## [IFAC Proceedings Volumes](https://www.sciencedirect.com/science/journal/14746670" \o "Go to IFAC Proceedings Volumes on ScienceDirect)

[Volume 31, Issue 11](https://www.sciencedirect.com/science/journal/14746670/31/11" \o "Go to table of contents for this volume/issue), June 1998, Pages 455-460

**ОБЗОР ПЛАНИРОВАНИЯ И РАСПИСАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПАКЕТНОГО ПРОЦЕССА**

**Селен Гиритлигил, Серап Цесор, Бено Курьель**

**ЕГЭ УНИВЕРСИТЕТ, кафедра химического машиностроения, Борнова, ИЗМИР, ТУРЦИЯ**

Резюме: серийное (пакетное) производство используется для производства тонких химикатов и особенно уместно, когда объемы производства невелики, или когда процедура или спрос на продукт могут измениться. Периодические процессы обычно выполняются в относительно стандартных элементах оборудования, рабочие условия которых могут быть скорректированы с учетом различных продуктов. Заводы для пакетных операций могут быть организованы как многоцелевые, многоцелевые в режиме кампании и общие многоцелевые. В этом исследовании все три типа периодических заводов проверяются при планировании и расписании. Этап планирования - это макроуровень, на котором обозначена проблема, а этап расписания - это микроуровень, на котором установлены производственные линии и размеры партий, определенные в заданные периоды времени для удовлетворения требований продукта. Эти три проблемы рассматриваются в рамках различных целевых функций. *Copyright* @ *19981FAC*

Ключевые слова: пакетные процессы, планирование и расписание, многопрофильный завод, многофункциональный завод

1. ВВЕДЕНИЕ

Периодические процессы обычно используются для производства специальных химикатов, таких как фармацевтические, косметические, полимерные, биохимические, электронные материалы и пищевые продукты, так как они хорошо подходят для производства множества низкообъемных, высокоценных продуктов, требующих аналогичных технологических процессов или сложных процедур синтеза. , Кроме того, периодические процессы предлагают гибкость перед лицом сезонных и колеблющихся потребностей и неточных знаний процесса. Серийное производство останется важной и постоянной особенностью химической промышленности.

Между периодическими и непрерывными процессами, когда они рассматриваются с учетом эксплуатационных затрат, учитывая, что большинство продуктов с небольшим объемом имеют тенденцию иметь высокую ценность, такие аспекты, как затраты на сырье, выходы и контроль качества продукта, имеют тенденцию доминировать в структуре затрат периодических процессов.

Структура затрат на пакетную обработку означает, что методы интеграции должны решать более широкую проблему, учитывая лучшее планирование, улучшенную конструкцию оборудования и изменения в химии.

В непрерывных операциях есть:

• однозначное соответствие между этапами рецепта и элементами оборудования завода

• технологическая схема - это физическая реализация рецепта, и его структура остается неизменной во времени

С другой стороны, при выполнении пакетных операций:

• структура рецепта и структура сети оборудования завода в целом различны

• конфигурация оборудования может меняться каждый раз, когда производится другой продукт

• существует дополнительный уровень технического решения: назначение шагов рецепта t

В последние годы в отечественной химической промышленности наблюдается тенденция к созданию более дорогих специальных химикатов. Эти продукты часто производятся на многопрофильных предприятиях, предназначенных для производства от нескольких до 100 различных продуктов. В результате, планирование производства становится важной областью химического машиностроения.

