

Институт машиноведения и автоматики  
Национальной академии наук Кыргызской Республики

Кыргызский государственный технический  
университет имени И. Раззакова

Диссертационный совет Д 05.21.642

На правах рукописи

УДК 621.951.45 (075.8)

Айнабекова Айнуур Алмановна

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ  
КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ СПИРАЛЬНЫМИ  
СВЕРЛАМИ

05.02.08 – технология машиностроения

Автореферат на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек – 2023

Работа выполнена на кафедре Технологии машиностроения Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Научный руководитель: Рагрин Николай Алексеевич доктор технических наук, профессор, кафедра приборостроения Кыргызскороссийского славянского университета Б.Н. Ельцина, профессор

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится на заседании диссертационного совета Д 05.21.642 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук при Институте машиноведения и автоматики Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова Министерства образования и науки Кыргызской Республики по адресу: г. Бишкек ул. Скрыбина, 23, в конференц-зале. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации в <https://vc1.vak.kg/b/052-ajg-ewq-keo>. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках организаций, при котором создан совет и на сайте: <https://imash.kg>  
Автореферат разослан

Ученый секретарь диссертационного совета к.т.н.

Дресвянников С. Ю.

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы диссертации.** Более 60 % деталей машиностроительной продукции имеют отверстия. Во всех случаях первым технологическим переходом обработки отверстий в сплошном материале является сверление. Поэтому спиральные сверла составляют 30% от общего объема режущего инструмента. Технологический процесс обработки отверстий высокого качества включает семь переходов: сверление, рассверливание, черновое и чистовое зенкерование нормальное, точное и тонкое развертывание. Повышение качества отверстий обработанных сверлением позволит значительно снизить трудоемкость обработки отверстий высокого качества за счет исключения нескольких последующих технологических переходов. Поэтому проблема повышения качества отверстий, обработанных спиральными сверлами, с целью снижения трудоемкости обработки изделий машиностроения является актуальной.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами.**

Диссертация связана с научно-исследовательской работой «Организационно-технологическое проектирование производственных систем» кафедры «Технология машиностроения» КГТУ им. И. Раззакова

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является разработка методов повышения точности размера и шероховатости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами для снижения трудоемкости обработки изделий машиностроения.

Задачи исследований:

1. Установить закономерности влияния параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл на точность размера и шероховатость поверхности отверстий обработанных сверлением.

2. Определить характер влияния условий обработки и погрешностей заточки режущей части сверл на точность размера и шероховатость поверхности отверстий обработанных спиральными сверлами.

3. Разработать эмпирическую модель влияния параметров режима резания и условий обработки на точность размера и шероховатость поверхности отверстий обработанных спиральными сверлами.

4. Разработать методологию, объединяющую взаимосвязанные последовательные методы, проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов.

**Научная новизна работы:**

1. В результате экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости величины нароста на режущих кромках сверл и температуры от скорости резания при сверлении.

2. Экспериментально установлено, что на скоростях резания меньших 6 м/мин, пластичность обрабатываемой конструкционной стали возрастает при одновременном уменьшении ее прочности.

3. Экспериментально определен характер зависимостей точности размера, перпендикулярности оси и шероховатости поверхности просверленных отверстий от параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл и при этом методами аппроксимации получены соответствующие эмпирические модели, отражающие влияние на точность размера перпендикулярность оси и шероховатость поверхности отверстий.

#### **Практическая значимость полученных результатов:**

- Определены рациональные режимы обработки сверлением, вид и способы заточки сверл, позволяющие получить высокое качество просверленных отверстий соответствующее качеству отверстий при нормальном развертывании.

- Разработана методология постановки, проведения исследований и обработки результатов.

Результаты исследований будут использоваться при чтении специальных дисциплин: «Технологические процессы в машиностроении», «Обработка материалов и инструмент», «Повышение стойкости спиральных сверл и качества обработки сверлением».

#### **Экономическая значимость полученных результатов.**

Снижение трудоемкости обработки отверстий за счет уменьшения количества технологических переходов.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Условия обработки сверлением, и качество заточки режущей части сверл позволяющие получить показатели качества просверленных отверстий соответствующие качеству отверстий при нормальном развертывании.

2. Физические закономерности получения высокой точности размера и шероховатости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами на скоростях резания, меньших 6 м/мин.

3. Эмпирические зависимости нароста на режущих кромках сверл и температуры от скорости резания, точности размера, перпендикулярности оси и шероховатости поверхности просверленных отверстий от параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл.

4. Эмпирическая модель, отражающая характер влияния параметров режима резания и осевого биения режущих кромок на точность размера перпендикулярность оси и шероховатость просверленных отверстий.

5. Методология постановки, проведения исследований и обработки результатов.

