

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С 2-D И 3-D КОМПОНОВКАМИ

Михайлов А.Н., Михайлов Д.А. (ДонНТУ, Донецк, Украина)
Тел.: +38 (050) 6202396; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *In this paper we developed a framework for creating and designing a qualitatively new highly technological systems of continuous action. They belong to the technological systems of high and ultra-high efficiency with 2-D and 3-D layouts. Developed specific embodiments thread-spatial process of continuous systems.*

Keyword: *automation, performance, layout, continuous system, thread-spatial technology system*

Введение

Научно технический прогресс непрерывно ставит перед машиностроителями все новые, более сложные задачи, связанные с созданием качественно новой совокупности свойств и меры полезности выпускаемых изделий, повышением эффективности производства, автоматизацией производственных процессов, экологической безопасностью. Это обусловлено запросами общества и возможностями науки, техники и экономики [1 ... 4].

Одним из перспективных направлений решения проблем машиностроения является комплексная автоматизация производственных процессов на базе технологий непрерывного действия. Поэтому данная работа посвящена решению этих вопросов.

На рис. 1 показаны некоторые характеристики технологических систем непрерывного действия. Здесь технологические машины разделены на группы в зависимости от производительности:

- технологические машины нормальной производительности [5 ... 7];
- технологические машины высокой производительности [8];
- технологические машины сверхвысокой производительности [9, 10].

На базе этих технологий и технологических систем могут решаются вопросы комплексной автоматизации производственных процессов в машиностроении. Однако можно отметить, что в настоящее время, к сожалению, разработаны и применяются только технологические системы с линейной компоновкой технологических элементов, то есть 1-D компоновкой.

Проведенные ранее исследования в области технологий и технологических систем непрерывного действия позволили сделать следующие выводы:

1. Для решения вопросов комплексной автоматизации и интенсификации производственных процессов в машиностроении перспективными являются технологические системы непрерывного действия.

2. Принципы проектирования применяемых технологических систем непрерывного действия, а именно роторных и роторно-конвейерных машин основываются на линейности их компоновки (1-D компоновка). Это приводит к возникновению противоречий между линейностью компоновки технологической системы и объемно-пространственной структурой производственного цеха, так как здесь не полностью используются производственные объемы.

3. При создании технологических систем непрерывного действия необходимо стремиться к увеличению использования объемов технологического пространства. При этом нужно проектировать компактные технологические системы с пространственной компоновкой блоков технологического воздействия, а именно с поверхностно-пространственной (2-D компоновка) или объемно-пространственной (3-D компоновка) технологическими зонами.

На основании приведенных выводов в работе определена цель исследований.

Целью работы является разработка высокоэффективных технологических систем непрерывного действия с 2-*D* и 3-*D* компоновками рабочих позиций, обеспечивающих качественно новые свойства и технологические возможности, позволяющие решать вопросы комплексной автоматизации производственных процессов.

В данной работе решаются следующие задачи:

- разработать общую методологию и подход в создании и функционировании высокоэффективных ППТС,
- разработать новые принципы функционирования и проектирования ППТС,
- спроектировать конкретные варианты ППТС для решения вопросов комплексной и полной автоматизации производственных процессов,
- исследовать основные параметры ППТС с различными компоновками технологических зон.

Эти задачи решаются в данной работе.

Отметим то, что в данной работе технологические системы непрерывного действия

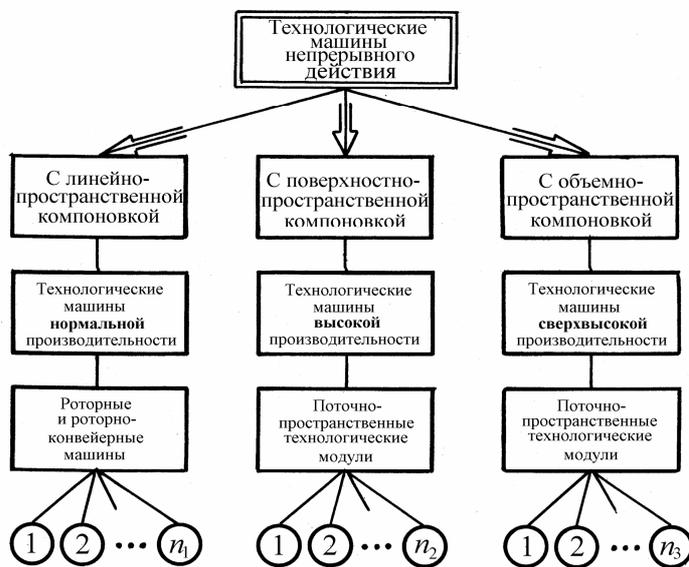


Рис. 1. Некоторые характеристики технологических систем непрерывного действия

[5 ... 7]. Однако с прогрессом науки и техники появляются новые возможности в развитии технологических систем непрерывного действия. Поэтому для проектирования высокоэффективных ППТС непрерывного действия необходимы новые принципы их создания и функционирования.

