

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИНЫ ОБЩЕЙ НОРМАЛИ ТРЕХКООРДИНАТНЫМ ИНДИКАТОРОМ НА ПЯТИКООРДИНАТНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

В статье приведен обзор исследований различных погрешностей процесса измерений деталей трехкоординатными щупами на станках с ЧПУ. Рассмотрена методика оценки систематических и случайных погрешностей процесса измерений длины общей нормали применением контрольных карт и вероятностно-статистических методов обработки многократных повторных подводов трехкоординатного индикатора к измеряемым боковым поверхностям зубьев колеса. Методика предназначена для оценки приемлемости измерительного процесса технологами и наладчиками. Приведены данные экспериментальной оценки случайных и систематических погрешностей измерений длины общей нормали на пятикоординатном станке с ЧПУ трехкоординатным индикатором фирмы Maht. Полученные значения погрешностей для исследуемого пятикоординатного станка позволяют выполнять измерения длины общей нормали для целей периодического контроля и подналадки станка при обработке косозубых цилиндрических колес универсальными дисковыми или концевыми фрезами.

**Ключевые слова:** длина общей нормали, трехкоординатный измерительный индикатор, пригодность измерительного процесса, станок с ЧПУ.

**Введение.** Разработанные способы автоматизированных измерений длины общей нормали односторонним и двухсторонним подводом измерительного щупа к зубьям косозубого цилиндрического колеса [1] (рис. 1) можно применять в действующем производстве, только когда определены случайные и систематические погрешности для конкретных производственных условий (выполнена процедура оценки пригодности процесса измерений). Общие требования к оценке пригодности измерительного процесса содержатся в стандарте [2] и международном руководстве [3]. Эта процедура необходима для выявления и своевременного устранения причин несоответствующего технического состояния средств измерений и процесса измерения для степени точности измеряемого показателя качества детали.

Способы оценки и величина погрешностей процесса измерений трехкоординатными щупами изучена в ряде публикаций. Например, в работе [4], моделировалось действие динамических факторов на точность измерений геометрических параметров контактными датчиками станка с ЧПУ. Установлено, что основным фактором, влияющим на величину

погрешности, является время квантования измерительного сигнала датчика. При изменении с 0,01 до 0,02 с погрешность возрастает с 1-го до 3 мкм. Скорость перемещений датчика влияет на погрешность измерений значительно меньше. При изменении скорости с 0,2 до 0,8 мм/с погрешность изменяется с 0,1 до 0,2 мкм. Авторы публикации не приводят экспериментальных данных, подтверждающих данные математического моделирования. В [5] авторы рассматривают вопросы применения измерительной системы станка с ЧПУ для компенсации тепловых погрешностей. Проведенный лабораторный эксперимент по измерению размеров после торцевого фрезерования концевой фрезой улучшает точность на 0,02 мм на высоте фрезеруемой ступеньки в 0,5 мм. В [6] приводятся данные оценки погрешностей измерительной системы с ЧПУ по данным измерений концевых мер длины. В статье приводятся данные о систематической погрешности измерений линейных и угловых размеров в интервалах от 100 до 500 мм и от 0 до 90 градусов. Вариации среднеквадратичного отклонения изменялись от 0,001 до 0,003 мм, среднеарифметическое значение изменялось от 0,0025

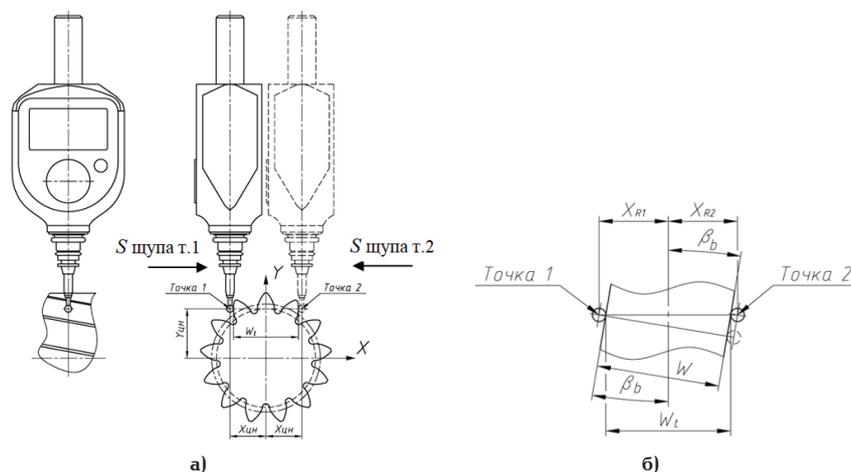


Рис. 1. Измерение длины общей нормали на пятикоординатном станке с ЧПУ: а) схема подвода 3D шупа; б) показатель в торцовом и нормальном сечениях

