

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Новосибирский государственный технический университет  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
Бийский технологический институт  
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

---

**ИННОВАЦИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ  
(ИнМаш – 2017)**

**INNOVATIONS  
IN MECHANICAL  
ENGINEERING  
(ISPCIME – 2017)**

VIII Международная  
научно – практическая конференция

VIII International scientific and  
practical conference

Сборник трудов

Materials

Конференция организована при поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований

28 – 30 сентября / September 2017 г.

Новосибирск, Россия / Novosibirsk, Russia

УДК 621.002.2:005.591.6 (063)

И 665

И 665 **Инновации в машиностроении**: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции / под ред. Х.М. Рахимянова . – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2017. – 592 с.

ISBN 978-5-7782-3326-3

В сборнике представлены труды 8-ой Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении (ИнМаш – 2017)», посвященные современным проблемам развития машиностроительной отрасли. Представлены разработки в области оборудования, инновационных технологий, автоматизации производства, материаловедении, экономики, менеджмента и образования в области машиностроения.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 17 – 08 – 20456 Г.

Организационный комитет

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОМИТЕТ**

### **Председатель**

**Батаев Анатолий Андреевич** – доктор технических наук, профессор, ректор Новосибирского государственного технического университета (г. Новосибирск, Россия)

### **Почетные члены комитета**

**Томас Хассел** – доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница (г. Гарбсен, Германия)

**Монико Грайф** – профессор, доктор технических наук, Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук (г. Рюссельхайм, Германия)

**Флориан Нюрнбергер** – доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница (г. Гарбсен, Германия)

**Пантелеенко Фёдор Иванович** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет (г. Минск, Беларусь)

**Альгин Владимир Борисович** – доктор технических наук, профессор, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (г. Минск, Беларусь)

**Хейфец Михаил Львович** – доктор технических наук, профессор, Отделение физико-технических наук НАН Беларуси (г. Полоцк, Беларусь)

**Клименко Сергей Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины (г. Киев, Украина)

**Сунь Чан Сюн** – доктор технических наук, профессор, Харбинский политехнический университет (г. Харбин, КНР)

**Счигёл Норберт** – доктор технических наук, профессор, Ченхостовский технологический университет (г. Ченстохова, Польша)

СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1</b>		<b>SECTION 1</b>	
<i>Технологическое оборудование и автоматизация проектирования машиностроительных производств</i>	15	<i>Technological equipment and automation of machine-building production designing</i>	
<b>РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА НА СТАДИИ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА</b> <i>Атапин В. Г.</i>	15	<b>CALCULATION OF A MACHINING CENTER CARRYING SYSTEM AT THE PRELIMINARY DESIGN STAGE</b> <i>Atapin V. G.</i>	
<b>КОНЕЧНО – ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ В ПРОГРАММЕ ANSYS</b> <i>Верещагина А. С., Верещагин В. Ю.</i>	22	<b>FINITE ULTIMATE ANALYSIS OF THE CUTTING PROCESS IN THE PROGRAM ANSYS</b> <i>Vereshchagina A. S., Vereshchagin V. Y.</i>	
<b>НОВЫЕ ТИПЫ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ВИБРАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> <i>Рогова О. В., Тюляхова А. А., Нейман В. Ю.</i>	28	<b>NEW TYPES OF CONSTRUCTIVE SCHEMES OF VIBRATION ELECTROMAGNETIC ENGINES FOR TECHNOLOGICAL EQUIPMENT</b> <i>Rogova O. V., Tyulyahova A. A., Neyman V. Yu.</i>	
<b>МЕТОДИКА РАСЧЕТА КРИТЕРИАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ</b> <i>Янюшкин А. С., Рычков Д. А.</i>	33	<b>METHODOLOGY OF CALCULATION OF CRITERIAL INDICATORS OF PRODUCTION AT THE RATIONALIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF PROCESSING OF DETAILS</b> <i>Yanyushkin A. S., Rychkov D. A.</i>	
<b>ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СТОЙКОСТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ</b> <i>Анцев А. В.</i>	42	<b>PREDICTION OF A CUTTING TOOL LIFE BASED ON THE POLYNOMIAL TOOL – LIFE EQUATION</b> <i>Antsev A. V.</i>	
<b>МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКА МОДЕЛИ ЗБ632В ДЛЯ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ</b> <i>Красильников Б. А., Рахмьянов К. Х., Леонтьев И. А., Проскурин Р. С., Головкин Н. В.</i>	49	<b>MODERNIZATION OF THE MACHINE MODEL ЗБ632В FOR ELECTROCHEMICAL GRINDING</b> <i>Krasilnikov B. A., Rakhmyanov K. kh., Leontyev I. A., Proskurin R. S., Golovko N. V.</i>	
<b>СЕКЦИЯ 2</b>		<b>SECTION 2</b>	
<i>Инновационные технологические процессы изготовления деталей, сборки машин и заготовительного производства</i>	56	<i>Innovative technological processes for manufacturing parts, machine assembling and blank production</i>	
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СВАРКИ РЕЛЬСОВ АЛЮМИНОТЕРМИТНЫМ СПОСОБОМ</b> <i>Ильиных А. С., Галай М. С., Сидоров Э. С.</i>	56	<b>THE MODELING PROCESS OF COOLING METAL DURING ALUMINOTHERMIC WELDING OF RAILS</b> <i>Ilinykh A. S., Galay M. S., Sidorov Je. S.</i>	
<b>ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЕ ЛЕЗВИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА, ПОЛУЧЕННОЕ СВЕРХСКОРОСТНЫМ ЗАТАЧИВАНИЕМ</b> <i>Попов А. Ю., Реченко Д. С.</i>	61	<b>THE BLADE IS HIGH QUALITY CARBIDE TOOLS, THE OBTAINED HIGH – SPEED SHARPENING</b> <i>Popov A. Yu., Rechenko D. S.</i>	

