ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РАЗВИТИИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОТРАСЛЕЙ

УДК 005.511:667

JEL M31

DOI: 10.17213/2312-6469-2020-6-19-28

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННЫХ И НАУКОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

© В.А. Сычев 2020

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова», г. Новочеркасск, Россия

В работе рассмотрены современные подходы к организации автоматизированного машиностроительного производства в условиях цифровизации экономики. Показаны новые принципы построения реконфигурируемых машиностроительных производств и создания для решения задач производственного планирования для данного типа производств систем имитационного моделирования с использованием концепции мультиагентного моделирования.

Ключевые слова: цифровизация экономики; организация производства; производственное планирование; имитационное моделирование; мультиагентное моделирование; распределение ресурсов.

THE USE OF BUSINESS SIMULATIONS IN MANAGEMENT THE COSTS OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

© V.A. Sychev 2020

South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platonov, Novocherkassk, Russia

In the article authors examine the principles of creating a management account system for the production enterprise. It is shown that an effective solution of this problem is possible with the application of the process and the graf of approaches in structuring the business processes of production and identification of resources allocated to them, subject to control and analysis in management accounting.

Keywords: digitalization of economy; organization of production; production planning; simulation modeling; decision-making; resource allocation.

В современных условиях усиливающаяся конкуренция в экономике обуславливает необходимость повышения эффективности решений в организации и управлении сложными производственными комплексами. Громоздкие схемы организации сегодняшнего индустриального производства стремительно вытесняются новой концепцией изготовления продукции под заказ, получившей название «бережливого производства» и требующей реализации инновационной стратегии развития адаптивных / реконфигурируемых производственных систем с высоким уровнем гибкости структуры и компоновки систем машин, позволяющей приспосабливаться к изменяющемуся рыночному спросу.

Применение систем машин нового поколения с реконфигурируемой структурой позволяет широко использовать параллельную организацию работ на различных этапах и стадиях производства, что существенно повышает эффективность работы машиностроительного предприятия, но при этом требует высокой координации взаимодействия различных элементов производственной системы. Значимость данной задачи подтверждается также бурным развитием за рубежом работ по созданию интегрированных адаптивных производственных систем и интеллектуальных технологий управления следующего поколения. Это направление исследований сегодня выполняется крупными международными консорциумами по инициативе правительств ведущих индустриально развитых стран: ЕС, США, Канады, Японии, Кореи.

В системах указанного класса [1] в целях увеличения технических возможностей перестройки технологического процесса, рабочие места / оборудование, например, в цехах механической обработки, объединяются в функциональные группы по типам выполняемых деталяеопераций в виде однородных технологических участков (группы токарных, фрезерных, сверлильных и др. станков), которые позволяют создавать на основе их матричной структуры технологические цепочки с разнообразной последовательностью соединения их производственных звеньев (см. рис. 1). Пример практической реализации такой блочно-модульной/матричной организации гибкого производственного процесса представлен на рис. 2.

Рис. 1. Блочнo-модульнaя/матричнaя оргaнизaция гибкого производственного процесса на основе ячеистой структуры технологических участков

Рис. 2. Пример компоновочной схемы участка реконфигурируемого производства

В данной системе переход на выпуск новых и/или модернизированных изделий может осуществляться без трудоемкой перестановки специализированного оборудования, ограничиваясь его переналадкой. При этом отличительной чертой рассматриваемого вида производства является интегрированная форма его организации, которая предполагает объединение основных и вспомогательных операций в единый производственный процесс при параллельно-последовательной передаче предметов труда в производстве с помощью автоматизированной транспортно-накопительной системы, обеспечивающей хранение и перемещение предметов труда между отдельными рабочими местами. Это позволяет увеличить выпуск продукции с единицы оборудования и площади на 20-40% за счет сокращения простоев из-за необеспеченности рабочих мест заготовками, инструментами, комплектующими изделиями; координации производственного оборудования и такой организации потоков заготовок, деталей, материалов и инструмента, при которой их подача осуществляется в точно определенное место и время, в необходимых количествах и номенклатуре [2].