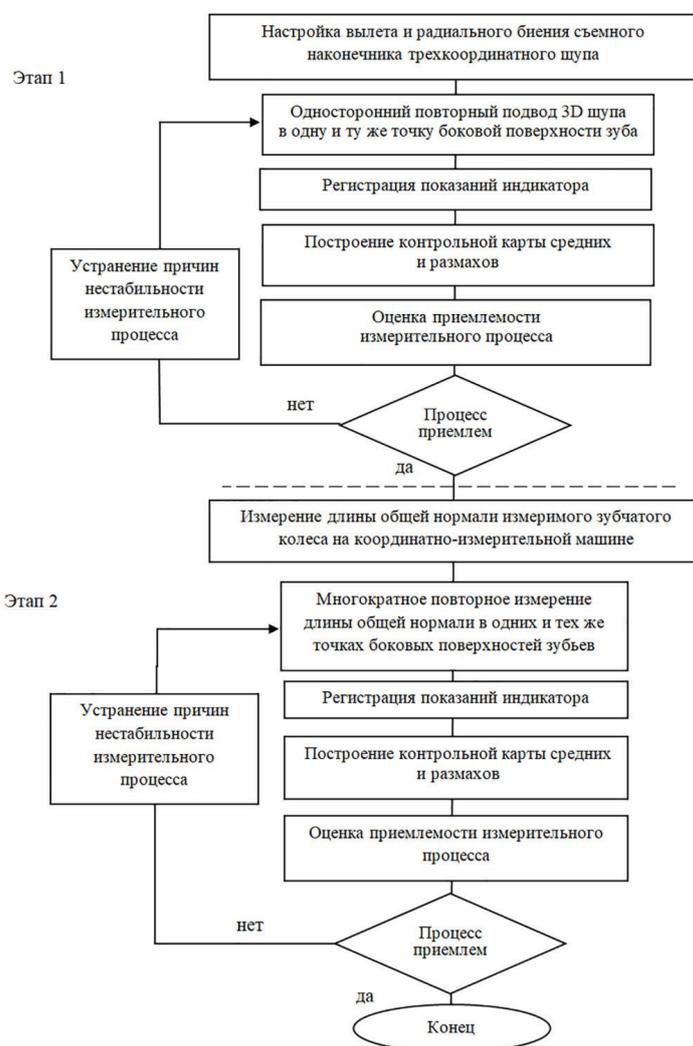


Рис. 2. Схема оценки пригодности процесса измерений длины общей нормали на пятикоординатном станке с ЧПУ

до 0,0031 мм, что дает возможность контролировать размеры по 6-му качеству точности при обеспечении термостабильности помещения. Таким образом имеющиеся данные исследований погрешности измерений с использованием станочных систем ЧПУ, выполненные на геометрических простых образцах

с учетом тепловых и динамических погрешностей, подтверждают возможность измерений линейных величин с достаточной степенью точности. В [7, 3, 8 – 10] авторы используют 3D шупы для определения погрешностей пятикоординатных обрабатывающих центров. Измеряются высокоточные сферические



а)



б)

Рис. 3. Настройка трехкоординатного индикатора:  
а) выверка вылета и радиального биения; б) параметры настройки

эталон, установленным на рабочих поверхностях стола станка в различной комбинации — по окружности, внецентренно, по углам квадрата. В [11, 12] для измерений используются интерферометры. Во всех перечисленных публикациях авторы считают проводимые измерения достаточно точными, не определяя погрешности самого процесса измерений. В [13, 14] рассматриваются конструктивные особенности щуповых средств измерений, приводятся сравнительные схемы погрешностей их различного конструктивного исполнения. В [14] приводятся экспериментальные данные и гистограммы распределения погрешностей щупа в диапазоне от 2,5 до 5-ти мкм. Однако следует отметить, что в исследованиях измерительного процесса трехкоординатными щупами не раскрыта в достаточной мере методика проведения экспериментов для оценки приемлемости измерительного процесса, которая могла бы выполняться рабочим персоналом в цеховых условиях с заранее установленной периодичностью.

**Теоретическая часть.** Разработана схема оценки пригодности автоматизированного процесса измерений длины общей нормали трехкоординатным индикатором на пятикоординатном станке с ЧПУ (рис. 2).

Поскольку длина общей нормали может изменяться в результате как при одностороннем, так и двухстороннем подводе щупов к боковым сторонам зубьев, то оценка выполняется в два этапа.