#### **Личный вклад соискателя.**

Основные результаты исследований получены соискателем лично. Установлены физические закономерности и характер влияния условий обработки, параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл на точность размера и шероховатость поверхности просверленных отверстий. Определены зависимости нароста и температуры от скорости резания при сверлении. Разработана эмпирическая модель отражающая характер влияния параметров режима резания и условий обработки на точность размера и шероховатость поверхности просверленных отверстий. Разработана методология, постановки, проведения исследований и обработки результатов.

**Апробации результатов диссертации.** Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих международных конференциях:

1. Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновация – вектор для молодежи».- Бишкек, КГТУ им. И. Разакова, 2014 г.

2. Международная научно-практическая конференция «Инновации в науке и технике» Посвященная памяти первого декана ЕТФ профессора Юрикова В.А. Бишкек, КРСУ им. Б.Н. Ельцина, 2022 г.

3. Международная научно–практическая конференция «Наука, образование, инновации и технологии: оценки, проблемы, пути решения», посвященная 80 – летию ученого–педагога Ж. Усубалиева и 30 – летию Инженерной Академии КР. Бишкек, Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. академика У. Асаналиева; Инженерная академия Кыргызской Республики, 2022 г.

4. VIII Международная сетевая научно-практической конференции «Современные интеграционные процессы в развитии инноваций в образовании и науке» Бишкек, КГТУ им. И. Разакова, 2022 г.

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

По материалам диссертации опубликовано 20 научных статей, входящих в РИНЦ в том числе шесть статей опубликовано за рубежом, а

также патент в КР № 265 и свидетельство объекта авторского права № 3073.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, общих выводов и рекомендаций, заключения, списка использованной литературы и приложений. Содержание диссертации изложено на 135 страницах, содержит 51 рисунок, 47 таблиц, библиографию из 61 наименования.

Диссертационная работа выполнена в КГТУ им. И. Раззакова под научным руководством д.т.н., профессора Рагина Николай Алексеевича.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проведен обзор и анализ существующих методов по обеспечению качества поверхности деталей машин. Рассмотрены методы обеспечения качества обработки отверстий осевыми инструментами. В итоге анализ литературных источников показал отсутствие исследований, направленных на повышение точности размера и шероховатости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами. Не разработаны взаимосвязанные последовательные методы постановки и проведения исследований повышения качества просверленных отверстий. Поэтому разработка методов по повышению качества отверстий обработанных спиральными сверлами позволит решить задачу снижения трудоемкости обработки деталей за счет уменьшения количества переходов в технологическом процессе.

**Во второй главе** представлены методология и методы исследования, объект и предмет исследования.

Объектом исследований являются технологические процессы обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами.

Предметом исследований являются разработка методов повышения качества обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, обеспечивающих снижение трудоемкости обработки отверстий.

Методология исследований направлена на разработку эмпирической модели определяющей характер влияния технологических факторов на результаты исследований и включает требования к

технологической системе, состоящей из четырех обязательных составляющих:

- станок (технологическое оборудование, на котором производится обработка деталей сверлением);
- приспособление (технологическое оснащение оборудования, необходимое для обеспечения обработки деталей сверлением);
- инструмент (быстрорежущие спиральные сверла непосредственно участвующие в обработке деталей);
- деталь (конструктивная часть изделия, заготовка, непосредственно подлежащая обработке и контролю результатов).

Все четыре составляющие технологической системы определяются в зависимости от заданных технологических условий проведения исследований и технологических факторов, зависящих от них.

Условия проведения исследований являются независимыми технологическими факторами, подлежащими варьированию в процессе проведения исследований, непосредственно влияющие на зависимые технологические факторы – результаты исследований.

В настоящих исследованиях независимыми технологическими факторами являются параметры режима резания и осевые биения режущих кромок сверл. Зависимые технологические факторы: шероховатость поверхности отверстий; качество допуска диаметра; допуск перпендикулярности оси отверстия.

### **Станок**

Большое значение для экспериментальных исследований имеет выбор станка. Станок должен обеспечить высокую точность обработки и минимальное рассеивание результатов исследований. Помимо этого станок должен иметь достаточно широкие пределы и большое количество скоростей резания и подачи. Всеми этими требованиями обладает широкоуниверсальный фрезерный станок повышенной точности модели 675П, на базе которого был оборудован экспериментальный стенд для испытаний сверл с целью определения влияния параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл на показатели качества просверленных отверстий.

### **Приспособление**

При проведении экспериментальных исследований приспособление должно обеспечивать точность позиционирования заготовки, а именно параллельность технологических баз относительно рабочей поверхности стола станка и их перпендикулярность относительно оси сверла. При проведении исследований заготовка непосредственно устанавливалась на столе станка (рис.2.2, рис.2.6), тем

самым погрешности позиционирования заготовки полностью исключались.