Очевидно, что вышеуказанная схема организации производства обуславливает повышенные требования к системе оперативно-производственного планирования и диспетчеризации, рассчитывающей производственные расписания работы всех элементов производственного комплекса (ПК)

и обеспечивающей поддержание определенных временных соотношений между процессами обработки заданного объема деталей на каждом отдельном станке, а также процессами транспортирования деталей, оснастки, инструмента.

Анализ известных методов решения задач производственного планирования показывает, что последние при всем своем разнообразии можно разделить на два класса: методы сетевого планирования и методы, относящиеся к общей теории расписаний [3, 4]. При этом к достоинствам методов сетевого планирования относится их относительная простота, естественное восприятие управляющим персоналом сетевых графиков и привязки входящих в них работ (технологических операций) ко времени и т.п. К недостаткам данных методов относят то, что планирование выполнения производственных операций в них осуществляется с использованием упрощенных схем распределения производственных мощностей технологических участков и без учета состояния незавершенного производства и т.п.

К достоинствам методов теории расписаний относят формирование производственных заданий с точностью до каждой единицы производственного оборудования ПК. Недостатками методов теории расписаний являются невысокая размерность решаемых задач планирования, отсутствие четкого управления сроками окончания выполнения производственной программы, учета состояния незавершенного производства и т.п.

При этом для эффективного практического решения задач производственного планирования, с точки зрения автора [5], целесообразно использовать двухуровневую схему, где на верхнем уровне выполняется моделирование технологического порядка реализации работ в сети и общая оценка объема выделяемого ресурса для каждой работы, а на нижнем уровне осуществляется имитационное моделирование процесса выполнения производственными модулями, составляющими данный ресурс, работ сети с привязкой процесса их выполнения ко времени. При этом построение такой двухуровневой схемы целесообразно осуществлять с использованием концепции мультиагентного имитационного моделирования [6].

Рассмотрим данный тезис подробнее. В основе мультиагентных технологий лежат принципы распределенного принятия решений, в которых решение сложной задачи разделяется на подзадачи, которые, по возможности, решаются автономно, после чего разбираются конфликты между полученными решениями и строится общее решение исходной задачи. При этом в основе данного подхода лежат следующие принципиальные положения [6]:

- 1) каждый заказ и связанный с ним технологический процесс получают своего программного агента (агент заказа), который разделяет все производственные задания на ряд множеств, определяющих, в частности, нерассмотренные задания; задания, запущенные на выполнение; выполненные задания, и осуществляет принятие решений по запуску производ-

ственных заданий на выполнение с учетом заданных временных ограничений;

2) агента заказа также формирует требования на выполнение работ сетевого графика агенту задачи, который начинает планирование выполнения работ заказа, определяя очередность выполнения работ заказа, выделяя фронт работ для выполнения и его первоочередную работу [3], а также обеспечивая поиск необходимых для данной работы ресурсов, формируя соответствующие требования по закреплению за выделенной работой оборудования, рабочих, предметов труда, инструмента с привязкой их ко времени.

3) если подходящие ресурсы (исполнители) заняты, то фиксируется конфликт, и начинается поиск его решения, который определяется как «переговоры», направленные на разрешение конфликта, в частности, путем перемещения технологических операций на другое время или других исполнителей, или назначения для выполнения операции менее подходящего ресурса (исполнителя).

Пример концептуальной схемы для мультиагентного имитационного моделирования машиностроительного производства, определяющей основные его объекты, необходимые для задачи производственного планирования, и отношения между ними, представлена на рис. 3.

Кроме этого отметим, что важным элементом в реализации агентов задач является удобное формализованное представление ее основных объектов и, в частности, сетевого графа работ по выполнению того или иного заказа, обеспечивающее требуемую степень детализации представления всех составляющих в рассматриваемой работе сетевого графа. При этом в качестве такого формализма представления структурно-сложного технологического процесса выполнения заказов (например, в сборочном производстве) можно использовать гиперграфы [7] (см. рис. 4), в которых каждая операция (технологическая фаза) по выполнению той или иной работы заказа обозначается как q^j_i и может включать в себя другие операции.

