

УДК 621.757

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ОСНАЩЕНИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СБОРОЧНЫХ СВЯЗЕЙ

Малышев Е.Н., Калмыков В.В., Золотайкина А.В., Малышев И.Е., Крюков М.В.

*Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: sorat-vad@yandex.ru*

Выбор наиболее рационального варианта компоновки сборочной системы и конструкции элементов сборочного приспособления следует проводить исходя из геометрических параметров соединяемых деталей и средств оснащения, особенностей используемых материалов, требований к производительности сборочной системы. Метод компоновочных сборочных схем позволяет до проектирования средств оснащения осуществлять построение возможных вариантов сборочных связей для предварительной оценки и их выбора для реализации сборочной системы; анализировать каждое соединение как в отдельности, так и в составе изделия и во взаимодействии с элементами сборочной системы. Компоновочная сборочная схема характеризует сборочный контур, совмещает в себе линейные и угловые размерные сборочные цепи, что позволяет проводить комплексный анализ сборочной системы. Построение компоновочных сборочных схем не вызывает больших затруднений, выявляемые связи позволяют переходить к размерному анализу соединения и его реализации в виде компоновочных решений.

**Ключевые слова:** технология сборки машин, автоматизация проектирования, схема сборки

## DESIGN TOOL ASSEMBLY OPERATIONS EQUIPMENT BASED ON ANALYSIS ASSEMBLY RELATIONSHIPS

Malyshev E.N., Kalmykov V.V., Zolotaykina A.V., Malyshev I.E., Kryukov M.V.

*Moscow State Technical University n.a. Bauman, Kaluga Branch, Kaluga, e-mail: marls77@yandex.ru*

Selecting the most rational variant of the layout of the system assembly and design elements jig should be based on the geometric parameters of the parts and equipment resources, characteristics of the materials used, the performance requirements of the building system. layout circuit assembly method makes it possible to design tools to carry out the construction of equipment options assembly relationships for the preliminary evaluation and selection for the realization of the building system; analyzing each compound either alone or as part of the product, and in conjunction with elements of the building system. Layout assembly diagram describes the assembly circuit combines the linear and angular dimension chain assembly that allows a comprehensive analysis of the building system. Building layout assembly schemes does not cause much difficulty, revealed connections allow to move to the dimensional analysis of the compound and its implementation in the form of layout solutions.

**Keywords:** machine assembly technology, design automation, assembly scheme

На сегодняшний день большинство технологических решений принимается технологом на основе собственного опыта работы и интуиции. Принятые решения не всегда являются рациональными, поэтому существует необходимость разработки математических методов, позволяющих автоматизировать проектирование процессов и систем на основе научно обоснованного подхода. В отличие от механической обработки при сборке оснастка характеризуется большим разнообразием типоразмеров, поэтому ее проектирование занимает значительное время и требует более продуманных действий.

Сборочные единицы и средства оснащения сборки образуют технологическую сборочную систему. Компоновкой технологической сборочной системы будем считать совокупность ее элементов (соединяемые детали и элементы сборочной оснастки, непосредственно участвующие в сборке), их свойств и отношений между элементами и их свойствами [3, с. 272].

Компоновочная сборочная схема (КСС) является графо-аналитическим представ-

лением совокупности последовательно соединенных деталей с учетом характера связей между ними, такими как вид схемы базирования, соосность сопрягаемых поверхностей и др.

КСС предназначена для:

- анализа и синтеза структуры сборочной системы, выбора количества, конструктивного исполнения и относительного положения образующих ее деталей и узлов;
- научно обоснованного выбора рациональной конструкции и компоновки сборочной системы на основе построения и анализа возможных сборочных связей;
- выработки и принятия эффективных решений о выборе конструкции исполнительных поверхностей технологической оснастки, посредством которых осуществляется направление и ориентирование соединяемых деталей;
- выявления путей совершенствования конструкции деталей и технологической оснастки с целью обеспечения точностных параметров соединений.

