УДК 621.01(06)

Е. А. Буленков, А. Н. Михайлов, В. А. Контелев
Донецкий национальный технический университет, Украина
ОАО «Донецкий завод горноспасательной аппаратуры», Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3010805; *E-mail: e.bulenkov@gmail.com*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ

В статье описаны особенности проектирования новых многономенклатурных роторных линий с групповыми инструментальными блоками, - обеспечение последовательной поэлементной групповой обработки; обеспечение маршрутных отношений; обеспечение элементной модификации; обеспечение структурно-элементного соответствия; обеспечение структурной и внутриэлементной модульности; обеспечение пространственно-кинематического компактирования структуры технологических и вспомогательных элементов. В работе даны пояснения к каждой особенности. Подробно описаны кинематические особенности многономенклатурной роторной линии с групповыми инструментальными блоками.
Ключевые слова: *особенности проектирования, кинематические особенности, групповой инструментальный блок, элементная модификация.*

Введение

Созданные на основе известных принципов проектирования роторные и роторно-конвейерные системы позволяют решать большое количество производственных задач [1]. Однако при реализации многономенклатурного производства на базе роторных систем возникают вопросы, для решения которых необходимо создавать новые высокоэффективные многономенклатурные роторные системы [2, 3]. Следует отметить, что известные принципы проектирования роторных систем [4] в настоящее время достаточно широко используются, но не позволяют обоснованно подойти к вопросу их проектирования, поэтому создание новых многономенклатурных роторных машин возможно только после детального изучения особенностей их проектирования.

Целью выполнения данной работы является исследование особенностей проектирования многономенклатурных роторных систем, обеспечивающих возможность объединения крупносерийных производств в массовое за счет обработки группы деталей в каждом инструментальном блоке.

Для достижения поставленной цели выявить и особенности проектирования многономенклатурных роторных систем, изучить особенности элементной модификации, кинематические особенности многономенклатурной роторной линии.

Основное содержание и результаты работы

На рис. 1 изображена конструктивно-технологическая схема многономенклатурной роторной линии, на которой реализован технологический процесс изготовления винтов. Технологический процесс изготовления винтов включает в себя операции отрезки и выравнивания торцов (реализуются в технологическом роторе ТР1), операции предварительного и окончательного формообразования торцов (технологические роторы ТР2 и ТР3соответственно), операции вытяжки стержня под резьбу (технологический ротор ТР4) и накатывания резьбы (технологический ротор ТР5). Транспортные роторы ТрР1-ТрР5 осуществляют межроторную передачу деталей. Проволока по входному по-

току V поступает в технологический ротор отрезки ТР1, где она разрезается на отдельные заготовки. В этом же роторе происходит выравнивание торцов и высадка фаски на одном из концов стержня. Далее заготовки перемещаются в следующие технологические роторы, где происходит предварительное и окончательное формообразование головки, редуцирование стержня под резьбу и накатывание резьбы. После этого детали выгружаются из линии по выходному потоку W.

Известные принципы проектирования роторных систем [4] в настоящее время достаточно широко используются при создании автоматических роторных линий. Од-

