

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**Ковалевский С. В., Поддубный С. А.**

В статье рассмотрено и описано способ расширения сборочного цеха завода, который строится, как многопозиционная машина для обработки сложно профильных деталей, суть работы которого заключается в следующем: за основу берется обычный цех или производственный участок, и размещается вертикально. Благодаря этому сокращается место для размещения этого цеха, и сокращается время для доставки заготовок и готовых деталей между цехами и участками.

На основе пространственно-функционального анализа множества вариантов производственных систем предложена модель поиска оптимальных по критерию приведенной мощности компоновочных решений. Предложенный подход реализуется на основе создания нейросетевых моделей с качественной оценкой факторов компоновки.

В статті розглянуто та описано спосіб розширення складального цеху заводу, який будується, як багатопозиційна машина для обробки складно профільних деталей, суть роботи якого полягає в наступному: за основу береться звичайний цех або виробнича ділянка, та розміщується вертикально. Завдяки цьому скорочується місце для розміщення цього цеху та скорочується час для доставки заготовок та готових деталей між цехами та ділянками.

На основі просторово-функціонального аналізу безлічі варіантів виробничих систем запропонована модель пошуку оптимальних за критерієм наведеної потужності компоновальних рішень. Запропонований підхід реалізується на основі створення нейромережевих моделей з якісною оцінкою факторів компонування.

This article describes how to examine and expand the assembly shop of the plant, which is constructed as multistage machine for processing hard core parts. The essence of which is as follows: the basis of a conventional plant or industrial site and is placed vertically. Due to this we have reduced location for this workshop, and reduced time to deliver blanks and finished parts, between the shops and sites.

Based on the spatial and functional analysis of multiple variants of production systems, a model search for optimal criterion relative power layout decisions. The proposed approach is implemented through the establishment of neural network models with a qualitative assessment factors layout.

Ковалевський С. В.

д-р техн. наук, проф. каф. ТМ ДДМА

kovalevskii@dgma.donetsk.ua

Піддубний С. О.

магістр ДДМА

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК 621.91.002

Ковалевский С. В., Поддубный С. А.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Одним из эффективных путей повышения производительности труда в авиационной и машиностроительной промышленности является автоматизация производственных процессов на основе применения гибких производственных систем (ГПС), построенных на базе многоцелевых металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и реконфигурируемых производств. Синтез компоновки ГПС осуществляется на ранней стадии проектирования после изучения конструкторских и технологических требований к изготовлению корпусных деталей, базового технологического процесса, определения программы выпуска и показателей экономической эффективности. Эта стадия проектирования является самой ответственной, так как от правильности выбора компоновки ГПС во многом зависит успех проекта в целом [1–5].

Цель работы – изучить подход к проектированию 3D-мерной производственной системы, которая была бы эффективной не только с позиций расширения технологических возможностей производства, но и обеспечивала бы повышение эксплуатационной надежности изготовленных в таких условиях изделий.

Реконфигурируемая производственная система (РПС) представляет собой адаптивную мехатронную систему машин, основными свойствами которой являются изменение компоновки, многоуровневой структуры автоматически переменных мехатронных узлов и модулей, межузловых связей с целью функционирования эксплуатации с заданными технико-экономическими параметрами в течение производственного цикла. Таким образом, РПС представляет собой комплекс управляемых автоматически переменных компонентов, технических и вспомогательных средств, автоматически скомпонованных и организованных в систему машин с многоуровневой структурой, цикличность структурного и компоновочного преобразования которого подчинена цикличности преобразования производства и изготовления новых изделий, а также изменения технологического процесса. В цикле преобразования РПС может быть организована и оптимизирована по структуре и компоновке на определенном промежутке времени, ограниченном выполнением производственного заказа изготовления изделий, необходимой программы и объемов выпуска, необходимой производительности и надежности системы при минимизации капитальных и текущих затрат.

В период компоновочного преобразования и изменения технологического процесса структурный, компоновочный и параметрический синтез системы базируются на теории декомпозиции и композиции в реальном времени выполнения циклов перекомпоновки системы. Это означает, что в период жизненного цикла, от создания до утилизации, преобразования структуры и компоновки представляют собой управление процессами чередующихся декомпозиции и композиции, когда сначала в системе при перекомпоновке разрушаются межузловые и межмодульные связи, разрушается кинематическая структура, после чего оптимизируется и синтезируется система с новыми функциональными и эксплуатационными свойствами, с образованием новой компоновки с последующим синтезом технологического процесса. При последующей эксплуатации системы реализуются новые технологические процессы. Реконфигурируемая производственная система, имея свойства автоматической перекомпоновки, должна иметь наивысшую степень надежности и живучести, так как изменение компоновки на основе управления автоматически сменными узлами позволит сохранять на протяжении длительного времени способность управлять технико-эксплуатационными параметрами системы, управлять работоспособностью, увеличивая технический ресурс и жизненный цикл системы.