**Анализ компоновочных сборочных связей**

Исходя из параметров, характеризующих структуру сборочной системы, каждая  $n$ -я деталь, входящая в нее, может быть представлена аналитически матрицей-строкой вида

$$[X_{1_n} X_{2_n} X_{3_n} X_{4_n}],$$

где  $X_{1_n} \dots X_{4_n}$  – булевы переменные:

–  $X_{1_n}$  – переменная, характеризующая соосность поверхностей, образующих основную и вспомогательную конструкторскую базу  $n$ -й детали, образующей сбо-

рочной системы. Принимается  $X_{1_n} = 1$ , если в формировании основной и вспомогательной конструкторской баз  $n$ -й детали использованы соосные поверхности;  $X_{1_n} = 0$ , если в формировании основной и вспомогательной конструкторской баз  $n$ -ой детали использованы несоосные поверхности;

–  $X_{2_n}$  – переменная, характеризующая соосность сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей. Принимается  $X_{2_n} = 1$ , если сопряжение  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей является соосным;  $X_{2_n} = 0$ , если сопряжение  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей не является соосным;

–  $X_{3_n}$  – переменная, характеризующая схему базирования, реализованную в основной конструкторской базе  $n$ -й детали. Принимается  $X_{3_n} = 1$ , если в сопряжении  $n$ -й и  $(n - 1)$ -й деталей реализован комплект двойной направляющей и опорной баз;  $X_{3_n} = 0$ , если в сопряжении  $n$ -й и  $(n - 1)$ -й деталей реализован комплект установочной и направляющей баз;

–  $X_{4_n}$  – переменная, характеризующая схему базирования, реализованную во вспомогательной конструкторской базе  $n$ -й детали. Принимается  $X_{4_n} = 1$ , если в сопря-

жении  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей реализован комплект двойной направляющей и опорной баз;  $X_{4_n} = 0$ , если в сопряжении  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей реализован комплект установочной и направляющей баз.

При проектировании соединения конструктор, как правило, «подстраивает» основную конструкторскую базу  $(n + 1)$ -й детали под вспомогательную конструкторскую базу  $n$ -й детали, поэтому  $X_{4_n} = X_{3_{(n+1)}}$ .

Каждую  $n$ -ю деталь, входящую в сборочный контур, можно представить матрицей-строкой одним из  $2^4 = 16$  вариантов (табл. 1).

**Таблица 1**

Аналитическое представление деталей как элементов КСС

Номер варианта	$[X_{1_n} X_{2_n} X_{3_n} X_{4_n}]$	Номер варианта	$[X_{1_n} X_{2_n} X_{3_n} X_{4_n}]$
1	$[1 1 1 1]$	9	$[0 1 1 1]$
2	$[1 1 1 0]$	10	$[0 1 1 0]$
3	$[1 1 0 1]$	11	$[0 1 0 1]$
4	$[1 1 0 0]$	12	$[0 1 0 0]$
5	$[1 0 1 1]$	13	$[0 0 1 1]$
6	$[1 0 1 0]$	14	$[0 0 1 0]$
7	$[1 0 0 1]$	15	$[0 0 0 1]$
8	$[1 0 0 0]$	16	$[0 0 0 0]$

рочную систему. Принимается  $X_{1_n} = 1$ , если в формировании основной и вспомогательной конструкторской баз  $n$ -й детали использованы соосные поверхности;  $X_{1_n} = 0$ , если в формировании основной и вспомогательной конструкторской баз  $n$ -ой детали использованы несоосные поверхности;

–  $X_{2_n}$  – переменная, характеризующая соосность сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей. Принимается  $X_{2_n} = 1$ , если сопряжение  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей является соосным;  $X_{2_n} = 0$ , если сопряжение  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей не является соосным;

–  $X_{3_n}$  – переменная, характеризующая схему базирования, реализованную в основной конструкторской базе  $n$ -й детали. Принимается  $X_{3_n} = 1$ , если в сопряжении  $n$ -й и  $(n - 1)$ -й деталей реализован комплект двойной направляющей и опорной баз;  $X_{3_n} = 0$ , если в сопряжении  $n$ -й и  $(n - 1)$ -й деталей реализован комплект установочной и направляющей баз;

–  $X_{4_n}$  – переменная, характеризующая схему базирования, реализованную во вспомогательной конструкторской базе  $n$ -й детали. Принимается  $X_{4_n} = 1$ , если в сопря-

жении  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей реализован комплект двойной направляющей и опорной баз;  $X_{4_n} = 0$ , если в сопряжении  $n$ -й и  $(n + 1)$ -й деталей реализован комплект установочной и направляющей баз.

