УДК: 621.951.45

# ТЕХНИКАЛЫК ЭКСПЕРИМЕНТТЕРДИН САПАТЫН ЖОГОРУЛАТУУНУН СТАТИСТИКАЛЫК УСУЛДАРЫНЫН НЕГИЗДӨӨ

# ОБОСНОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

# JUSTIFICATION OF STATISTICAL METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF TECHNICAL EXPERIMENTS

***Н. А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, Д.М. Курганова***
***N. A. Ragrin, U.M. Dyikanbaeva D.M. Kurganova***

*Кесүү жолу менен катуу материалда көзөнөктөрдү чыгаруунун бардык технологиялык ыкмаларынын ичинен бургулоо - бул аспаптын бир өтүүсүндө көзөнөк алууга мүмкүндүк берген жалгыз ыкма. Маалым болгондой, иштетилүүчү бетинен материалдын белгилүү бир катмарын алып салуу менен кесүү процесси жупташуу менен тийимдүү сүрүлүү учурунда кайра иштетилген беттин сапаттык көрсөткүчтөрүнө терс таасирин тийгизген чыңалуунун калдыктары бар катуулугу төмөндөтүлгөн беттик катмардын пайда болушуна алып келет. технологиялык жабдуулардын тетиктери. Кесүүчү беттердин катуулугун жогорулатуунун иштеп жаткан технологиялык ыкмалары аларды кичинекей диаметрдеги көзөнөктөр үчүн колдонууга мүмкүндүк бербейт. Бургулоо менен иштетилген материалдын баштапкы катуулугунан ашкан катуулугу менен иштетилген бетти алууга мүмкүндүк берерин көрсөтүп турат, бул бургулоодон кийин беттик катмарда кысуу чыңалууларынын бар экендигин көрсөтөт. Иш техникалык эксперименттердин сапатын жогорулатуунун статистикалык ыкмаларын негиздейт жана бул усулдарды колдонуунун оң натыйжаларын тастыктаган техникалык сыноолордун натыйжаларын берет.*

*Из всех технологических способов получения отверстий в сплошном материале резанием сверление является единственным способом, позволяющим получить отверстие за один проход инструмента. Известно, что обработка резанием с удалением определенного слоя материала с обрабатываемой поверхности приводит к образованию поверхностного слоя пониженной твердости с растягивающими остаточными напряжениями, отрицательно влияющими на качественные показатели обработанной поверхности при контактном трении с сопрягаемыми деталями*

*технологической оснастки. Существующие технологические способы повышения твердости поверхностей обработанных резанием методом наклепа не позволяют применить их для отверстий небольшого диаметра. В работе показано, что сверление позволяет получить обработанную поверхность с твердостью, превышающей исходную твердость обрабатываемого материала, что говорит о наличии сжимающих напряжений в поверхностном слое после обработки сверлением. В работе обоснованы статистические способы повышения качества технических экспериментов и приведены результаты технических испытаний, подтверждающие положительные результаты применения этих способов.*

*Of all the technological methods for producing holes in solid material by cutting, drilling is the only method that allows producing a hole in one pass of the tool. It is known that machining with the removal of a certain layer of material from the surface being machined leads to the formation of a surface layer of reduced hardness with tensile residual stresses that negatively affect the quality indicators of the machined surface during contact friction with the mating parts of the technological equipment. Existing technological methods for increasing the hardness of machining surfaces by cutting using the cold working method do not allow them to be used for small diameter holes. The paper shows that drilling allows obtaining a machined surface with a hardness exceeding the initial hardness of the material being machined, which indicates the presence of compressive stresses in the surface layer after machining by drilling. The paper substantiates statistical methods for improving the quality of technical experiments and presents the results of technical tests confirming the positive results of using these methods.4*

