

Михайлов А. Н., Котляров В. Б., Котляров С. Б., Котляров Б. С.

(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, Россия)

Тел: +7 (988) 554-00-21; +7 (985) 021-79-06, +7 (964) 704-53-62;

E-mail: tm@fimm.donntu.org; boris.kotlyarov@mail.ru; velidarkotlarov@mail.ru

ВЫБОР БАЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ БЛОК-ВАЛА КОЛЕС В СБОРОЧНОМ ВАРИАНТЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В данной статье рассмотрен вопрос выбора технологически баз при обработке входящих в сборочную единицу блок-вал колес деталей, обеспечивающих требуемое взаимное положение поверхностей для сборки. При этом технологические базы деталей в процессе формообразования при механообработке не всегда совпадают с конструктивными базами, обеспечивающими правильность сборки сборочной единицы - блок-вала колес. Рассмотрены специфические вопросы выбора баз для обеспечения точности сборки с учетом необходимости одновременной ориентации нескольких деталей относительно выбранной конструктивной базы основной детали узла.

Ключевые слова: деталь, участок, базовая поверхность, ориентация, относительное положение, фиксация, точность.

A. N. Mikhailov, V. B. Kotlyarov, S. B. Kotlyarov, B. S. Kotlyarov

SELECTION OF BASES FOR MACHINING AND ASSEMBLY OF WHEEL BLOCK-SHAFT PARTS IN THE ASSEMBLY VERSION OF PRODUCTION

This article considers the issue of choosing technological bases for processing parts included in the assembly unit block shaft of wheels, providing the required relative position of the surfaces for assembly. At the same time, the technological bases of the parts in the process of forming during machining do not always coincide with the structural bases that ensure the correct assembly of the assembly unit - the block shaft of the wheels. The specific issues of choosing bases to ensure the accuracy of the assembly are considered, taking into account the need for simultaneous orientation of several parts relative to the selected structural base of the main part of the node.

Keywords: part, section, base surface, orientation, relative position, fixation, accuracy.

1. Введение

Одним из способов создания аналогов деталей со сложной геометрией является замещение цельноизготовленных деталей сборными конструкциями из деталей с более простыми и технологичными формами и поверхностями.

Так для детали блок-вал колес, применяемой в КПП без разрыва ППМ, разработан вариант сборной конструкции блок-вала колес, состоящий из собственно вала, комплекта зубчатых колес, шпонок и вспомогательных фиксирующих деталей. Примеры эскизов цельного блок-вала и варианта сборочной единицы приведены на рисунке 1.

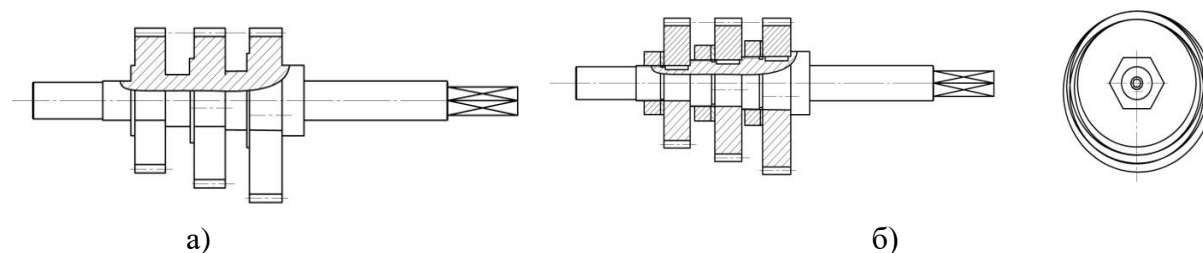


Рисунок 1. Варианты конструктивного исполнения блок-вала колес.