При проектировании соединения конструктор, как правило, «подстраивает» основную конструкторскую базу  $(n + 1)$ -й детали под вспомогательную конструкторскую базу  $n$ -й детали, поэтому  $X_{4_n} = X_{3_{(n+1)}}$ .

Каждую  $n$ -ю деталь, входящую в сборочный контур, можно представить матрицей-строкой одним из  $2^4 = 16$  вариантов (табл. 1).

Количество звеньев  $l_n$  линейной размерной цепи, «вносимых»  $n$ -й деталью в общую сборочную цепь, можно определить, используя принятые обозначения, по формуле

$$l_n = 2 - X_{1_n} - X_{2_n}. \quad (1)$$

Количество звеньев  $L$  плоской размерной цепи последовательно соединяемых  $N$  деталей:

$$L = \sum_{n=1}^N (2 - X_{1_n} - X_{2_n}) \quad (2)$$

или

$$L = 2N - \sum_{n=1}^N X_{1_n} - \sum_{n=1}^N X_{2_n}. \quad (3)$$

Количество звеньев  $p_n$  угловой размерной цепи, «вносимых»  $n$ -й деталью в общую сборочную цепь:

$$p_n = 1 + X_{4_n} (1 - X_{2_n} - X_{1_n} X_{3_n}). \quad (4)$$

Количество звеньев  $P$  угловой размерной цепи последовательно соединяемых  $N$  деталей:

$$P = \sum_{n=1}^N p_n \quad (5)$$

или

$$P = N + \sum_{n=1}^N X_{4_n} - \sum_{n=1}^N X_{2_n} X_{4_n} - \sum_{n=1}^N X_{1_n} X_{3_n} X_{4_n}. \quad (6)$$

На рис. 1 показано преобразование полного релейного дерева для  $k = 4$  и для приведенных выше зависимостей при различных значениях  $X_{1_n} \dots X_{4_n}$  и соответствующего им количества звеньев линейной и угловой размерных цепей.

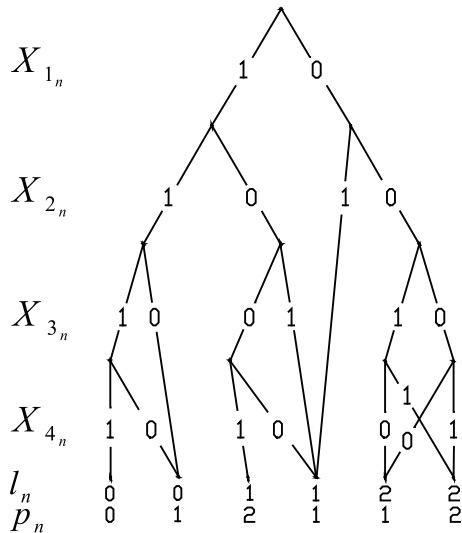


Рис. 1. Полное релейное дерево

Использование метода КСС можно отнести к частично формализованным эвристическим методам – эвритмам [4, с. 73], в которых часть процедур обработки информации может быть запрограммирована для ЭВМ, а другая часть реализована в диалоговом режиме, что делает возможным применение этих схем при разработке человеко-машинных систем автоматизированного проектирования [2, с. 58].

Метод КСС был использован для разработки сборочной операции установки ротора в статор шагового электродвигателя. Целью применения метода КСС являлся выбор рациональной компоновки сборочной системы и конструкции элементов технологической оснастки для сборки шагового электродвигателя, обеспечивающих максимальные значения допусков замыкающих и составляющих звеньев технологической системы [6, с. 228].

Элементами, составляющими исследуемую сборочную систему, являются ротор, статор и элементы сборочной оснастки, с помощью которых осуществляется ориентирование и направление объектов сборки. В общем виде ротор и статор представляют собой тела вращения ступенчатой формы. Их соединение может быть реализовано посредством различных схем базирования, и при сборке может быть задействован весь комплект поверхностей, принадлежащих соединяемым деталям [5, с. 114].

