

УДК: 621.951.45

**ТЕХНИКАЛЫК ИЗИЛДӨӨЛӨРДҮН
ЖЫЙЫНТЫКТАРЫНЫН САНДЫК БААЛООГО ГРАББС
КРИТЕРИЯСЫНЫН ТААСИРИН НЕГИЗДЕҮҮ**

**ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИТЕРИЯ ГРАББСА НА
КОЛИЧЕСТВЕННУЮ ОЦЕНКУ РЕЗУЛЬТАТОВ
ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE GRUBBS
CRITERION ON THE QUANTITATIVE ASSESSMENT
OF THE RESULTS OF TECHNICAL RESEARCH**

Н. А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, Д.М. Курганова, Д.К. Орозакунов
N. A. Ragrin, U. M. Dykanbaeva, D.M. Kurganova, D.K. Orozakunov

Кесүү жолу менен иштетилген тетиктердин беттик катмары-нын бекемдигин жогорулатуу үчүн колдонулган катуулануунун техно-логиялык ыкмалары белгилүү. Бирок, колдонулуп жаткан муздак ка-туулануу ыкмалары салыштырмалуу кичинекей диаметри көзөнөктөрдүн бетинин эскирүү туруктуулугун жогорулатуу үчүн аларды колдонууга мүмкүндүк бербейт. Мындай көзөнөктөрдүн тийимдүү беттеринин эскиришинин натыйжасында технологиялык жабдуулардын туруктуулугун төмөндөтөт. Кичине диаметрдеги көзөнөктөрдүн бетин бурма бургулар менен иштетүү жолу менен катуулатуунун мүмкүндүгүн ырастаган изилдөөлөрдүн белгилүү натыйжалары бар. Бирок, катаалдануунун орточо мааниси жана дисперсиялык изилдөөнүн натыйжаларын математикалык статистика-нын усулдуктары менен иштетүү сапаты, өз кезегинде, эксперименттик натыйжаларды өлчөө сапатына көз каранды. Өлчөө на-тыйжаларынын сапатын жакшыртуу үчүн Граббс критерийи колдо-нулат. Иш Граббс критерийинин техникалык эксперименттердин натыйжаларын сапат-тык жана сандык баалоого тийгизген таасирин көрсөтөт. Дисперсиялык анализдин натыйжаларынын Граббс критерийине көз карандылыгы негиз-делген, бул бургуланган көзөнөктөрдүн бетинин орточо бекемдигине бур-гунун берүүсүнүн (жылышын) таасиринин болушун аныктоонун так-тыгын жогорула-тууга мүмкүндүк берет. Граббс критерийинин дисперси-ялык талдоонун статистикалык усулдарынын натыйжаларына оң таа-сири эксперименталдык түрдө тастыкталды.

Известны технологические методы наклепа, применяемые для повы-шения прочности поверхностного слоя деталей, обработанных резанием. Однако существующие методы наклепа не позволяют применить их для повышения износостойкости поверхности отверстий сравнительно

небольшого диаметра. Это снижает долговечность технологической оснастки в результате износа контактных поверхностей таких отверстий. Известны результаты исследований, подтверждающие возможность упрочнения поверхности отверстий небольшого диаметра обработкой спиральными сверлами. Однако средняя величина упрочнения, и дисперсия от которых зависит качество обработки результатов исследований методами математической статистики, в свою очередь во многом зависит от качества измерений результатов экспериментов. Для повышения качества результатов измерений применяют критерий Граббса. В работе показано влияние критерия Граббса на качественную и количественную оценку результатов технических экспериментов. Обоснована зависимость результатов дисперсионного анализа от критерия Граббса позволяющего повысить точность определения наличия влияния подачи на среднюю прочность поверхности просверленных отверстий. Экспериментально подтверждено положительное влияние критерия Граббса на результаты статистических методов дисперсионного анализа.