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ</b> <i>Янюшкин А. С., Попов В. Ю.</i>	<b>132</b>	<b>RESEARCH OF CUTTING PROPERTIES OF DIAMOND TOOL ON METAL BOND</b> <i>Yanyushkin A. S., Popov V. Y.</i>
<b>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНДУКТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНО – АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ</b> <i>Леонов С. Л., Иконников А. М., Адам Кулавик, Гребеньков Р. В.</i>	<b>140</b>	<b>FEATURES OF THE APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD WHEN MODELING THE MAGNETIC FIELD OF THE INDUCTOR WITH PERMANENT MAGNETS IN THE PROCESS OF MAGNETIC ABRASIVE MACHINING</b> <i>Leonov S. L., Ikonnikov A. M., Adam Kulawik, Grebenkov R. V.</i>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ АРМСО – ЖЕЛЕЗА И ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ – 4 В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НИТРАТА НАТРИЯ</b> <i>Гаар Н. П., Локтионов А.А., Давыдова С. А., Иванова Ю. С.,</i>	<b>146</b>	<b>RESEARCH ON FEATURES OF ANODE BEHAVIOR OF ARMCO – IRON AND TITANIUM ALLOY IN AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM NITRATE</b> <i>Gaar N. P., Loktionov A. A., Davydova S. A. Ivanova Yu. S.</i>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ РЕЗА ПРИ СМЕНЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАСКРОЯ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКОЙ</b> <i>Гаар Н. П., Локтионов А. А., Герасимов Н.В.</i>	<b>153</b>	<b>RESEARCH ON DEFECTS OF CUT WHEN CHANGING THE CUTTING DIRECTION BY HIGH – PRECISION PLASMA CUTTING OF SHEET MATERIAL</b> <i>Gaar N. P. Loktionov A. A., Gerasimov N. V.</i>
<b>РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ УДАРНОЙ МАШИНЫ С ИНЕРЦИОННЫМ РЕВЕРСОМ БОЙКА</b> <i>Нейман Л. А.</i>	<b>158</b>	<b>SOLVING THE EQUATIONS OF THE DYNAMICS OF THE WORKING PROCESS OF AN ELECTROMAGNETIC SHOCK MACHINE WITH THE INERTIAL REVERSION OF BOIKE</b> <i>Neyman L. A.</i>
<b>РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ШКВОРНЕВОГО УЗЛА АВТОМОБИЛЯ УАЗ С ПОДШИПНИКОМ КАЧЕНИЯ</b> <i>Фирсов А. М., Овчаренко А. Г., Карагужин Х. Г., Смирнов В. В.</i>	<b>167</b>	<b>DIMENSIONAL ANALYSIS OF UAZ PIVOT SITE WITH THE ROLLING BEARING</b> <i>Firsov A. M., Ovcharenko A. G., Karagujn H. G., Smirnov V. B.</i>
<b>АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА КНТ – 16 В СРЕДЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ</b> <i>Красильников Б. А., Василевская С.И., Головкин Н. В.</i>	<b>174</b>	<b>ANODE BEHAVIOUR OF KNT – 16 ALLOY IN THE NEUTRAL ELECTROLYTES MEDIUM</b> <i>Krasilnikov B. A., Vasilevskaya S. I., Golovko N. V.</i>
<b>К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ КОМПОНОВКАМИ</b> <i>Аникеева О. В.</i>	<b>179</b>	<b>TO THE BUILDING OF THE FUNCTIONAL RELATIONSHIPS SYSTEM IN PROCESSING OF WORK PIECES ON MACHINES WITH CONSISTENT ARRANGEMENTS</b> <i>Anikeeva O. V.</i>
<b>НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТРЕЗНЫХ КРУГОВ ПРИ СЛАБОЙ АНИЗОТРОПИИ МАТЕРИАЛА КОРПУСА</b> <i>Аветисов Р. А., Ерошин С. С.</i>	<b>185</b>	<b>STRESS - STRAIN STATE OF CUTTING DISCS WITH WEAK ANISOTROPY OF THE MATERIAL OF THE BODY</b> <i>Avetisov R. A., Eroshin S. S.</i>
<b>СОЗДАНИЕ ПРЯМОГО ПРИВОДА КОЛЬЦЕВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БЕЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ОПОР</b> <i>Ерошин С. С., Аветисов Р. А.</i>	<b>196</b>	<b>THE DEVELOPMENT OF MACHINES AND DEVICES WITH DIRECT ROTATION OF ROTOR WITHOUT MECHANICAL SUPPORT</b> <i>Eroshin S. S., Avetisov R. A.</i>