Анализ процесса создания и функционирования ППТС [8 ... 11] позволил установить следующие основные принципы их проектирования и функционирования:

- повышения мощности концентрации множества технологических элементов (блоков технологического воздействия);
- составления из концентрированного множества технологических элементов специальных *p*-мерных групп с подсистемами *k*-го класса;
- обеспечение упорядочивания многомерной замкнутой рекуррентной структуры технологических элементов за счет упорядочивания подсистем (*k*-1)-го класса в каждой подсистеме *k*-го класса;
- пространственной композиции технологических элементов и перехода от их линейно-пространственной компоновки (1-*D* компоновка) к поверхностно-

высокой и сверхвысокой производительности именуется поточно-пространственные технологические системы (ППТС).

На базе этих технологических машин и систем особенно эффективно решаются вопросы комплексной автоматизации производственных процессов машиностроения.

Основное содержание и результаты исследований

Созданные на основе известных принципов проектирования и функционирования роторные и роторно-конвейерные технологические системы имеют качественно новые возможности и высокие технико-экономические показатели изготовления изделий

пространственной компоновке (2-*D* компоновка) и затем к объемно-пространственной компоновке (3-*D* компоновка);

- пространственного компактирования структуры технологических элементов в пространственные компактные структуры и увеличения коэффициента использования технологического пространства;

- обеспечения сложной кинематической структуры транспортного движения многомерной замкнутой структуры технологических элементов;

- обеспечения соответствия (равенства) общего числа элементарных транспортных движений количеству классов подсистем сложной многомерной замкнутой рекуррентной структуры технологических элементов;

- обеспечения параллелизма функционирования подсистем ($k-1$)-го класса в подсистемах k -го класса сложной многомерной замкнутой структуры технологических элементов;

- обеспечения последовательного фазового смещения процесса выполнения заданных основных и вспомогательных функций в подсистемах ($k-1$)-го класса подсистем k -го класса сложной многомерной замкнутой структуре технологических элементов;

- обеспечения непрерывности функционирования всех подсистем сложной многомерной замкнутой структуры технологических элементов системы;

- модульность проектирования подсистем и всей технологической системы;

- реализация принципов мехатроники и адаптроники при создании новых технологий и технологических систем.

Можно отметить, что предлагаемые принципы, совместно с известными принципами проектирования технологических систем, составляют основные исходные положения создания высокоэффективных технологических систем нового поколения, которые получили название ППТС непрерывного действия.

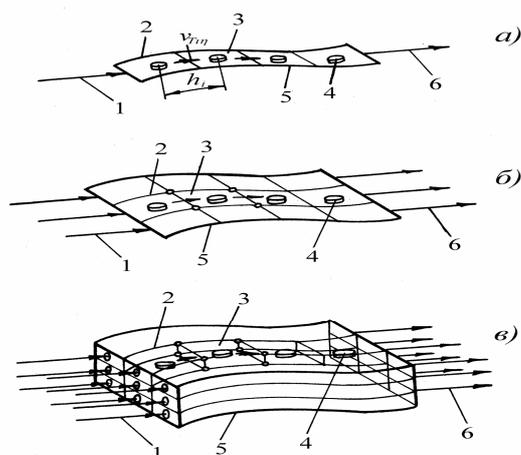


Рис. 2. Модели технологических зон: а – линейная (1-*D* компоновка), б – поверхностная (2-*D* компоновка), в – объемная (3-*D* компоновка)

Здесь обозначено: 1 – входные потоки изделий, 2 – поток единичных технологических зон, 3 – единичная технологическая зона, 4 – изделие (предмет обработки), 5 – пространственная технологическая зона, 6 – выходные потоки изделий. Буквами обозначена $v_{Ti\eta}$ – транспортная скорость изделий и h_i – шаг изделий.

Не имея возможности детально рассмотреть все приведенные выше принципы, приведем только некоторые из этих принципов проектирования и функционирования ППТС.

