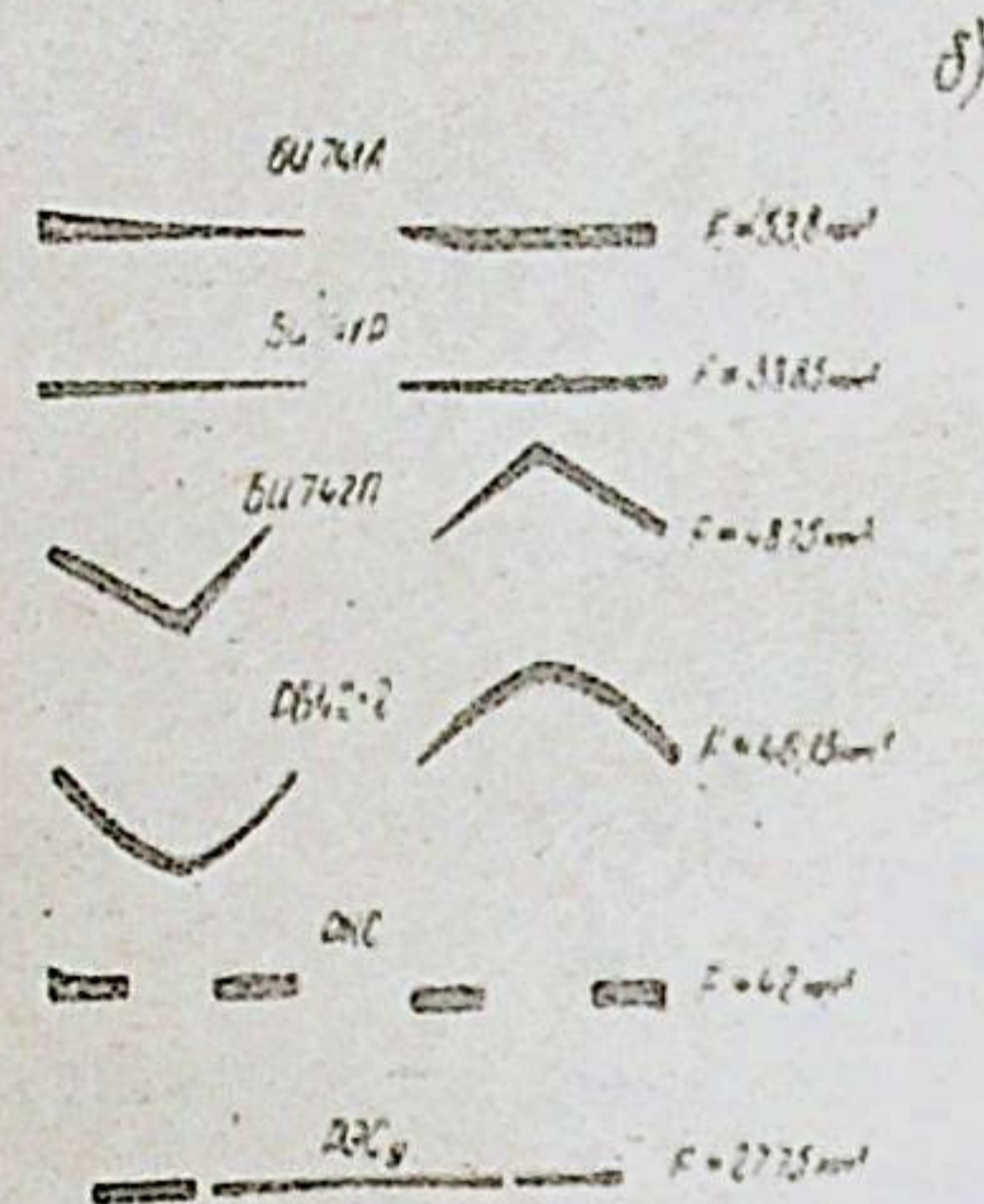


Рис. 6.

Как видно из рис. 6, а и б, у тех резцов, которые имеют наиболее высокую абразивную стойкость, площадки притупления по величине меньше и распределены по длине режущей кромки более равномерно. Это свидетельствует о том, что хотя у данных моделей резцов относительно большая длина режущей кромки участвует в работе (истирается), но интенсивность притупления растет медленнее и абразивная стойкость выше.