Рисунок 2.2 – Установка заготовки на станке

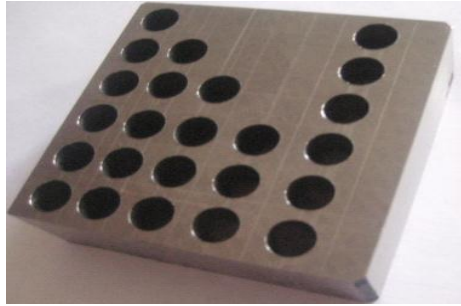


Рисунок 2.6 – Обрабатываемая заготовка

### **Инструмент**

При проведении экспериментальных исследований использовались спиральные сверла с коническим хвостовиком по ГОСТ 10903-77 диаметром 11 мм из быстрорежущей стали Р6М5, повышенной точности класса А1 и нормальной точности классов В1 и В.

Сверла повышенной точности класса А1 затачивались по двухплоскостной заточке. Сверла нормальной точности классов В1 и В имели стандартную заточку.

Конструктивные элементы и геометрические параметры сверл контролировались на соответствие стандартам на микроскопе УИМ-23.

У сверл повышенной точности класса А1 осевое биение после установки в шпиндель станка не превышало значение 0,08 мм. У сверл нормальной точности класса В1 и В - 0,2 и 0,3 мм соответственно.

### **Деталь**

Сверлились заготовки из конструкционной стали 45 180НВ. Толщина заготовок соответствовала трем диаметрам сверл. Сверлились сквозные отверстия (рис.2.6) с поливом смазочно-охлаждающей жидкостью – 5% раствор Укринола 5. Предварительно заготовки фрезеровались и шлифовались с шести сторон для обеспечения технологических баз обработки заготовок и контроля параметров точности просверленных отверстий.

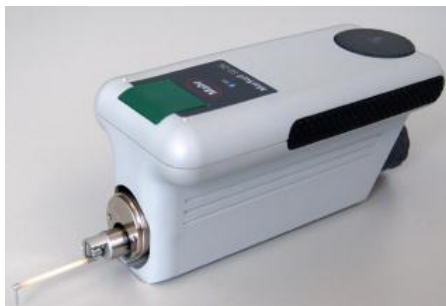
### **Методы контроля качества просверленных отверстий**

Диаметр просверленных отверстий контролировался в трех сечениях и двух взаимно перпендикулярных плоскостях нутромером.



Использовался нутромер индикаторный НИ-10-18-1 предварительно настроенный на рабочий диаметр сверла микрометром.

Для измерения шероховатости поверхности использовался прибор MarSurf M 400, (рис.2.10) предназначенный для измерений параметров шероховатости поверхностей изделий.



а)



б)

Рисунок 2.10 - Прибор для измерений шероховатости поверхности MarSurf M 400: а) – блок привода SD26; б) – прибор

Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей исследуемой поверхности алмазной иглой (щупом) и преобразования возникающих при этом механических колебаний щупа в изменения напряжения с применением индуктивного датчика.

Перпендикулярность оси отверстия относительно технологических баз определялась измерением размера от боковой поверхности заготовки до поверхности отверстия в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на входе и выходе отверстия электронным цифровым микрометром мкц-25 с ценой деления 0,001 мм.

#### **Методы обработки результатов исследований**

Применялись методы аппроксимации и математической статистики, основанные на корреляционно-регрессионном анализе результатов исследований. Определялось соответствие результатов исследований нормальному распределению по закону Гауса, рассчитывались коэффициенты линейной корреляции Пирсона между независимыми технологическими факторами и зависимыми - результатами исследований. При наличии значимой корреляции проводился регрессионный анализ их статистических зависимостей с применением принципа наименьших квадратов, на основании которого строились эмпирические модели.

**В третьей главе** представлены материалы разработки методов по повышению качества отверстий обработанных спиральными сверлами.

Проведен статистический анализ показателей качества отверстий технологической оснастки (штампов, прессформ, литформ) применяемой на заводах г. Бишкек (табл.3.1)

Таблица 3.1 - Показатели качества отверстий технологической оснастки

Диаметр отверстия, мм	Квалитет допуска	Шероховатость Ra, мкм	Допуск перпендикулярности оси, мм	Назначение отверстия
10-13	7	0,8	0,02	Под знаки
14-16	9 - 7	0,8	0,02	Под выталкиватели
16-20	7	0,8	0,06 – 0,04	Под направляющие

Общепризнанный технологический метод повышения показателей качества поверхности, обработанной резанием, за счет увеличения скорости резания при обработке сверлением ограничен сравнительно невысокой теплостойкостью быстрорежущих сталей (650°C), из которых изготавливаются стандартные спиральные сверла. Вместе с тем увеличение скорости резания приводит к значительному увеличению разбивки просверленных отверстий в результате несимметричности конструктивных элементов сверл относительно продольной оси (рис.3.1.).