Проанализируем принцип перехода от их линейно-пространственной 1-*D* компоновки к поверхностно-пространственной 2-*D* компоновке и затем к 3-*D* компоновке. В каждом конкретном случае выбирается та или иная пространственная компоновка технологических элементов. На рис. 2 показаны модели пространственных технологических зон: на рис. 2,а – линейно-пространственная технологическая зона (1-*D*); на рис. 2,б – поверхностно-пространственная технологическая зона (2-*D*); на рис. 2,в – объемно-пространственная технологическая зона (3-*D* – компоновка).

Теоретическая производительность технологических систем с различными видами пространственных технологических зон (рис. 3) определяется по следующим зависимостям:

- линейно-пространственная технологическая зона (1-D компоновка)

$$\Pi_i^L = \frac{L_i}{T_o h_i} = v_{Ti\eta} P_{Li} = N_{Li}; \quad (1)$$

- поверхностно-пространственная технологическая зона (2-D компоновка)

$$\Pi_i^S = \frac{S_i}{T_o S_{Ei}} = b_{oi} v_{Ti\eta} P_{Si} = b_{oi} N_{Si}; \quad (2)$$

- объемно-пространственная технологическая зона (3-D компоновка)

$$\Pi_i^V = \frac{V_i}{T_o V_{Ei}} = s_{oi} v_{Ti\eta} P_{Vi} = s_{oi} N_{Vi}, \quad (3)$$

где: $\Pi_i^L, \Pi_i^S, \Pi_i^V$ - теоретическая производительность технологической системы с линейно-пространственной, поверхностно-пространственной, объемно-пространственной технологической зоной соответственно;

L_i, S_i, V_i - длина, площадь, объем пространственной технологической зоны соответственно;

h_i, S_{Ei}, V_{Ei} - длина (шаг), площадь, объем единичной технологической зоны соответственно;

T_o - длительность основного времени технологического воздействия орудий и средств обработки на изделие;

b_{oi}, s_{oi} - ширина, площадь поперечного сечения технологической зоны соответственно;

P_{Li}, P_{Si}, P_{Vi} - линейная, поверхностная, объемная плотность изделий в соответствующих пространственных технологических зонах;

N_{Li}, N_{Si}, N_{Vi} - интенсивность потоков изделий соответственно в линейно-пространственной, поверхностно-пространственной, объемно-пространственной технологической зоне.

В выражениях (1)...(3), плотность изделий в соответствующих пространственных технологических зонах определяется на основании следующих выражений:

$$P_{Li} = \frac{1}{h_i}, \quad P_{Si} = \frac{1}{S_{Ei}}, \quad P_{Vi} = \frac{1}{V_{Ei}}. \quad (4)$$

Анализ выражений (1) ... (3) позволил установить зависимость относительной производительности $\Pi_{омн} = \Pi_{Ц} / \Pi_{Ц}^B$ технологических модулей с различными пространственными технологическими зонами от их габаритных относительных размеров ϵ_o пространственной технологической зоны (рис. 3). Выполненные исследования показали, что увеличение габаритных размеров пространственной технологической зоны

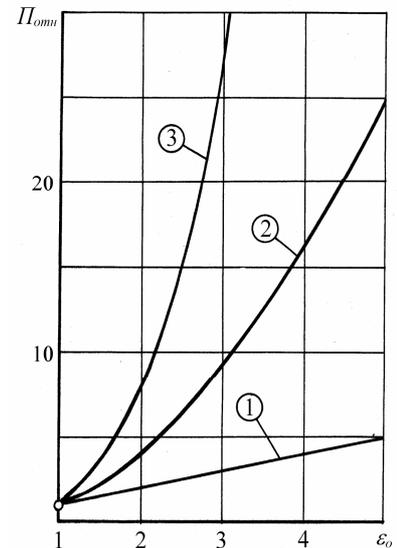


Рис. 3. Зависимость производительности системы от габаритных размеров технологической зоны: 1 – линейная (1-D), 2 – поверхностная (2-D), 3 – объемная (3-D)

ведет к увеличению производительности технологических систем по следующим законам: с линейно-пространственной технологической зоной (график 1) – по прямой пропорциональной зависимости, с поверхностно-пространственной технологической зоной (график 2) – по квадратичной зависимости, с объемно-пространственной технологической зоной (график 3) – по кубической зависимости. Таким образом, технологическим системам с поверхностно-пространственными и объемно-пространственными технологическими зонами свойственны качественно новые, более высокие технико-экономические показатели по сравнению с технологическими системами с линейно-пространственными технологическими зонами, выполненных на базе роторных и роторно-конвейерных машин и линий.