УДК 621.9.06:006.82

## **К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ КОМПОНОВКАМИ**

*АНИКЕЕВА О. В., канд. техн. наук., ст. науч. сотрудник  
(ЮЗГУ, г. Курск, Россия)*

**Аникеева О.В.** – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»,  
e – mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

### **Аннотация**

В работе представлен научно обоснованный подход к построению системы размерных связей при обработке заготовок на станках с последовательными типами компоновок. Приведена структура геометрических погрешностей обработанной детали, выделены три слоя размерных связей. Представлены выражения, позволяющие сформировать полную систему размерных связей при обработке заготовок для слоя размерных связей формообразующей системы при выбранном станке и инструменте. Рассмотрен пример системы размерных связей для токарного станка с последовательным типом компоновки при обработке на нем торцевой и цилиндрической поверхностей.

**Ключевые слова:** формообразующая система, геометрическая погрешность, металлорежущий станок.

### **Введение**

Последовательные компоновки металлорежущих станков, т.е. тех, в которых звенья формообразующей системы (ФС) соединены последовательно и имеют в относительном движении не более одной степени свободы [1], относятся к наиболее распространенным типам [2]. При этом взаимное положение двух таких звеньев в общем случае характеризуется шестью геометрическими погрешностями взаимного расположения. В целом геометрические погрешности станка оказывают значимое влияние на точность обработанных на них деталей, а их предельные значения приведены в соответствующих ГОСТах. Однако система действующих стандартов на нормы геометрической точности станков является не полной, поскольку не охватывает все уже известные компоновки станков [3], а также не содержит рекомендаций по обоснованию таких норм для станков с новыми компоновками. По мнению авторов работы [1] при нормировании точности станков формируют некоторый перечень проверок «... что позволяет как-то оценить качественный уровень изготовления станка, но часто не дает возможность рассчитать точность обработки на станке» (с. 94, [1]).

Выявление размерных связей между геометрическими погрешностями обработанных деталей и погрешностями станка является важным этапом как при создании обоснованных норм точности станков, так и при выборе оборудования для достижения требуемой точности обработки.

