

A study of the robustness of the process quill geometry measurement devices "PACKER"

Vysotskaya M.¹, Dmitriev A.² (Russian Federation)

Исследование робастности процесса измерения геометрии пиноли приспособления «ПАКЕР»

Высоцкая М. В.¹, Дмитриев А. Я.² (Российская Федерация)

¹Высоцкая Мария Владимировна / Vysotskaya Maria – аспирант,
направление подготовки: управление в технических системах;

²Дмитриев Александр Яковлевич / Dmitriev Alexander - кандидат технических наук, доцент,
кафедра производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении,

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, г. Самара

Аннотация: исследована деталь «пиноль» приспособления «ПАКЕР», с помощью таких методов как: теория вероятности и математическая статистика, робастное проектирование и оптимизация. Получены устойчивые характеристики измерительной системы, и приведен пример анализа измерительных систем.

Abstract: the detail of "quill" adaptation "PACKER", using methods such as: the theory of probability and mathematical statistics, robust design and optimization. Obtain stable characteristics of the measuring system, and an example of the analysis of measurement systems.

Ключевые слова: робастность, методы Тагути, статистические методы, анализ стабильности, смещение, линейность, сходимости, воспроизводимость, шумы, вариации, дефекты, надежность.

Keywords: robustness, Taguchi methods, statistical methods, stability analysis, bias, linearity, convergence, reproducibility, noise, variations, defects and reliability.

УДК 658.562.012.7

Современное машиностроение занимается повышением технического уровня качества и надежности применяемого оборудования, обеспечением запасными частями, как по объему, так и по ассортименту, комплектности поставляемого оборудования. Качество его изготовления, наладки и монтажа остаются острыми вопросами и на сегодняшний день для любой организации, заинтересованной в выпуске конкурентоспособной продукции. Для создания такой продукции проводится мониторинг и измерение качества продукции и производственных процессов, для чего на предприятии разрабатываются и внедряются измерительные системы. К ним предъявлен целый ряд требований, связанных с конкретизацией контролируемых характеристик, но одно требование остается неизменным – это требование обеспечения надежности результатов измерений. Надежность в данном случае принимается как гарантия, что результаты измерений являются стабильными, то есть повторяемыми и воспроизводимыми в течение заданного промежутка времени.

Управление качеством, характеризуемым системой показателей, осуществляется на всех этапах жизненного цикла продукции машиностроения, но формирование качества выполняется на этапе проектирования, достижение - на этапе изготовления и реализация - на этапе эксплуатации. Исключительно важное значение имеет не только определение номинальных значений показателей качества, т.е. результатов измерений параметров изделий, но и определение величин допускаемых от них отклонений при эксплуатации.

Известный японский статистик Гэнити Тагути не согласен с общепризнанным определением качества: «нахождение параметров изделий в установленных пределах» – границах [1, 2] допуска на измеряемый параметр. Такое определение позволяет считать, что два изделия мало отличаются друг от друга, если параметры одного находятся вблизи границы допуска, а параметры другого - немного выходят за эти границы. Тем не менее, первое из них считается «хорошим», а второе – «плохим». В отличие от традиционного подхода, методы Тагути нацелены на обеспечение минимальных отклонений параметров изделий от заданных, при которых не происходит роста затрат, обусловленных качеством. Тагути предлагает оценивать качество величиной ущерба, наносимого обществу, с момента поставки продукции - чем меньше этот ущерб, тем выше качество. Основу его концепции обеспечения качества составляет теория потерь или ущерба от ненадлежащего качества.

Функция потерь имеет следующий вид:

$$L = k(y - m)^2, \quad (1)$$

где:

L - потери для общества (величина, учитывающая потери потребителя и производителя от бракованной продукции);

k - постоянная потеря, определяемая с учетом расходов производителя изделий; y - значение измеряемой функциональной характеристики;

m - номинальное значение соответствующей функциональной характеристики;

(y-m) - отклонение от номинала.

Практическое применение функции потерь заключается в том, что она позволяет определить эффективность любого мероприятия, направленного на увеличение качества (рисунок 1).