Важным моментом процесса синтеза структуры технологических элементов системы является ее организация в пространственные компактные структуры. При этом необходимо всегда стремиться к увеличению коэффициента использования технологического пространства:

$$K_R = \frac{V_k}{V_{OR}}, \quad (5)$$

где: K_R - коэффициент использования технологического пространства на R -ом уровне;

V_k - объем пространства, в котором располагается технологическое оборудование (технологические элементы);

V_{OR} - общий объем пространства, ограничивающий функциональную единицу.

Можно отметить, что при проектировании структуры технологической системы необходимо стремиться к повышению плотности технологических элементов (блоков технологического воздействия) пространственной технологической зоны и интенсивности их функционирования. Кроме того, при создании технологической системы, состоящей из n технологических модулей, необходимо пространственно их компактиро

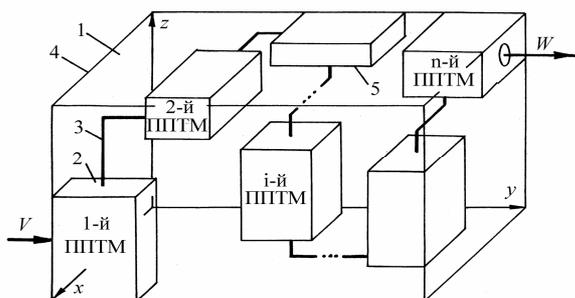


Рис. 4. Формализованная объемно-пространственная технологическая система (производственная ячейка)

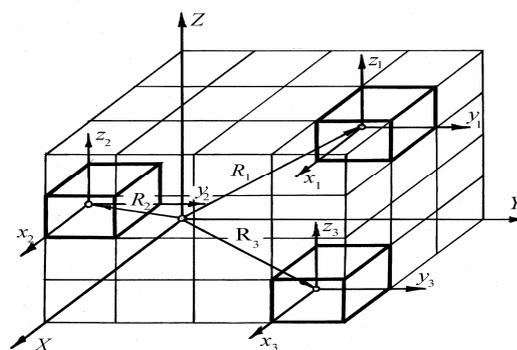


Рис. 5. Формализованная схема пространственного компактирования объемов ячейками

вать в производственные ячейки (рис. 4) и затем ячейки пространственно компоновать во всем объеме производственного цеха (рис. 5), с возможностью изменения их пространственного расположения. Причем здесь также следует вести их размещение из расчета повышения плотности технологических модулей в производственных ячейках и ячеек в производственном цеху. Это позволяет повысить коэффициент использования пространства и среды.

На рис. 4 показана формализованная объемно-пространственная производственная ячейка. Здесь обозначено: 1 – технологическая система, 2 – поточно-пространственный технологический модуль, 3 – связь между технологическими модулями, 4 – граница производственной ячейки, 5 – граница поточно-пространственного технологического модуля. На рис. 5 представлена формализованная схема пространственного компактирования производственного объема, расположенного в системе координат X, Y, Z производственными ячейками, координируемых системами координат x_i, y_i, z_i и радиусами векторами R_i , где i – любая производственная ячейка. Модульность построения технологических систем позволяет реализовать основные принципы автоматизированных производств. Это, прежде всего гибкость, непрерывность и высокие технико-экономические показатели изготовления изделий.

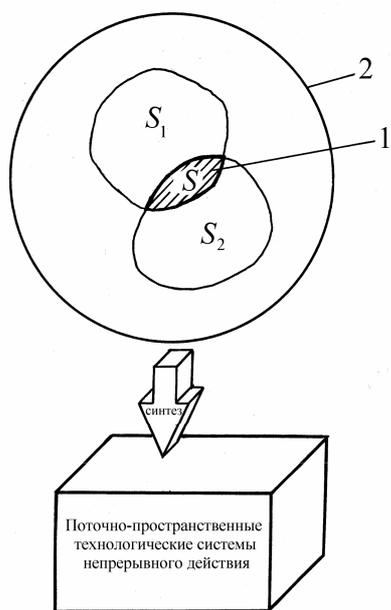


Рис. 6. Диаграмма комплексного синтеза ППТС

лиза и синтеза, которые могут выполняться в рамках процессийно-событийного анализа и синтеза новых нетрадиционных вариантов. При этом весь процесс создания технологий непрерывного действия выполняется в оболочке объектно-ориентированного проектирования с учетом решения вопросов оптимизации технологий, их экологической чистоты, маркетинга, конъюнктуры рынка и других вопросов.

На рис. 7 показаны виды компонок и некоторые варианты геометрических форм компонок пространственных технологических зон поточно-пространственных технологических

Общая методология создания технологий нового поколения и поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия базируется на следующих двух основных положениях (рис. 6):

- на определении системы качественно новых принципов S создания высокоэффективных технологий и технологических систем (позиция 1), лежащих на пересечении новых S_1 и известных S_2 принципов проектирования;

- на системе проектирования качественно новых технологий и технологических систем (позиция 2), которая обеспечивает возможность работы с особо сложными многоуровневыми иерархическими объектами.

