

УДК 621.9.06-52

Д. В. Огренич, аспирант

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, РФ

Тел.: +79494104485; E-mail: dmitryogrenich@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОТОЧНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

В статье рассмотрены данные о особенностях и основных принципах проектирования поточно-пространственных модулей. Разработаны компоновочные схемы поточно-пространственных технологических модулей.

Ключевые слова: поточно-пространственный технологический модуль, компоновка, объемно-пространственная структура, конструкция, принципиально-структурная модель.

D. V. Ogrenich

FEATURES AND BASIC PRINCIPLES OF DESIGNING FLOW-SPACE TECHNOLOGY MODULES

The article discusses the data on the features and basic principles of designing flow-space modules. Layout schemes of flow-space technology modules are developed.

Keywords: flow-space technology module, layout, three-dimensional structure, design, fundamental structural model.

1. Введение

Одним из главных ограничений роста производительности в современных производственных системах является не столько технологические возможности оборудования, сколько логистические издержки и длительность производственного цикла. Традиционные линейные цеховые структуры создают избыточные запасы межоперационного задела и требуют значительных затрат времени на транспортировку, что противоречит принципам бережливого производства. В связи с этим возрастает актуальность разработки компактных и эффективных производственных структур [1, 2].

Поточно-пространственный технологический модуль (ППТМ) представляет собой функционально и конструктивно завершенную ячейку, где оборудование объединено не только общей технологией, но и общей несущей конструкцией, что в свою очередь требует выработки новых принципов компоновки.

Цель работы: разработка конкретных ППТМ, обеспечивающих качественно новые свойства и технологические возможности, обеспечивая и реализуя комплексную автоматизацию производственных процессов.

В данной работе решаются следующие задачи: исследовать основные параметры ППТС с различными компоновками технологических зон, спроектировать конкретные варианты ППТС, рассмотреть особенности проектирования ППТС.

2. Основное содержание работы

При построении принципиально-структурных моделей ППТМ всей поточно-пространственной технологической системы (ППТС), выполняется проектирование ППТМ с параметризацией их параметров. При этом последовательно, в зависимости от иерархического уровня степени сложности ППТС создается конкретное компоновочное решение ППТС. Проектирование ППТС на каждом уровне их сложности ведется с использованием общей модели построения ППТС. Это дает возможность проектировать ППТС исходя из позиций системного подхода и вести разработку ее элементов подси-

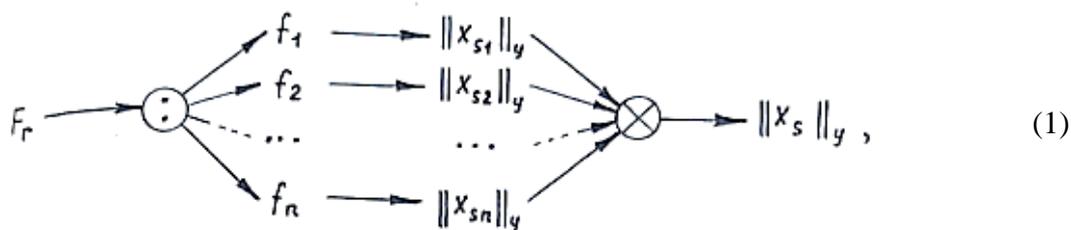
стем без отрыва от разработки всей ППТС. При этом результаты проектирования иллюстрируют с помощью компоновочных схем.

Компоновочная схема ППТС это чертеж взаимного расположения ППТМ, технологических машин и основных узлов с указанием необходимых конструктивных параметров.

В процессе проектирования ППТС необходимо учитывать особенности их работы и эксплуатации. Поэтому должны рационально выполняться технологические операции, подпроцессы и процессы. При этом конструкция ППТС должна быть компактна и иметь высокий коэффициент использования технологического пространства. В этом случае проектирование ППТС ведется с учетом удобства обслуживания ППТМ, их подсистем и элементов. Здесь предусматривается возможность доступного их осмотра, смены инструмента, удаления брака и отходов, настройки на точность и т. п. Более того, необходимо предусмотреть и разработать экологические мероприятия по утилизации отходов производства. А также должны быть проработаны вопросы, связанные с объединением ППТМ в ППТС и оптимальной их компоновке. Вместе с тем, необходимо предусматривать возможность нормализации, унификации и стандартизации основных сборочных элементов и подсистем.