На первом этапе оценивается процесс измерений координат профиля боковой поверхности зубьев при одностороннем подводе трехкоординатного индикатора. Стабильность показаний индикатора зависит от технического состояния станочной системы — приводов перемещения шпинделя и суппортов станочной системы, а также исправности индикатора.

По рекомендациям [2] оценка пригодности выполняется по данным парных контрольных карт

Шухарта. На которую наносятся не менее 20-ти точек последовательных измерений. Перед проведением измерений на специальном контрольном приспособлении выполняется измерение действительного диаметра и вылета наконечника, а также настройка радиального биения его боковых сторон (рис. 3).

Для оценки приемлемости процесса необходимо определить допустимые границы случайных и систематических погрешностей. Их значения находятся как  $1/7$  величины поля допуска на длину общей нормали. Такое значение обеспечивает достаточный уровень запаса точности процесса измерений для обеспечения точности измерений длины общей нормали.

В случае признания пригодности одностороннего подвода измерительного щупа в координату измерений выполняется второй этап. На этом этапе оценивается пригодность повторных измерений длины общей нормали при двухточечном подводе трехкоординатного индикатора.

Для измерений на этом этапе необходимо использовать шестерню, измеренную на координатно-измерительной машине. Из протокола измерений определяется действительное значение длины общей нормали, являющееся эталонным для расчета коэффициента смещенности измерительного процесса. Для оценки приемлемости процесса также необходимо определить значения допустимых границ случайных и систематических погрешностей. Поскольку измерение длины общей нормали выполняется при двухстороннем подводе индикатора, то границы незначительно расширены по сравнению с односторонним подводом. Их значение определяется как  $1/6$  величины поля допуска на длину общей нормали. У зубчатого колеса, так же как и в первом этапе, измеряется один и тот же комплект боковых поверхностей зубьев не менее 20 раз. По показаниям индикатора выполняются расчеты значений длины общей нормали.

В торцовом сечении  $W_t$  значения длины общей нормали рассчитываются по следующей формуле:

$$W_{tR} = X_{R1} + X_{R2} - d_n / \cos\beta_b, \quad (1)$$

где  $X_{R1}$  и  $X_{R2}$  фактические координаты центра измерительного наконечника находятся по следующим зависимостям;  $d_n$  — диаметр сферического наконечника;  $\beta_b$  — угол наклона зубьев на основной окружности:

$$X_{R1} = X_1 + \Delta R_1$$

$$X_{R2} = X_2 + \Delta R_2,$$

где  $\Delta R_1$ ,  $\Delta R_2$  — показание индикатора в точках 1 и 2 соответственно.

В нормальном сечении длина общей нормали  $W$  рассчитывается по следующей формуле:

$$W_R = (X_{R1} + X_{R2}) \cos\beta_b - d_n. \quad (2)$$

По найденным значениям выполняется построение гистограмм, кривой нормального распределения и построение парных контрольных карт. Если индексы стабильности и настроенности находятся в рекомендуемом интервале и при стабильном поведении серии точек графиков контрольных карт, то измерительный процесс признается приемлемым для рассматриваемого станка с ЧПУ.

Поскольку каждый многокоординатный обрабатывающий центр с ЧПУ имеет индивидуальные точностные параметры, то оценка пригодности проводится для каждого станка, задействованного в из-

готовлении зубчатых колес по заранее утвержденному графику.

**Практическая реализация.** Рассмотрим пример оценки пригодности процесса измерений для измерений длины общей нормали пятикоординатного станка с ЧПУ фирмы HEDELIOUS (рис. 3). Изменение длины общей нормали в партии обработанных зубчатых колес зависит от способа обработки цилиндрического зубчатого колеса. Данные по наиболее распространенным способам зубообработки приводятся в [15]. При обработке червячной однозаходной фрезой (этот способ наиболее распространен в серийном производстве) эта величина может изменяться в диапазоне от 0 мм до 0,4 мм. Обработка дисковым инструментом дает точность в диапазоне от 0 до 0,35 мм. Для измеряемого в эксперименте зубчатого колеса величина допуска принимает значение в 0,2 мм, что в два раза меньше размаха значений длины общей нормали, характерных для обработки зубчатых колес червячными зуборезными фрезами.

Допуск на предельные значения погрешностей  $Td_A$  измерений рассчитывается по следующей зависимости

$$Td_A = \frac{Td_w}{7} = \frac{0,2}{7} = 0,028 \text{ мм},$$

где  $Td_w$  — допуск на длину общей нормали, мм.

От этой величины рассчитываются значения контрольных границ парных контрольных карт и индексы пригодности измерительного процесса.