В соответствии с представлением ротора и статора как объектов КСС можно предварительно характеризовать направляющие элементы сборочного приспособления, посредством которых обеспечивается относительное ориентирование ротора и статора в процессе соединения:

- основная конструкторская база направляющих элементов сборочного приспособления наследует свои свойства от вспомогательной конструкторской базы ротора, то есть переменная  $X_{3_{н.э}}$  может принимать значения 0 и 1;

- переменная  $X_{1_{зв}}$  может принимать значения только 0, так как посредством направляющих элементов сборочного приспособления обеспечивается относительное положение охватываемой и охватывающей поверхностей, и, следовательно, в основной и вспомогательной конструкторских базах направляющих элементов сборочного приспособления не могут использоваться одни и те же поверхности;

- вспомогательная конструкторская база направляющих элементов сборочного приспособления может как совпадать, так и не совпадать с основной конструкторской базой статора ( $X_{2_{зв}} = 1$  или  $X_{2_{зв}} = 0$ );

- вспомогательная конструкторская база элементов сборочного приспособления может быть как комплектом двойной направляющей и опорной баз, так и комплектом установочной и двойной опорной баз ( $X_{4_{зв}} = 1$  или  $X_{4_{н.э}} = 0$ ).

Таким образом, направляющие элементы сборочного приспособления, посредством которых осуществляется относительное ориентирование ротора и статора в процессе соединения, могут быть представлены как объект КСС в виде восьми вариантов сочетаний значений переменных  $X_{1_{зв}} \dots X_{4_{зв}}$ .

Таблица 2

Аналитическое представление направляющих элементов сборочного приспособления в КСС

Номер варианта	$[X_{1_{зв}} X_{2_{зв}} X_{3_{зв}} X_{4_{н.э}}]$
9	$[0 1 1 1]$
10	$[0 1 1 0]$
11	$[0 1 0 1]$
12	$[0 1 0 0]$
13	$[0 0 1 1]$
14	$[0 0 1 0]$
15	$[0 0 0 1]$
16	$[0 0 0 0]$

Используя проведенный выше анализ ротора, статора и направляющих элементов сборочного приспособления можно получить 64 варианта КСС ротор – направляющие элементы сборочного приспособления – статор, в том числе для условий переналаживаемого производства [1].

Целью анализа построенных КСС является выявление из вариантов построенных компоновочных сборочных схем таких, которые отвечали бы назначенным требованиям. При проектировании элементов сборочного приспособления для установки ротора в статор таким требованием является минималь-

ное количество звеньев в размерных цепях, соответствующих сборочному контуру ротор – сборочное приспособление – статор.

Минимальное количество звеньев в размерных цепях имеют следующие варианты КСС (рис. 2, а): № 1 (два и два звена в плоской и угловой цепях соответственно), № 2 (два и три звена в плоской и угловой размерных цепях соответственно), № 3 (два и три звена в плоской и угловой размерных цепях соответственно).

На рис. 2, б приведены схемы размерных цепей, построенные в соответствии со схемами КСС № 1...3.