Необходимо отметить, что, хотя абразивная стойкость резцов РБ 42-2 достаточно высока, но их скоростные показатели наиболее низкие из числа всех испытанных моделей и применение их для бурения горных пород средней крепости вряд ли целесообразно из-за невысокой производительности. Кроме того, как видно из анализа

а)



б)

и рекомендаций о наиболее целесообразной (по крепости от  $f = 2$  до 10) области применения вращательного способа бурения, использование модели РБ 42-2 с массивными твердосплавными вставками, как следствие этого, более дорогостоящей и со столь низкими скоростными показателями ничем не оправдано как по производительности, так и по стоимости бурения. Расширение области применения вращательного бурения на породы крепостью выше  $f = 10$  вряд ли целесообразно в настоящее время ввиду того, что стойкость инструмента при вращательно-ударном способе бурения выше и затраты на бурение значительно ниже. В настоящее время резцы модели РБ 42-2 можно рассматривать как перспективные для условий, когда станет экономически выгодным использование вращательного способа бурения в горных породах выше средней крепости.

Таким образом, из числа испытанных резцов наилучшие результаты показали РЭСу (скоростной показатель  $K_0 = 120\%$  и абразивная стойкость  $A_3 = 280\%$  от серийных резцов модели БИ 74IA) и БИ 74IP ( $K_0 = 87\%$ ,  $A_3 = 230\%$ ).

Несколько хуже показатели у БИ 742П ( $K_0 = 81\%$ ,  $A_3 = 136\%$ ), РБ 42-2 ( $K_0 = 66\%$ ,  $A_3 = 200\%$ ) и РКС ( $K_0 = 114\%$ ,  $A_3 = 164\%$ ). У резцов модели БИ 74IA интенсивность затупления настолько велика, что, несмотря на высокий скоростной показатель бурения технически острым резцом  $K_0$ , при бурении абразивной горной породы даже в начале эксперимента средняя скорость бурения оказалась ниже, чем у аналогичного по конструкции, но имеющего радиусную заточку режущей кромки резца БИ 74IP.

Для более полного суждения о пригодности резцов для бурения в определенных условиях необходимо провести производственные испытания и оценить эффективность их применения с использованием стоимостного критерия.

Лабораторные исследования различных моделей резцов и влияния отдельных геометрических параметров на эффективность бурения позволили сделать следующие рекомендации:

1. Применение резцов модели БИ 74I А нецелесообразно из-за значительного падения производительности при затуплении.
2. Вполне оправдана необходимость разработки серийной конструкции резцов с использованием конструкторских идей и решений, заложенных в модели РЭСу.
3. В связи с тем, что резцы БИ 74IA, БИ 742П и БИ 74IP отличаются лишь формой твердосплавных вставок и заточкой режущих кромок, представляется целесообразным заменить две ныне выпускаемые модели БИ 74IA и БИ 742П на модель БИ 74IP, имеющую более высокие показатели бурения.
4. Применение резцов РБ 42-2 при бурении мягких пород нецелесообразно из-за низкого скоростного показателя, но необходимость проведения работ в данном направлении с целью возможного расширения области применения вращательного способа бурения не вызывает сомнения.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны и рекомендованы Кузнецкому машиностроительному заводу две модели резцов, геометрические параметры головок которых обеспечивают одинаковость условий нагружения режущих кромок (постоянство угла резания) в процессе работы.

#### Г л а в а IV. Промышленные исследования резцов для вращательного бурения

Как следует из результатов обзора влияния отдельных геометрических параметров на показатели бурения и экспериментов, проведен-

ных в лабораторных условиях, наиболее целесообразными с точки зрения производительности и стойкости являются резцы с криволинейной режущей кромкой. При этом теоретически равноправны два варианта. По первому - твердосплавная вставка имеет выпуклую переднюю поверхность и плоскую заднюю. По второму - передняя поверхность вставки плоская, а задняя оформлена криволинейной в процессе заточки. Прежде чем реализовать оба варианта, было решено провести предварительную промышленную проверку на промежуточной модели, по своим параметрам заточки близкой ко второму варианту, и на базе серийных резцов БИ 74IA была изготовлена опытная партия резцов с режущей кромкой, скругленной по дуге окружности радиуса 14 мм. Резцы получили индекс БИ 74IP.