а) Блок-вал изготовлен как одна деталь; б) Блок-вал изготовлен как сборочная единица

2. Цель и задачи

Целью работы является проведение исследований по созданию порядка и разработке алгоритма действий при установке базовых поверхностей для проведения обработки деталей, входящих в сборочную единицу со множественными элементами и поверхностями, повторяющихся в нескольких частях и зонах конструкции. Исследования проведены на примере разработки технологии изготовления блок-вала колес КПП без разрыва ППМ, являющегося представителем конструкции таких конструкций. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

1. Подтвердить актуальность ограниченной номенклатуры специфических узлов, к категории которых относится блок-вал КПП без разрыва ППМ, выполненных в сборочном исполнении вместо монолитных изделий, с целью снижения затрат и упрощения технологического обеспечения;
2. Установить предпочтительные базовые элементы и поверхности входящих в узел деталей, обеспечивающих удовлетворительную точность сборочного узла, не уступающую точности монолитного изделия, указанную в КД;
3. Предложить порядок расчета полей допусков на размеры и допускаемых отклонений относительного положения элементов, определяющих точность сборки узла;
4. Установить характер влияния точности сборочного узла блок-вала колес на точность механизма с учетом точности сопряжения блок-вала колес с корпусными деталями и другими деталями типа планшайб и кулачковых механизмов управления работой КПП без разрыва ППМ.

3. Основное содержание

Существует большое количество деталей машиностроительной сферы, имеющих множество присоединительных размеров для входящих в сборочную единицу деталей. В зависимости от функционального предназначения поверхностей необходимо в процессе обработки обеспечивать определенную степень точности относительного расположения поверхностей в пространстве. С целью достижения требуемой точности сборки необходимо обеспечивать достаточную степень точности изготовления деталей, в частности, точности выдерживания размерных цепочек в пределах заданных полей допусков, а также точности формы и взаимного расположения присоединительных поверхностей и отдельных специфических и множественных элементов деталей.

Порядок изготовления таких изделий рассмотрен на примере исполнения блок-вала колес КПП без разрыва ППМ [1, 2, 3], который для упрощения технологического обеспечения выполняется в варианте сборочной единицы.

На рисунке 2 приведен эскиз одного из вариантов исполнения блок-вала колес в виде сборочной единицы. В приведенном варианте сам вал исполнен как эксцентриковый вал, а зубчатые колеса – в виде симметричных колес. Эксцентриситет посадочных отверстий вала рассчитывается из величины эксцентриситета блок-вала в зацеплении, при котором обеспечивается правильное зубчатое зацепление при переключении передач.

Основные детали вышеприведенной сборочной единицы блок-вала колес приведены на рисунках ниже. На рисунке 3 приведен эскиз эксцентрикового вала, а на рисунке 4 групповой эскиз зубчатых колес с разным числом зубьев и посадочных диаметров на валу. Шаг размещения зубчатых колес вдоль оси вала обеспечивается

тем, что конструктивно выполнены упорные элементы с жестким допуском на размер и на относительное положение элементов.

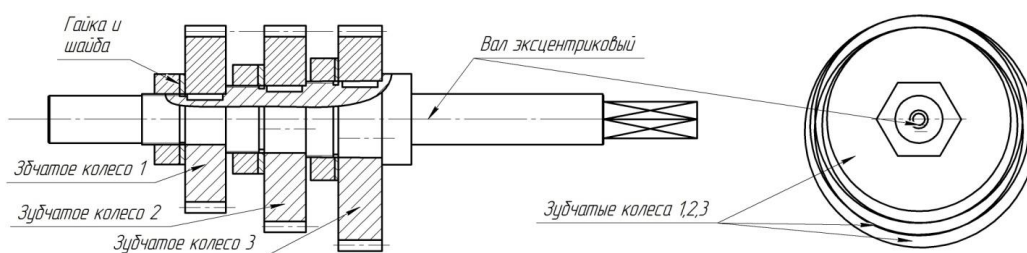


Рисунок 2. Эскиз блок-вала колес в исполнении сборочной единицы

Прижим к упорным поверхностям по оси обеспечивается крепежными деталями – гайками с шайбами. Привязка осевых размеров осуществляется по базовой опорной торцевой поверхности для крайнего зубчатого колеса.

Основной конструктивной и технологической базой для поверхностей вращения вала является ось центровых отверстий – база А на рисунке 3. Опорной конструктивной и измерительной базой для исполнения поверхностей и размещения зубчатых колес на валу в осевом направлении является опорная торцевая поверхность вала – база С. Возможно применение дополнительной технологической базы для сборки в виде боковой поверхности шпоночных пазов – база Б, имеющей привязку к базе А.