Схему, показанную на рис. 4 также можно назвать технологическим графом TG . При этом дугам гиперграфа придается следующий смысл. Пусть q^j_i - некоторая фаза, а $q^{j+1}_m, \dots, q^{j+1}_k$ - фазы, связанные с фазой q^j_i дугами, ориентированными от q^j_i . Тогда фаза q^j_i является выполненной, если выполнены все фазы $q^{j+1}_m, \dots, q^{j+1}_k$. Причем порядок выполнения этих фаз не существен. Начало выполнения фазы q^j_i определяется моментом начала выполнения одной или нескольких первоначально выполняемых фаз $q^{j+1}_m, \dots, q^{j+1}_k$, а конец — моментом окончания выполнения последней из фаз $q^{j+1}_m, \dots, q^{j+1}_k$. Наличие дуг между фазами $q^{j+1}_m, \dots, q^{j+1}_k$ задает порядок их выполнения. При этом дуга, связывающая любую пару фаз q^{j+1}_i, q^{j+1}_m и ориентированная от q^{j+1}_i к q^{j+1}_m , означает, что выполнение фазы q^{j+1}_m не может быть начато до завершения фазы q^{j+1}_i .

Рис. 3. Концептуальная схема фрагмента онтологии машиностроительного производства для задачи производственного планирования

Очевидно, что гиперграф, показанный на рис. 4, может быть расширен, посредством ввода в него отношений, связывающих фазы процесса производства сложного технического объекта с множеством вариантов реализаций каждой его технологической фазы q^{j_i} и экономическими оценками для этих вариантов. Указанное расширение возможно посредством представления каждой вершины q^{j_i} графа на рис. 4 по аналогии с иерархическими гиперграфовыми структурами в виде, изображенном на рис. 5. Это позволяет рассматривать несколько возможных вариантов выделения требуемых ресурсов для выполнения рассматриваемой работы.

Рис. 4. Пример гиперграфового представления структурно-сложного технологического процесса выполнения заказа

Рис. 5. Пример гиперграфового представления технологической фазы q^j_i

Далее отметим, что исполняющая система мультиагентного имитационного моделирования (инструментальные средства) обеспечивает асинхронное выполнение программ агентов по реализации их задач, осуществляет соответствующий перевод агента из одного состояния в другое в соответствии с формализованной схемой задачи, а также формирование и передачу сообщений (данных по изменению состояний производственных элементов и межоперационных заделов) другим агентам, включенных в концептуальную схему, реализуя процесс имитационного моделирования. При этом отметим, что сущность имитационного моделирования как метода решения задач производственного планирования заключается в программной имитации процессов движения в производственном комплексе заготовок и полуфабрикатов, комплектов инструментов и оснастки, каждый из которых во времени можно представить себе чередующейся последовательностью периодов пролеживания, включения в технологический процесс и перемещения. Это позволяет вычислять существенный с точки зрения имитационного моделирования элемент временной задержки материальных потоков на каждой из вышеперечисленных фаз его реализации и таким образом отображать протекание работы производственного комплекса во времени. Выделение в модели указанных дискретных моментов времени формирует поток событий в моделируемой системе. С завершением каждого события в системе связывается инициализация некоторой активности (процедуры), указывающей на совершение определенного действия активным элементом ПК и позволяющей как определить его длительность, так и скорректировать состояния связанных с данным событием пассивных элементов ПК (межоперационных заделов, складов и т.п.).

Вышеопределенный поток событий легко связывается с формированием и чередованием множества производственных ситуаций на участках моделируемой системы, которые, иначе, можно назвать «производственными сценами». Сцена формируется на основе онтологии задачи планирования в виде семантической сети соответствующих объектов и отношений (см. рис. 6). Это позволяет говорить о ситуационном подходе к информационному представлению имитационной модели для решения задач планирования, когда модель решения указанной задачи представляется в виде множества ситуаций, отражающих состояния процесса решения задачи, и множества путей перехода состояний из одного в другое, которые соответствуют тем или иным этапам решения задачи [8].

Формально понятие модель задачи управления (М) может быть определено как кортеж:

$$M = \{ \langle S_i, U_i, E_{ij} \rangle, I \}, i=1, \dots, N,$$

где S_i – i -ая ситуация (начальная, промежуточная или конечная); U_i – множество вычислительных процедур, выполняемых при переходе модели в i -ю ситуацию и связанных с корректировкой параметров модели; E_{ij} – множество сигналов, инициирующих переход модели из ситуации S_i в ситуа-

Рис. 6. Представление сцены «заказ-операция» по i -му участку

цию S_j ; I – информационная база правил выработки U_i и сигналов перехода E_{ij} .

