

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ MATLAB И ANYLOGIC ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА

Я.А. Насыйров (Свердловская область, Верхняя Салда)

### Введение

ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» является крупнейшим в мире производителем полуфабрикатов и изделий из титановых сплавов. Заказчики Корпорации – это крупнейшие авиастроительные и двигателестроительные компании, такие как Boeing, AIRBUS INDUSTRIE, Goodrich, Rolls Royce plc, Pratt&Whitney, а также предприятия оборонной промышленности Российской Федерации и стран СНГ.

Начавшийся после кризиса 2008 года рост потребности в изделиях из титана у основных заказчиков Корпорации и связанный с этим рост напряженности производства, обусловленный увеличением количества заказов, привел к необходимости увеличения пропускной способности производственных участков и цехов. Работа по решению этой задачи велась по двум направлениям. Первое направление – это реконструкция цехов и производственных участков, второе – оптимизация существующих производственных систем и процессов. Для выполнения расчетов по определению требуемых инвестиций в реконструкцию предприятия была создана группа из специалистов по различным видам производства. Специалисты оценивали пропускную способность рабочих центров, используя при этом статистические данные предыдущих лет. Поскольку расчеты велись в тоннах, а структура пакета заказов в тот период существенно менялась (в связи с появлением новых типов самолетов), то, принимаемые на основании полученных результатов выводы, не всегда соответствовали действительному положению дел. В результате закупаемое оборудование оказывалось не загруженным, а какие-то рабочие центры работали на пределе пропускной способности.

В этой связи было принято решение разработать компьютерную систему поддержки принятия решений (СППР) для анализа выполнимости производственной программы одного из основных цехов корпорации для горизонта прогноза от месяца до года. Такая система была разработана с использованием системы компьютерной математики MATLAB, протестирована на исторических данных и успешно применялась в течение 4-х лет. Отличительной особенностью этой системы являлось то, что расчеты велись в штуках изделий с учетом технологических маршрутов. Со временем необходимость в проведении анализа портфеля заказов отпала, и группа «расчетчиков» была расформирована.

В рамках работы по оптимизации существующих производственных систем, в частности, были разработаны:

- автоматизированная система построения суточной циклограммы (диаграммы Ганта) ковочного комплекса в одном из кузнечных цехов ВСМПО с оптимизацией по загрузке печей и прессы;
- СППР для ежедневного планирования и СППР для анализа выполнимости месячной производственной программы механообрабатывающего цеха с учетом ограничений по инструменту и приоритетом двухпартальных станков.

В качестве среды разработки использовался MATLAB.

Применение AnyLogic для разработки разного рода СППР началось в 2014 году. К настоящему времени с помощью AnyLogic7 были разработаны СППР для решения следующих задач:

- построение циклограмм на участках кузнечных и штамповочных прессов, а также на участке термообработки одного из основных цехов ВСМПО;
- формирование графика поставки штамповок в механообрабатывающий цех из цехов-смежников; анализ выполнения месячной производственной программы механообрабатывающего цеха при различных стратегиях планирования загрузки станков.

Для решения последней задачи была разработана мультиагентная модель, за основу которой была взята учебная модель обслуживания ветряных турбин. Ниже приводится описание мультиагентной модели механообрабатывающего цеха.

#### **Постановка задачи**

Механообрабатывающий цех получает штамповки на механическую обработку (м/о) из двух кузнечно-штамповочных цехов. График поставок штамповок задается цехами-поставщиками безотносительно к пропускной способности оборудования цеха м/о. Кузнечно-штамповочные цехи поставляют заготовки и в другие цехи (листопрокатный, сортопрокатный и др.), поэтому нередки случаи, когда согласованный график поставок штамповок на м/о не выполняется. Последнее может приводить к невыполнению цехом месячного планового задания.

Для уменьшения рисков по срыву сроков поставки продукции заказчиком, было решено создать «вытягивающую» систему производства от цеха сдачи конечной продукции до плавильного цеха. Поскольку цех м/о штамповок является конечным звеном в одной из производственных цепочек, то он и будет формировать график поставок штамповок из других цехов «под себя», руководствуясь планом отгрузки готовых изделий заказчиком. Цехи поставщики, в свою очередь, должны оценить возможность выполнения предлагаемого графика поставки и при необходимости его откорректировать и согласовать с цехом м/о.

#### **Особенности процесса м/о штамповок**

Штамповки имеют шифр, который определяет, какие операции и на каких станках должны быть выполнены. После выполнения ряда операций некоторые шифры штамповок отправляют в другие цехи на термообработку (т/о). После т/о штамповки либо поступают на контроль геометрии и склад готовой продукции, либо продолжают обрабатываться.

Для каждой операции, выполняемой для каждого конкретного шифра изделия, применяется свой инструмент. Одна и та же операция может выполняться на разных станках. При этом возможны ситуации, когда количество инструмента меньше числа станков. Инструменты имеют конечный ресурс использования.

Станки цеха механической обработки штамповок имеют числовое программное управление. Поэтому время выполнения операции на таких станках является постоянной величиной. Однако, как уже было сказано, некоторые операции могут выполняться на разных типах станков с разной скоростью. Поэтому, при одинаковых начальных условиях в зависимости от предпочтений планировщика, система будет эволюционировать к разному конечному состоянию.

#### **Цели моделирования**

- Определение графика поставки штамповок из цехов-смежников, гарантирующего минимальные риски срыва сроков отправки продукции заказчиком.
- Формирование графика отправки штамповок на т/о в другие цехи.