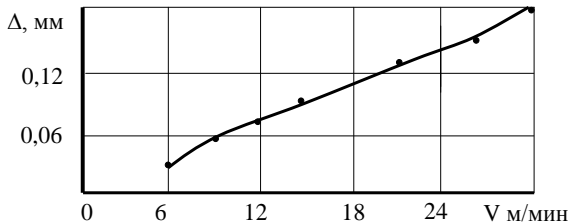


Рисунок 3.1 - Зависимость разбивки отверстий Δ от скорости резания V при сверлении

Сила, вызывающая смещение центра масс сверла:

$$F = m\omega^2 l,$$

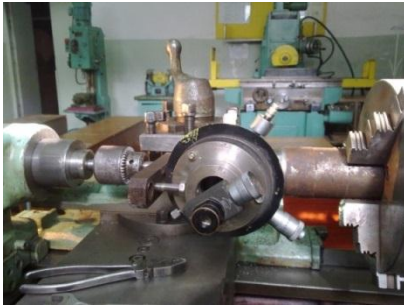
где m – масса,  $\omega$  – угловое ускорение, l – величина радиального смещения центра масс.

Аппроксимация графика (рис.3.1) позволила получить математическое выражение зависимости разбивки отверстий от скорости резания в виде:

$$\Delta = 0,0063 \cdot V^{0,99} \quad (3.1)$$

Рассчитанная по формуле (3.1) разбивка отверстия при скорости резания 4 м/мин равна 0,025 мм, что соответствует 8 качеству допуска размера отверстия, качеству допуска отверстий под выталкиватель (табл. 3.1).

Проведены исследования по определению величины нароста на уголках сверла (рис.3.4) с использованием экспериментального стенда на базе токарного станка 1К62 (рис.3.2,а) с установленным непосредственно на станке оптическим приспособлением (рис.3.2,б).

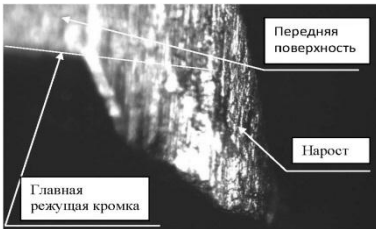


а)



б)

Рисунок 3.2 – Экспериментальный стенд - а),  
оптическое приспособление для измерения нароста - б)



Точились заготовки из стали 45 уголком спирального сверла, закрепленным в резцедержателе станка (рис.3.2,а). Измерение нароста осуществлялось непосредственно на станке, с применением оптического приспособления (рис.3.2, б).

Рисунок 3.4 - Нарост на уголке сверла

Получен график (рис.3.5), подтверждающий отсутствие нароста на низких скоростях резания

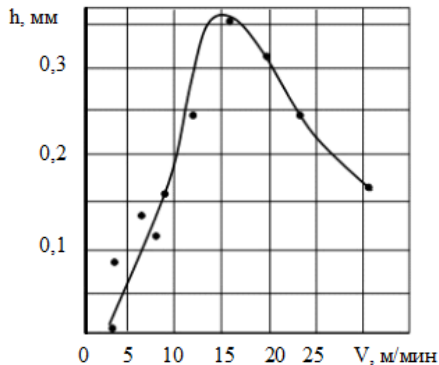


Рисунок 3.5 - Зависимость высоты нароста на уголках сверла от скорости резания

Аппроксимации вершины кривой графика (рис.3.5) позволила получить зависимость

$$h = 9,84 \cdot 10^{-6} V^{5,714} e^{-0,338V}. \quad (3.2)$$

Отношение показателей степеней зависимости (3.2) позволяет определить скорость резания соответствующую максимальному наросту  $V_{\text{nm}} = 5,714/0,338 = 16,9$  м/мин.

Правая часть графика (рис.3.5) аппроксимировалась методом наименьших квадратов уравнением прямой

$$h = 0,5532 - 0,0127V. \quad (3.3)$$

Зависимость (3.3) позволила определить максимальную скорость резания, при которой нарост исчезает равную  $V_{\text{max}} = 43,56$  м/мин. Известно, температура в зоне резания максимальной величины нароста равна  $300^{\circ}\text{C}$ , а температура в зоне резания, при которой нарост исчезает -  $600^{\circ}\text{C}$ .

Результаты представленных исследований позволили определить зависимость температуры в зоне резания от скорости резания при сверлении в виде:

$$\Theta = 37,824V^{0,7328}. \quad (3.6)$$

Рассчитанная по формуле (3.6) температура в зоне резания при минимальной скорости резания, на которой нарост отсутствовал (рис. 3.5) равна  $92,7^{\circ}\text{C}$ .

Анализ априорной информации (рис. 3.6), показывает снижение прочности и увеличение пластичности углеродистых конструкционных сталей при температуре менее  $200^{\circ}\text{C}$ . На скоростях резания меньших 6

м/мин (0,1 м/с) температура в зоне резания не превышает 200°C (500°K) (рис. 3.8).