Основой для выявления таких связей является вариационный метод расчета точности [1], получивший дальнейшее развитие в работах [4 – 6]. В них рассмотрено образование погрешностей размера, формы и погрешности положения как отдельной обработанной поверхности относительно технологических баз, так и взаимного расположения различных обработанных поверхностей, т.к. свое служебное назначение деталь выполняет системой поверхностей [7]. Полагаем, что для некоторого станка с известной компоновкой, уже имеются результаты выполнения этапа обоснованного выбора

множества изготавливаемых на нем деталей с заданными требованиями к точности обработки каждой поверхности и их взаимного расположения. Тогда построение системы размерных связей при обработке заготовок между геометрическими погрешностями станка и обработанных на нем деталей для обоснования норм точности, является актуальным.

Целью данной работы является создание научно обоснованного подхода к построению системы размерных связей при обработке заготовок на станках с последовательными типами компоновок.

### **Научно обоснованный подход к построению системы размерных связей при обработке заготовок на станках с последовательными компоновками**

Достижение поставленной цели требует исследования возможных вариантов структур соотношений между параметрами геометрической точности металлорежущего станка и обработанных на нем поверхностей деталей.

Структура геометрических погрешностей обработанной детали, ограничиваемых соответствующими допусками по ГОСТ 2 – 308 и др., представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура геометрических погрешностей обработанной детали

При построении системы размерных связей при обработке заготовок целесообразно ввести три слоя:

- 1) слой размерных связей собственно самой детали (из чертежа);
- 2) слой размерных связей заготовки при принятой технологии обработки на уровне операций;
- 3) слой размерных связей ФС при выбранном станке и инструменте.

В свою очередь, слой размерных связей ФС может иметь три варианта структуры, при обработке без переустановки обрабатываемой заготовки:

1. одним режущим инструментом;
2. несколькими режущими инструментами, расположенными в одном узле ФС, например, в револьверной головке;
3. несколькими режущими инструментами, расположенными в различных узлах ФС, например, на различных суппортах.

Уравнение номинальной обрабатываемой поверхности [1] имеет вид:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}_0(u, v, \mathbf{q}_0), \quad (1)$$

где  $u, v$  – криволинейные координаты поверхности;  $\mathbf{q}_0$  – вектор размерных параметров поверхности;  $\mathbf{q}_0 = (q_{01}, \dots, q_{0m1})^T$ ;  $m1$  – количество составляющих вектора  $\mathbf{q}_0$ ;  $t$  – символ транспонирования.

Новые определения векторного баланса точности  $\Delta \mathbf{r}_0$  и уравнения реальной обрабатываемой поверхности  $\mathbf{r}$ , данные в работе [4], включают в свой состав только те погрешности станка, которые входят в соответствующий скалярный баланс  $\Delta r_n = (\mathbf{n}^T \cdot \Delta \mathbf{r}_0)$ , где  $\mathbf{n}$  – единичный вектор нормали к обрабатываемой поверхности, в структурном виде представлены как:

$$\Delta r_0 = \varepsilon_0 r_0 + \delta r_0 + dr_0, \quad (2)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \varepsilon_0 \mathbf{r}_0 + \delta \mathbf{r}_0 + d\mathbf{r}_0, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_0 = \varepsilon_i (i = 0)$ ,  $\varepsilon_i$  – матрица погрешности взаимного расположения  $S_{i-1}$ -ой и  $S_i$ -ой систем координат ФС, связанных с  $i-1$ -м и  $i$ -м узлами ФС:

$$\varepsilon_i = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta_{xi} \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta_{yi} \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & \delta_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $\delta_{xi}, \delta_{yi}, \delta_{zi}$  – малые смещения системы координат  $S_i$  вдоль осей  $X, Y, Z$ ;  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  – малые углы поворота системы координат  $S_i$  относительно осей  $X, Y, Z$ .

В работе [4] было установлено, что матрица  $\varepsilon_0$  полностью определяет изменение положения обрабатываемой заготовки при обработке поверхности  $\mathbf{r}_0$  относительно используемой технологической базы, из-за погрешностей формы поверхностей, служащих для установки заготовки, и приводящих к возникновению погрешности базирования. Составляющие  $d\mathbf{r}_0$  и  $\delta \mathbf{r}_0$  в выражениях (6) и (7), определяют погрешности размера и формы для реально обработанной поверхности.