В табл. 1 приведен протокол данных последовательных повторных показаний трехкоординатного

Таблица 1

Протокол данных последовательных повторных измерений  
оценки приемлемости процесса подвода измерительного 3D щупа

№ п/п	Показания трехмерного щупа, мм		Средние значения ПП, мм	Размахи ПП, мм
1	1,690	1,690	1,690	0
2	1,695	1,690	1,693	0,005
3	1,690	1,690	1,690	0
4	1,690	1,690	1,690	0
5	1,695	1,690	1,693	0,005
6	1,690	1,690	1,690	0
7	1,690	1,690	1,690	0
8	1,690	1,690	1,690	0
9	1,690	1,695	1,693	0,005
10	1,690	1,690	1,690	0
11	1,690	1,690	1,690	0
12	1,695	1,690	1,693	0,005
13	1,690	1,690	1,690	0
14	1,690	1,690	1,690	0
15	1,690	1,690	1,690	0
16	1,695	1,690	1,693	0,005
17	1,690	1,690	1,690	0
18	1,690	1,690	1,690	0
19	1,690	1,695	1,693	0,005
20	1,690	1,690	1,690	0

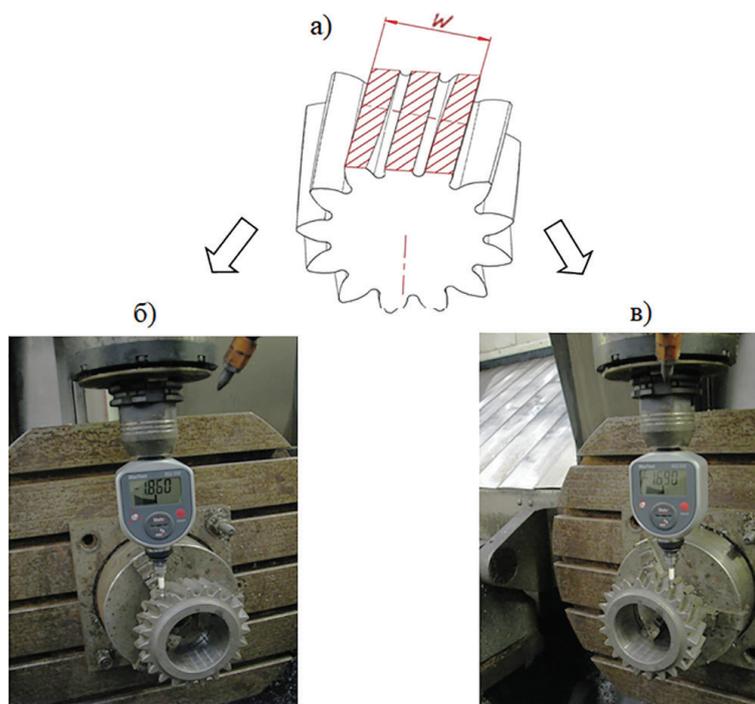


Рис. 4. Измерения длины общей нормали косозубой шестерни на пятикоординатном станке с ЧПУ: а) длина общей нормали; б) измерение трехкоординатным щупом по левой боковой поверхности зуба; в) по правой боковой поверхности шестерни

