

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

С. В. Терентьев (Орел)

Для производственных объектов основой формирования системы управления является производственный процесс. Система управления строится вокруг него и призвана обеспечивать его эффективное функционирование.

Дальновидные компании рассматривают структуру и процесс производства как стратегическое орудие, а не просто как способ снижения издержек. Они стремятся к повышению эффективности производства путем увеличения отдачи всех его составляющих: технологии, организации производственного процесса, управления ресурсами.

Оговоримся, что нами не рассматриваются такие предприятия, где организация управления predetermined, в основном, инженерными решениями. Предмет нашего внимания – такие производственные объекты, где понятие организации связано, в первую очередь, с руководством людьми, а не с управлением техническими системами. Это, например, предприятия сложного приборостроения с единичным и мелкосерийным типами производства. Выпускаемая здесь продукция характеризуется высокой материало- и трудоемкостью, длительным циклом изготовления, «фокусирует» в себе серьезные научные достижения. Низкий уровень организации и управления производством в данной сфере деятельности не позволяет в полной мере использовать те выгоды, которые были заложены в изделия конструкторами и технологами.

В этом случае применение известных методик к планированию и управлению производственным процессом затруднено в силу наличия индивидуальных особенностей объекта управления, сложности и многообразия возникающих проблем. Вследствие этого актуальной задачей является поиск адекватных подходов к описанию сложных производственных процессов, подходов, позволяющих учитывать широкий спектр ограничивающих факторов, строить обоснованные прогнозы развития производственного процесса.

Нами разработана и апробирована на практике модель производства сложных, многокомпонентных изделий, представляющая собой сочетание сетевой модели, отражающей структуру производственного процесса, и имитационных процедур, позволяющих исследовать его динамику. Исследования проводились в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между Орловским государственным техническим университетом и ЗАО «Научприбор», сложного приборостроения. Основной профиль деятельности – производство приборов для цифровой рентгенографии, рентгеновской спектрометрии и жидкостной хроматографии. Для предприятия характерен единичный и мелкосерийный тип производства, а производственный процесс характеризуется высокой трудоемкостью, материалоемкостью, конструктивной сложностью выпускаемых изделий, состоящих из нескольких тысяч деталей и комплектующих.

Центральным элементом модели является сетевой график. Исходной базой для его формирования является детализированная технологическая схема, прямо вытекающая из конструкторского разузлования изделия. Применяемая методика формирования сетевого графика основана на делении всех деталей и сборочных единиц, составляющих изделие, на ведущие и комплектующие («мелкие»).

К первому типу относятся детали, производство которых характеризуется длительным технологическим циклом, многократными перемещениями между производственными звеньями. Технология изготовления таких узлов и деталей учитывается в

модели подробно, и каждая технологическая операция представляет собой работу в сетевом графике. Производство в этом случае планируется календарно.

Для деталей второго класса характерен относительно короткий технологический цикл. Чтобы излишне не загромождать модель, технология их изготовления не включается в итоговый сетевой график. Подобно материалам и покупным комплектующим, «мелкие» детали рассматриваются в модели как ресурсы складываемого типа. Их производство является объектом объемно-календарного планирования.

Получаемый в итоге сетевой график отражает множество технологических операций, выполняемых над ведущими деталями и сборочными единицами. Он обладает фрагментарной иерархической структурой, фактически представляя собой иерархию сетей. Это позволяет строить график из отдельных типовых фрагментов, связывая их между собой, что значительно облегчает процесс формирования графика, делает его наглядным, обозримым, соответствующим по своей структуре составу производимых изделий.

В случае мелкосерийного производства сетевая модель представляет собой совокупность изоморфных графов, количество которых равно величине выпускаемой партии. Каждой работе  $i$  сети ставится в соответствие ее продолжительность  $\tau_i$  и совокупность функций  $r_i^k(t, t_i)$ . Функция  $r_i^k(t, t_i)$  характеризует потребность  $i$ -ой работы в  $k$ -ом ресурсе в момент времени  $t$ , при этом  $t_i$  – момент начала работы  $i$ ;  $t, t_i \in [0, T]$ , где  $T$  – общая продолжительность производственного процесса;  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – общее количество работ в графике;  $k = \overline{1, p+q}$ , где  $p$  и  $q$  – количество учитываемых в модели нескладываемых и складываемых ресурсов, соответственно.