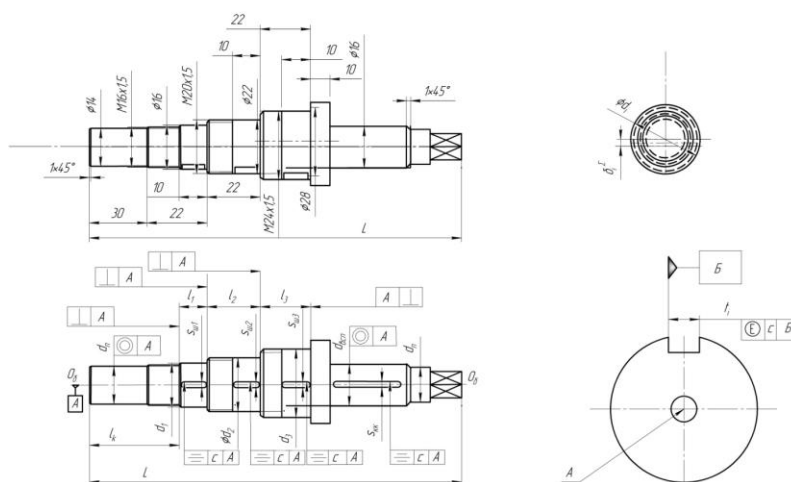


Рисунок 3. Эскиз вала с обозначением технологических баз для механообработки

Посадочные диаметры d_1 , d_2 и d_3 вала предназначены для установки зубчатых колес и выполняются по 6-7 квалитету точности с обеспечением требований по отклонению от цилиндричности и по величине отклонения от общей плоскости симметрии относительно боковых поверхностей шпоночных пазов для зубчатых колес. Дополнительно необходимо выдержать требование к отклонению от общей оси вращения.

Требования к относительным величинам отклонений поверхностей и элементов от номинального положения могут быть рассчитаны, исходя из допустимого отклонения параметров зацепления передач. Исходной величиной для разработки порядка расчета допусковых отклонений для вала и зубчатых колес блок-вала

предлагаемой КПП без разрыва ППМ является норма точности согласно ГОСТ 1643-81 и боковые зазоры T_{jn} в соответствии с принятой нормой кинематической точности рассматриваемой передачи, где учитывается вид сопряжения и степень точности изготовления зубчатых колес. Эскиз зубчатых колес для рассматриваемого блок-вала колес приведен на рис. 4.

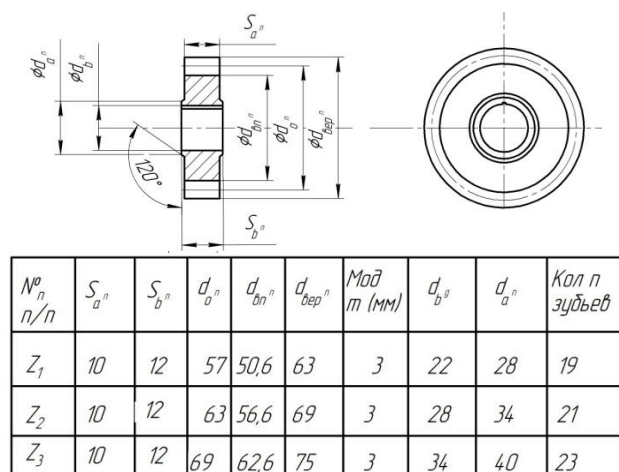


Рисунок 4. Эскиз групповой зубчатых колес, входящих в состав блок-вала колес.

Зубчатые колеса с разными размерами соответствуют трем передачам для КПП без разрыва ППМ, реализующих переключение и работу КПП в 3 скоростных режимах.