Была разработана, при участии автора, методика проведения промышленных испытаний. Согласно методике, сравнение резцов БИ 74IP производилось с серийными резцами БИ 74IA, БИ 742П, РБ 42-2 и некоторыми экспериментальными моделями, оснащенными твердым сплавом различных марок и толщины. Для сравнения резцов различных моделей были приняты условия рудника "Миргалимсай" комбината "Ачполиметалл", рудника "Сумсар" ЮГМК и шахты № 2/4 р/у "Сулуктауголь" треста "Среднеазуголь".

Породы рудника "Миргалимсай" отличаются повышенной крепостью (свыше 50% имеет  $f \geq 10$ ), сильно трещиноватые, малоабразивные. Испытания резцов на руднике позволили оценить эффективность каждой модели в условиях, которые можно считать лежащими за верхним пределом (по прочности) применения вращательного способа бурения.

Породы рудника "Сумсар" высокой крепости ( $f = 8 + 12$ ), выше средней абразивности. По своим физико-механическим свойствам породы как-бы представляют верхнюю границу применения вращательного способа бурения.

Породы, представленные на шахтах рудоуправления "Сулжктауголь" относятся к числу наиболее распространенных по своим физико-механическим свойствам ( $f = 4 + 9$ , средне- и малоабразивные), наиболее типичным условиям применения вращательного способа.

Таким образом, промышленные испытания, проведенные в данных горно-геологических условиях, позволяют достаточно полно выявить эффективность применения исследуемых моделей резцов.

Результаты сравнительных испытаний резцов в шахтных условиях приведены в табл. 4.

Из данных сравнительных испытаний следует, что стойкость резцов БИ 74IP с криволинейной режущей кромкой в различных условиях выше, чем серийных БИ 74IA, на базе которых они изготовлены, в 1,5 - 2 раза. При этом средняя скорость бурения резцами БИ 74IP составляет 80-90% от скорости бурения серийных - БИ 74IA при одинаковых усилиях подачи. Но резцы с криволинейной режущей кромкой могут работать при более высоких (на 20-40%) усилиях подачи без заметного снижения стойкости, что позволяет достигать более высоких скоростей бурения данными резцами. Количество резцов БИ 74IP, вышедших из строя из-за скола пластин твердого сплава, в 1,5 раза меньше, чем БИ 74IA. Резцы с пластинками твердого сплава увеличенной толщины имеют более высокую стойкость.

При испытаниях обращалось внимание на равномерность скорости бурения по длине шпура. При этом установлено и специальными экспериментами на сверле СЭК подтверждено, что при обеспечении постоянства углубления резца за оборот в процессе бурения стойкость инструмента повышается независимо от его конструкции.

Наблюдения за испытаниями трехлержных резцов, проводимыми на руднике "Миргалимсай", позволили сделать вывод о перспективности

Таблица 4

место испытаний	количество резцов, шт.	процурено, м	Стойкость, м		Скорость бурения, мм/мин		количество испыт. резцов, шт.	процурено, м	Стойкость, м		Скорость бурения, мм/мин		количество испыт. резцов, шт.	процурено, м	Стойкость, м		Скорость бурения, мм/мин					
			средняя	в % к средней	средняя	в % к средней			средняя	в % к средней	средняя	в % к средней			средняя	в % к средней						
Результаты испытаний резца и арка тв. сплава	БИ 74IA (BK 8)	11	42,7	3,8	100	235	100	100	42,7	3,8	100	235	100	100	57	4,8	100	490	100			
		9	21,7	2,4	63	151	65	30	14	4,5	161	530	91	7	133	19	430	89	220	460		
																					12	13,7
		30	190	6,4	164	500	214	30	30	140	4,5	161	485	83	18	188	105	220	460	96	220	460
		БИ 742П (BK 8)	9	21,7	2,4	63	151	65	30	14	4,5	161	530	91	7	133	19	430	89	220	460	
																						12
		РРС (BK 8)	12	13,7	1,1	29	517	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		БИ 74IP (BK 8)	30	190	6,4	164	500	214	30	140	4,5	161	485	83	18	188	105	220	460	96	220	460
		БИ 74IP (BK 8)	30	190	6,4	164	500	214	30	140	4,5	161	485	83	18	188	105	220	460	96	220	460
12	13,7																					

Р. "Миргалимсай"

Р. "Сумсар"

Ш.2-4, р/у "Сулжктауголь"

12 - 16

10 - 12

6 - 9

применения многолезвийного инструмента при бурении трещиноватых горных пород машинами с независимой гидравлической или пневматической подачей.