Для получения календарного плана выполнения работ к построенной сети применяется известный эвристический подход – метод имитационного моделирования с использованием правил предпочтения (метод фронтального распределения работ) [1].

Схема решения задачи сводится к пошаговому воспроизведению динамики функционирования производственной системы, образованной множеством ресурсов и операций в некотором интервале времени. Спецификой решения задач планирования методом имитации являются конфликтные ситуации, когда на один ресурс (оборудование, персонал) претендуют несколько операций, причем ресурс может быть закреплен только за одной из них. Такие ситуации ликвидируются введением специальных разрешающих правил (функций предпочтения).

Применение к сетевому графику метода имитации позволяет за время проведения машинного эксперимента воспроизвести производственный процесс с требуемой степенью детализации. Проводя модельные эксперименты при использовании различных функций предпочтения, можно получить множество планов производства, наиболее приемлемый из которых может быть выбран в качестве базового.

Широкие возможности, заложенные в имитационном подходе, позволяют учесть в модели ряд специфических особенностей, существенно важных в реальных производственных условиях. В результате проведенного анализа нами были выявлены и систематизированы наиболее существенные факторы, оказывающие влияние на протекание производственного процесса. Их учет является необходимым для построения адекватной модели.

1. *Взаимозаменяемость ресурсов.* Отдельные единицы ресурсов (оборудование, персонал) по отношению к определенным технологическим операциям могут рассматриваться как идентичные или взаимозаменяемые. Следовательно, в общем случае с каждой работой необходимо ассоциировать не одну единицу оборудования или рабочего одной специальности, а несколько единиц оборудования или группу рабочих. При

этом отдельные элементарные единицы могут входить в различные группы, образуя разнообразные сочетания. Группа в данном контексте понимается как совокупность полностью взаимозаменяемых по отношению к какой-либо технологической операции элементарных единиц ресурсов.

2. *Совместное использование ресурсов.* В практике встречаются задачи, для выполнения которых необходимо задействовать представителей нескольких групп. Это означает, что одна операция требует одновременного участия нескольких специалистов различной (или одинаковой) квалификации, либо параллельного использования нескольких видов оборудования.

3. *Режим использования ресурса.* Зачастую время участия человека в выполнении операции составляет лишь некоторую долю от ее общей продолжительности (такое время принято именовать ручным). На протяжении остального времени человек не задействован (такое время принято именовать машинным) и может выполнять какую-либо другую работу. Более того, на некоторых операциях интервалы ручного и машинного времени чередуются в соответствии с требованиями технологического процесса.

4. *Количество одновременно обрабатываемых деталей.* Выше указывалось, что в случае описания производства мелкосерийного типа сетевая модель представляет собой совокупность изоморфных графов. Следовательно, в таких сетях можно отыскать полностью идентичные по своим характеристикам операции (над аналогичными деталями, находящимися на одной и той же стадии технологического цикла). Зачастую производственные условия позволяют обрабатывать такие детали не по одной, а партиями. При этом не требуется осуществлять каких-либо дополнительных затрат ресурсов.

5. *Затраты времени на переналадку оборудования.* Учет данного фактора является чрезвычайно важным в условиях мелкосерийного производства. Затраты на переналадку относятся к непроизводительным затратам времени, и, как правило, их стремятся сократить. Добиться этого можно, последовательно выполняя несколько однотипных технологических операций, требующих одинаковой настройки станка. Если в момент времени  $t_i$  настройка станка  $k$ -й группы ( $r_i^k(t_i, t_i) > 0$ ) соответствует  $i$ -ой операции, то время реализации операции  $t_i$  может быть уменьшено на величину времени переналадки.