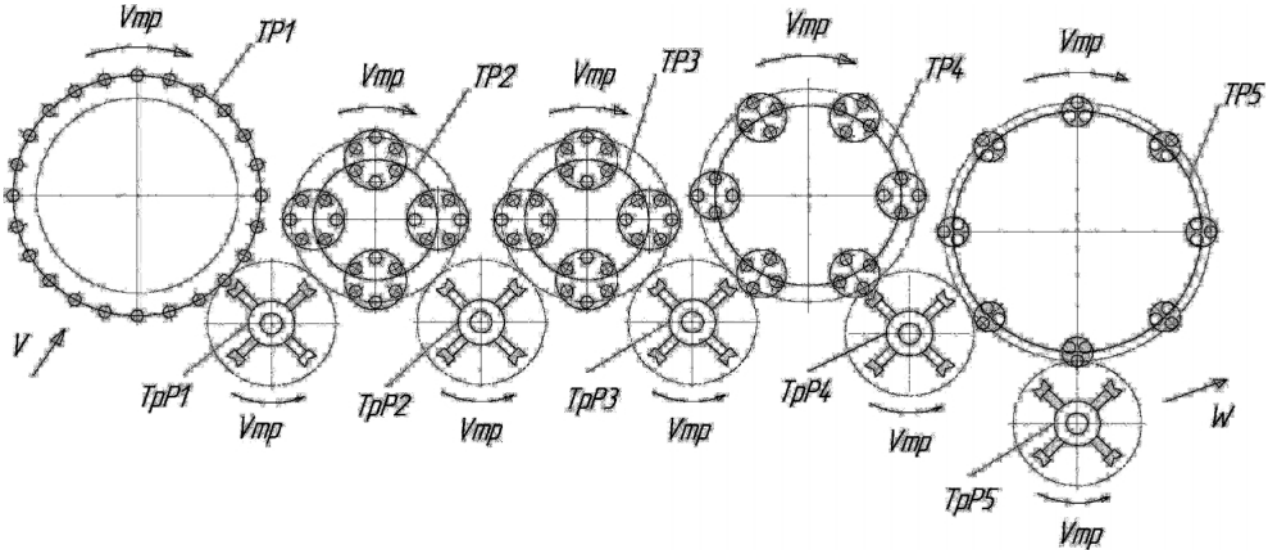

Рис. 1. Схема МАРЛ

нако, проектирование предложенных в данной работе многономенклатурных роторных систем имеет свои особенности, обусловленные их структурно-функциональным отличиями:

- обеспечение последовательной поэлементной групповой обработки;
- обеспечение маршрутных отношений;
- обеспечение элементной модификации;
- обеспечение структурно-элементного соответствия;
- обеспечение структурной и внутриэлементной модульности;
- обеспечение пространственно-кинематического компактирования структуры технологических и вспомогательных элементов.

Рассмотрим более подробно каждую особенность.

Обеспечение последовательной поэлементной групповой обработки. В условиях новых многономенклатурных роторных систем число изделий, предназначенных для производства, превышает число инструментальных блоков в машинах, поэтому при разработке групповых технологических процессов изготовления изделий каждой позиции устанавливается в соответствие определенная группа изделий. При этом если рассматривать каждую конкретную многономенклатурную рабочую позицию, можно отметить, что изделия поступают в неё последовательно и в каждой позиции обрабатываются определенные элементы поверхностей изделий. Каждая совокупность данных элементов поверхностей входит в одну классификационную группу, соответствующую классу данной машины.

Обеспечение маршрутных отношений. Одной из отличительных особенностей новых многономенклатурных роторных систем является использование теории маршрутизации изделий в процессе их проектирования. При этом системный подход к проектированию групповых технологических процессов изготовления изделий подразумевает синтез элементов группового технологического процесса, который производится при разработке структуры операций, а также синтез отношений между элементами процесса. Синтез отношений производится при разработке маршрутов движения изделий, в результате чего осуществляется выбор изделий для совместного производства в каждом конкретном инструментальном блоке. При структурном синтезе разработанные маршруты движения изделий определяют совокупность изделий, обрабатываемых в каждом инструментальном блоке и комплект движений формообразования, который должен быть реализован. В результате этого осуществляется синтез отношений структурных элементов. Синтез самих структурных элементов производится при разработке структуры инструментального блока.

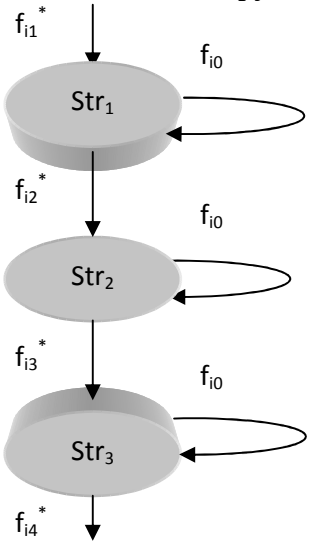

Рис. 2. Функция модификации

Обеспечение элементной модификации. Для обработки изделий различных типоразмеров необходимо соответствующим образом модифицировать структуру многономенклатурных роторных систем. Наличие функции модификации в общем функциональном строении данных систем требует проектирования соответствующих модифицирующих устройств.