В процессе исследований особое внимание было уделено соединению резцов с буровой штангой. Конусное соединение резцов со штангами оказалось неудовлетворительным. Из-за невозможности создания значительных усилий запрессовки соединение не позволяло передавать больших крутящих моментов, особенно при попадании резца в мягкую прослойку или трещину. При этом происходило проворачивание штанги относительно резца и около 15% испытанных резцов оставалось в шпурах. Съем резцов, вышедших из строя, затруднителен.

Применение прямоугольной резьбы позволило избежать проворачивания и отрыва резцов в шпурах, но соединение их со штангой и разъединение требуют больших усилий. Целесообразно предусмотреть применение у резцов для вращательного бурения резьбы веревочного профиля для крепления на штанге, выполнив при этом корпус резца под ключ для облегчения соединения — разъединения.

Испытания резцов на шахте 2/4 р/у "Сулюктауголь" показали, что затраты на инструмент (критерий  $N$ ) для резцов БИ 74IP с криволинейной режущей кромкой ниже на 50%, чем для аналогичных по конструкции серийных БИ 74IA с треугольной формой режущей кромки. Этот факт, а так же результаты лабораторных исследований позволили рекомендовать резцы БИ 74IP для применения на шахтах р/у "Сулюктауголь". Данные рекомендации приняты для внедрения и позволят получить экономию только на шахтах рудоуправления 16 000 рублей в год.

Обобщенные рекомендации по совершенствованию резцов для вращательного бурения были приняты для внедрения Кузнецким машино-

строительным заводом.

Использование предлагаемых рекомендаций при проектировании и изготовлении резцов вращательного бурения позволит, по нашему мнению, повысить стойкость инструмента и производительность процесса бурения. Корректирование рекомендаций потребует более широких производственных наблюдений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ механизма взаимодействия режущего инструмента и горной породы при вращательном бурении, изучение по литературным данным влияния отдельных геометрических параметров и углов заточки резца на эффективность процесса бурения, обзор конструкций отечественного бурового инструмента для вращательного бурения, предложенных за последние 50 лет, рассмотрение основных направлений и тенденций развития резцов в нашей стране и за рубежом позволили разработать классификацию резцов вращательного бурения и основы методики исследования и сравнения различных моделей.
2. Сделано аналитическое описание расположения режущей кромки резца в пространстве забоя. Полученные при этом зависимости показывают, что существует связь между основными углами заточки резца, координатами режущей кромки в пространстве и режимными параметрами процесса вращательного бурения.
3. Используя данные зависимости, удалось установить, что угол встречи передней поверхности пера с разрушаемой породой (угол резания в процессе работы) у всех существующих резцов переменный по длине лезвия, т.е. условия нагружения лезвия не одинаковы по длине режущей кромки.

4. Возможно создание такой формы твердосплавной вставки, у которой при соответствующей установке и ориентации её в пере резца рабочий угол резания будет сохраняться постоянным по всей длине режущей кромки.

5. Лабораторные исследования влияния отдельных параметров, углов заточки и конструкции резца в целом, проведенные по специально разработанной методике экспериментального сравнения режущего инструмента на буровом стенде, позволили получить данные о влиянии этих параметров на эффективность процесса бурения и уточнить оптимальные значения геометрии головки резца и твердосплавной вставки для бурения пород в диапазоне крепости от  $f = 3-4$  до  $f = 10$ .

6. Промышленные испытания серийно выпускаемых и некоторых экспериментальных конструкций резцов позволили уточнить данные лабораторных исследований и сделать ряд рекомендаций:

а) Резцы, у которых передний угол резания по длине лезвия постоянный, имеют более высокие показатели бурения.