В разработанной нами модели производственного процесса обеспечена возможность учета перечисленных особенностей.

Модель построена в соответствии с принципами событийного моделирования. В настоящее время данный подход признается наиболее гибким средством описания дискретных процессов [2].

Событийный подход предполагает выделение узловых моментов в развитии исследуемой системы. Моделирование заключается в последовательной обработке такого рода узловых моментов (событий).

В качестве узловых моментов в развитии процесса производства изделия нами выделены следующие события.

1. *Назначение работ к выполнению.* Обработка этого события начинается с упорядочения текущего фронта работ в соответствии со значением используемой функции предпочтения. Далее, начиная от наиболее важной операции, фронт работ последовательно просматривается. При анализе каждой операции определяется, достаточно ли свободных ресурсов для того, чтобы начать выполнение работы в текущий момент времени. При положительном решении этого вопроса инициируется начало выполнения данной операции.

2. *Освобождение ресурса.* Данное событие происходит в момент завершения периода участия ресурса в выполнении операции. Осуществляется перевод ресурса из состояния «занят» в состояние «свободен».

3. *Занятие ресурса в процессе выполнения работы.* События этого типа планируются для ресурсов, у которых начало периода занятости (ручного времени) не совпадает с моментом начала самой операции. Если в момент возникновения потребности в ресурсе требуемое его количество недоступно, выполнение рассматриваемой работы прерывается.

4. *Завершение работы.* Иницируется окончание выполнения операции.

5. *Включение во фронт смещенных операций.* Для большей гибкости модели при решении задачи календарного планирования желательно обеспечить возможность смещения по времени начала выполнения операций. Использование такого приема позволяет учитывать в модели задержки в поставках материалов и комплектующих, затраты времени на изготовление комплектующих собственного производства («мелких» деталей). Кроме того, подход дает возможность варьировать время запуска в обработку отдельных деталей, сборочных единиц, что позволяет в ходе проведения имитационных экспериментов исследовать гораздо большее количество вариантов выполнения плана.

6. *Завершение моделирования.* При наступлении данного события функционирование модели прекращается.

В качестве средства программной реализации разработанной модели была выбрана система *SMPL (Simulating Modeling Program Language)*. Данная система является одной из разновидностей систем событийного моделирования и предназначена для построения моделей дискретных процессов. Она построена в виде отдельного программного модуля для среды визуального программирования *Borland Delphi*.

Результаты модельных экспериментов могут быть выданы пользователю как в виде совокупности формальных параметров плана (продолжительность производственного цикла, затраты времени на переналадку оборудования, графики использования ресурсов и др.), так и непосредственно в виде графиков, характеризующих порядок обработки узлов и деталей.

На рис. 1 представлен фрагмент графика выпуска партии из десяти изделий (Камера МПК). Данный график построен в соответствии наиболее часто используемыми принципами планирования производства на ЗАО «Научприбор» (в частности, вся партия деталей проходит обработку на производственном звене, и только затем передается далее по технологическому маршруту).

Рис. 2 демонстрирует фрагмент графика, построенного в результате экспериментального поиска плана с лучшими характеристиками. В данном случае представлен фрагмент расписания с меньшей продолжительностью производственного цикла. Сокращение цикла происходит за счет того, что при прохождении партии деталей через производственные звенья, она «разрывается». Это позволяет раньше «загрузить» работой последующие производственные участки.

Таким образом, применение модели позволяет оценить последствия принимаемых решений с точки зрения эффективности производственного процесса в целом. Анализ результатов моделирования дает возможность руководителям соответствующих подразделений вырабатывать более обоснованные плановые и организационные решения.