Рис. 1. Мышление через функцию потерь

Важный аспект методологии Тагути состоит в том, что он не предполагает управлять каждым фактором, так называемым «шумом», учитываемым в технологическом процессе или при изготовлении продукта. Идея состоит в том, чтобы влиять только на те «шумы», которые способны привести к снижению затрат.

В качестве критерия робастности, т.е. устойчивости к внешним воздействиям проектируемых объектов, Тагути предложил отношение «сигнал/шум», принятое в электросвязи. Целью разработки, является продукт, параметры или факторы которого установлены таким образом, что параметры качества этого продукта по возможности нечувствительны по отношению к шумам.

Под шумом понимают с одной стороны рассеяние компонентов продукта и влияний процесса, а с другой стороны, рассеяния влияния окружения и окружающей среды. Соответственно говорят о «внутреннем» и «внешнем» шуме.

Наглядный пример «шумов» (вариаций) измерительного процесса приведен на причинно следственной диаграмме Исикавы (рисунок 2).

Исследование проводилось в ремонтно-механическом цехе (РМЦ) базы производственного обслуживания (ЦБПО) компании АО «Транснефть-Приволга», выпускающем приспособления для перекрытия патрубков типа «ПАКЕР» и др. продукцию, обслуживающую нефтепроводный транспорт. При производстве деталей приспособлений в цехе проводится контроль геометрических параметров.

Для проведения эксперимента [4] по измерению геометрии был выбран процесс измерения наружного диаметра пиноли приспособления «ПАКЕР» $\varnothing 30_{-0,2}^{+0,1}$ мм. Полный анализ измерительного процесса включает в себя:

- оценивание стабильности измерительного процесса;
- оценивание линейности смещения измерительного процесса;
- оценивание сходимости и воспроизводимости измерительного процесса.

Для анализа стабильности измерительного процесса был отобран один образец из пяти, с предполагаемым истинным значением, близким к 29,95 мм



Рис. 2. «Шумы» (вариации) измерительного процесса

Для каждого i -го цикла измерений рассчитывается среднее значение результатов измерений \bar{X}_i и размах результатов измерений R_i , среднее результатов всех измерений $\bar{\bar{X}}$ и средний размах \bar{R} , контрольные границы для средних и размахов.

$UCL_{\bar{X}}$, $LCL_{\bar{X}}$ – верхняя и нижняя границы контрольной карты средних соответственно; UCL_R , LCL_R – верхняя и нижняя границы контрольной карты размахов соответственно.

По результатам экспериментов на контрольной карте средних значений и размахов измерительного процесса, приведённой на рисунке 3, был выявлен признак нестабильности (семь последовательных точек, лежащих ниже центральной линии).

Процесс решили считать стабильным, т.к. нет других признаков нестабильности (выходов за границы и трендов).