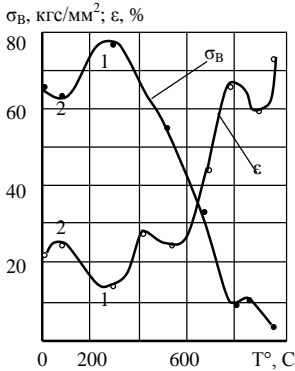


Рисунок 3.6 - Зависимость прочности -  $\sigma_B$  и пластичности-  $\epsilon$  от температуры при обработке конструкционных сталей

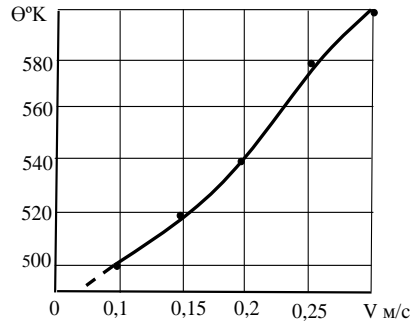


Рисунок 3.8 - Зависимости температуры резания от скорости резания при точении конструкционной углеродистой стали резами из быстрорежущей стали

Проведены исследования, подтверждающие тенденцию уменьшения прочности конструкционных сталей на температурах меньших 200°C (рис.3.7).

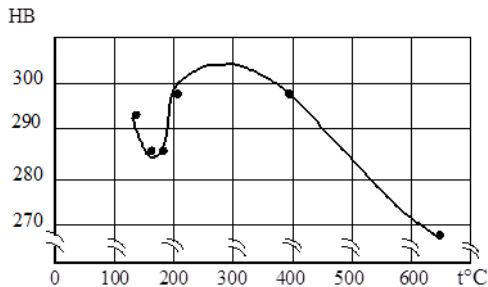


Рисунок 3.7 - Зависимость твердости заготовки из стали 45 от температуры

Результаты представленных выше исследований подтверждают гипотезу об аналогичном воздействии низких и высоких скоростей резания на пластичность и жесткость конструкционных сталей, что обосновывает возможность повышения качества отверстий

обработанных спиральными сверлами на скоростях резания, меньших 6 м/мин.

**Влияние параметров режима резания и осевого биения режущих кромок на показатели качества просверленных отверстий**

Испытания сверл нормальной точности классов В и В1 показали, что параметры режима резания не оказывают влияния на разбивку отверстий, не превышающую 13 квалитет допуска.

Испытания сверл повышенной точности класса А1 показали, что параметры режима резания оказывают существенное влияние на разбивку отверстий, которая не превысила 9 квалитет допуска (рис.3.14, рис.3.15).

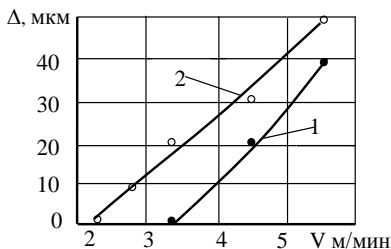


Рисунок 3.15 – Зависимость отверстий от скорости резания при сверлении сверлами повышенной точности класса А1: 1 – подача 0,2 мм/об, 2 – 0,25 мм/об.

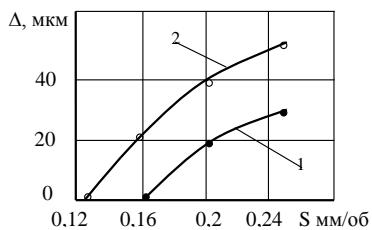


Рисунок 3.14 – Зависимость разбивки отверстий от подачи при сверлении сверлами повышенной точности класса А1: 1 – скорость резания 4,32 м/мин, 2 – 5,53 м/мин

Характер влияния осевого биения режущих кромок на разбивку просверленных отверстий, представлен на рисунке 3.17.

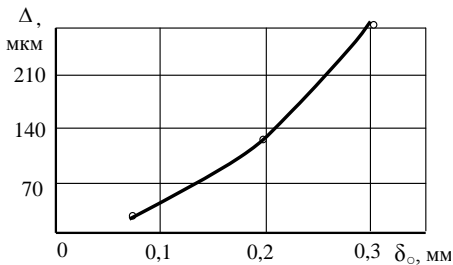


Рисунок 3.17 – Зависимость разбивки отверстий от осевого биения режущих кромок на V = 4,32 м/мин и S = 0,2 мм/об

В таблице 3.10 представлены результаты испытаний влияния осевого биения режущих кромок на шероховатость поверхности отверстий.

Таблица 3.10 – Шероховатость поверхности отверстий при сверлении сверлами нормальной точности классов В и В1 и повышенной точности класса А1

V, м/мин	$\delta_o$ , мм	S, мм/об						Ra ср, мм
		0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25	
		Ra, мкм						
4,32	0,3		13,3	13,8	14,1	12,5	12,9	13,33
5,53		13,5	12,9	14,6	12,5	12,7	13,9	
4,32	0,2		6,3	5,0	7,2	4,5	5,5	5,59
5,53		4,3	6,2	6,0	5,1	6,2	5,2	
4,32	0,08		0,68	0,71	0,43	0,63	0,76	0,65
5,53		0,62	0,86	0,64	0,44	0,65	0,67	

В таблице 3.10 видно, что шероховатость поверхности отверстий значительно зависит от качества изготовления и заточки сверл, поэтому для оценки наличия значимой корреляционной связи между параметрами режима резания и шероховатостью поверхности просверленных отверстий использовались значения шероховатости при обработке сверлами повышенной точности класса А1 (табл.3.19).