Каждая ситуация из вышеопределенного множества может характеризоваться фиксированным набором признаков (набором атрибутов $atr_1, atr_2, \dots, atr_n$), определяющих то, или иное состояние задачи управления. Тогда формализованное представление множества всех ситуаций, характеризующих решение какой-либо задачи управления, имеет следующий вид:

$$S = \{ S_i (atr_{i1}, atr_{i2}, \dots, atr_{in}) \}, i=1, \dots, N,$$

где $S_i (atr_{i1}, atr_{i2}, \dots, atr_{in})$ – i -я ситуация; atr_{ij} – значение j -го показателя для i -й ситуации ($j=1, \dots, n$); N – количество ситуаций.

Отметим, что в сложных организационно-технических системах требуется не просто контролировать текущую ситуацию в процессе решения, но и определять возможные ее трансформации в другие ситуации, связанные с логикой решения задачи управления. Это обосновывает возможность представления задач планирования в виде ситуационных сетей, под которыми в общем случае будем понимать некоторую графовую структуру, описывающую совокупность состояний процесса решения данной задачи, а также множество путей перехода состояний из одного в другое, которые соответствуют тем или иным этапам решения задачи.

В [8] показано, что в качестве формализованной модели представления ситуационных сетей целесообразно использовать такие формализмы как метаграфы. Пример метаграфового представления производственной системы также приведен в [8]. Аналогичный подход целесообразно использовать и для формализованного представления сцен «заказ-операция» по всем участкам ПК и организации асинхронного выполнения программ агентов и управления последовательностью потока событий при имитационном моделировании сложных ПК.

Представление решения задачи производственного планирования в виде ситуационных сетей значительно упрощает дальнейший переход к объектно-ориентированному проектированию систем управления производством, что весьма важно для последующей их программной реализации.

Литература

1. Мизюн В.А. Интеллектуальное управление производственными системами и процессами: принципы организации и инструменты / В.А. Мизюн. – Тольятти: СНЦ РАН, 2012. – 214 с.
2. Технологические основы ГПС: Учебник для машиностроительных вузов. /В.А. Медведев, В.Н. Брюханов и др.; Под. ред. Соломенцева Ю.М. – М.: Машиностроение, 1991. – 255 с.
3. Васильева Л.Н. Моделирование микроэкономических процессов и систем: учебник / Л.Н. Васильева, Е.А. Деева. – М.: КНОРУС, 2011. – 400 с.
4. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 394 с.
5. Сычев В.А., Сычева Г.И. Современные подходы к организации и управлению промышленным производством// Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия "Социально-экономические науки". – 2019. – № 2. – С. 4-14.
6. Аксенов, К. А. Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / К.А. Аксенов, Н.В. Гончарова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 104 с.
7. Сычев В.А. Структурный синтез в задачах проектирования сложных производственных систем в условиях перехода к цифровой экономике. // Сб. трудов II-й национальной научно-практической конференции с зарубежным участием «Кластеризация цифровой экономики: глобальные вызовы». Санкт-Петербург, 18-20 июня 2020 г. / Под ред. Д.Г. Родионова, А.В. Бабкина. В 2-х томах. Т. 2. Раздел 8. Цифровые технологии в экономике и промышленности. – СПб.: Изд-во «ПОЛИТЕХ-ПРЕСС», 2020. С. 509–518 [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43094999>.
8. Сычев В.А. Бизнес-моделирование как инструмент организации производственных процессов// Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия "Социально-экономические науки". – 2017. – № 2. – С. 4-10.

Поступила в редакцию

28.10.2020

Сычев Василий Анатольевич – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Производственный и инновационный менеджмент» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия.

Sychev Vasily An. – Doctor of economic Sciences, Docent, Professor of the Department "Production and Innovation Management" of the Southern Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov, Novocherkassk, Russia.

Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
132, Prosveshcheniya str., Novocherkassk, 346428, Russia
e-mail: sitchev@mail.ru