There are known technological methods of cold working applied to increase the strength of the surface layer of parts processed by cutting. However, the existing methods of cold working do not allow their use to increase the wear resistance of the surface of holes of a relatively small diameter. This reduces the service life of the technological equipment as a result of wear of the contact surfaces of such holes. There are known re-search results confirming the possibility of hardening the surface of small diameter holes by processing with spiral drills. However, the average value of hardening, and the dispersion on which the quality of processing the results of studies by methods of mathematical statistics depends, in turn largely depends on the quality of measurements of the experimental results. To improve the quality of the measurement results, the Grubbs criterion is used. The paper shows the influence of the Grubbs criterion on the qualitative and quantitative assessment of the results of technical experiments. The dependence of the results of variance analysis on the Grubbs criterion is substantiated, which allows increasing the accuracy of determining the presence of the effect of the feed on the average strength of the surface of drilled holes. The positive effect of the Grubbs criterion on the results of statistical methods of variance analysis is experimentally confirmed.

Түйүн сөздөр: Grubbs тесті; катуулануу даражасы, берүү; дисперсия; орточо.

Ключевые слова: критерий Граббса; степень наклепа; подача; дисперсия; среднее.

Key words: Grubbs criterion; degree of work hardening; feed; dispersion; average.

Введение

Технические испытания отличаются от других методов исследований небольшим объемом выборки по причине высокой трудоемкости экспериментов. От объема выборки зависит характер влияния погрешности измерений на результаты экспериментов: среднее и дисперсию. Увеличение числа погрешностей измерений, как правило, влечет за собой увеличение дисперсии, что может привести к снижению качества методов испытаний, т.к. дисперсия является качественной характеристикой результатов исследований. О влиянии погрешностей измерений на количественную характеристику результатов исследований – среднее, сделать однозначное заключение не представляется возможным. Погрешности измерений могут как увеличивать, так и уменьшать величину среднего. Однако увеличение погрешностей измерений однозначно повлияет на характер зависимости результата испытаний от фактора, влияющего на него. Это может привести к ошибочным выводам, либо к отсутствию такого влияния, либо к искажению характера такого влияния. На основании этого встает необходимость определения грубых погрешностей измерений для обоснования их исключения. Целью настоящих исследований является обоснование методов статистической оценки результатов измерений, повышающих качество технических исследований.

Анализ проблемы

Статистическим методом определения и оценки грубых погрешностей измерений, предназначенным для повышения качества результатов измерений, тем самым повышения качества технических экспериментов в целом, является критерий Граббса, который позволяет исключить грубые погрешности измерений – промахи [1].

Известно, среднее квадратическое отклонение s определяется как квадратный корень из дисперсии:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (1)$$

Из зависимости (1) видно, что уменьшение величины выборки n увеличивает среднее квадратическое отклонение, в результате чего

значимость критерия Граббса для исключения погрешностей измерений значительно возрастает.

Критерий Граббса действует только при нормальном распределении значений выборки. Стандарт [1] регламентирует возможность оценки нормальности распределения выборки величиной $15 < n \leq 50$. При этом стандарт [1] допускает возможность уменьшения величины выборки в случае наличия достоверной информации об ее нормальности. Это подтверждается приложением А [1], в котором приводятся критические значения для критерия Граббса при величине выборки n от трех измерений. В работе [2] подтверждена нормальность распределения результатов измерений, используемых в настоящей работе критериями стандарта [1].

Исходя из вышеизложенного и в соответствии с целью исследований определены задачи исследований. Обосновать применение критерия Граббса для повышения качества дисперсионного анализа, предназначенного для определения наличия влияния подачи на количественную оценку результатов исследования – среднее.

Методы исследований

Сверлились сквозные отверстия в заготовках из стали 45 180НВ спиральными сверлами диаметром 11 мм класса точности А1 с использованием станда на базе универсального фрезерного станка повышенной точности мод. 675П. Режущая часть сверл затачивалась по двухплоскостной заточке на прецизионном заточном оборудовании, в результате чего осевое биение режущих кромок сверл не превышало 0,06 мм. В работе [2] показано, что такая точность заточки режущей части сверл необходима, чтобы обеспечить возможность повышения твердости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами, в работе [2] определены условия и режимы резания, обеспечивающие такую возможность.

Твердость обработанной поверхности измерялась на установке Роквелла в единицах HRC.

Степень наклепа определялась по формуле [3]:

$$\Delta H = \frac{HRC_{on} - HRC_{исх}}{HRC_{исх}} 100 \%, \quad (2)$$

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

Авторы работы [4] приводят результаты исследований влияния скорости резания и подачи на твердость поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами. В работе сделан вывод, что при обработке конструкционных сталей спиральными сверлами основное влияние на твердость обработанной поверхности оказывает подача. Поэтому в настоящих исследованиях фактором была принята подача, значения которой и величины наклепа обработанной поверхности

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
ΔH				
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

Значение величины наклепа на каждой подаче измерялось пять раз (выборка была принята равной 5 измерениям).