Для нетехнологичных деталей, у которых технологические базы на рассматриваемой операции не совпадают с конструкторскими базами, относительно которых заданы погрешности расположения обрабатываемых поверхностей, в работе [5] даны зависимости для определения:

– величины угла  $\eta_{1,2}$  между двумя радиусами – векторами реальных обработанных поверхностей  $\mathbf{r}_1(u, v)$  и  $\mathbf{r}_2(u, v)$ :

$$\cos \eta_{1,2} = \frac{\mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{r}_2}{|\mathbf{r}_1| |\mathbf{r}_2|}, \quad (5)$$

– расстояния  $\rho(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$  между этими радиусами – векторами:

$$\rho(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \sqrt{(r_2(1,1) - r_1(1,1))^2 + (r_2(2,1) - r_1(2,1))^2 + (r_2(3,1) - r_1(3,1))^2} \quad (6)$$

При использовании зависимостей (5) и (6) можно рассматривать не только полные геометрические элементы (поверхности), но и производные геометрические элементы. В этом случае  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$  будут являться функциями одной криволинейной координаты для линий, или являться константами для точек. Представленные выражения (1) - (6) позволяют сформировать полную систему размерных связей при обработке заготовок для слоя размерных связей ФС при выбранном станке и инструменте.

### Пример обработки заготовки на токарном станке с последовательной компоновкой

Рассмотрим обработку цилиндрической и правой торцевой поверхностей детали (рис. 2) на токарном станке с последовательной компоновкой одним режущим инструментом за один установ, ФС которого представлена на рис. 3.

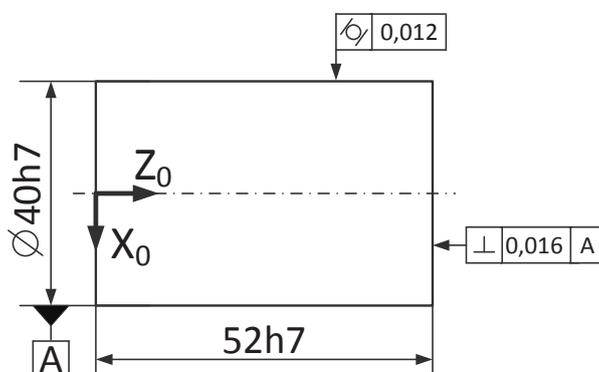


Рис 2. Обработанная деталь

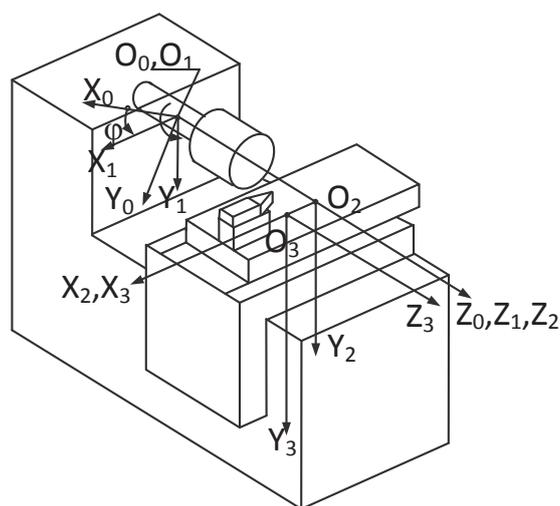


Рис 3. ФС токарного станка

Опуская промежуточные выкладки, считая, что геометрические погрешности станка не зависят от обобщенных переменных  $u$  и  $v$ , и, учитывая только члены первого порядка малости, система размерных связей будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} p(T_1 - /O/) \geq \delta x_1 + \delta x_2 + \delta x_3, \\ p/O/ \geq l\beta_1, \\ pT_2 \geq 2R(\beta_1 + \beta_2) + \delta z_1 + \delta z_2 + \delta z_3, \\ 2p \perp \geq \frac{Rl(2\beta_1 + \beta_2)}{R^2 + l^2}, \end{cases} \quad (7)$$

где  $p$  – доля геометрических погрешностей станка в погрешностях обработанной детали;  $T_1$  и  $T_2$  – значения полей допусков на цилиндрическую ( $R = 20$  мм) и торцевую ( $l = 52$  мм) поверхности,  $T_1 = 25$  мкм,  $T_2 = 30$  мкм;  $/O/$  – допуск на отклонение от цилиндричности,  $/O/ = 12$  мкм;  $\perp$  – допуск на отклонение от перпендикулярности цилиндрической и торцевой поверхностей,  $\perp = 0,016/40$  рад; а остальные составляющие являются геометрическими погрешностями станка, т.е. элементами матриц  $\varepsilon_i$  по выражению (4).