Типы производственных систем, которые обычно составляют поточные линии для промышленности, могут быть описаны как мехатронные системы, поскольку представляют собой синергетическое сочетание точности машиностроения, электронного управления и системного мышления в проекте продуктов и процессов. Исследование параллельных машинных процессов проектирования производства показало несогласованности проекта между возможностями управления и традиционной компоновкой производственных участков. Это оказывает решающее влияние не только на жизненный цикл разработки технологии, но и на эксплуатационную надежность. Такие проблемы – прямой результат нехватки инструментария и процедур, которые позволяют по различным машинным данным проектирования, генерируемым в течение процесса, быть представленными в форме наиболее живой производственной системы.

Основными функциями мехатронного модуля в составе станочной системы являются те, которые обеспечивают необходимое качество изготовления деталей или необходимых исполнительных движений для создания требуемых технологических условий обработки заготовки, проведения диагностики и контроля. Модульная основа технологического оборудования обычно представляет собой следующий набор сборочных единиц:

- шпиндельная бабка с вариантами шпинделей, обладающая всеми современными техническими характеристиками, применяемыми в сверлильно-фрезерно-расточных, токарных, шлифовальных станках;
- станина со встроенными направляющими качения или скольжения, шариковыми винтовыми парами, линейными двигателями;
- стол горизонтальный или вертикальный в сборе с механизмами поворота и перемещения;
- ограждения зоны резания;
- устройство подачи СОЖ в зону обработки, устройство «сухого» охлаждения (с микродозами смазки), устройство прямой подачи эмульсии или подачи через шпиндель;
- устройство подачи заготовок в зону обработки и устройство удаления заготовок;
- комплект электрооборудования и систем ЧПУ.

Такое представление оборудования для повышения гибкости технологических производственных систем позволяет предположить, что имеются значительные резервы в построении производственных систем не только на плоскости (площадке) цеха, но и «в высоту», предусматривая развертывание производственного пространства по всем трем координатам r в равной степени. Это приводит к сокращению длины межоперационного транспортирования и позволяет осуществлять межстаночную передачу заготовок с экономией энергетических ресурсов.

Существующие производственные системы, даже гибкие, не обладают возможностями полностью изменять структуру для конкретного продукта. Реконфигурируемые производственные системы – это новые системы с изменяемой архитектурой, которые могут во время адаптировать свою структуру и имеют для этого быстрые и надежные процессы планирования и внедрения изменений, могут развиваться вместе с возрастающей динамикой рынка.

На сегодняшний день накоплен большой опыт работы автоматизированных и автоматических поточных линий для изготовления деталей в массовом производстве. Но его перенос на сложные, многономенклатурные производственные процессы мелкосерийного производства без учета его специфики не даст существенный положительный эффект. Для такого машиностроительного производства необходимо оснастить новыми, переналаживаемыми типами производственных систем, которые быстро и экономически эффективно реагировали бы на различные рыночные изменения. Выходом из сложившейся ситуации явилось бы использование реконфигурируемых производственных систем (РПС), которые состоят из переналаживаемого оборудования и переналаживаемых устройств управления.

Традиционные компоновки производственных участков основаны на принципе доступности обслуживающего персонала и рабочих к технологическим машинам с целью обеспечения производственного и ремонтного циклов.

С развитием автоматизации производства и с ростом стоимости цеховой площади, составляющей часть себестоимости продукции, оптимизация компоновочных решений гибких производственных систем представляет собой актуальную задачу.

Оптимизация компоновочных решений представляет собой задачу декомпозиции элементов производственной системы с учетом возможностей этих элементов и ограничений.

Для описания возможностей и ограничений целесообразно использовать системный подход, где эти элементы, возможности и ограничения были бы представлены в единой модели. Предлагается формальное описание исходных данных для системного моделирования в следующем виде:

- технологическое оборудование (Technological Equipment) TE;
- вспомогательное оборудование (Auxiliary Equipment) –AE;
- транспортная система (Ferry System) –FS;
- складская система (Storage Systems) – SS.

Пространственные компоновочные решения являются элементами трехмерной (x,y,z) системы координат, из которых две являются обязательными, варианты компоновки могут иметь такие решения:

TExy; TExz; TEyz.

Аналогично:

AExy; AExz; AEyz;
FSxy; FSxz; FSyz;
SSxy; SSxz; SSyz.