Выбор и реализация новых прогрессивных технологий непрерывного действия в зоне поля S базируется на использовании методов схемного, функционального, структурного и параметрического ана-

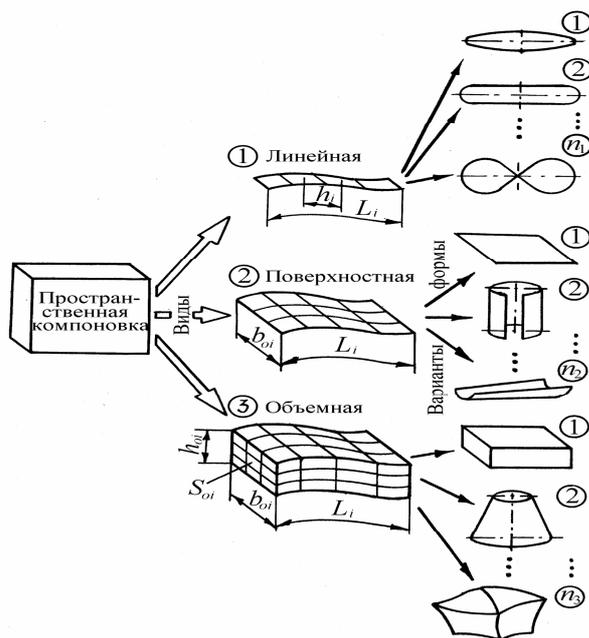


Рис. 7. Виды и варианты технологических зон ППТМ

ских систем непрерывного действия. Каждый вид из трех предлагаемых имеет открытое множество вариантов геометрических форм компоновок, что дает возможность генерировать значительное множество вариантов поточно-пространственных технологических систем и выявлять наиболее приемлемые для реализации заданного технологического процесса.

В работе рассмотрены особенности компоновки и проектирования ППТС, а также предложено на последнем этапе схемного рассмотрения технологической системы использовать принципиально-структурные модели. Поэтому в работе выполнен анализ и синтез принципиально-структурных моделей и разработана общая модель построения ППТС. Для создания конкретных технологических систем предложен алгоритм общей методики синтеза ППТС непрерывного действия и разработана методика оптимизационного синтеза их конструкций.

На рис. 8 представлена принципиально-структурная модель ППТС. Здесь показано: 1 – транспортный ротор, 2 – поточно-винтовой технологический модуль (ПВТМ), 3 – поточно-спиральный технологический модуль (ПСТМ), 4 – транспортный ротор, 5 – ПВТМ, 6 – транспортный ротор, 7 – ППТМ, 8 – транспортный ротор, 9 – поточно-глобоидный технологический модуль [8], 10 – транспортный ротор, 11 – блок технологического воздействия (БТВ), 12 – предмет обработки (ПО), 13 – пространственная траектория движения БТВ, 14 – осевой поток БТВ, 15 – замкнутая рекуррентная траектория движения БТВ. Поступают ПО в ППТС по входному потоку V , а выгружаются по выходному потоку W . Стрелками обозначено направление вращательного движения подсистем ППТМ.