Назначение ППТС – реализация во времени технических функций, представленной иерархической схемой, необходимых для преобразования заготовок в изделие. При этом каждая составляющая функция может реализоваться отдельной элементарной подсистемой с унифицированной структурой [3]. Поэтому в основу методики проектирования ППТС может быть предложена операция технологического умножения множеств реализуемых составляющих функций и унифицированных структур, соответствующих принятому уровню автоматизации ППТС. Отметим, что унифицированные структуры автоматизированных систем рассмотрены в работе [3].

На основании приведенных выше соображений, процедура автоматизированного проектирования ППТС может быть схематически представлена зависимостью:



где F_r – суммарная функция, реализуемая ППТС;
 f_i – элементарная составляющая функции i -й элементарной подсистем;
 $||x_{si}||_y$ – унифицированная структура i -й элементарной подсистемы, соответствующая принятому уровню автоматизации;
 $||x_s||_y$ – общая компоновочная структура ППТС.

Отметим, что разделение F_r на элементарные составляющие функции должно производиться до тех пор, пока составная функции не будет представлена как совокупность такого множества f_i , каждая пара которых реализуется либо только последовательно, либо только параллельно. Такое разделение необходимо, чтобы формализовано выполнять оператор объединения элементарных унифицированных структур в общую структуру при компоновке ППТС. Благодаря этому, оператор объединения может реа-

лизовать общую компоновочную структуру формализовано, что позволяет с помощью ЭВМ выполнять компоновку ППТС и выявлять всю область возможных решений.

Проектируя конкретный вариант ППТС и ППТМ необходимо стремиться к равенству или кратности характеристик надежности и стойкости их элементов и подсистем. При этом выполняя компоновку ППТС необходимо учитывать удобства ремонта, наладки и эксплуатации. Следует иметь ввиду также стоимость ППТС, срок окупаемости капитальных затрат, металлоемкость конструкций и другие технико-экономические характеристики.

После рассмотрения технических вопросов процесса проектирования ППТС, на основании которых ведется эскизная проработка и затем разрабатываются технический рабочий проект ППТС. Здесь должны быть учтены такие категории теории композиции, как пропорциональность, масштабность, композиционное равновесие, единство характера формы всех элементов. Совокупность этих категорий дает гармоничную целостность формы создаваемых ППТМ и ППТС.

В процессе расчетов элементов и подсистем ППТС ведется проработка следующих параметров:

- кинематических показателей;
- кинематических характеристик, определяющих прочность и жесткость ППТС;
- динамических параметров, гарантирующих качество и долговечность эксплуатации ППТС;
- энергетические характеристики;
- информационных характеристик;
- экономических показателей.

При объединении ППТМ и ППТС необходимо стремиться к тому, чтобы производительность всех ППТМ была равна, а также чтобы выполнялся баланс входных и выходных материальных, энергетических и информационных потоков. При этом качественные уровни проектируемых ППТС определяются следующие показатели: технические, надежность и долговечность, уровень стандартизации, технической эстетики, технологические, экономические и организационные. Вместе с тем, при проектировании ППТС необходимо вести учет конъюнктуры рынка.

Рассмотрим примеры конкретных вариантов ППТМ.

Пример 1. Выполним проектирование поточно-винтового технологического модуля (ПВТМ) [3] на основе приведенных выше соображений по принципиально-структурной модели.

На рисунке 1 представлена компоновочная схема ПВТМ, на рисунке 1, а – продольный разрез. 1, б – поперечный.

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 основания. В каждом потоке блока технического воздействия (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 Н (рисунок 1, а) переменна 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 колон-

ками 17 (рисунок 1, б). На поворотных планшайбах 15, 16 закреплены кронштейны 11 и подшипниковые опоры 18, в которых размещены транспортные винтовые шнеки 19 с постоянными геометрическими параметрами спирали (шаг $t = const$). При этом впадины спирали транспортных винтовых шнеков 19 зацеплены с выступами 20 цепного конвейера 12, изготовленными на внутренней стороне его звеньев.