- Выбор стратегии планирования, обеспечивающую максимальную пропускную способность цеха при прогнозируемом на начало планового периода уровне НЗП и заданном графике останова оборудования на планово-предупредительные ремонты.
- Расчет расписания работы оборудования и прогнозируемого уровня НЗП на конец планового периода.
- Анализ динамики загрузки оборудования. Анализ влияния на пропускную способность оборудования цеха планово-предупредительных ремонтов и остановок из-за поломок.
- Оперативный пересчет расписания работы оборудования от текущей даты до конца планового периода.

#### **Описание модели**

Модель представляет собой множество агентов, «живущих» в геопространственной среде заданной схемой цеха. Агенты делятся на несколько типов: станки, маршруты, спецификации, работы (штамповки-операции), перевозчики штамповок, инструменты, заказы на выполнение работ, склады, транспорт (телеги и краны), контроллер. Каждый агент имеет набор параметров, определяющих его состояние в каждый момент времени, и функции, задающие особенности поведения агента. Например, агент Работа имеет более 30 параметров, в т.ч. ссылки на агентов Маршрут, Станок, Перевозчик, Спецификация.

Штамповки условно разбиты на две группы по признаку Транспорт. В первую группу вошли штамповки, которые можно доставить к станку с помощью ручной тележки. Эти штамповки условно названы маленькими. Во вторую группу были включены большие штамповки, для транспортировки которых необходимы телеги на рельсах и мостовые краны.

На каждом шаге модельного времени станки, находящиеся в состоянии «свободен», создают списки работ, которые могли бы быть выполнены на данном станке. Предпочтение отдается работе, не требующей смены инструмента и имеющей максимальный приоритет. Если для выполнения выбранной работы есть доступный инструмент, работа принимается к исполнению. Для станка и выбранной работы создается агент Заказ, который передается агенту Перевозчику. Перевозчик, двигаясь по маршруту, указанному в заказе, с заданной скоростью к заданному станку, доставляет заказ и работу-штамповку на м/о. Получив работу, станок ее выполняет в соответствии с заказом, после чего Перевозчик переносит работу либо на промежуточный склад, либо на склад готовой продукции. Агент Заказ уничтожается.

В случае больших штамповок задача выполнения операции м/о разбивается на несколько подзадач. Агент Перевозчик получив заказ на м/о большой штамповки, передает этот заказ агенту Контроллер, который определяет, какая подзадача должна быть выполнена и какой потребуются для этого транспорт: телега или кран. Если в данный момент нет свободного крана или телеги, то подзадача ставится в очередь задач к требуемому агенту Транспорт. Например, подзадача крана может быть такой: подвести кран под телегу (станок/склад), захватить штамповку, переместить кран в заданную точку, опустить штамповку и передать перевозчика с заказом другому агенту (станку/складу/телеге).

#### **Метод решения задачи**

Количество обрабатываемых ежемесячно шифров штамповок может достигать 40, а общее количество штук изделий колеблется от 700 до 900. Число операций в технологическом маршруте может быть больше 10, при этом, некоторые операции

могут выполняться на нескольких станках. Высокая размерность рассматриваемой задачи существенно затрудняет применение традиционных методов оптимизации (математическое программирование, перебор результатов имитационного моделирования при варьировании параметров модели и др.). Поэтому в модели реализован подход, при котором агент станок выбирает штамповку исходя из выбранной стратегии планирования. Всего может быть испытано пять стратегий.

Первая стратегия является традиционной для рассматриваемого механообрабатывающего цеха. Она заключается в том, что, если штамповка может быть обработана на нескольких станках разных типов, среди которых есть двухпартальный станок, то выбран будет обязательно двухпартальный. Учитывая то, что каждый портал имеет несколько обрабатывающих головок, м/о не начнется до тех пор, пока не наберется нужное количество штамповок.

По второй стратегии каждому шифру штамповок присваивается приоритет, величина которого в процессе выполнения планового задания меняется по закону: чем больше относительная разность между планом и фактической сдачей в данный момент модельного времени, тем выше приоритет.

Третья стратегия учитывает длительность всего цикла м/о шифров штамповок. Чем выше в текущий момент модельного времени прогнозируемая «незавершенка» (в долях от запуска), тем выше динамический приоритет данного шифра штамповок.

По четвертой стратегии предпочтение имеют те штамповки, которые для своей обработки не требуют смены инструмента. При этом выполняется и первая стратегия.

В пятой стратегии сочетаются четвертая и третья стратегии.

### **Заключение**

Промышленная эксплуатация СППР механообрабатывающего цеха в течение полугода показала следующее.

1. В цехе применяется только базовая модель, в которой нет деления штамповок на маленькие и большие. Причина в том, что по факту большие штамповки укладываются в рельсовую телегу не по одной, а по несколько штук. Схема укладки произвольная («сколько влезет»). Требуется стандартизировать схему укладки штамповок в телегу.
2. Наилучшие результаты при планировании дают четвертая и пятая стратегии. Отличие первой стратегии от двух лучших незначительное и зависит от рассматриваемой номенклатуры изделий.
3. Наихудший результат показала вторая стратегия планирования. Интересно, что данная стратегия моделирует периодическое вмешательство в работу цеха по «проталкиванию» отдельных отстающих шифров.
4. При анализе вариантов и планировании, чаще всего, используются: циклограмма, график запуска штамповок в производство и график сдачи готовой продукции, таблица с расписанием работы оборудования, таблица выполнения планового задания и таблица НЗП. 2D-анимация модели не используется.