Оптимальная компоновка представляет собой решение, описываемое множеством, получаемым в результате следующих действий:

$$\begin{pmatrix} Txy_1 & Txy_2 & \dots & Txy_n \\ Txz_1 & Txz_2 & \dots & Txz_n \\ Tyz_1 & Tyz_2 & \dots & Tyz_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} AExy_1 & AExy_2 & \dots & AExy_n \\ AExz_1 & AExz_2 & \dots & AExz_n \\ AEyz_1 & AEyz_2 & \dots & AEyz_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} FSxy_1 & FSxy_2 & \dots & FSxy_{3n} \\ FSxz_1 & FSxz_2 & \dots & FSxz_{3n} \\ FSyz_1 & FSyz_2 & \dots & FSyz_{3n} \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} SSxy_1 & SSxy_2 & \dots & SSxy_{3n} \\ SSxz_1 & SSxz_2 & \dots & SSxz_{3n} \\ SSyz_1 & SSyz_2 & \dots & SSyz_{3n} \end{pmatrix} = M,$$

Где M – множество решений, удовлетворяющих условию R .

В качестве укрупненного критерия может приниматься критерий затрат энергии (за период времени t это может быть работа A или мощность N системы). Отнесенная к единице выпускаемой продукции мощность N/n , где n – объем выпускаемой продукции в количественном или стоимостном выражении, может быть принята как целевая функция F .

Для нейросетевого моделирования следует использовать сети Хопфилда, придавая каждому элементу системы качественный признак наличия или отсутствия элемента, обозначая наличие как 1, а отсутствие элемента в системе как 0. Принимая $\rightarrow \min$ при ограничении $n = n_0$ определяется перспективная компоновка гибкой производственной системы в пространстве x,y,z равной размерности.

При изложенном подходе формируются компоновочные решения. Однако необходимо обеспечить требуемую точность изделий и увязать между собой основные характеристики точности РПС. При этом размерный анализ также является связующим звеном между компоновочными схемами станочной системы и технологическими этапами подготовки производства к выпуску изготавливаемых изделий. Особенно важно отметить, что этот анализ является универсальным средством, пригодным для расчета любой части конструкции РПС.

Каждый составляющий конструкторский размер компоновочной схемы, формируется либо в процессе изготовления деталей, либо непосредственно при получении заготовки, либо при ее последующей обработке. Они имеют тесную связь с технологическими размерами и могут быть ими заменены в соответствии с особенностями использованного оборудования и схем базирования на операциях.

Неточность выполнения операционных размеров связана с наличием элементарных погрешностей обработки. При эксплуатации размерные связи не остаются постоянными. На машину будут воздействовать внешние и внутренние факторы, которые приводят к потере точности, поэтому при расчетах необходимо также использовать комплексный размерный анализ.

В результате можно выделить 4 основных типа размеров:

- конструкторские размеры;
- технологические размеры заготовки;
- технологические размеры обработанных поверхностей;
- размерные звенья, характеризующие эксплуатационные процессы (износ, потеря точности и др.).

Возможны два основных способа включения в расчетные схемы эксплуатационных размеров: либо ввести дополнительные передаточные функции в виде матриц, либо дополнительные составляющие звенья. Это позволяет учесть геометрические характеристики РПС.

ВЫВОДЫ

Таким образом, представлен подход к проектированию 3D-мерной производственной системы, которая была бы эффективной не только с позиций расширения технологических возможностей производства, но и обеспечивала бы повышение эксплуатационной надежности изготовленных в таких условиях изделий. Это полностью согласуется с тенденцией учета уже на этапе проектирования производственной системы всех этапов жизненного цикла изготавливаемых изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение CAD/CAE-систем для проектирования компоновок гибких производственных систем для механообработки корпусных деталей / К. С. Кульга, А. А. Карюгин, А. Ю. Головицин, Р. Р. Мухаметзянов, В. Р. Рахматуллин, Д. А. Николаев, Е. П. Елепина, А. А. Гаитова // *Машиностроение и смежные отрасли*. – М., 2014. – № 90. – С. 51–62.
2. Практические расчеты гибких производственных ячеек. Модели, алгоритмы, приложения / Р. Р. Рахматуллин, А. И. Сердюк, А. М. Черноусова, С. Ю. Шамаев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2010. – 237 с.
3. Врагов Ю. Д. Анализ компоновок металлорежущих станков : основы компоновки / Ю. Д. Врагов. – Москва : Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Кульга К. С. Применение CAD/CAE-систем для статического исследования компоновок мехатронного станочного оборудования / К. С. Кульга // *CAD/CAM/CAE. – Observer*, 2014. – № 2. – С. 61–67.
5. Журавлев Н. П. Транспортно-грузовые системы : часть 1. / Н. П. Журавлев, О. Б. Маликов. – Москва : УМНЦ, 2005. – 223 с.