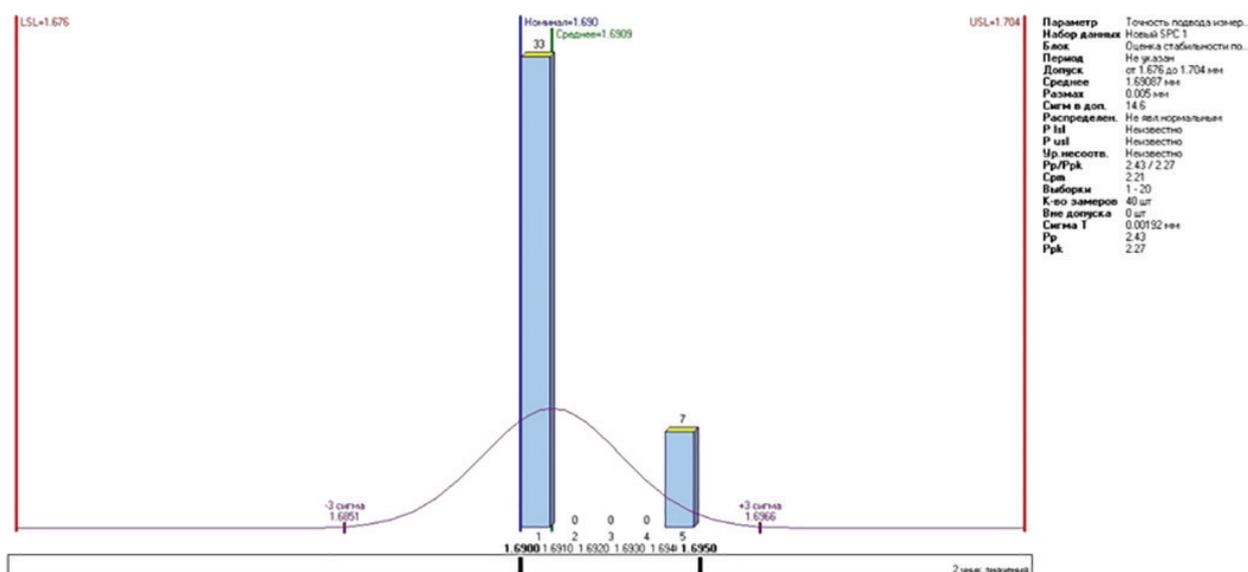


Рис. 5. Гистограмма и кривая нормального распределения значений показаний измерительного 3D щупа при одностороннем подводе к боковой поверхности зубьев

индикатора, полученных в процессе подвода его наконечника в одну и ту же точку боковой поверхности зуба шестерни (рис. 4б). Данные сгруппированы по два измерения в группе. По данным протокола измерений построены гистограмма и кривая нормального распределения, приведенная на рис. 5, и рассчитаны показатели пригодности измерительного процесса. Индекс стабильности измерительного процесса принимает значение  $C_p = 3,01$ .

$$C_p = \frac{Td_{\Delta}}{6\sigma_{\text{и}}},$$

где  $\sigma_{\text{и}}$  — среднеквадратичное отклонение показаний трехкоординатного индикатора, мм.

Минимальное из двух вычисленных значений  $C_{pk1}$  и  $C_{pk2}$  индексов смещенности среднеарифметического значения  $\bar{\Delta}_{\text{и}}$  показаний индикатора составил  $C_{pk} = 2,82$ .

$$C_{pk1} = \frac{|\Delta_{\text{max}} - \bar{\Delta}_{\text{и}}|}{3\sigma_{\text{и}}},$$

где  $\Delta_{\text{max}}$  — максимально допустимое значение показаний трехкоординатного индикатора, мм;  $\bar{\Delta}_{\text{и}}$  — среднеарифметическое значение показаний трехкоординатного индикатора, мм.

$$C_{pk2} = \frac{|\Delta_{\text{min}} - \bar{\Delta}_{\text{и}}|}{3\sigma_{\text{и}}},$$



Рис. 6. Контрольные карты размахов и средних значений показаний трехкоординатного индикатора при выполнении одностороннего подвода к боковой поверхности зубьев

Таблица 2

Протокол данных последовательных повторных измерений длины общей нормали измерительным 3D щупом пятикоординатного станка с ЧПУ

№ п/п	Показания 3D щупа, мм		W в торцевом сечении, мм	W в нормальном сечении, мм	Показания 3D щупа, мм		W в торцевом сечении, мм	W в нормальном сечении, мм
	1	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,145	0,310	50,8399
2	0,145	0,310	50,8449	48,1473	0,140	0,310	50,8349	48,1426
3	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,140	0,315	50,8399	48,1473
4	0,140	0,315	50,8449	48,1473	0,140	0,310	50,8349	48,1426
5	0,140	0,305	50,8348	48,1378	0,140	0,315	50,8349	48,1426
6	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,145	0,310	50,8399	48,1473
7	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,135	0,315	50,8349	48,1426
8	0,140	0,315	50,8449	48,1473	0,140	0,310	50,8349	48,1426
9	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,140	0,310	50,8349	48,1426
10	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,145	0,310	50,8399	48,1473
11	0,145	0,315	50,8499	48,1521	0,135	0,315	50,8349	48,1426
12	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,140	0,310	50,8349	48,1426
13	0,140	0,315	50,8399	48,1426	0,140	0,310	50,8349	48,1426
14	0,145	0,310	50,8449	48,1473	0,140	0,305	50,8299	48,1378
15	0,135	0,315	50,8399	48,1426	0,140	0,310	50,8349	48,1426
16	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,140	0,310	50,8349	48,1426
17	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,145	0,310	50,8399	48,1473
18	0,140	0,305	50,8348	48,1378	0,140	0,310	50,8349	48,1426
19	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,140	0,315	50,8399	48,1473
20	0,140	0,310	50,8399	48,1426	0,140	0,305	50,8299	48,1378

где  $\Delta_{\min}$  — минимально допустимое значение показаний индикатора, мм.

По найденным значениям индексов измерительный процесс признается приемлемым.