***Түйүн сөздөр****: бургулоо; жылышуу; дисперсия; орточо; талдоо; фактор; статистика.*

***Ключевые слова:*** *сверло; подача; дисперсия; среднее; анализ; фактор; статистика*

***Key words****: drill; feed; dispersion; average; analysis; factor; statistics.*

## Введение

Отличительной чертой технических исследований является небольшой объем выборки по причине высокой трудоемкости испытаний. Уменьшение объема выборки влечет за собой увеличение влияния погрешностей измерения на главные характеристики результатов испытаний: дисперсию и среднее. Дисперсия является качественным показателем результатов испытаний, поэтому дисперсионный анализ служит основным статистическим методом оценки качества методики испытаний. Среднее является количественной

оценкой результатов испытаний, величина которой считается основной количественной оценкой положительного результата испытаний. Дисперсия и среднее вкупе выступают оценкой результатов дисперсионного анализа. Чем меньше дисперсия, тем выше качество результатов испытаний, тем меньше их рассеяние и выше значимость среднего. В то же время уменьшение выборки приводит к увеличению степени влияния погрешности измерений на дисперсию и среднее. Первым статистическим методом оценки и повышения качества измерений и качества технических испытаний в целом является критерий Граббса, который позволяет оценить и исключить грубые погрешности измерений. Целью настоящих исследований является обоснование методов статистической оценки результатов измерений, повышающих качество технических исследований.

**Анализ проблемы**

Известно, дисперсия $s$ является квадратом среднего квадратического отклонения:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \overline{x}\right)}{n-1}}. \qquad (1)$$

Из зависимости (1) видно, что с уменьшением величины выборки $n$ влияние погрешности измерений на среднее квадратическое отклонение значительно возрастает и возрастает значимость критерия Граббса, определяющего грубые погрешности измерений для их исключения.

Критерий Граббса действует с учетом того, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению. Стандарт [1] регламентирует метод оценки нормальности распределения для числа измерений $15 < n \le 50$. Однако стандарт [1] допускает уменьшение выборки, если известно, что она принадлежит нормальному распределению. Поэтому стандарт [1 приложение А] приводит критические значения для критерия Граббса при величине выборки $n$ от трех и выше. В работе [2] проведена проверка по методике стандар-

та [1], которая подтвердила нормальность распределения результатов измерений, используемых в настоящей работе.

Исходя из вышеизложенного и в соответствии с целью исследований, определились задачи исследований.

Обосновать применение критерия Граббса для повышения качества дисперсионного анализа результатов технических исследований.

**Методы исследований**

Сверлились сквозные отверстия глубиной, равной трем диаметрам сверла в заготовках из стали 45 твердостью 180НВ спиральными сверлами диаметром 11 мм класса точности А1 с коническим хвостовиком на фрезерном станке повышенной точности мод. 675П. Твердость обработанной поверхности измерялась на установке Роквела (рис. 1) в единицах HRC. Для обеспечения возможности применения индентора с алмазным наконечником для измерения твердости обработанной поверхности просверленные заготовки фрезеровались в плоскостях, параллельных продольным осям каждого ряда отверстий [2].

Рисунок 1 – Измерение твердости обработанной поверхности

Степень наклепа определялась по формуле (1) [3]:

$$\Delta H = \frac{HRC_{on} - HRC_{исх}}{HRC_{исх}} 100\ \%, \qquad (1)$$

где $HRC_{on}$ – твердость обработанной поверхности; $HRC_{исх}$ – исходная твердость материала заготовок.

Авторы работы [4] приводят результаты исследований влияния режима резания при сверлении на твердость обработанной поверхности, на основании которых делают вывод, что основное влияние

на твердость обработанной поверхности при сверлении конструкционных сталей спиральными сверлами оказывает подача. Поэтому в настоящих исследованиях переменным независимым фактором была принята подача, величины которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость степени наклепа от подачи

| $S$, мм/об | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ |
| 0,1 | 0,13 | 0,16 | 0,2 | 0,25 |
| $\Delta H$ | | | | |
| 72,5 | 28,75 | 22,5 | 25,0 | 96,25 |
| 11,25 | 26,25 | 31,25 | 131,25 | 55,0 |
| 58,75 | 15,0 | 118,75 | 41,25 | 208,75 |
| 67,5 | 12,5 | 15 | 43,75 | 46,75 |
| 11,6 | 48,75 | 11,2 | 71,25 | 110,0 |

Критерии Граббса вычисляются по формулам:

$$G_1 = \frac{\left|\Delta H_{\max} - \overline{\Delta H}\right|}{s}, \quad G_2 = \frac{\left|\overline{\Delta H} - \Delta H_{\min}\right|}{s},$$

где $\Delta H_{\max}$ и $\Delta H_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значения степени наклепа при определенном значении подачи $S$.