Значения геометрических погрешностей станка, удовлетворяющие системе связей (7), при принятых допущениях, позволяют обеспечить заданную точность обработки детали. Полная система размерных связей должна формироваться на основе требований к точности всех деталей, обрабатываемых на станке, в т.ч. несколькими режущими инструментами, расположенными в одном узле или различных узлах ФС.

### **Выводы**

В данной работе представлен научно обоснованный подход к построению системы размерных связей при обработке заготовок на станках с последовательными типами компоновок. Для станков с параллельными и гибридными компоновками при формализации структуры ФС используются виртуальные координаты [6, 7], при этом погрешности реальных звеньев станков являются функциями погрешностей виртуальных координат. В связи с этим, построение полной системы размерных связей для станков с различными типами компоновок требует развития предложенного подхода к определению геометрических погрешностей для станков с параллельными и гибридными компоновками.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16 – 38 – 60049 мол\_а\_дк.

### **Список литературы**

1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Аверьянов О.И., Гельштейн Я.М. Информационное обеспечение проектирования металлорежущих станков: Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. - М.: ВНИИТЭМР; вып.1, 1988. – 44 с.
3. Долженкова, С.Б. Выявление геометрических погрешностей металлорежущих станочных систем влияющих на точность обработки / С.Б. Долженкова, А.Г. Ивахненко, В.В. Куц // Известия Курского государственного технического университета. – 2010. - № 2 (31). – С. 60 – 65.

4. Аникеева, О.В. Развитие вариационного метода расчета точности металлорежущих станков / О.В. Аникеева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 5, 2016. – С. 111 – 118.
5. Аникеева, О.В. Влияние параметров геометрической точности станков на отклонения расположения обработанных поверхностей / О.В. Аникеева, А.Г. Ивахненко, Д.Н. Крюков // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
6. Ивахненко, А.Г. Точность формообразования на гексаподах / А.Г. Ивахненко, О.Н. Подленко // СТИН. - № 9, 2007. – С. 2 – 6.
7. Ивахненко, А.Г. Структурно-параметрический синтез металлорежущих систем с гибридной компоновкой / А.Г. Ивахненко, В.В. Куц, Е.О. Ивахненко Е.О. // Вестник машиностроения. - № 5, 2016. – С. 17 – 23.

**TO THE BUILDING OF THE FUNCTIONAL RELATIONSHIPS SYSTEM IN  
PROCESSING OF WORK PIECES ON MACHINES WITH CONSISTENT  
ARRANGEMENTS**

**Anikeeva O.V.**, C.Sc. (Engineering), Senior Researcher, e – mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Southwest State University",  
50 Let Oktyabrya Street, 94, Kursk, 305040, Russian Federation

**Abstract**

The scientifically advanced approach to the building of the functional relationships system in processing of work pieces on machines with consistent arrangements is considered in the paper. The basis to building of the functional relationships system is the variational method for calculating the accuracy of machine tools. The structure of the machined part geometric errors is given in the paper. Three layers of functional relationships and three variant of a machine forming system structure are allocated. The mathematical expressions are presented which allow to forming a functional relationships complete system during the machining of work pieces. This expressions can be used for a layer the dimensional relations of the machine forming system when selected the machine and the tool. The turning as an example the system functional relationships for turning machine with consistent arrangements in the processing to this end and cylindrical surfaces are considered. Direction for further studies is the building of the full functional relationships system for machine with various arrangements. This direction is requires of the development of a proposed approach to the definition of geometric errors for machine tools with parallel and hybrid arrangements.

**Keywords:** machine forming system, geometric accuracy, machine – tool.