Для оценки наличия особых причин точек графика построены парные контрольные карты, приведенные на рис. 6. Значения показаний индикатора изменяются не более чем на одно деление. Точки

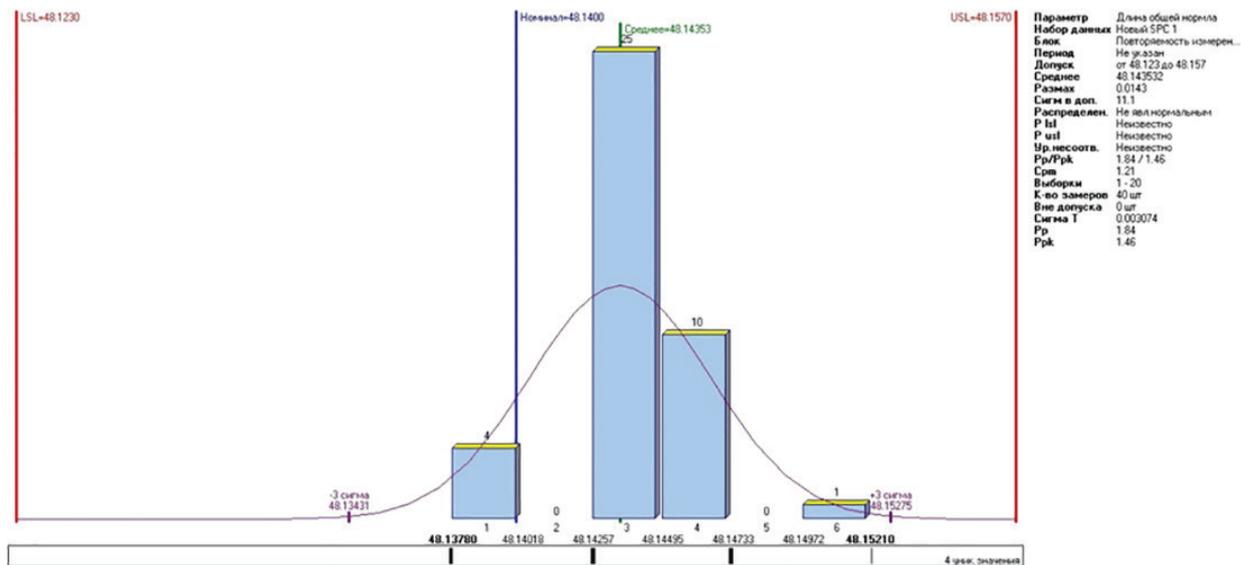


Рис. 7. Гистограмма и кривая нормального распределения значений показаний измерительного 3D щупа при измерении длины общей нормали

Таблица 3

Протокол расчетных значений длины общей нормали, средних и размахов

№ п/п	W1 в нормальном сечении, мм	W2 в нормальном сечении, мм	Средние значения ПП, мм	Размахи ПП, мм
1	48,1426	48,1473	48,14495	0,0047
2	48,1473	48,1426	48,14495	0,0047
3	48,1426	48,1473	48,14495	0,0047
4	48,1473	48,1426	48,14495	0,0047
5	48,1378	48,1426	48,1402	0,0048
6	48,1426	48,1473	48,14495	0,0047
7	48,1426	48,1426	48,1426	0
8	48,1473	48,1426	48,14495	0,0047
9	48,1426	48,1426	48,1426	0
10	48,1426	48,1473	48,14495	0,0047
11	48,1521	48,1426	48,14735	0,0095
12	48,1426	48,1426	48,1426	0
13	48,1426	48,1426	48,1426	0
14	48,1473	48,1378	48,14255	0,0095
15	48,1426	48,1426	48,1426	0
16	48,1426	48,1426	48,1426	0
17	48,1426	48,1473	48,14495	0,0047
18	48,1378	48,1426	48,1402	0,0048
19	48,1426	48,1473	48,14495	0,0047
20	48,1426	48,1378	48,1402	0,0048

графика не выходят за контрольные границы, особых причин поведения точек графика не обнаружено, следовательно, процесс позиционирования измерительного щупа находится в управляемом состоянии.