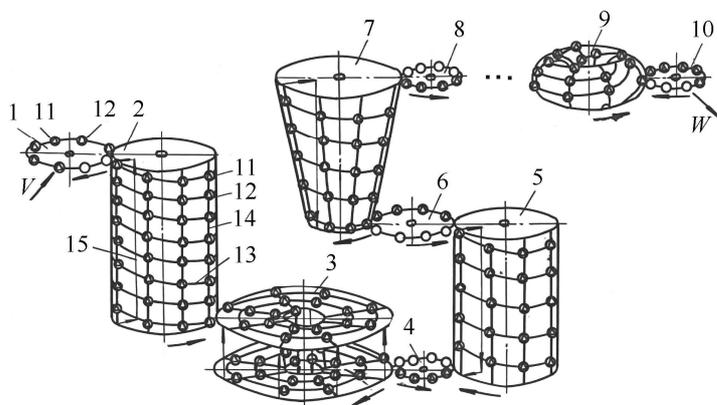


Рис. 8. Принципиально-структурная модель ППТС

ния. В каждом потоке БТВ 9 на звездочках 10, установленных на кронштейнах 11, размещен цепной конвейер 12. При этом на наружной стороне звеньев цепного конвейера 12 закреплены БТВ 9, ползуны 13 которых зацеплены с винтовой спиралью 2 рабочего шнека 1. В период нагружения, продольная ось БТВ 9 расположена параллельно продольной оси рабочего шнека 1. Так как рабочий винтовой шнек 1 имеет переменные геометрические параметры, то расстояние H (рис. 9,а) переменное по высоте ПВТМ, что обеспечивает рабочее перемещение ползунков 13 БТВ 9 в период работы технологического модуля. На хвостовиках 3, 4 рабочего винтового шнека 1 посредством подшипников 14 смонтирована верхняя 15 и нижняя 16 поворотные планшайбы, связанные между собой колонками 17 (рис. 9,б). На поворотных планшайбах 15, 16 закреплены кронштейны 11 и подшипниковые опоры 18, в которых размещены транспортные вин-

В качестве примеров приведем некоторые варианты ППТМ, которые разработаны в рамках этой работы и представлены на рис. 9 и рис. 10.

На рис. 9 представлена компоновочная схема ПВТМ, на рис. 9,а - продольный разрез, на рис. 9,б - поперечный разрез.

ПВТМ содержит рабочий винтовой шнек 1 с переменными геометрическими параметрами спирали 2, жестко смонтированный посредством хвостовиков 3, 4 и стаканов 5, 6 на плитах 7, 8 основа-

товые шнеки 19 с постоянными геометрическими параметрами спирали ($t = const$). При этом впадины спирали транспортных винтовых шнеков 19 закреплены с выступами 20 цепного конвейера 12, изготовленными на внутренней стороне его звеньев.

На верхней поворотной планшайбе 15 установлено червячное зубчатое колесо 21, связанное с приводом вращения 22. При этом транспортные винтовые шнеки 19 посредством зубчатых колес 23, 24 и 25 связаны с зубчатым колесом 26, жестко закрепленном на стакане 6. Для повышения точности позиционирования БТВ 9 относительно рабочего винтового шнека 1, цепной конвейер 12 смонтирован в направляющих 27.

ПВТМ работает следующим образом. ПО по выходному потоку V загружаются в БТВ 9, закрепленных на наружной стороне звеньев цепного конвейера 12. При этом благодаря непрерывному вращению в направлении b верхней 15 и нижней 16 поворот-