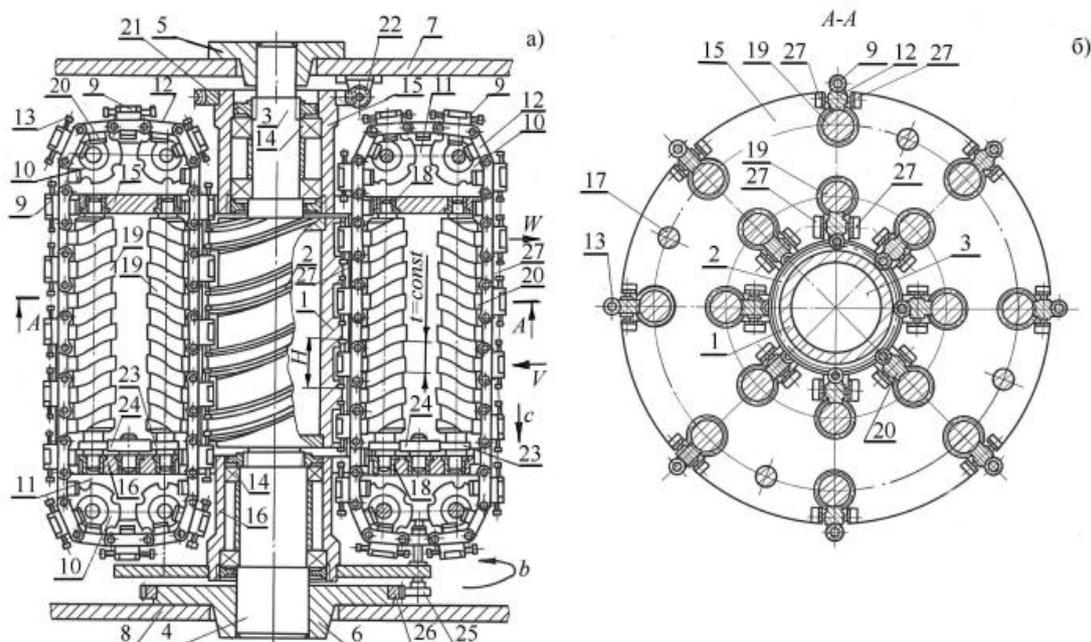


Рисунок 1. Компоновочная схема ПВТМ: а – продольный разрез, б – поперечный разрез

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 связанные с зубчатым колесом 26, жестко закрепленным 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 входному потоку «а» загружается в БТВ 9, закрепленные на наружной стороне звеньев цепного конвейера 12. При этом благодаря непрерывному вращению в направлении «в» верхней 15 и нижней 16 поворотных планшайб, установленных на подшипниках 14 хвостовиков 3, 4 рабочего шнека 1, реализуется постоянные перемещения БТВ 9 в направлении «с», которое выполняется за счет вращения транспортных винтовых шнеков, 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 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 (рисунок 1, 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 предметов обработки (ПО), они выгружаются из БТВ 9 по выходному потоку «д» и передаются по технологической цепочке к следующему ППТМ для последующей обработки ПО.

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

$$P_{ци} = \frac{v_{i1}v_{i2}}{T_{ци}}, \quad (2)$$

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.

Описанный ПВТМ защищен авторским свидетельством [3].

Пример 2. Выполним компоновку принципиально-структурной модели поточно-спирального технологического модуля (ПСТМ) [4, 5].

На рисунке 2 приведена компоновочная схема ПСТМ с двумя ярусами. В первом ярусе выполняется завальцовка самостопорящихся гаек, а во втором – зачеканка.

ПСТМ имеет планшайбу 5 размещенную на валу 6 размещенном посредством подшипника 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 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.

Представленный ПСТМ защищен авторским свидетельством [5]. Цикловая производительность ПСТМ может быть определена по формуле (2), его эксплуатация описана в работе [4].

Пример 3. Компоновочная схема поточно-глобоидного технологического модуля (ПГТМ) [6] представлена на рисунке 3. В ПГТМ инструменты 1 БТВ 2 в технологической зоне входят в зацепление с глобоидным червяком 3. При этом БТВ 2 жестко закрепляются по периметру роторов 4, которые монтируются на осях 5, расположенных в подшипниках 6 на опорах 7, установленных на нижней 8 и верхней 9 планшайбах. Глобоидный червяк 3 жестко закреплен в стакане 10, размещенном на плитах 11, и имеет специальную спираль с параллельными сторонами поверхностей, взаимодействующих с ползунами инструментов 1 БТВ 2.