Таблица 3.19 - Корреляция между параметрами режима резания и шероховатостью поверхности отверстий,  $r$  – коэффициент корреляции

S, мм/об	связь V- Ra		V, м/мин	связь S - Ra	
	$r$			$r$	
0,2	0,41	не значим	4,32	0,19	не значим
0,25	0,66	не значим	5,53	-0,175	не значим

В таблице 3.19 видно при работе сверлами повышенной точности класса А1 имеет место не значимая связь между шероховатостью поверхности скоростью резания и подачи.

Характер влияния осевого биения режущих кромок на шероховатость поверхности отверстий показывает, что зависимость шероховатости поверхности просверленных отверстий от осевого биения режущих кромок выражена явно и корреляционной оценки не требует (рис. 3.18).

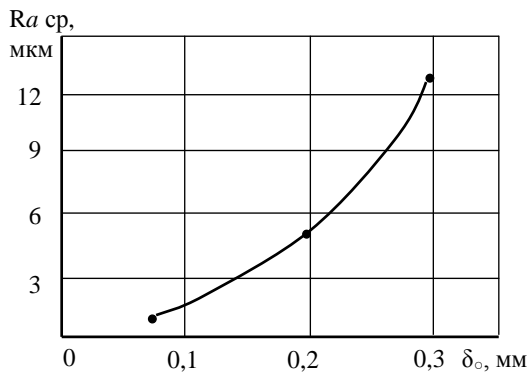


Рисунок 3.18 – Зависимость шероховатости поверхности обработанных отверстий от осевого биения режущих кромок

Характер влияния подачи (рис.3.19) и осевого биения режущих кромок (рис.3.20) на перпендикулярность оси отверстий

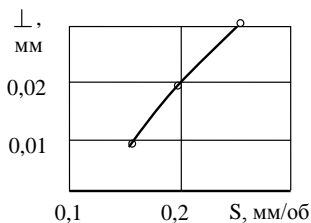


Рисунок 3.19 – Зависимость перпендикулярности оси отверстий от подачи на скорости резания 4,32 м/мин сверла повышенной точности класса А1

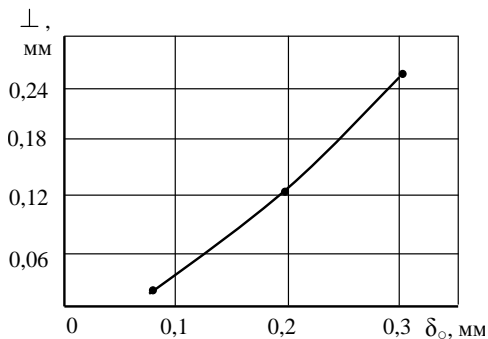


Рисунок 3.20 – Зависимость перпендикулярности оси отверстий от осевого биения режущих кромок сверл на  $V = 4,32$  м/мин и  $S = 0,2$  мм/об

### Разработка эмпирической модели

В результате аппроксимации кривой 1, рисунка 3.14 получена зависимость разбивки отверстий от скорости резания

$$\Delta = 0,33V^{2,8}. \quad (3.9)$$



В результате аппроксимации кривой 1, рисунка 3.15 получена зависимость разбивки отверстий от подачи

$$\Delta = 391S^{1,8475}. \quad (3.10)$$

Применение разработанной методики к зависимостям (3.9) и (3.10) позволило получить зависимость разбивки отверстий от скорости резания и подачи в виде:

$$\Delta = 6,5V^{2,8}S^{1,8475}. \quad (3.11)$$

В результате аппроксимации графической зависимости, представленной на рисунке 3.17 получено ее математическое выражение

$$\Delta = 3588,81\delta_0^{2,0524}. \quad (3.12)$$

Применение разработанной методики к зависимостям (3.11) и (3.12) позволило получить объединенную зависимость для расчета разбивки обрабатываемых отверстий, учитывающую параметры режима резания и осевое биение режущих кромок в виде:

$$\Delta = 1167,168\delta_0^{2,0524}V^{2,8}S^{1,8475}. \quad (3.13)$$

В результате аппроксимации графической зависимости, представленной на рисунке 3.18 получено ее математическое выражение, имеющее вид:

$$Ra = 221,407\delta_0^{2,30324}. \quad (3.14)$$

В результате аппроксимации графической зависимости, представленной на рисунке 3.19 получено математическое выражение

$$\perp = 0,3879S^{1,8427}. \quad (3.15)$$

В результате аппроксимации графической зависимости, представленной на рисунке 3.20 получено математическое выражение

$$\perp = 3,0219\delta_0^{1,9896}. \quad (3.16)$$

Применение разработанной методики к зависимостям (3.15) и (3.16) позволило получить зависимость перпендикулярности оси отверстий от осевого биения режущих кромок и подачи в виде:

$$\perp = 58,49\delta_0^{1,9896}S^{1,8427}. \quad (3.17)$$

Погрешность расчетов по зависимостям (3.13), (3.14) и (3.17) не превысила 3%, что подтверждает высокую степень адекватности полученных зависимостей экспериментальным данным.