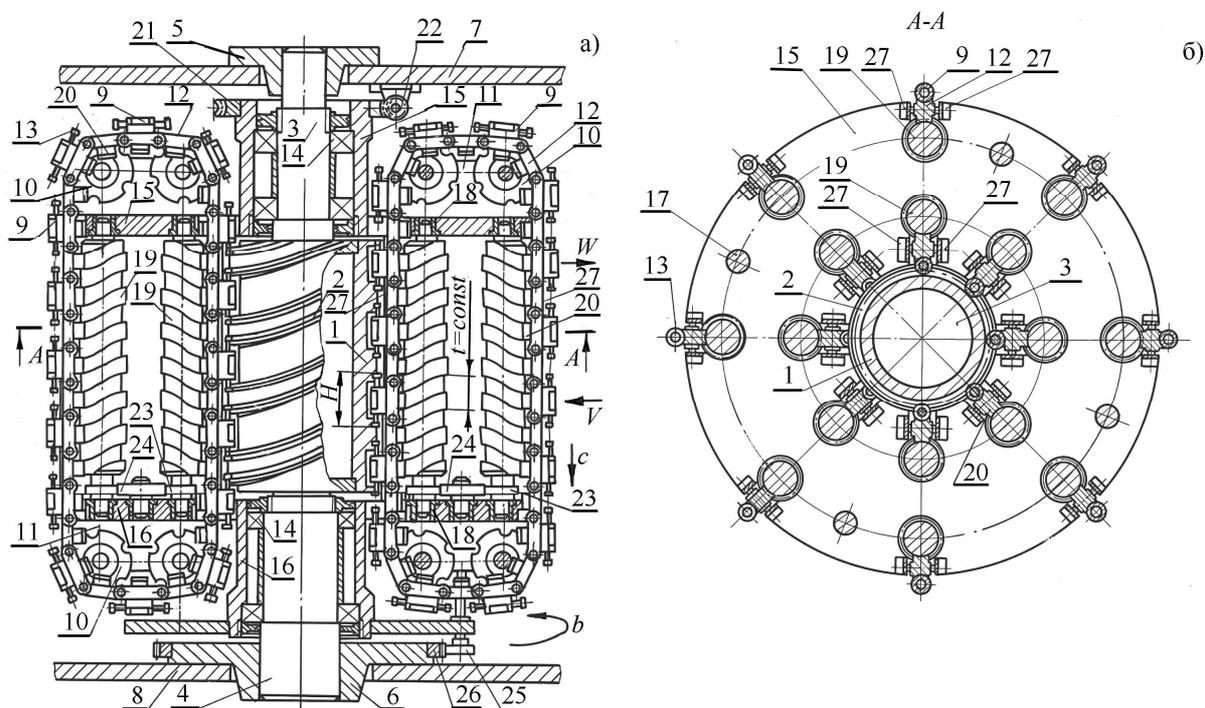


Рис. 9. Компоновочная схема ПВТМ: а – продольный разрез, б – поперечный разрез

ных планшайб, установленных на подшипниках 14 хвостовиков 3, 4 рабочего шнека 1, реализуется постоянное перемещение БТВ 9 в направлении c , которое выполняется за счет вращения транспортных винтовых шнеков 19, связанных с цепным конвейером 12 посредством выступов 20. Здесь непрерывное вращение поворотных планшайб 15 и 16, связанных между собой вертикальными колонками 17, реализуется через червячную зубчатую передачу 21 приводом вращения 22, закрепленным на плите 7 основания. Вращение транспортных винтовых шнеков 19, смонтированных в подшипниковых опорах 18, осуществляется кинематической передачей 23, 24, 25, связанной с зубчатым колесом 26, жестко смонтированным на стакане 6 нижней плиты 8 основания. При перемещении цепного конвейера 12, размещенного на звездочках 10 кронштейнов 11, БТВ 9 зацепляются ползунами 13 с винтовой спиралью 2 рабочего шнека 1, жестко смонтированного в стаканах 5 и 6. При этом за счет переменности расстояния H (рис. 9,а) винтовой спирали 2, при прохождении БТВ 9 технологической зоны, реализуется требуемый рабочий ход ползунов 13, что и обеспечивает обработку изделий. Наличие направляющих 27 повышает точность и жесткость позиционирования БТВ 9, закрепленных на

звеньях цепного конвейера 12. После обработки ПО, они выгружаются из БТВ 9 по выходному потоку W и передаются по технологической цепочке к следующему ППТМ для последующей обработки ПО.

Использование этого ПВТМ наиболее эффективно для реализации штамповочных или прессовых операций для ПО из пластмасс. Цикловая производительность ПВТМ может быть определена по следующей формуле:

$$P_{ци} = \frac{v_{i1} v_{i2}}{T_{ци}}, \quad (6)$$

где $P_{ци}$ - цикловая производительность ПВТМ; $T_{ци}$ - время полного кинематического цикла; v_{i1} - количество БТВ в одном цепном конвейере; v_{i2} - количество цепных конвейеров ПВТМ.

На рис. 10 приведена компоновочная схема ПСТМ с двумя ярусами. В первом ярусе выполняется операция завальцовки самостопающихся гаек, во втором ярусе операция зачеканки.

ПСТМ имеет планшайбу 5 смонтированную на валу 6 размещенном посредством подшипников 7 в стаканах 8, 9, которые закреплены на плитах 13 и 14 станины модуля. На планшайбе 5 установлены звездочки 4 на которых монтируются цепные конвейеры 3 с блокодержателями 2, в которых закрепляются БТВ 1. На валу 6 также установлены верхняя планшайба 20 с нижним цепным конвейером 19. На верхней планшайбе 17 размещены приводы 11 вращения цепных конвейеров 3, 15, 19, которые связаны с ними кинематическими передачами и редуктором 10. Электроэнергия к приводам 11 подается через токосъемник 12, расположенный на станине 9. В нижней части вала 6 установлена шестерня 18 для обеспечения вращения технологического модуля.