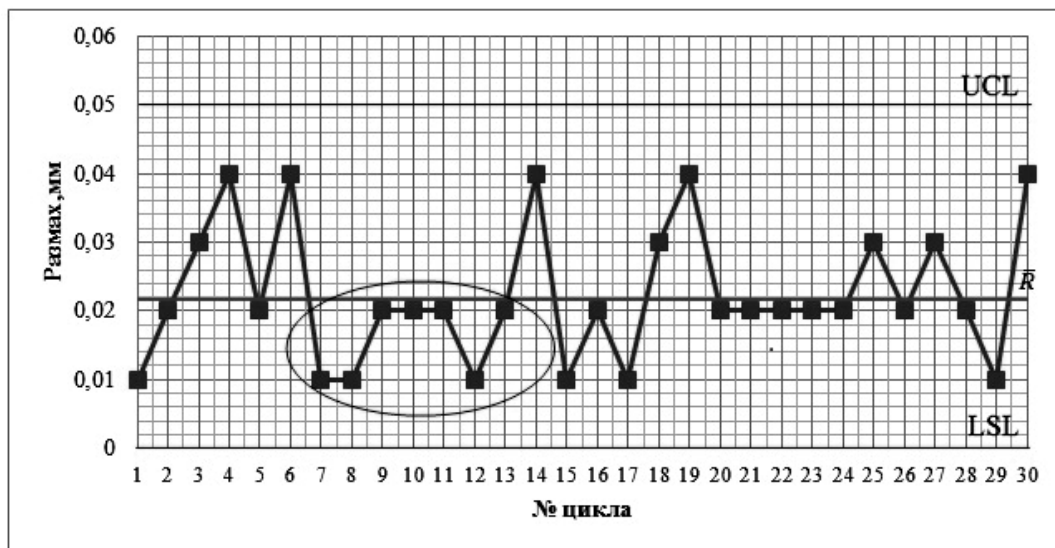
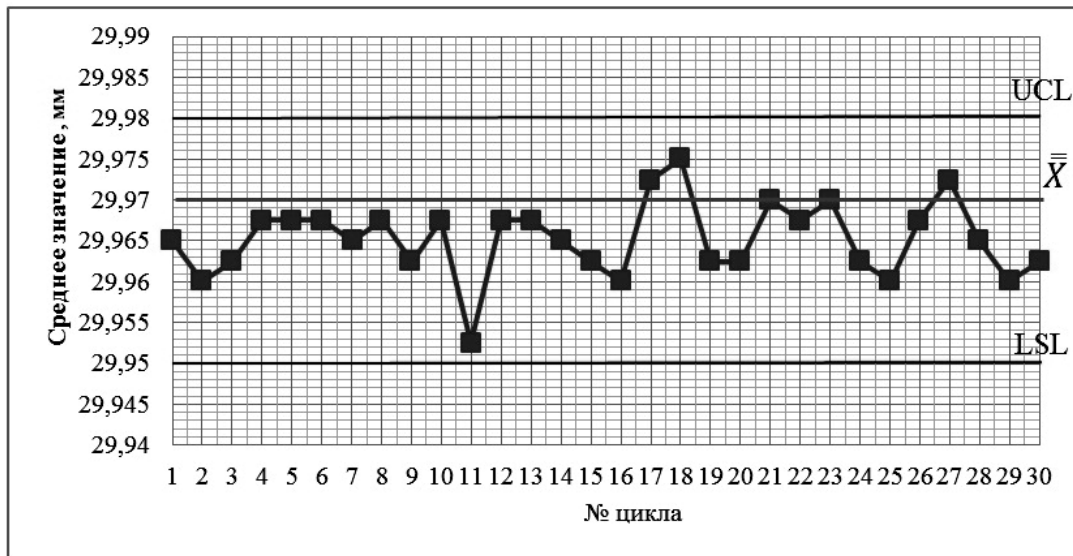


Рис. 3. Контрольная карта средних значений и размахов для анализа стабильности измерительного процесса

Для анализа линейности были отобраны 5 образцов (N) с предполагаемыми истинными значениями. Каждый из отобранных образцов был измерен $Q = 12$ раз. Определялось среднее значение \bar{X}_i , результатов измерений.

Абсолютное значение смещения измерительного процесса для каждого из образцов рассчитывается по формуле:

$$B_i = \bar{X}_i - X_i^{ист}; \quad (2)$$

где $X_i^{ист}$ – предполагаемое истинное значение i -го образца;

B_i – смещение при измерении параметра i -го образца.

Коэффициент корреляции R^2 между предполагаемыми значениями измеряемых параметров $X_i^{ист}$ и соответствующими смещениями B_i измерительного процесса рассчитывается по формуле (3): $R^2 =$

$$\frac{(N \sum_{i=1}^N X_i^{ист} \times B_i - \sum_{i=1}^N X_i^{ист} \times \sum_{i=1}^N B_i)^2}{(N \sum_{i=1}^N (X_i^{ист})^2 - (\sum_{i=1}^N X_i^{ист})^2) \times (N \sum_{i=1}^N B_i^2 - (\sum_{i=1}^N B_i)^2)} \times 100\%.$$

Анализируя значения коэффициента корреляции при оценивании степени связи (качества приближения) между $X_i^{ист}$ и B_i $R^2 = 0,41$ и наглядность графика, представленного на рисунке 4, линейности смещения измерительного процесса, в рабочем диапазоне (в пределах допуска) нельзя говорить о линейности смещения измерительного процесса. По методу Тагути ключевую роль играет использование нелинейных зависимостей, существующих между уровнями переменных и значений факторов шума.