Результаты вычислений $G_1$ и $G_2$ сравниваются с критическими значениями для критерия Граббса $G_{\text{Т}}$, представленными в таблице приложения А [1]. Если $G_1 > G_{\text{Т}}$ $\Delta H_{\max}$ исключают, если $G_2 > G_{\text{Т}}$ $\Delta H_{\min}$ исключают, как грубые погрешности измерений. Затем вновь вычисляют среднее и среднее квадратическое отклонение этого ряда измерений результата эксперимента и процедуру проверки наличий грубых погрешностей измерений повторяют. Если $G_1 < G_{\text{Т}}$, то $\Delta H_{\max}$ не считают промахом в ряду измерений результата эксперимента. Если $G_2 < G_{\text{Т}}$, то $\Delta H_{\min}$ не считают промахом в ряду измерений результата эксперимента.

В таблице 2 видно, что исключение наибольших значений измерений, являющихся промахами, существенно влияет на уменьше-

ние среднего и среднего квадратического отклонения. Среднее квадратическое отклонение в общем случае уменьшилось на 37,77%.

Таблица 2 – Результаты исключения промахов

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\overline{\Delta H}$ до исключения промахов | | | | |
| 33,5 | 28,8 | 33,8 | 51,22 | 86,25 |
| $\overline{\Delta H}$ после исключения промахов | | | | |
| 33,5 | 28,8 | 15,85 | 43,57 | 67,83 |
| *s* до исключения промахов | | | | |
| 30,54 | 21,15 | 38,28 | 35,78 | 56,17 |
| *s* после исключения промахов | | | | |
| 30,54 | 21,15 | 10,68 | 21,53 | 31,93 |
| % увеличения $\Delta H$ | | | | |
| | | 53,1 | 17,87 | 21,35 |
| % уменьшения *s* | | | | |
| | | 72,1 | 16,999 | 24,24 |

Очевидно, что при исключении наименьших значений измерений среднее будет расти, тогда как среднее квадратическое отклонение будет продолжать уменьшаться. Это значит, что критерий Граббса, исключающий грубые погрешности измерений, всегда благоприятно действует в отношении качества методов испытаний.

Исключение промахов позволяет провести дисперсионный анализ, цель которого определить наличие или отсутствие влияния факторов на дисперсию. Наличие такого влияния недопустимо, т.к. говорит о недопустимо низком качестве методики испытаний. Для проверки этого выдвигается гипотеза о принадлежности выборочных дисперсий одной генеральной дисперсии. Проверка проводится с помощью критерия Фишера, используются критические точки распределения Фишера. Оценивается соотношение выборочных дисперсий $\frac{s_1^2}{s_2^2}$ по таблицам критических точек распределения Фишера $F_{1-p}$ в зависимости от уровня значимости, при этом в числителе

ставится большая из сравниваемых дисперсий. Если $\frac{s_1^2}{s_2^2} \le F_{1-p}$, то влияние фактора можно считать незначительным, т.е. обе выборочные дисперсии принадлежат одной генеральной дисперсии. Критические точки распределения Фишера при уровне значимости 0,05 приведены в таблице VII Приложения [5].

Дисперсионный анализ (таблицы 3 и 4) показал, что до исключения промахов наблюдается влияние подачи на выборочные дисперсии, что недопустимо, т.к. ставит под сомнение качество методики испытаний.