Согласно разработанной методике выполнено измерение испытываемого зубчатого колеса на координатно-измерительной машине. Измеренное значение длины общей нормали измеряемых зубьев зубчатого колеса 48,140 мм. Это значение исполь-

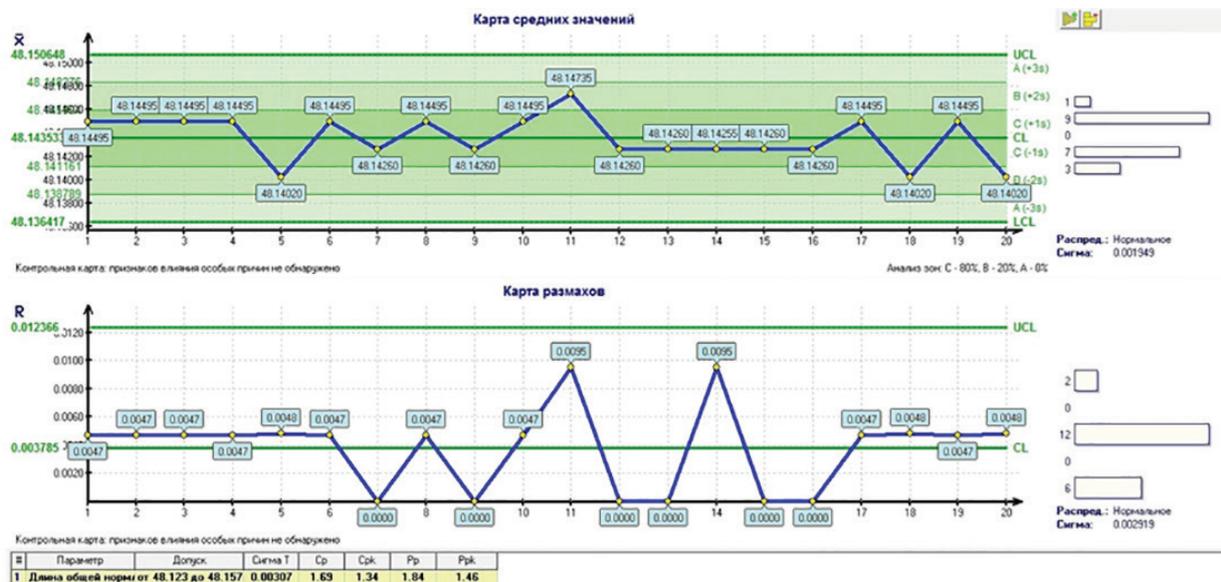


Рис. 8. Контрольные карты размахов и средних значений показаний измерительного 3D щупа при измерении длины общей нормали

зуется для расчета индекса смещенности среднеарифметического значения значений длины общих нормалей. Установлены предельные значения длины общей нормали к измеряемому зубчатому колесу —  $48,19 \pm 0,1$  мм. Для оценки уровня случайных и систематических погрешностей процесса измерения их предельные значения рассчитываются исходя из  $1/6$  от величины допуска,  $0,2$  мм или  $0,034$  мм.

В результате выполнения второго этапа исследования измерительного процесса на пригодность для комплекта двух зубьев испытываемой шестерни выполнены 20 повторных серий по два измерения в каждой серии (рис. 4б, в). Между сериями измерений, как и при выполнении измерений в первом этапе, щуп доставлялся в инструментальный магазин и вновь устанавливался в шпиндель станка. По данным показаний 3D щупа, рассчитаны по формулам (1) и (2) значения длины общей нормали в торцевом и нормальном сечениях шестерни, приведенные в табл. 2. По этим данным выполнено построение гистограмм и кривой нормального распределения (рис. 7). Индекс стабильности процесса значений длины общей нормали  $C_p = 1,69$ , индекс смещенности среднеарифметического значения по выборке составил  $C_{pk} = 1,34$ . Значения индексов находятся в допустимом диапазоне значений, следовательно, процесс двухточечного измерения длины общей нормали приемлем.

В табл. 3 приведены исходные данные для построения парных контрольных карт средних и размахов. По значениям длин общей нормали построены парные контрольные карты средних и размахов (рис. 8). Анализ точек графика не выявил наличия при измерении особых причин. Значения показаний щупа для двух отдельных измерений изменяются не более двух делений индикаторного щупа в одном из повторных подводов. Процесс менее стабилен, чем при одностороннем подводе щупа, однако измерительный процесс можно признать пригодным для измерения длины общей нормали измеряемого косозубого цилиндрического колеса с допуском на длину общей нормали в  $0,2$  мм.

**Выводы.** Разработанная на основе требований [2] методика оценки пригодности автоматизированного измерения значений длины общей нормали

выявляет систематическую и случайную погрешности измерительного процесса, проста в использовании для освоения наладчиками многокоординатных станков с ЧПУ более низкой квалификации.

Поскольку методика учитывает требования [16], то данные по пригодности измерительного процесса должны признаваться аудиторами ведущих мировых производителей в процессе одобрения производства изготавливаемых зубчатых колес.