Критерии Граббса вычислялись по формулам [1]

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

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_T , представленными в таблице приложения А [1]. Если $G_1 > G_T$, $\Delta H_{\max}$ исключают как промах, если $G_2 > G_T$, $\Delta H_{\min}$ исключают как промах, которыми приняты грубые погрешности измерений. Величины наклепа, оставшиеся в выборке после первого исключения промахов, используют для повторного вычисления среднего и среднего квадратического отклонения и

процедуру проверки наличия промахов повторяют до полного их исключения. Если $G_1 < G_T$, то $\Delta H_{\max}$ не считают промахом в ряду измерений результата эксперимента. Если $G_2 < G_T$, то $\Delta H_{\min}$ не считают промахом. В таблице 2 представлены максимальные и минимальные значения степени наклепа в выборке измерений на каждой подаче.

Таблица 2 – Максимальные и минимальные значения степени наклепа

S , мм/об				
S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0,1	0,13	0,16	0,2	0,25
$\Delta H_{\max}$	$\Delta H_{\max}$	$\Delta H_{\max}$	$\Delta H_{\max}$	$\Delta H_{\max}$
72,5	48,75	118,75	131,25	208,75
$\Delta H_{\min}$	$\Delta H_{\min}$	$\Delta H_{\min}$	$\Delta H_{\min}$	$\Delta H_{\min}$
11,25	12,5	11,2	41,25	46,75

В результате проверки критерием Граббса промахами оказались максимальные значения величин наклепа на подачах 0,16; 0,2 и 0,25. Повторная проверка не выявила дополнительных промахов.

В таблице 3 представлены средние значения и дисперсии до исключения промахов и после исключения промахов. В таблице 3 видно, что исключение наибольших значений измерений, являющихся промахами, существенно влияет на уменьшение среднего квадратического отклонения. Среднеквадратическое отклонение в среднем уменьшилось на 67,9%.

Очевидно, что среднее не однозначно зависит от промахов, исключение максимальных значений измерений в выборке увеличивает его, а минимальных – уменьшает, тогда как среднее квадратическое отклонение во всех случаях будет 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 результаты испытаний.

Таблица 3 – Результаты исключения промахов

$\overline{\Delta H}$ до исключения промахов				
44,32	26,25	39,74	62,50	103,35
$\overline{\Delta H}$ после исключения промахов				
44,32	26,25	19,99	45,31	77,0
s до исключения промахов				
30,43	14,39	44,83	66,99	64,70
s после исключения промахов				
30,43	14,39	8,86	19,19	30,87
% уменьшения s				
		80,2	71,3	52,3

Наличие такого влияния позволит принять положительное решение о проведении корреляционного анализа, определяющего возможность дальнейшего регрессионного анализа, статистического метода, позволяющего разработать эмпирическую модель по результатам экспериментов. Для этого определяют критерий T по зависимости [5]:

$$T_{1,2} = \frac{|\overline{\Delta H}_1 - \overline{\Delta H}_2|}{s_{1,2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (3)$$

где s определяется по формуле

$$s_{1,2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

Величина $s_{1,2}^2$ является объединенной дисперсией для двух сравниваемых выборок

$$s_{1,2}^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}.$$

После соответствующих преобразований зависимости (2) для критерия T будет рассчитываться по следующей зависимости

$$T_{1.2} = \frac{|\overline{\Delta H_1} - \overline{\Delta H_2}|}{\sqrt{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}.$$

Проверка значимости критерия $T_{1.2}$ осуществляется критическими точками $t_{кр}$ распределения Стьюдента со степенями свободы $n_1 + n_2 - 2$ при уровне значимости, равной F_{1-p} 0,05 для двухсторонней критической области по таблице 3 приложения [5]. В случае $T_{1.2} > t_{кр}$ выносится положительная оценка по наличию влияния поддач S_1 и S_2 на степени наклепа $\overline{\Delta H_1}$ и $\overline{\Delta H_2}$ соответственно. Следует отметить, положительная оценка $T_{1.2} > t_{кр}$ говорит только о наличии влияния факторов результаты эксперимента без оценки величины этого влияния.