Представленные выше результаты представляют эмпирическую модель (3.18), позволяющую с высокой степенью точности рассчитать показатели качества отверстий, обработанных спиральными сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой режущих элементов.

$$\begin{cases} \Delta = 1167,168 \delta_0^{2,0524} V^{2,8} S^{1,8475} \\ Ra = 221,407 \delta_0^{2,30324} \\ \perp = 58,49 \delta_0^{1,9896} S^{1,8427} \end{cases}, \quad (3.18)$$

В таблице 3.31 представлены показатели качества отверстий, просверленных сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой режущих элементов, рассчитанные по модели (3.18).

Таблица 3.31- Показатели качества просверленных отверстий сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой режущих элементов

V, м/мин	S, мм/об	Δ, мкм	Ra, мкм	⊥, мм
4,32	0,2	20	0,66	0,02
5,53	0,2	40	0,66	0,02

В таблице 3.31 видно, отверстия, просверленные сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой режущих элементов, соответствуют 8-9 качеству допуска отверстий, полученными точным развертыванием. Это позволяет исключить следующие технологические переходы обработки отверстий: рассверливание, черновое и чистовое зенкерование и нормальное развертывание

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные выводы и практические рекомендации

1. Разработана методология, объединяющая взаимосвязанные последовательные методы, способы постановки и проведения исследований повышения качества отверстий, обработанных стандартными быстрорежущими спиральными сверлами и обработки их результатов.

2. Разработаны условия обработки сверлением позволяющие получить показатели качества просверленных отверстий соответствующие качеству отверстий при нормальном развертывании, а именно: скорость резания 5,53 и 4,32 м/мин, подачи 0,2 и 0,25 мм/об, при сверлении быстрорежущими спиральными сверлами повышенной точности класса А1 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, имеющих осевое биение режущих кромок не более 0,06 мм.

3. Определен характер влияния условий обработки на показатели качества просверленных отверстий в виде эмпирических табличных и графических зависимостей технологического допуска от осевого биения режущих кромок и параметров режима резания, шероховатости поверхности от осевого биения режущих кромок и перпендикулярности оси отверстий от осевого биения режущих кромок и подачи.

4. Разработана эмпирическая модель отражающая характер влияния параметров режима резания и осевого биения режущих кромок на показатели качества просверленных отверстий, позволяющая получить обработкой сверлением отверстия соответствующие 8-9 качеству допуска, шероховатости поверхности менее 0,08 мкм и перпендикулярности оси отверстий 0,02 мм. Это позволяет исключить несколько технологические переходов обработки отверстий.

#### **Практические рекомендации**

1. Для контроля симметричности расположения режущих кромок относительно оси рабочей части сверла использовать не допуск биения, проверяемый посередине режущих кромок в направлении перпендикулярном режущей кромке, а осевое биение режущих кромок, проверяемое посередине режущей кромки в направлении параллельном оси рабочей части сверла.

2. Допуск осевого биения режущих кромок для всех классов точности сверл не должен быть более половины подачи на оборот сверла.

3. Для обработки отверстий сверлением использовать сверла повышенной точности класса А1 по ГОСТ 10903-77 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, у которых осевое биение режущих кромок не превышает 0,06 мм.

4. Использовать следующие параметры режима резания: скорость резания 4,32 - 5,56 м/мин, подача 0,2- 0,25 мм/об.

5. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс, используются при проведении лекций, лабораторных и практических занятий на кафедре Технологии машиностроения КГТУ им. И. Раззакова. Приняты к внедрению на предприятии ОсОО «Алаташ».

#### **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1. **Айнабекова, А.А.** Анализ способов определения скорости резания, соответствующей максимальной стойкости спиральных сверл [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - 2013. - № 29. - С. 144-147.

2. **Айнабекова, А.А.** Влияние скорости резания на наличие и высоту нароста при сверлении быстрорежущими спиральными сверлами

[Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, С.В. Нарыжный // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - 2013. - № 29. - С. 137-141.

3. **Айнабекова, А.А.** Анализ зависимости стойкости быстрорежущих спиральных сверл от качества заточки [Текст] / А.А. Айнабекова, В.А. Самсонов // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - 2015. - № 1 (34). - С. 159-164.

4. **Айнабекова, А.А.** Определение закономерностей влияния погрешностей заточки спиральных сверл на их стойкость [Текст] / Н.А. Рагрин, В.А. Самсонов, А.А. Айнабекова // Технология машиностроения. - 2015. - № 7. - С. 27-31.

5. **Айнабекова, А.А.** Закономерности повышения качества поверхности отверстий, обработанных сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2017. - Т. 17. № 1. - С. 92-94.