Структура многономенклатурных роторных систем определяется реализуемыми на них функциями, а конструктивные отличия возникают также из-за того, что в различных системах функции реализуются на различных иерархических уровнях их структуры. Связь функционального и структурного строения многономенклатурных роторных систем может быть представлена в виде соответствующей общей функциональной структуре схемы (рис. 2). При этом, структурные элементы линии, машины и блока обозначены соответственно как Str_1, Str_2 и Str_3. Функции в инструментальном блоке (рис. 2) по отношению к i-му изделию представлены как f_{i4}^*. Функции многономенклатурной роторной машины по отношению к инструментальному блоку – как f_{i3}^*. Функции роторной линии по отношению к машине – как f_{i2}^*. Функции окружающей среды по отношению к многономенклатурной роторной линии – как f_{i1}^* . Подобное представление общей функциональной структуры многономенклатурной роторной линии позволило выявить особенность их функционирования, -наличие функций модификации (f_{i0}) соответствующих структурных элементов. Реализация данной функции обеспечивает изменение структуры многономенклатурной роторной линии для обработки изделий различных типоразмеров. Следует отметить, что высокая конструктивная сложность линии обусловлена именно функцией модификации: различные изделия требуют для обработки конструктивно различные элементы, предназначенные для выполнения одних и тех же функций. При этом необходимо предусматривать также приспособления, которые будут вводить в действие соответствующие структурные элементы.

Разработанная общая функциональная структура многономенклатурной роторной линии позволяет описать функцию преобразования изделия (f_i) математической за-

висимостью

$$f_i = f_{i1}^* \cup f_{i2}^* \cup f_{i3}^* \cup f_{i4}^* \cup f_{i0}. \quad (1)$$

Общая функция преобразования изделий в МАРЛ (F) описывается выражением

$$F = f_1 \cup f_2 \cup f_3 \cup \ldots \cup f_i \cup \ldots. \quad (2)$$

С учетом формул 1 и 2, общая функция преобразования свойств изделий может быть представлена в таком виде

$$F = (f_{11}^* \cup f_{12}^* \cup f_{13}^* \cup f_{14}^* \cup f_{10}) \cup (f_{21}^* \cup f_{22}^* \cup f_{23}^* \cup f_{24}^* \cup f_{20}) \cup \ldots \cup (f_{i1}^* \cup f_{i2}^* \cup f_{i3}^* \cup f_{i4}^* \cup f_{i0}) \cup \ldots =$$
$$= (f_{11}^* \cup f_{21}^* \cup \ldots \cup f_{i1}^* \cup \ldots) \cup (f_{12}^* \cup f_{22}^* \cup \ldots \cup f_{i2}^* \cup \ldots) \cup (f_{13}^* \cup f_{23}^* \cup \ldots \cup f_{i3}^* \cup \ldots) \cup$$
$$\cup (f_{14}^* \cup f_{24}^* \cup \ldots \cup f_{i4}^* \cup \ldots).$$

Таким образом, общая функция преобразования свойств изделий в МАРЛ включает в себя функции, реализуемые в отдельных структурных элементах и функцию модификации этих элементов:

$$F = f_1^* \cup f_2^* \cup f_3^* \cup f_4^* \cup f_0^*.$$

Обеспечение структурно-элементного соответствия. Для объяснения сущности данной особенности рассмотрим структуру многономенклатурной роторной линии при осуществлении модификации на различных иерархических уровнях путем выбора требуемых элементов (рис. 3). На рисунке представлены основные структурные эле-