Спираль глобоидного червяка 3 имеет переменные геометрические параметры витков и обеспечивает на входе в глобоид расстояние между параллельными сторонами равно h_1 , а на выходе h_2 . Здесь разность между расстояниями h_1 и h_2 равна необходимому рабочему движению инструментов 1 БТВ 2.

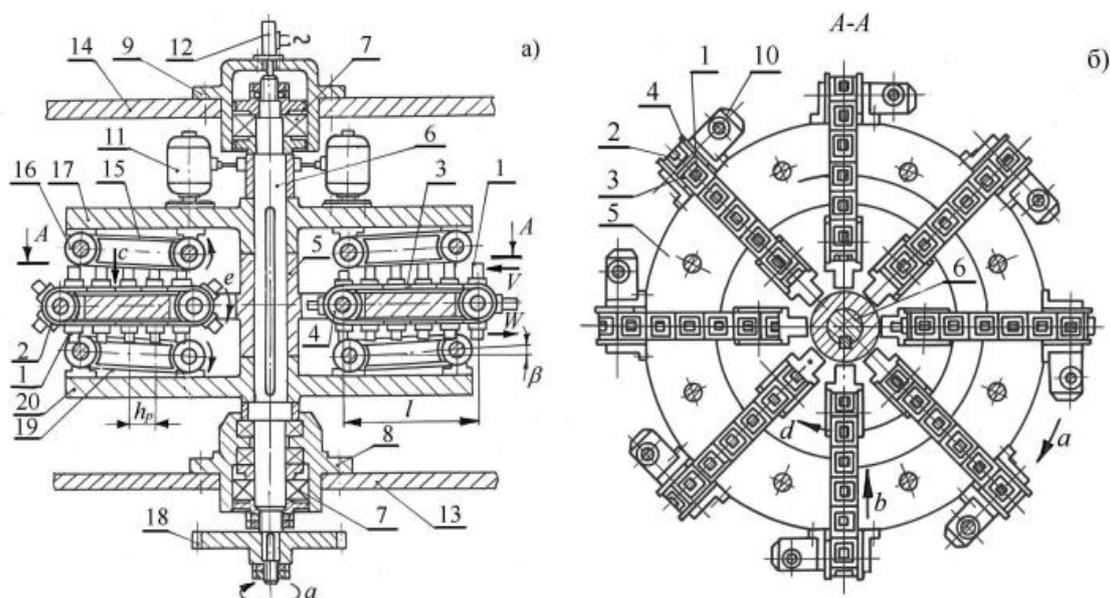


Рисунок 2. Компонировочная схема ПСТМ: а – продольный разрез, б – поперечный разрез

Верхняя планшайба 9 монтируется на подшипнике 12, установленном на хвостовике глобоида 3, а нижняя планшайба 8 на подшипнике 13, и связаны между собой опорами 7. На нижней планшайбе 8 располагается зубчатое колесо 14, связанное с приводом вращения 15 модуля.

В процессе работы ПГТМ реализуются два элементарных вращательных движений «а» и «в». При прохождении БТВ 2 через глобоид 3 реализуется рабочее движение инструментов 1, которое выполняется по касательной к окружности поворота роторов 4. ПО поступают в БТВ 2 по входному потоку V , а выгружаются по выходному потоку W . Цикловая производительность определяется по формуле (2).

Представленный ПГТМ защищен авторскими свидетельствами [6].

3. Заключение

Основным результатом проведенных в настоящем разделе исследований явилось разработка общих принципов компоновки и проектирования ППТС, которые можно обобщить в следующих выводах:

Установлено, что организация движений объемно-пространственной структурной модели ППТМ выполняется на базе композиции объемно-пространственной структуры и принципиальной кинематической схемы транспортного движения, которая формализовано выражается с помощью принципиально-структурных моделей. На базе принципиально-структурных моделей выполняется компоновка ППТМ и ППТС.