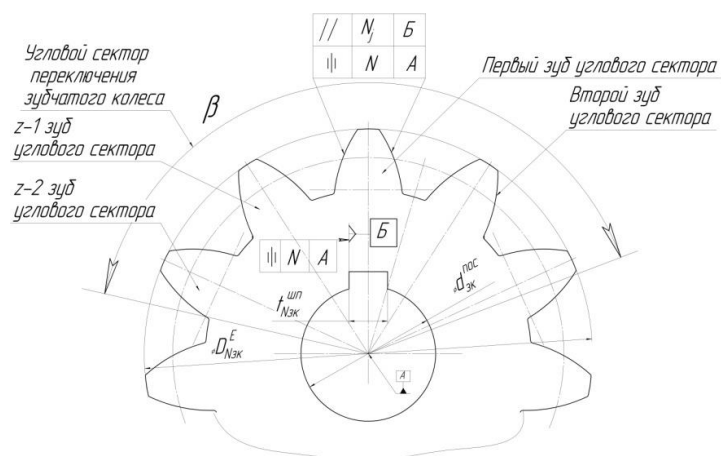


Рисунок 5. Эскиз зубчатого колеса с указанием принципиальных требований относительного положения элементов и баз основных и вспомогательных

Основная база поверхностей вращения зубчатого колеса А – ось посадочного отверстия $d_{\text{ос}}^{\text{нос}}$; вспомогательная база Б – боковые поверхности шпоночного паза $d_{\text{шп}}^{\text{иг}}$. Ограничено отклонение от симметричности шпоночного паза относительно оси А.

Поле допуска T_{jn} согласно ГОСТ 1643 [4] должно компенсировать все погрешности кинематических ошибок зацепления сопрягаемых звеньев $T_{\text{сз}}^{\text{кин}}$, а также погрешностей технологического обеспечения $T_{\text{изг}}^{\text{ТО}}$ при изготовлении, а также

конструктивные допускаемые погрешности $T_{КД}^{констр}$, заложенные в конструкторской документации. Таким образом, можно записать соотношение:

$$T_{jn} \leq T_{сз}^{кин} + T_{иззД}^{ТО} + T_{КД}^{констр}. \quad (1)$$

Суммарная погрешность правой части выражения (1) не должна превышать допустимую величину погрешности T_{jn} по ГОСТ 1643. В рамках исследования данной работы необходимо выделить для дальнейшего рассмотрения часть погрешности $T_{иззД}^{ТО}$, которая характеризует ошибки относительно геометрической точности изделий, включающей размерные отклонения и отклонения формы и расположения элементов.

Оставляющими частями общей технологической погрешности являются связи и элементы системы технологического обеспечения цепочки СПИД (станок-приспособление – инструмент - деталь). Суммарная погрешность указанных частей и составляет полную технологическую часть общей ошибки изготовления, т.е.:

$$T_{иззД}^{ТО} = T_{ст}^{цз} + T_{пр}^{цб} + T_{ин}^{рчуст} + T_{дет}^{фпрпуск}, \quad (2)$$

где в правой части укрупненно представлены погрешности, присущие каждому звену цепочки СПИД. При этом каждый элемент правой части выражения (2) представляет собой сложную величину, включающую погрешности входящих частей.

Так погрешности станка $T_{ст}^{цз}$, указанные в выражении (2), отражают собственно точность изготовления самого станка согласно установленным нормам степеней точности. Сюда входят как ошибки выходных элементов – направляющих станины, соотношение характеристик точности расположения шпинделя относительно направляющих станины, а также точности характеристик осуществления перемещений и вращения механизмов подач и шпинделей станка.

Погрешность $T_{пр}^{цб}$ приспособления отражает степень точности изготовления оснастки и точности установки на станок при наладке технологической системы.

Погрешность $T_{ин}^{рчуст}$ инструмента определяется выбором характеристик применяемого инструментального обеспечения, характеризуемого степенью точности изготовления, материалом режущих кромок (твердость, износостойкость, перезаточки и т.д.), а также точность позиционирования на станке относительно определяющих поверхностей самого станка и приспособления.

Погрешность $T_{дет}^{фпрпуск}$ детали отражает свойства и их влияние на точность изготовления самой заготовки детали. Определяющими характеристиками здесь являются собственно применяемый материал заготовки с определенными физикомеханическими свойствами (твердость, вязкость, хрупкость, упругость, пластичность и др.), а также геометрия, форма и размеры элементов и величины припусков обрабатываемых поверхностей.

Каждый из рассмотренных элементов погрешностей подробно исследован, изучен, а результаты исследований изложены в технической литературе и учебниках [5].