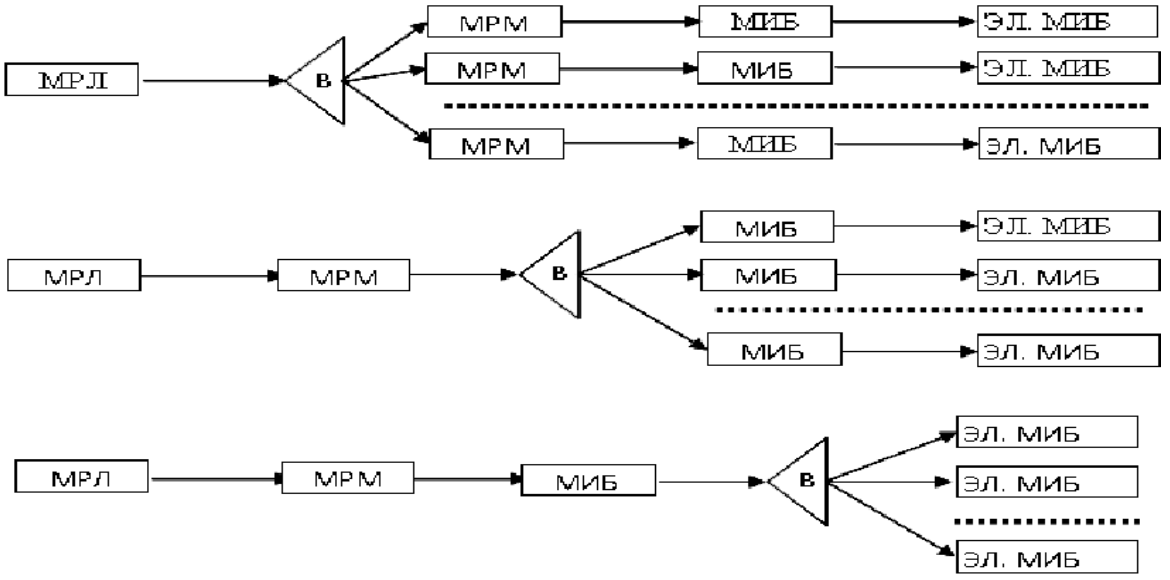

Рис. 3. Структура многономенклатурной роторной линии с выбором элементов на различных иерархических уровнях

менты, - многономенклатурная роторная линия (МРЛ), многономенклатурная роторная машина (МРМ), групповой инструментальный блок (МИБ), а также элементы группового инструментального блока (ЭЛ. МИБ). При осуществлении выбора на уровне МРМ

их число будет равно числу типоразмеров изделий, так как в каждой машине должны устанавливаться соответствующие структурные элементы, - МИБ. При выборе элементов на уровне блоков в каждой МРМ число МИБ будет соответствовать числу типоразмеров изделий. Аналогично, при реализации выбора на уровне МИБ числу типоразмеров изделий будет соответствовать число элементов блоков. Очевидно, что последний вариант более предпочтителен, так как позволяет снизить металлоемкость линии. Следует отметить, что на одном структурном иерархическом уровне использование различных структурных элементов (осуществляющих модификацию системы путем выбора, переналадки или комбинированным способом) обусловливает необходимость соответствия структурных элементов на других иерархических уровнях.

Обеспечение структурной и внутриэлементной модульности. Наличие в конструкции новых многономенклатурных роторных систем модифицирующих элементов выбора, переналадки и комбинированных элементов позволяет рассматривать данные элементы как отдельные структурные модули, характерные для всех иерархических уровней многономенклатурных роторных систем. В связи с этим, при создании данных систем целесообразно выделять не только такие структурные элементы, как МАРЛ, МРМ, МИБ, но и модифицирующие элементы внутри этих модулей, что и характеризует принцип структурной и внутриэлементной модульности. Унификация данных элементов на всех иерархических уровнях позволит существенно снизить затраты труда на проектирование и создание данных систем.

Обеспечение пространственно-кинематического компактирования структуры технологических и вспомогательных элементов. Эта особенность подразумевает перенос функций обслуживания инструмента и приспособления из зоны обработки в свободные зоны инструментальном блоке.