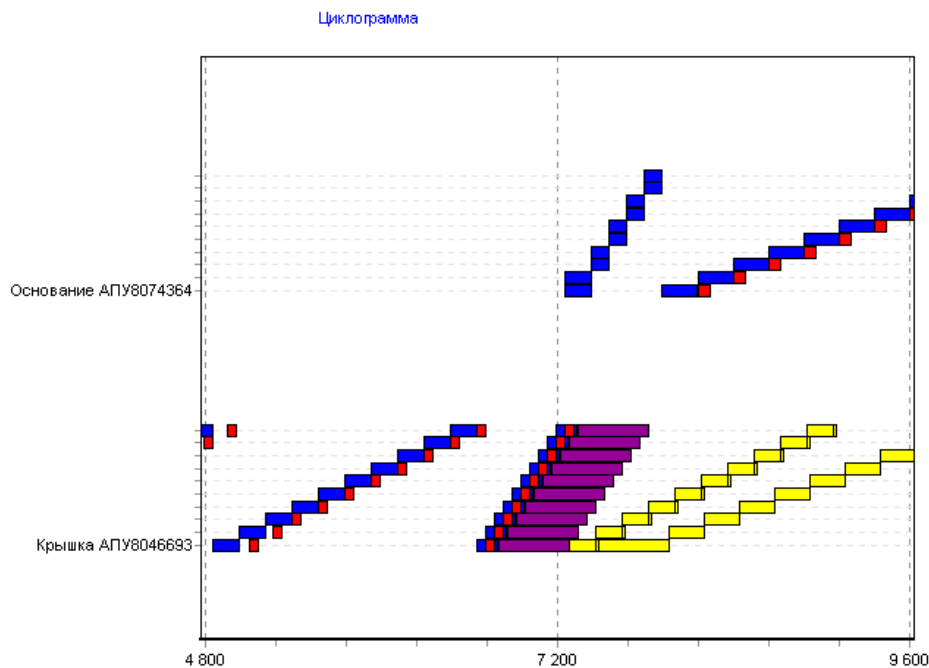


Рис. 1. Фрагмент исходного графика производства

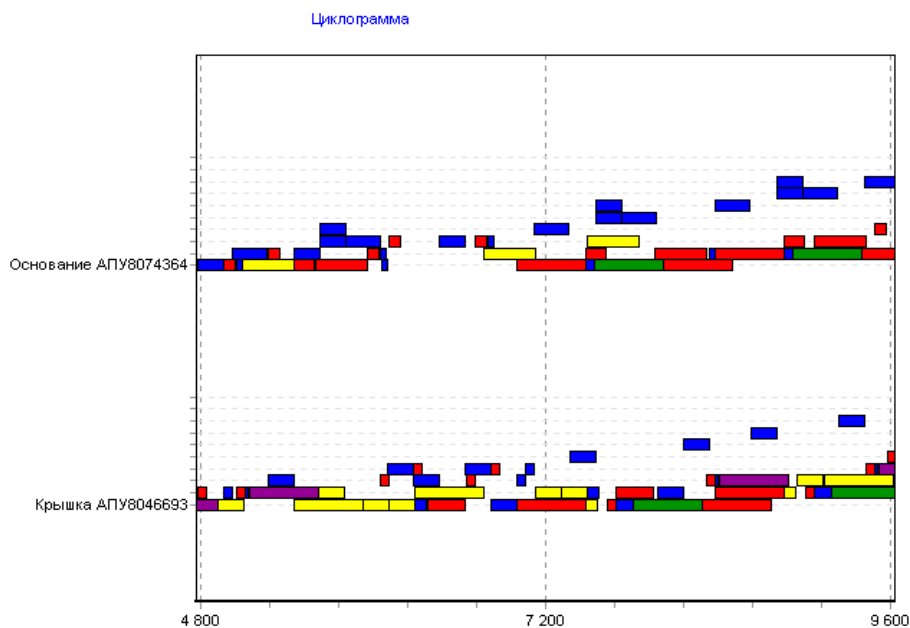


Рис. 2. Фрагмент графика производства, полученного в результате поиска плана с улучшенными технико-экономическими характеристиками

### Литература

1. Шубкина И.П. Моделирование механизма принятия решений/И.П. Шубкина. – М.: Наука, 1976. – 275 с.
2. Савина О.А. Управление промышленными предприятиями с использованием систем поддержки решений/О.А. Савина. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 256 с.