Рис. 4. График линейности смещения измерительного процесса

Измерительный процесс нуждается в улучшении. Для установления закономерностей изменения смещения необходимо дополнительное исследование.

Для анализа сходимости и воспроизводимости проводился расчет оценок среднеквадратических отклонений (СКО) составляющих изменчивости измерительного процесса. Оценка СКО сходимости (повторяемости) S_e измерительного процесса определяется и оценка СКО изменчивости образца измерительного процесса S_p .

Сходимость EV (повторяемость) результатов измерений рассчитывается по формуле:

$$EV = K_a \times S_e; \quad (4)$$

где K_a – определяется исходя из рекомендуемого уровня значимости $\alpha = 0,99$, значение $K_a = 5,15^3$.

Воспроизводимость (изменчивость от операторов) результатов измерений рассчитывается по формуле:

$$AV = K_a \times S_o; \quad (5)$$

Изменчивость PV образцов рассчитывается по формуле:

$$PV = K_a \times S_p; \quad (6)$$

Сходимость и воспроизводимость результатов измерений рассчитывается по формуле:

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2}; \quad (7)$$

Полная изменчивость TV результатов измерений рассчитывается по формуле:

$$TV = \sqrt{R \& R^2 + PV^2}; \quad (8)$$

Оценка приемлемости измерительного процесса заключается в сравнении его сходимости и воспроизводимости с полем допуска на измеряемый параметр, определяется исходя из анализа величины относительной сходимости и воспроизводимости $\%R\&R_{SL}$, определяемой по формуле:

$$R \& R = \frac{R \& R}{(USL - LSL)}. \quad (9)$$

Полученное значение сходимости и воспроизводимости относительно допуска равно 14,6%, а, следовательно, «измерительный процесс может быть признан приемлемым в зависимости от важности параметра, стоимости прибора и т.п.».

Основное отличие концепции Тагути от общепринятых – нацеленность не на устранение причин дисперсии значений, а на выявление контролируемых факторов и обеспечение нечувствительности продукции к влиянию шумов.

В своей простейшей форме отношение сигнал/шум – это отношение среднего значения (сигнал) к среднему квадратичному отклонению (шум), что является противоположностью известному коэффициенту вариации.

Основная формула для расчета отношения сигнал/шум имеет вид:

$$\frac{\text{Сигнал}}{\text{Шум}} = -10 \times \log(Q) \quad (10)$$

где Q – параметр, который меняется в зависимости от типа характеристики.

Исходя из приведенных выше рассуждений, было принято решение не приостанавливать использование указанного измерительного процесса, однако провести дополнительное исследование и выявить причину высокой изменчивости рассматриваемого измерительного процесса. В дальнейшем, по возможности, провести улучшение этого процесса - устранить выявленную причину или снизить ее влияние.

Методы Тагути направлены на то, чтобы при разработке изделия обеспечить выпуск продукции не только с заданным номиналом, но и с минимальным разбросом вокруг этого номинала, причем разброс

этот должен быть минимально нечувствительным к неизбежным колебаниям различных внешних воздействий.

Литература

1. *Дмитриев А. Я., Митрошкина Т. А., Вашуков Ю. А.* Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники: учеб. пособие / А. Я. Дмитриев, Т. А. Митрошкина, Ю. А. Вашуков. Самара: Изд-во СГАУ, 2016. 76 с.
2. *Ефимов В. В.* Методы Тагути: практика применения / Методы менеджмента качества, 2005. № 6. С. 28-35.
3. *Салимова Т. А.* Управление качеством: учебник / Т. А. Салимова. М.: Омега–Л, 2013. 376 с.
4. *Васильчук А. В.* Анализ измерительных и контрольных процессов в автомобилестроение [Текст] / А. В. Васильчук, Г. Л. Юнак, В. Е. Годлевский, О. В. Разживина. Самара: ЗАО «Академический инжиниринговый центр». ООО «Офорт», 2006. 190 с.
5. *Миттаг Х. Й.* Статистические методы обеспечения качества [Текст] / Х. И. Миттаг, Х. Ринне, Б. Н. Маркова. Изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1995. 601 с.