Конструктивная сложность многономенклатурных роторных машин определяется необходимостью обработки большого количества изделий на машинах с небольшим числом многономенклатурных рабочих позиций. В связи с этим, параметры кинематики будут различными для различных соотношений числа типоразмеров изделий и числа рабочих позиций. Следует отметить, что число инструментов в каждой многономенклатурной рабочей позиции определяется при анализе параметров маршрутизации изделий. В связи с этим, время работы многономенклатурных рабочих позиций для различных многономенклатурных роторных машин будет различным.

Учитывая структурно-функциональные особенности многономенклатурных роторных машин, их структура кинематики кроме времени кинематического цикла T_k, присущего всем роторным машинам, будет включать время цикла типоразмеров изделий T_{Zo} и время цикла многономенклатурных роторных машин T_{Up} (рис. 4). При этом время цикла типоразмеров отображает время, необходимое для обработки всех типоразмеров изделий на данной многономенклатурной роторной машины, а время цикла многономенклатурных роторных машин показывает время, в течение которого все многономенклатурные рабочие позиции (U_{pi}) і-й машины примут участие в обработке изделий. Следует отметить, что время кинематического цикла T_k в данном случае указано для каждой многономенклатурной рабочей позиции, в связи с чем во времени цикла многономенклатурных роторных машин оно смещается на величину $\frac{T_{Up}}{U_{pi}}$.

В структуру кинематики многономенклатурных роторных машин входит время цикла рабочей позиции T_V, показывающее время, по истечении которого структурные элементы многономенклатурной рабочей позиции возвращаются в исходное положение

(рис. 4). При этом в структуре цикла каждого структурного элемента многономенклатурной рабочей позиции присутствует время загрузки изделия t_1 (1), время обработки изделия t_2 (2), время выгрузки изделия t_3 (3), время смены структурного элемента t_4 (4). Время обслуживания структурного элемента t_5 (5) не входит в структуру цикла каждого структурного элемента многономенклатурной рабочей позиции, так как обслуживание осуществляется после завершения обработки. В состав структурного элемента входят

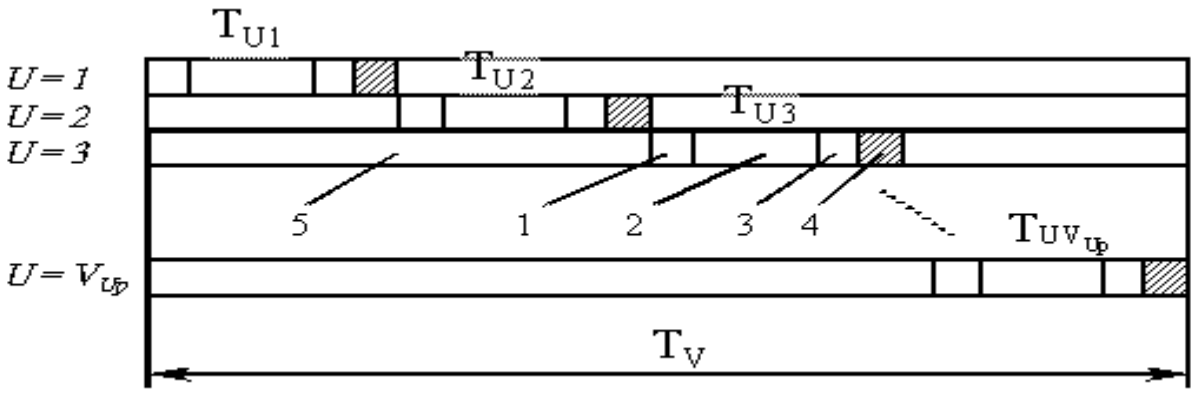

Рис. 4. Структура кинематики многономенклатурной рабочей позиции

элементы, связанные с инструментом и приспособлением, предназначенные для отдельных типоразмеров изделий.