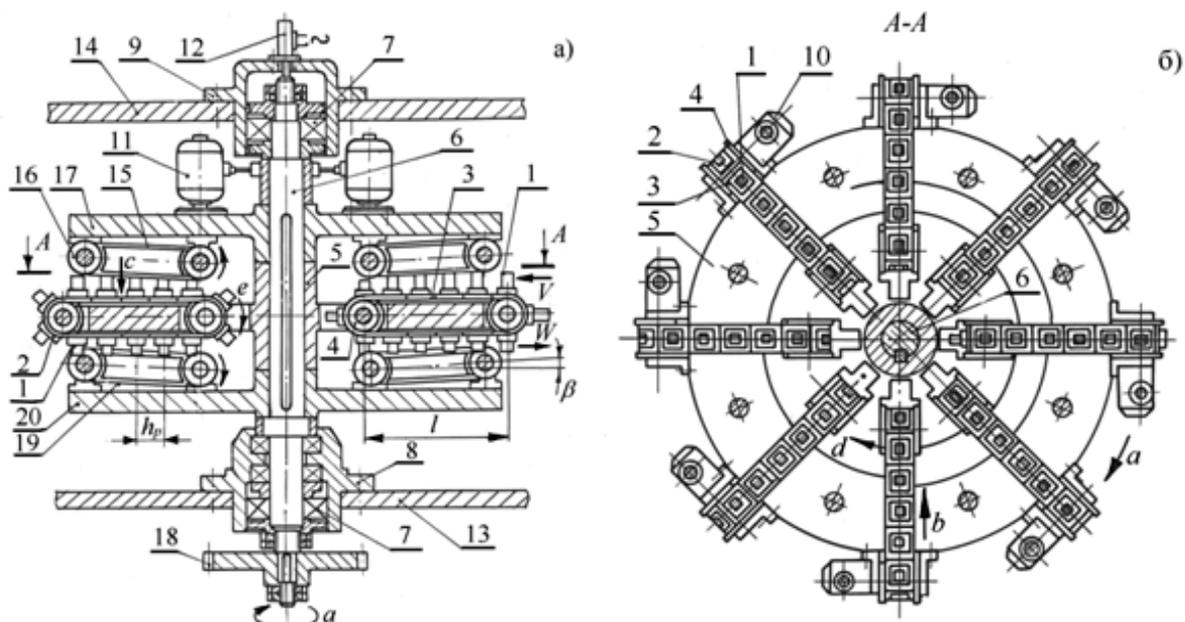


Рис. 10. Компоновочная схема ПСТМ: а – продольный разрез, б – поперечный разрез

В ПСТМ ПО поступают по одному входному потоку V и выгружаются также по одному выходному потоку W . Вращение ПСТМ реализуется в направлении a , при этом перемещение цепных конвейеров выполняется в направлении b . Суммарное транспортное движение БТВ совместно ПО на длине l осуществляется по спиральной траектории d .

Выводы. В данной работе разработаны основы создания и проектирования качественно новых высокоэффективных технологических систем непрерывного действия. Они относятся к технологическим системам высокой и сверхвысокой эффективности с 2-*D* и 3-*D* компоновками. Выполненные исследования позволили разработать следующее:

1. В представленной работе выполнены исследования особенностей синтеза технологических систем непрерывного действия с 2-*D* и 3-*D* компоновками технологических зон.

2. Разработаны общий подход и методология в создании и функционировании высокоэффективных ППТС.

3. В представленной работе разработаны общие принципы проектирования и функционирования технологических систем непрерывного действия с 2-*D* и 3-*D* компоновками технологических зон.

4. На основе проведенных исследований спроектированы конкретные варианты ППТС для решения вопросов комплексной автоматизации производственных процессов.

5. В данной работе выполнены исследования основных свойств показателей эффективности ППТС с 2-*D* и 3-*D* компоновками технологических зон.

Разработанные технологические системы с 2-*D* и 3-*D* компоновками рабочих позиций можно рекомендовать для следующих отраслей народного хозяйства: машиностроение и приборостроение, химическая, пищевая и фармацевтическая промышленности, радиотехническая и электронная промышленности и другие отраслях народного хозяйства.

Список литературы: 1. Pruteanu O.V. Tehnologia constructiei de masini. Partea 1. Iasi: Junimea, 2005. – 436 p. 2. Radovanovic M. Tehnologija masinogradnje. – Nis: Masinski fakultet Univerziteta u Nisu, 2002. - 328 p. 3. Schey John A. Introduction to manufacturing processes. International Edition, 2000. – 962 p. 4. Taranenko W., Swic A. Tehnologia ksztaltowania czesci maszyn o malej sztywnosci. – Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2005. – 282 p. 5. Кошкин Л.Н. Комплексная автоматизация производственных процессов на базе роторных линий. – М.: Машиностроение, 1972. – 351 с. 6. Автоматические роторные линии / И.А. Клусов, Н.В. Волков, В.И. Золотухин и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с. 7. Прейс В.В. Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра. – М.: Машиностроение, 1986. – 128 с. 8. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с. 9. Михайлов А.Н. Основы теории поточно-пространственных технологических систем // Вестник машиностроения, 1991. №4. С. 58 – 60. 10. Михайлов А.Н. Поточно-пространственные технологические модули // Механизация и автоматизация производства, 1990, №1. С. 5 – 8. 11. Михайлов А.Н. Основы проектирования и автоматизации производственных процессов на базе технологий непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 421 с.