Схемы планирования могут быть классифицированы в соответствии с предположениями о наличии хранилища для частично обработанных заданий. Промежуточные предположения о хранении делятся на одну из четырех категорий:

I. Неограниченное промежуточное хранение - любое количество промежуточных продуктов может храниться в ожидании дальнейшей обработки;

2. Конечное промежуточное хранение (Papadimitriou and Kanellakis, 1980; Knopt: 1985) - только конечное количество промежуточных продуктов может храниться в ожидании дальнейшей обработки;

3. Нет промежуточного хранилища - технологические единицы служат хранилищем. Пока юнит хранит промежуточное звено, которое он должен обработать, дальнейшая обработка блокируется;

4. Незавершенная обработка (Reddi and Ramamoorthy, 1972; Wismer, 1972; Van Deman and Baker, 1974; Gupta, 1976) - промежуточные продукты должны быть обработаны без задержки. Согласно этому ограничению обработка задания не прерывается до завершения. Общее время нахождения работы в потоковой мастерской представляет собой сумму времен обработки на отдельных единицах процесса.

Классификация планирования, основанная на допущениях промежуточного хранения, является несколько искусственной, поскольку некоторые из них представляют смешанную среду хранения. Неограниченное промежуточное хранение может быть доступно для некоторых машин, в то время как условие обработки без ожидания применяется к другим сегментам. Обработка без ожидания всегда необходима, когда промежуточные продукты нестабильны.

Планирование производства и расписания (составления графиков) тесно связаны между собой. Производственные цели, установленные на уровне планирования, зависят от маркетинговых соображений, но должны учитывать возможность их реализации на уровне расписания. Следовательно, в идеале планирование и расписание должны анализироваться одновременно.

Основным подходом, который использовался для одновременной обработки планирования производства и составления графиков, является иерархическая схема декомпозиции, где общая проблема планирования раскладывается на два уровня. На верхнем уровне проблема планирования представлена моделью многопериодного планирования LP, которая устанавливает производственные цели для максимизации прибыли. На нижнем уровне проблема расписания сводится к подзадаче секвенирования, которая должна соответствовать целям, поставленным задачей планирования.

Планирование - это, в основном, проблема макроуровня, которая связана с распределением производственных мощностей, времени и запасов продукции, а также трудовых и энергетических ресурсов, с тем чтобы определить производственные цели, которые максимизируют общую прибыль в течение длительного периода времени в будущем. , Основной целью в планировании производства является определение производственных целей в течение определенного периода времени с учетом маркетинговых прогнозов цен и требований к продукту, а также с учетом наличия оборудования и запасов.

Расписание - это проблема микроуровня, которая встроена в проблему планирования производства и которая обычно рассматривается только на краткосрочный период. Составление расписаний включает в себя принятие решения о последовательности, в которой различные продукты должны обрабатываться на каждом оборудовании, с тем чтобы соответствовать производственным целям, установленным задачей планирования. Основной целью здесь является эффективное использование доступного оборудования среди множества продуктов, которые должны быть изготовлены, до степени, необходимой для достижения производственных целей.

Задача расписания включает в себя три тесно связанных элемента:

• назначение юнитов и ресурсов для задач

• последовательность задач, назначенных конкретным подразделениям

• определение времени начала и окончания выполнения всех задач

Задача расписания заключается в следующем:

• определить порядок, в котором задачи используют оборудование и ресурсы

• подробные сроки выполнения всех задач с целью оптимизации производительности установки

Приведенная ниже информация должна предоставляться в задаче расписания для удовлетворения потребностей рынка, а они обычно определяются на этапе планирования:

• режим работы

• заказы на продукцию

• рецепты продукта

• количество и вместимость различных типов существующего оборудования

• список типов оборудования, разрешенных для назначения каждому заданию

• любые ограничения в отношении общих ресурсов (таких как коммунальные услуги или рабочая сила)