Рассмотрим параметры кинематики многономенклатурных роторных машин.

Время цикла многономенклатурных роторных машин определяется по выражению

$$T_{Up} = U_p \cdot T_k .$$

Аналогично находится время цикла типоразмеров изделий:

$$T_{Zo} = Zo \cdot T_k .$$

Время цикла рабочей позиции рассчитывается с учетом количества расположенных в многономенклатурной рабочей позиции структурных элементов по формуле

$$T_V = V_{U_p} \cdot T_U .$$

При этом время цикла структурного элемента многономенклатурной рабочей позиции состоит из нескольких параметров:

$$T_V = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 .$$

В качестве допущения, на начальном этапе проектирования многономенклатурных роторных машин для упрощения расчетов можно принять $T_U \approx T_k$. Тогда выражение для определения времени цикла рабочей позиции можно представить в таком виде

$$T_V = V_{Up} \cdot T_k .$$

Важное практическое значение имеет время обслуживания структурного элемента многономенклатурной рабочей позиции, которое находится по формуле

$$t_5 = T_V - T_U = V_{Up} \cdot T_k - T_k = T_k \cdot (V_{Up} - 1) . \qquad (3)$$

При этом зависимость времени цикла многономенклатурных роторных машин от времени цикла рабочей позиции описывается выражением

$$T_{Up} = \frac{U_p}{V_{Up}} \cdot T_V \ .$$

Аналогично находится зависимость времени цикла типоразмеров изделий от времени цикла рабочей позиции

$$T_{Zo} = \frac{Zo}{V_{Up}} \cdot T_V \ .$$

Таким образом, предложенная методика позволяет рассчитать кинематические параметры многономенклатурных роторных машин и определяет соотношения между ними.

Следует отметить, что благодаря структурно-функциональным особенностям новых многономенклатурных роторных машин, в структуре их кинематики время обслуживания структурных элементов многономенклатурных рабочих позиций существенно превышает аналогичное время в многономенклатурных роторных машинах, в которых обрабатывается по одному изделию в каждой рабочей позиции. Инструменты и приспособления в новых многономенклатурных роторных машинах обслуживаются более эффективно, что повышает их работоспособность и благоприятно сказывается на качестве получаемых изделий. При этом, с увеличением числа инструментов в каждой многономенклатурной рабочей позиции время обслуживания их структурных элементов (формула 3) увеличивается (рис. 5). Данное обстоятельство позволит реализовать требуемое время обслуживания инструментов и приспособлений при разработке групповых технологических процессов изготовления изделий и при структурном синтезе МРМ.