Разработана методика синтеза принципиально-структурных моделей, в основу которой положена операция декомпозиции объемно-пространственной структурной модели и принципиальной кинематической схемы на элементарные структуры и движения, затем объединения соответствующих элементарных структур и движений в упорядоченные пары и далее объединения этих упорядоченных пар (кортежей) в общую принципиально-структурную модель ППТМ. С помощью таких процедур можно созда-

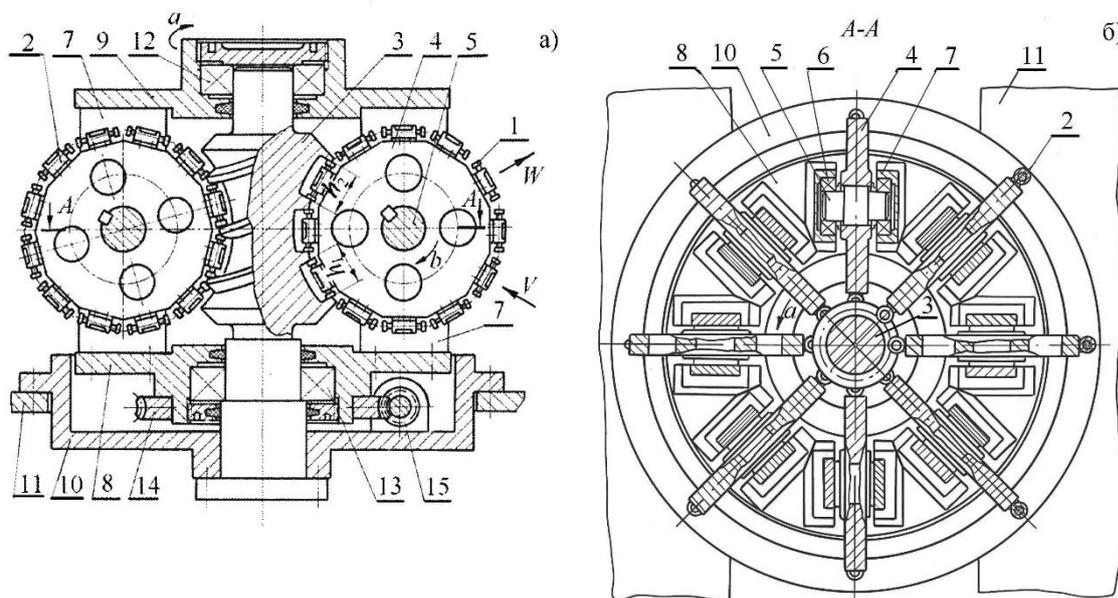


Рисунок 3. Компонентная схема ППТМ: а – продольный разрез, б – поперечный разрез

вать любые типы принципиально структурных моделей ППТМ.

С использованием разработанных положений в данной статье можно вести проектирование конкретных вариантов различных типов ППТС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Самохвалов, Е. И. Логистические системы компьютерно-интегрированных производств (транспортно-складское и загрузочное обеспечение производственных систем): учебное пособие. Ч. 1 / Е. И. Самохвалов, В. А. Гречишников. – Москва: Станкин: Янус-К, 2004. – 224 с.
2. Степанов, В. И. Логистика производства: учебное пособие / В. И. Степанов. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 200 с.
3. А. с. 1669762 СССР МКИ В 30 В 11/12. Винтовой технологический ротор / А. Н. Михайлов; Оpubл. 15.08.91, Бюл. № 30. – 3 с.
4. Михайлов А. Н., Тернюк Н. Э. Прогрессивные методы производства изделий на поточно-спиральных технологических модулях //Технология и орг. пр-ва, 1990, № 3, с. 15-18.
5. А. с. 1588556 СССР, МКИ В 30 В 11/12. Способ обработки изделий на технологическом роторе / А. Н.Михайлов, Н. Э.Тернюк; Оpubл. 30.08.90, Бюл. № 32. – 3 с.
6. А. с. 1618672 СССР, МКИ В 30 В 11/12. Способ обработки изделий на поточно-глобoidном технологическом модуле / А. Н.Михайлов, Н. Э.Тернюк; Оpubл. 07.01.91, Бюл. № 1. – 3 с.

Поступила в редколлегию 23.05.2025 г.