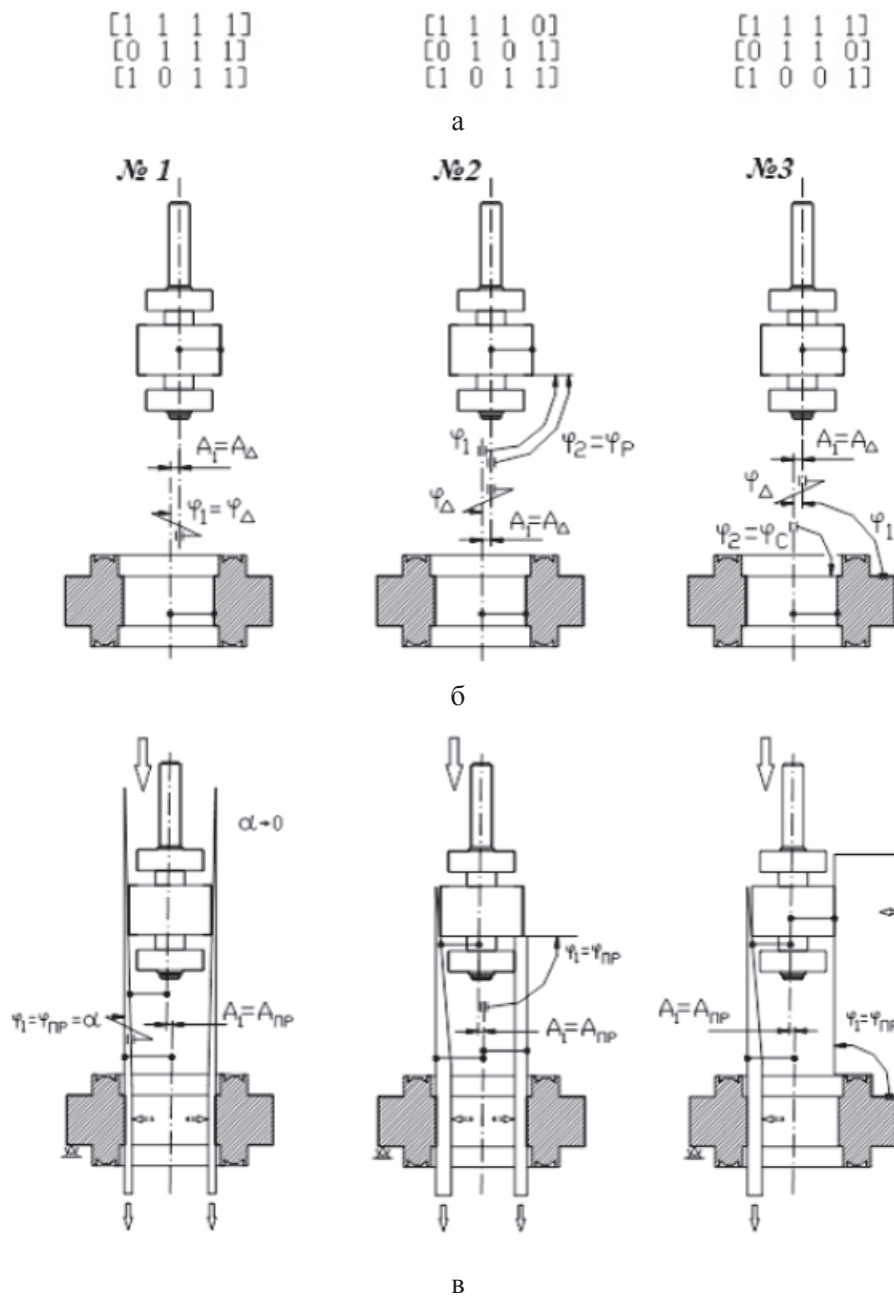


Рис. 2. Компоновки сборочной системы



Для схемы № 1 аналитическая форма представления ротора как объекта КСС – [1111] – предполагает базирование ротора в сборочном приспособлении по рабочей поверхности сердечника (двойной направляющей базе) с помощью самоцентрирующих элементов приспособления. Аналитическая форма представления направляющего элемента сборочного приспособления – [0111] – предполагает, что элемент сборочного приспособления будет образовывать со статором беззазорное соединение по двойной направляющей базе. Аналитическая форма представления статора – [1011], т.е. статор в сборочном приспособлении будет базироваться по рабочей поверхности сердечника.

Реализация компоновочной схемы и размерной сборочной цепи (№ 1) в виде компоновки сборочной системы установки ротора в статор показана на рис. 2, в.

Для схемы № 2 аналитическая форма представления ротора как объекта КСС – [1110] – предполагает центрирование ротора в сборочном приспособлении по рабочей поверхности сердечника с помощью самоцентрирующих элементов приспособления, а базирование – по установочной и двойной опорной базам. Аналитическая форма представления направляющего элемента сборочного приспособления – [0101] – предполагает, что элемент сборочного приспособления будет образовывать со статором беззазорное (соосное) соединение по двойной направляющей базе. Аналитическая форма представления статора – [1011], т.е. статор в сборочном приспособлении будет базироваться по рабочей поверхности сердечника.