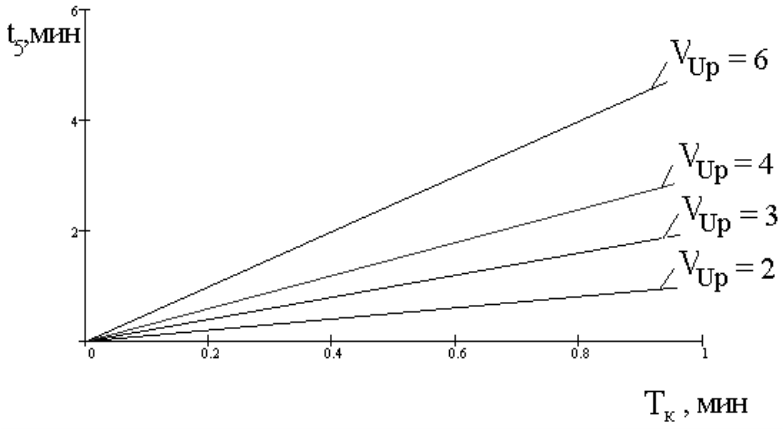

Рис. 5. Зависимость времени обслуживания от времени кинематического цикла

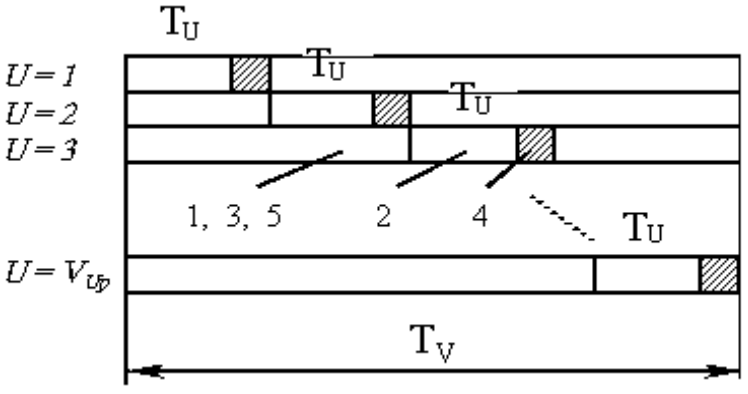

Рис. 6. Вариант структуры кинематики многономенклатурной рабочей позиции

Следует отметить, что исследование особенностей кинематики позволило выявить скрытые резервы повышения производительности многономенклатурных роторных машин. В структуре цикла рабочей позиции при осуществлении

загрузки и выгрузки изделия вне зоны обработки (рис. 6) цикл рабочей позиции уменьшается на величину $V_{Up} \cdot (t_1 + t_3)$. Кроме этого, возможно увеличение времени загрузки и выгрузки изделий за счет уменьшения времени обслуживания структурных элементов многономенклатурной рабочей позиции. Все обозначения на рисунке 6 соответствуют обозначениям, приведенным на рисунке 4.

Заключение

Следует отметить, что кроме описанных выше особенностей, при создании новых высокоэффективных многономенклатурных роторных систем должны широко использоваться известные принципы проектирования из различных отраслей науки и техники, - теории автоматизации, технологии машиностроения, принструментальном блокеоростроения и т.п. Таким образом, рассмотренные принципы проектирования позволяют создавать новые высокоэффективные многономенклатурные роторные системы, обладающие требуемым набором свойств.

Список литературы:

1. Клусов И.А. Развитие роторных технологий / И.А. Клусов // Вестник машиностроения. – 2003. – №4. – С. 46-50.

2. Прейс В.В. Комплексная автоматизация производства на базе автоматических роторных и роторно-конвейерных линий / В.В. Прейс, В.А. Крюков // Вестник машиностроения. – 2002. – №11. – С. 35-39.

3. Клусов И.А. Технологические системы роторных машин для серийного производства / И.А. Клусов // Автоматизация технологических процессов. Сб. науч. тр. – 1981 – С. 13 - 19.

4. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2012.

Є.О. Буленков, О.М. Михайлов, В.О. Контелев

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНИХ РОТОРНИХ ЛІНІЙ

У статті описані особливості проектування нових багатономенклатурних роторних ліній з груповими інструментальними блоками - забезпечення послідовної поелементної групової обробки, забезпечення маршрутних відносин, забезпечення елементної модифікації, забезпечення структурно-елементної відповідності, забезпечення структурної та внутрішньо елементної модульності, забезпечення просторово-кінематичного компактування структури технологічних та допоміжних елементів. В роботі дані пояснення щодо кожної особливості. Докладно описані кінематичні особливості багатономенклатурної роторної лінії з груповими інструментальними блоками.

Ключові слова: *особливості проектування, кінематичні особливості, груповий інструментальний блок, елементна модифікація.*

Y.O. Bulenkov, O.M.Mihailov, V.O. Kontelev

FEATURES OF PLANNING OF MULTITOP-LEVEL ROTOR LINES

The features of planning of new multitop-level rotor lines with group instrumental blocks are described in the article: providing of the sequential memberwise group processing; providing of rout relations; providing of element modification; providing of structural-element accordance; providing of structural and in-element moduleness; providing of spatially-kinematics compaction of structure of technological and auxiliary elements. Explanations are given to every feature. The kinematics features of multitop-level rotor line with group instrumental blocks are described in detail.

Keywords: *planning features, kinematics features, group instrumental block, element*