Для решения задач настоящей работы интерес представляет та часть общей величины допускаемой погрешности, которая может быть использована в части компенсации ошибок при изготовлении блок-вала колес в пределах конструкторского

допуска с применением сборочного варианта исполнения. При этом существенная часть допуска может быть скомпенсирована правильным выбором и расчетом базирования при обработке поверхностей входящих в блок-вал деталей [6, 7, 8].

При установлении технологических баз для обработки вала на рис. 3 следует учитывать возможность обработки групп поверхностей с одной установки.

Так все поверхности вращения вала на рисунке 3 следует обрабатывать с одной установки в центрах – технологическая база А. Благодаря такому базированию при точении обеспечивается минимизация поля допуска и требования отклонений относительно общей оси центров вала. Максимальную погрешность в этом случае может составлять погрешность δ_i установки эксцентриситета ε_i осей каждой обрабатываемой посадочной поверхности вала относительно оси центров.

Аналогично все шпоночные пазы на посадочных поверхностях вала под зубчатые колеса и элемент управления следует также обрабатывать с одной установки и одним инструментом. В этом случае обеспечивается минимизация отклонения боковых поверхностей шпоночных пазов от общей прилегающей поверхности, что является важным условием позиционирования зубчатых колес по первому зубу углового сектора переключения передач в КПП. Чем меньше отклонение от конгруэнтности первого зуба всех зубчатых колес, тем более плавно осуществляется процесс переключения и перевод осей вращения зубчатых колес в новое ГМТ оси вращения блок-вала колес.

Примеры требований к отклонениям поверхностей зубьев зубчатых венцов приведены на рисунке 5 и к поверхностям вала в укрупненном плане на рисунке 3. Минимизация отклонений от требований, касающиеся поверхностей 1-го зуба углового сектора переключений и боковых поверхностей шпоночных пазов зубчатых колес обеспечивает максимальное совпадение контуров первого зуба всех колес в сборке блок-вала колес.

Необходимо учитывать то обстоятельство, что для контуров зубьев углового сектора переключения передач добавляется дополнительная величина погрешности в зацеплении, определяемая величиной модуля зацепления, общим количеством зубьев каждого зубчатого венца коле, а также количеством зубьев углового сектора, включенных в процесс собственно переключения передачи. Такое влияние в количественном плане можно отразить следующим выражением:

$$\delta_{шаг}^{\Sigma} = \delta_{зуб}^{констр} + \delta_{зуб}^{технолог} + \delta_{зац}^{кинемат} , \quad (3)$$

где $\delta_{зац}^{кинемат}$ - величина погрешности на шаг в (3), состоящая из суммарной накопленной погрешности в процессе переключения, зависящая от допускаемой погрешности зацепления, порядкового номера зуб в угловом секторе зубчатого венца, и числа зубьев, занятых в угловом секторе в процессе переключения передач.

Происхождение $\delta_{зуб}^{констр}$ - конструктивной, и $\delta_{зуб}^{технолог}$ - технологической составляющих частей суммарной погрешности $\delta_{шаг}^{\Sigma}$ углового шага, и влияющие факторы на величину ошибки рассмотрено ранее. Относительно величины погрешности $\delta_{зац}^{кинемат}$ необходимо добавить, что для каждого из входящих в зацепление зубьев угловых секторов колес на каждый последующий шаг зацепления, начиная от первого зуба добавляется величина $\delta_{чj}^{кин}$. При этом минимальное значение добавленной погрешности приходится на прилежащие к первому зубу угловой шаг 1-2 зубьев, и 1-

($n-1$) зубьев, где 1-й зуб – это центральный зуб углового сектора. Зубья 1 и ($n-1$) – это предстоящий перед первым зубом и последующий после 1-го зуба шаг колеса. Зависимость величины погрешности $\delta_{cj}^{кин}$ от указанных факторов можно записать в следующем виде:

$$\delta_{cj}^{кин} = \delta_{баз}^{кин} + \delta_{jn}^{доб}, \quad (4)$$

а величина:

$$\delta_{jn}^{доб} = \frac{n_j \times \delta_{баз}^{кин}}{2n}, \quad (5)$$

где в составе кинематической погрешности $\delta_{cj}^{кин}$ величина $\delta_{jn}^{доб}$ представляет дополнительную возможную погрешность от влияния составляющей при перемене оси вращения блок-вала в новом положении ГМТ:

n – число зубьев зубчатого венца, попадающих в угловой сектор переключения передач;

n_j – порядковый номер зуба углового сектора, начиная от центрального зуба №1, который в рассматриваемый момент находится в зацеплении с шестерней. В выражении (5) коэффициент 2 введен с учетом того, что первый зуб углового сектора – это центральный зуб, а в обе стороны от зуба № 1 симметрично расположены остальные зубья сектора. При этом фактически первым в начальную часть диапазона вращения в угловом секторе изменения положения осей вступает зуб, расположенный в начале углового сектора, затем зуб, предстоящий перед центральным, а потом центральный зуб. Замыкающими в зоне процесса переключения являются последующие два зуба - 2-ой и 3-ий зубья.

Для нормального зацепления толщина зуба определяется формулой $s = \pi \times m / 2$, где m - модуль зацепления. Для зацепления со смещением исходного контура при нарезании (положительных или отрицательных смещений зацеплений) необходимо проводить дополнительные расчеты с учетом величины смещения. Для косозубых зацеплений необходимо учитывать дополнительно угол наклона зубьев при нарезании зубчатых колес, оказывающих влияние на величину смещения исходного контура.

При применении зубчатых колес симметричного исполнения имеется возможность в процессе сборки блок-вала колес частично компенсировать погрешности изготовления в части отклонения от заданного относительного положения путем переустановки колес на 180° , что позволяет менять сторону отклонения от общей прилегающей плоскости. Другим моментом в повышении качества сборки всего механизма КПП является возможность исправления погрешностей изготовления зубчатых колес и посадок вала за счет корректировки линии контакта при перемещении пальца внутренней планшайбы по траектории паза внешней планшайбы в процессе переключения передач.

4. Заключение

В данной работе проведены исследования по созданию и разработке порядка действий при выборе базовых поверхностей для проведения обработки деталей, входящих в сборочную единицу блок-вал колес КПП без разрыва ППМ с элементами и поверхностями, повторяющимися в нескольких частях и зонах конструкции. Решен ряд следующих задач, обеспечивающих достижение поставленной цели:

1. Выявлены представители ограниченной номенклатуры специфических узлов, к категории которых относится блок-вал КПП без разрыва ППМ, выполненных в сборочном исполнении вместо монолитных изделий, с целью снижения затрат и упрощения технологического обеспечения;

2. Установлены предпочтительные базовые элементы и поверхности входящих в узел деталей, позволяющие достигать удовлетворительную точность сборочного узла для сборки КПП, не уступающую точности монолитного изделия согласно КД;

3. Предложен порядок расчета полей допусков на размеры и величин отклонения относительного положения элементов, определяющих точность сборки узла;

4. Установлен характер влияния точности сборочного узла блок-вала колес и его элементов в сборочном варианте исполнения. При этом предусмотрено влияние выбора баз на точность механизма КПП без разрыва ППМ и возможности применения дополнительных механизмов компенсации погрешностей с учетом точности сопряжения блок-вала колес с корпусными деталями и другими деталями типа планшайб и кулачковых механизмов управления работой КПП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Михайлов А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2020. Вып. 3 (70). С. 22-33. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

2. Михайлов А. Н. Анализ деталей по функциональным признакам участков и зон согласно уровню и глубине технологического обеспечения целевой функции / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – Вып. 1 (76). – С. 43-52. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

3. Михайлов А. Н. Синтез структурных схем функционально-ориентированного технологического воздействия при формообразовании и формировании поверхностных свойств деталей КПП / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2021. Вып. 2 (73). С. 53-67. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

4. ГОСТ 1643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. Обозначение: ГОСТ 1643-81.ГОСТ 1643-81

5. А. Г. Суслов Основы технологии машиностроения. Учебник Изд. КноРус | 2016.

6. Базров Б. М. Основы технологии машиностроения: учебник / Б. М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.

7. Технологическая наследственность в машиностроении / А. М. Дальский, Б. М. Базров, А. С. Васильев и [др.] / Под ред. А. М. Дальского. – М.: МАИ, 2000. – 364 с.

8. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя / В. И. Анурьев: в 3 т., Т. 2. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.

Поступила в редколлегию 01.02.2024