б) Необходимо перейти от выпуска пяти модификаций резцов для бурения по породам крепостью от  $f = 3$  до  $f = 10$  к одной-двум моделям на базе рекомендованных.

в) Рекомендуется рассчитывать резцы для вращательного бурения на комплексное использование с бурильными машинами, имеющими фиксированную подачу на оборот в оптимальных пределах.

г) Для повышения надежности крепления резцов на штанге и облегчения соединения целесообразно применять веревочную резьбу, выполнив при этом наружную поверхность хвостовика под ключ. Штанга так же должна иметь лыски для удерживания от проворачивания.

д) С целью обеспечения возможности бурения трещиноватых и перемежающихся горных пород машинами с независимой гидравлической или пневматической подачей инструмента целесообразно применять многолезвийные (трехперые) резцы.

Основные положения диссертации доложены:

1. На научно-технических конференциях Фрунзенского политехнического института, 1966 - 1970 г.г.
2. На конференции по вопросу бурения скважин малого диаметра в Институте Физики и механики горных пород АН Киргиз.ССР, 1968 г.
3. На конференции молодых ученых Института физики и механики горных пород АН Киргиз.ССР, 1969 г.
4. На всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения качества инструмента для мелкошпурового бурения", Новокузнецк, 1970 г.
5. На юбилейной научно-технической конференции Томского политехнического института, Томск, 1970 г.
6. На научных семинарах Отдела научных основ комплексной механизации и автоматизации буровой техники Института автоматизации АН Киргиз.ССР, 1967-1970 г.г.
7. На научных семинарах кафедры ТММ и ДМ Фрунзенского политехнического института, 1966-1970 г.г.
8. На научно-технических советах институтов ВостНИГРИ, КузНИУИ, комбината "Ачполиметалл" и р/у "Сулюктауголь", 1968-1970 г.г.

Опубликованы в статьях:

1. Исследование резцового инструмента на стенде Института физики и механики горных пород АН Киргиз.ССР. (тезисы доклада на конференции "Пути повышения качества бурового инструмента для мелкошпурового бурения"), Новокузнецк, 1970. (Соввт. Л.Т.Дворников).



2. О теории работы резца при вращательном бурении. (тезисы XVI научно-технической конференции ФПИ), Фрунзе, 1970. (Соавт. Л.Т.Дворников).
3. Влияние формы режущей кромки, передней грани и величины угла при вершине на эффективность работы резцов. (тезисы доклада на юбилейной конференции ФПИ), Фрунзе, 1970. (Соавт. Л.Т.Дворников).
4. Результаты испытаний резцов для вращательного бурения шпуров. Сб.Совершенствование буровых машин, Фрунзе, 1970. (Соавт. Л.Т.Дворников, Н.С.Колодяжный, М.А.Пак).
5. Влияние формы режущей кромки резца на углы резания при вращательном бурении. Сб.Совершенствование буровых машин, Фрунзе, 1970. (Соавт. Л.Т.Дворников).
6. К обоснованию критериев сравнительной оценки резцов для вращательного бурения. Труды ФПИ, вып.42, серия: Механика, Фрунзе, 1970. (Соавт. Л.Т.Дворников, Н.С.Колодяжный).
7. Влияние величины переднего и заднего углов заточки на эффективность работы резцов при вращательном бурении. Сб.Горные машины и автоматика, № 4, 1970. (Соавт.:Л.Т.Дворников).

Содержатся в научно-исследовательских работах:

1. Анализ и обобщение опыта конструирования вращательно-ударных и вращательных машин и инструментов для бурения шпуров с целью последующей разработки методов расчета, унификации конструкций и повышения долговечности. Отчет № 92, 1967 (Архив Института автоматизации АН Киргиз.ССР).
2. Результаты испытаний резцов на руднике "Миргалимсай" комбината "Алчелиметалл". Отчет, 1968. (Архив Института автоматизации АН Киргиз.ССР).
3. Исследование бурового инструмента и соединений его со штангами

- с целью создания основ расчета и проектирования. Отчет № 35/70. 1970. (Архив Института автоматизации АН Киргиз.ССР).
4. Создание универсального бурового станда. Отчет, 1969. (Архив Института Автоматизации АН Киргиз.ССР).