Реализация компоновочной схемы и размерной сборочной цепи (№ 2) в виде компоновки сборочной системы установки ротора в статор показана на рис. 2, в.

Для схемы № 3 аналитическая форма представления ротора как объекта КСС – [1111] – предполагает базирование ротора в сборочном приспособлении по рабочей поверхности сердечника (двойной направляющей базе) с помощью самоцентрирующих элементов приспособления. Аналитическая форма представления направляющего элемента сборочного приспособления – [0110], т.е. звено сборочного приспособления будет образовывать со статором беззазорное соединение по установочной и двойной опорной базам. Аналитическая форма представления статора – [1001], т.е. статор в сборочном приспособлении будет центрироваться по рабочей поверхности сердечника и базироваться по установочной и двойной опорной базам.

Реализация компоновочной и размерной сборочных цепей (№ 3) в виде компоновки сборочной системы установки ротора в статор показана на рис. 2, в.

Выбор наиболее рационального варианта компоновки сборочной системы

и конструкции элементов сборочного приспособления следует проводить исходя из геометрических параметров соединяемых деталей и средств оснащения, особенностей используемых материалов, требований к производительности сборочной системы.

### Заключение

Метод компоновочных сборочных схем позволяет до проектирования средств оснащения осуществлять построение возможных вариантов сборочных связей для предварительной оценки и их выбора для реализации сборочной системы; анализировать каждое соединение как в отдельности, так и в составе изделия и во взаимодействии с элементами сборочной системы.

Компоновочная сборочная схема характеризует сборочный контур, совмещает в себе линейные и угловые размерные сборочные цепи, что позволяет проводить комплексный анализ сборочной системы.

Построение компоновочных сборочных схем не вызывает больших затруднений, выявляемые связи легко воспринимаются и анализируются, позволяют легко перейти к размерному анализу соединения и его реализации в виде компоновочных решений.

### Список литературы

1. Боярский В.Г., Сихимбаев М.Р., Шеров К.Т. Переключаемая технологическая оснастка для групповой обработки // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12–3. – С. 542–547.
2. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 272 с.
3. *Машиностроение: Энциклопедия*: в 40 тт. / *Редак. совет*: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Т. III-5: *Технология сборки в машиностроении* / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – 2001. – 640 с.
4. Половинкин А.И. *Основы инженерного творчества*: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
5. Сибикин М.Ю. *Производство электрических машин*: учебное пособие. – М.: Изд-во «РадиоСофт», 2014. – 358 с.
6. Шандров Б.В. *Технические средства автоматизации*: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 368 с.

### References

1. Boyarsky V.G., Sihimbaev M.R., Sherov K.T. *Perenalazhivaemaja tehnologicheskaja osnastka dlja gruppovoj obrabotki* [Reconfigurable tooling for batch processing] // *Basic Research*. 2011. number.
2. Kondakov A.I. *SAPR tehnologicheskikh processov* [CAD processes: textbook length stud. Executive. Proc.]. M.: Publishing Center «Academy», 2008. 272 p.
3. *Engineering: Encyclopedia*: in 40 vols. / *Ed. tip*: K.V. Frolov (prev.), and others. M.: Mechanical engineering. T. III-5: *Tehnologija sborki v mashinostroenii* [Assembly technology in mechanical engineering] / A.A. Gusev, V.V. Pavlov, A.G. Andreev, etc.; Under the total. Ed. Y.M. Solomentsev. 2001. 640 p.
4. Polovinkin A.I. *Osnovy inzhenernogo tvorchestva* [Fundamentals of engineering creativity: a textbook for university students]. M.: Mechanical Engineering, 1988. 368 p.
5. Sibikin, M.Yu. *Proizvodstvo jelektricheskikh mashin* [Production of electric machines: a manual]. M.: «RadioSoft» Publisher. 2014. 358 p.
6. Shandrov B.V. *Tehnicheskie sredstva avtomatizacii* [Technical means of automation: the textbook for students. Executive. Proc. Institutions]. M.: Publishing Center «Academy», 2010. 368 p.