Таблица 3 – Проверка выборочных дисперсий до исключения промахов

| $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ |
|---|---|---|---|---|
| 0,1 | 0,13 | 0,16 | 0,2 | 0,25 |
| Выборочные дисперсии $s^2$ | | | | |
| $(30,54)^2$ | $(21,15)^2$ | $(38,28)^2$ | $(35,78)^2$ | $(56,17)^2$ |
| Число степеней свободы n-1 | | | | |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Отношение дисперсий | | | | |
| $\frac{s_{S1}^2}{s_{S2}^2}$ =2,08 | $\frac{s_{S3}^2}{s_{S1}^2}$ =1,57 | $\frac{s_{S4}^2}{s_{S1}^2}$ =1,37 | $\frac{s_{S5}^2}{s_{S1}^2}$ =3,38 | $\frac{s_{S3}^2}{s_{S2}^2}$ =3,27 |
| Критические точки распределения Фишера | | | | |
| 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 |
| Отношение дисперсий | | | | |
| $\frac{s_{S4}^2}{s_{S2}^2}$ =2,86 | $\frac{s_{S5}^2}{s_{S2}^2}$ =7,05 | $\frac{s_{x3}^2}{s_{x4}^2}$ =1,14 | $\frac{s_{x5}^2}{s_{x3}^2}$ =2,15 | $\frac{s_{x5}^2}{s_{x4}^2}$ =2,46 |
| Критические точки распределения Фишера | | | | |
| 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 |

После исключения промахов на всех подачах, без исключения, выборочные дисперсии принадлежат одной генеральной дисперсии. Т.е. проверка результатов измерений критерием Граббса повышает качество технических исследований.

Таблица 4 – Проверка выборочных дисперсий после исключения промахов

| $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ |
|---|---|---|---|---|
| 0,1 | 0,13 | 0,16 | 0,2 | 0,25 |
| Выборочные дисперсии $s^2$ | | | | |
| $(30,54)^2$ | $(21,15)^2$ | $(10,68)^2$ | 21,53 | $(31,93)^2$ |
| Число степеней свободы n-1 | | | | |
| 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Отношение дисперсий | | | | |
| $\frac{s_{S1}^2}{s_{S2}^2}$ =2,08 | $\frac{s_{S1}^2}{s_{S3}^2}$ =8,17 | $\frac{s_{S1}^2}{s_{S4}^2}$ =2,01 | $\frac{s_{S5}^2}{s_{S1}^2}$ =1,09 | $\frac{s_{S2}^2}{s_{S3}^2}$ =3,92 |
| Критические точки распределения Фишера | | | | |
| 6,4 | 9,1 | 9,1 | 6,6 | 9,1 |
| Отношение дисперсий | | | | |
| $\frac{s_{S4}^2}{s_{S2}^2}$ =1,04 | $\frac{s_{S5}^2}{s_{S2}^2}$ =8,93 | $\frac{s_{x4}^2}{s_{x3}^2}$ =4,06 | $\frac{s_{x5}^2}{s_{x3}^2}$ =8,94 | $\frac{s_{x5}^2}{s_{x4}^2}$ =2,2 |
| Критические точки распределения Фишера | | | | |
| 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 |

**Выводы**

1. Применение критерия Граббса для оценки результатов технических экспериментов позволяет уменьшить среднее квадратическое отклонение.

2. До применения критерия Граббса наблюдается влияние фактора на выборочные дисперсии, после применения критерия Граббса все выборочные дисперсии стали принадлежать одной генеральной дисперсии, влияние фактора было исключено.

3. Применение критерия Граббса для проверки результатов измерений повышает качество технических исследований.

**Литература**

1. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. – М.: Стандартинформ, 2013. – 19 с.
2. Рагрин Н.А., Дыйканбаева У.М., Курганова Д.М. Обеспечение качества поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлением // Вестник КРСУ. – Бишкек: Изд-во КРСУ. – Т. 22. № 4. – С. 179–185.

3. Рагрин Н. А., Дыйканбаева У.Д., Айнабекова А. А., Курганова Д.М. Повышение качества поверхностного слоя отверстий при обработке сверлением//Машиноведение. – Бишкек: ИМАНАН КР, 2021. – № 2 (14). – С. 76–82.
4. Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева. Разработка физических закономерностей влияния условий обработки спиральными сверлами на твердость поверхности просверленных отверстий // Технология машиностроения. – 2023. – №10. – С. 20–26.
5. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М., 1968. – 288 с.