#### Библиографический список

- Safarov D. T., Kondrashov A. G. Improving the process efficiency of helical gears' toothed rims at the stage of pre-production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 570. 012082. DOI: 10.1088/1757-899X/570/1/012082.
- ГОСТ 51814.5-2005. Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов. Введ. 2005–07–01. Москва: Стандартинформ, 2008. 50 с.
- Lei W. T., Hsu Y. Y. Error measurement of five-axis CNC machines with 3D probe-ball // Journal of Materials Processing Technology. 2003. Vol. 139, Issues 1-3. P. 127–133. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00193-6.
- Федотов А. В. Анализ динамики процесса измерений координат базовых точек на станках с ЧПУ // Омский научный вестник. 1999. Вып. 8. Сентябрь. С. 81–83.
- Поляков А. Н., Гончаров А. Н., Парфенов И. В. Методика коррекции температурной погрешности станка с ЧПУ // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2019. № 3. С. 117–127. DOI: 10.34031/article\_5ca1f634ef76c8.31770383.
- Болотов М. А., Жидяев А. Н., Сурков О. С. [и др.]. Погрешности контактных измерительных средств станков с ЧПУ при контроле геометрических параметров изделий // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 3-2 (34). С. 157–163.
- Suh S., Lee E., Jung S. Error modelling and measurement for the rotary table of five-axis machine tools // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 1998. Vol. 14 (9). P. 656–663. DOI: 10.1007/BF01192286.
- Lei W. T., Hsu Y. Y. Accuracy test of five-axis CNC machine tool with 3D probe-ball. Part I: Design and modeling // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002. Vol. 42 (10). P. 1153–1162. DOI: 10.1016/S0890-6955(02)00047-0.

9. Erkan T., Mayer J. R. R., Dupont Y. Volumetric distortion assessment of a five-axis machine by probing a 3D reconfigurable uncalibrated master ball artifact // *Precision Engineering*. 2011. Vol. 35 (1). P. 116 – 125. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2010.08.003.
10. Mou J., Richard Liu C. A method for enhancing the accuracy of CNC machine tools for on-machine inspection // *Journal of Manufacturing Systems*. 1992. Vol. 11 (4). P. 229 – 237. DOI: 10.1016/0278-6125(92)90023-9.
11. Chen J. S., Kou T. W., Chiou S. H. Geometric error calibration of multi-axis machines using an auto-alignment laser interferometer // *Precision Engineering*. 1999. Vol. 23 (4). P. 243 – 252. DOI: 10.1016/S0141-6359(99)00016-1.
12. Xiang S., Altintas Y. Modeling and compensation of volumetric errors for five-axis machine tools // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2016. Vol. 101. P. 65 – 78. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2015.11.006.
13. Woźniak A., Dobosz M. Metrological feasibilities of CMM touch trigger probes. Part I: 3D theoretical model of probe pretravel // *Measurement*. 2003. Vol. 34 (4). P. 273 – 286. DOI: 10.1016/j.measurement.2003.05.001.
14. Dobosz M., Woźniak A. Metrological feasibilities of CMM touch trigger probes: Part II: Experimental verification of the 3D theoretical model of probe pretravel // *Measurement*. 2003. Vol. 34 (4). P. 287 – 299. DOI: 10.1016/j.measurement.2003.05.002.
15. Виноградов В. М., Черепашин А. А. Критерии оптимизации зубообрабатывающих операций, основанных на различных методах формообразования зубьев // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2012. № 2 (14), т. 2. С. 238 – 242.
16. Анализ измерительных систем MSA. Ссылочное руководство. Перевод с англ. четвертого издания от июня 2010 г. Нижний Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2010. 226 с. ISBN 978-5-98366-045-8.

**САФАРОВ Дамир Тамасович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры материалов, технологий и качества.

SPIN-код: 4346-4997

AuthorID (РИНЦ): 741369

ORCID: 0000-0002-8297-4524

AuthorID (SCOPUS): 6603409746

ResearcherID: 6834-2018

Адрес для переписки: Safarov-dt@mail.ru

**КОНДРАШОВ Алексей Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкторско-технологического проектирования машиностроительных производств.

SPIN-код: 3684-5751

AuthorID (РИНЦ): 618266

ORCID: 0000-0002-9193-3505

AuthorID (SCOPUS): 24780979600

ResearcherID: 9345-2019

Адрес для переписки: Kondrahovag@mail.ru

#### Для цитирования

Сафаров Д. Т., Кондрашов А. Г. Методика оценки погрешностей автоматизированных измерений длины общей нормали трехкоординатным индикатором на пятикоординатном станке с ЧПУ // *Омский научный вестник*. 2021. № 3 (177). С. 35 – 43. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-35-43.

Статья поступила в редакцию 14.04.2021 г.

© Д. Т. Сафаров, А. Г. Кондрашов