6. **Айнабекова, А.А.** Повышение стойкости спиральных сверл путем заточки задних поверхностей режущих лезвий Н.А. Рагрин, В.А. Самсонов, А.А. Айнабекова Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2017. - Т. 17. № 5. - С. 95-96.

7. **Айнабекова, А.А.** Научные основы повышения качества поверхности обработанной быстрорежущими спиральными сверлами [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева. // Технология машиностроения. - 2017. - № 5. - С. 13-16.

8. **Айнабекова, А.А.** Разработка и обоснование закономерностей повышения показателей качества отверстий обработанных сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. 2018. № 2 (46). С. 77-89.

9. **Айнабекова, А.А.** Разработка математической модели повышения показателей качества отверстий, обработанных сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова. // Научная мысль. 2018. № 1. С. 49-61.

10. **Айнабекова, А.А.** Разработка и обоснование закономерностей повышения показателей качества отверстий, обработанных сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабеков, У.М. Дыйканбаева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. 2018. № 49. С. 77.

11. **Айнабекова, А.А.** Методы повышения качества отверстий, обработанных спиральными сверлами [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, И.А. Родин // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2018. - Т. 18. № 12. - С. 65-68.

12. **Айнабекова, А.А.** Разработка путей и методов повышения качества отверстий при сверлении [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А.

Айнабекова, А.О. Озгонбеков // Технология машиностроения. - 2018. - № 6. - С. 10-15.

13. **Айнабекова, А.А.** Разработка закономерностей влияния погрешностей заточки спиральных сверл на качество просверленных отверстий [Текст] / Н.А. Рагрин., А.А. Айнабекова // Технология машиностроения. - 2018. - № 8. - С. 40-47.

14. **Айнабекова, А.А.** Повышение стойкости сверл и качества отверстий [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.С. Бакыт // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2020. - Т. 20. № 4. - С. 47-50.

15. **Айнабекова, А.А.** Повышение качества поверхностного слоя отверстий [Текст] / Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2021. - Т. 21. № 12. - С. 112-118.

16. **Айнабекова, А.А.** Повышение качества поверхностного слоя отверстий при обработке сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Машиноведение. - 2021. - № 2 (14) – С. 76-82.

17. **Айнабекова, А.А.** Разработка модели упрочнения поверхностного слоя отверстий сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Технология машиностроения. – 2022, № 6 (240). - С. 11-15.

18. **Айнабекова, А.А.** Разработка и обоснование закономерностей повышения качества обработки отверстий спиральными сверлами [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, Доргоев Б. Б. // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2022. - Том 22, № 8 - С. 127-132.

19. **Айнабекова, А.А.** Научные основы упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий [Текст] / Н. А. Рагрин У. М. Дыйканбаева, А. А. Айнабекова, Д. М. Курганова // Технология машиностроения. – 2022. - № 12 (246). - С. 21-26.

20. **Айнабекова, А.А.** Разработка основ повышения качества отверстий обработанных стандартными спиральными сверлами [Текст] / Н. А. Рагрин, А. А. Айнабекова, У. М. Дыйканбаева. // Технология машиностроения. - 2023. - № 1 (247). - С. 2-12.

21. Пат. Кыргызская Республика, № 265. Сверло [Текст] / Н.А. Рагрин, А. А. Айнабекова // Кыргызпатент, заявл. 20180010.2, опубл. 31.07.2019. Бюл. № 7.

## **РЕЗЮМЕ**

**диссертации Айнабековой Айнур Алмановны на тему: «Разработка методов и рекомендаций по повышению качества обработки отверстий спиральными сверлами» на соискание ученой**

**степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения**

**Ключевые слова:** разработка, сверло, качество допуска, шероховатость поверхности, перпендикулярность, разбивка отверстия, аппроксимация, исследование.

**Объектом исследования** являются технологические процессы обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами.

**Предметом исследования** являются разработка методов повышения качества обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, обеспечивающие снижение трудоемкости обработки отверстий.

**Целью работы** является разработка методов повышения точности размера и шероховатости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами для снижения трудоемкости обработки изделий машиностроения.

**Методы исследования и аппаратура.** Методика исследований базируется на использовании основ технологии машиностроения и теории резания металлов. Исследования проводились на специально оборудованных стендах на базах станков 675П, 1К62 с использованием современных приборов и аппаратуры для контроля результатов. Результаты исследований обрабатывались методами аппроксимации, математической статистики, теории корреляции и регрессионного анализа.

**Полученные результаты и их новизна:** экспериментально определен и научно обоснован характер зависимостей точности размера, перпендикулярности оси и шероховатости поверхности просверленных отверстий от параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл, получена эмпирическая модель, отражающая характер этой зависимости, предложена заточка режущих элементов сверл (патент №265 - Кыргызпатент).

**Степень использования.** Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс, используются при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий на кафедре «Технология машиностроения» КГТУ им. И Раззакова. Приняты к внедрению в производство на предприятии ОсОО «Алаташ».

**Область применения.** Машиностроение, обработка отверстий резанием быстрорежущими спиральными сверлами.