Однако для использования критерия T обязательным условием является равенство дисперсий сравниваемых выборок, т.е. сначала необходимо проверить гипотезу о равенстве дисперсий, иначе данный метод применять нельзя. В работе [6] проведена проверка равенства дисперсий выборок, представленных в таблице 3 после исключения промахов. Проверка показала, что все выборочные дисперсии принадлежат одной генеральной дисперсии, т.е. гипотеза о равенстве дисперсий полностью подтвердилась.

Дисперсионный анализ (таблица 3 и таблица 4) показал, что до исключения промахов влияние подачи на средние степени наклепа практически отсутствует, за исключением одного критерия $T_{2.5}$, все средние степени наклепа принадлежат одному генеральному среднему. После исключения промахов три из пяти критериев указывают на наличие влияния подачи на среднюю степень наклепа, т.е. три средние степени наклепа не принадлежат одному генеральному среднему. Проверка результатов измерений критерием Граббса значительно повышает качество технических исследований. Однако результаты дисперсионного анализа указывают только на наличие влияния подачи на среднее значение степени наклепа. Для того чтобы определить степень этого влияния, необходимо провести

Таблица 3 – Результаты вычисления критерия T до исключения промахов

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0,1	0,13	0,16	0,2	0,25
$\overline{\Delta H}_1$	$\overline{\Delta H}_2$	$\overline{\Delta H}_3$	$\overline{\Delta H}_4$	$\overline{\Delta H}_5$
44,32	26,25	39,74	62,50	103,35
s_1^2	s_2^2	s_3^2	s_4^2	s_5^2
$(30,43)^2$	$(14,39)^2$	$(44,83)^2$	$(66,99)^2$	$(64,70)^2$
n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
5	5	4	4	4
$T_{1,2}$	$T_{1..3}$	$T_{1,4}$	$T_{1,5}$	$T_{2,3}$
1,2	0,57	0,55	1,83	0,68
$t_{кр}$				
2,31	2,37	2,37	2,37	2,37
$T_{2,4}$	$T_{2,5}$	$T_{3,4}$	$T_{3,5}$	$T_{4,5}$
1,19	2,62	0,56	1,96	1,0
$t_{кр}$				
2,37	2,37	2,45	2,45	2,45

Таблица 4 – Результаты вычисления критерия T после исключения промахов

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0,1	0,13	0,16	0,2	0,25
$\overline{\Delta H}_1$	$\overline{\Delta H}_2$	$\overline{\Delta H}_3$	$\overline{\Delta H}_4$	$\overline{\Delta H}_5$
44,32	26,25	19,99	45,31	77,0
s_1^2	s_2^2	s_3^2	s_4^2	s_5^2
$(30,43)^2$	$(14,39)^2$	$(8,86)^2$	$(19,19)^2$	$(30,87)^2$
n_1-1	n_2-1	n_3-1	n_4-1	n_5-1
4	4	3	3	3
$T_{1,2}$	$T_{1..3}$	$T_{1,4}$	$T_{1,5}$	$T_{2,3}$
1,2	0,9	0,056	2,17	0,97
$t_{кр}$				
2,31	2,37	2,37	2,37	2,37
$T_{2,4}$	$T_{2,5}$	$T_{3,4}$	$T_{3,5}$	$T_{4,5}$
1,7	3,29	2,47	3,54	1,74
$t_{кр}$				
2,37	2,37	2,45	2,45	2,45

корреляционный анализ. Результаты дисперсионного анализа указывают на необходимость проведения корреляционного анализа.

Выводы

1. До применения критерия Граббса наблюдается отсутствие влияния фактора на средние значения степени наклепа, после применения критерия Граббса три из пяти средних значения степени наклепа не принадлежат генеральному среднему, что указывает на наличие влияния подачи на них. Это определяет необходимость проведения корреляционного анализа для определения степени этого влияния.

2. 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: ИМА НАН 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.
6. Рагрин Н. А., Дыйканбаева У. Д., Курганова Д. М. обоснование статистических методов повышения качества технических экспериментов // Машиноведение. – Бишкек: ИМАГ НАН КР, 1 (19), 2024. – С. 103 – 111.