• любые ограничения по эксплуатации или безопасности

Обширные обзоры обработки партии были недавно опубликованы в литературе (Reklaitis, 1991, 1992). Многие из этих проблем могут быть представлены как смешанные целочисленные задачи оптимизации. Главный вопрос в любом алгоритме составления расписаний касается представления во временной области. Кондили и др. (1993a) представляют общую формулировку для моделирования задач календарного планирования , которые возникают в периодических установках, а именно в сети задач состояния (STN). Проблема сформулирована как модель MILP. Однако основным ограничением модели является генерация большого числа целочисленных переменных и ограничений в задачах промышленной значимости. После этой работы было введено несколько методов с целью сокращения требуемых вычислительных усилий. Шах и др. (1993) переформулировали ограничения распределения. Равномерная дискретизация во временной области была также применена к параллельному планированию работы Tlowshop (Gooding et al., 1993). Самая простая проблема секвенирования - это планирование на одной машине. Другим важным примером в литературе по планированию (составлению расписаний) является общая проблема мастерской (Carlier and Pinson, 1989 ~ Adams et al., 1988). Carlier and Pinson (1989) разработали специализированный метод ветвления и привязки, основанный на задачах планирования одной машины. В контексте отраслей химической обработки также были разработаны непрерывные представления времени для краткосрочного планирования периодических заводов. Zentner и Reklaitis (1992) представили NUCM (Nonunifonn Continuous Time Modeling). Одновременное планирование и составление графика для случая установок с одной стадией и оборудованием параллельно было изучено Sahinidis and Grossmann (1991). Пинто и Гроссманн (1994) рассмотрели случай нескольких этапов с учетом промежуточного хранения. Проблемы были смоделированы как MINLP. Проблема планирования непрерывных многопродуктовых растений в условиях ограниченности ресурсов была изучена Кондили и др. (1993b).

1. ОСНОВНЫЕ УТВЕРЖДЕНИЯ

Диаграмма Ганта представляет собой диаграмму занятости оборудования, в которой время является ординатой, а абсцисса имеет запись для каждого элемента оборудования.

На рисунке 1а показана диаграмма Ганта для последовательного рецепта из четырех задач, в котором для каждой задачи назначен отдельный блок. Обратите внимание, что стрелка обозначает перенос вывода задачи на следующую задачу в рецепте. Время цикла равно 6, что соответствует максимальному времени обработки четырех заданий рецепта. Как обычно, некоторые из блоков простаивают в течение значительной части времени, но по меньшей мере один из них постоянно включен и становится ограничителем времени цикла. На этой иллюстрации кампания состоит из трех партий.

Характерной особенностью серийного (партийного) производства является необходимость указания назначения единиц для задач. В общем, это назначение не должно быть однозначным; скорее, несколько задач могут быть назначены одному и тому же устройству, и несколько устройств могут быть назначены для выполнения одной и той же задачи. Для рецепта, показанного на рис. 1, задача 4 может быть выполнена в двух разных блоках (U1 и U4). Поскольку эти два блока неэффективно используются в назначении «один на один», показанном на рисунке 1а, улучшение использования оборудования может быть достигнуто путем назначения U1 для выполнения как первой, так и четвертой задач, как показано на рисунке 1b, тем самым освобождая U4 для других целей.

1. ВИДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В зависимости от характера рецептов продукта и допустимых назначений задач/блоков (единиц, юнитов), пакетные операции можно разделить на три основных типа.

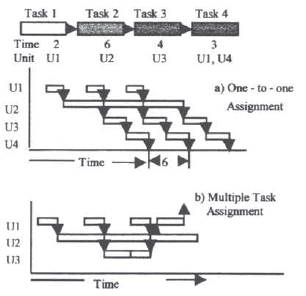


Рис. I Задача «один-к-одному» и «много-к-одному» для назначений юнитов

* 1. *Многопродуктовый завод*

Ниже приведены пункты, которые характеризуют многопродуктовые заводы:

• Используется для набора продуктов с одинаковой структурой рецептов.

• На производственной линии используется фиксированное многозначное назначение единиц / задач

• Линия работает циклически

• Несколько продуктов размещаются в рамках последовательной кампании

• Многопродуктовый режим используется для продуктов большего объема (от 300 до 700 т/год) с аналогичными рецептами, как, например, в случае завода, который производит семейство сортов одного и того же продукта.

Простое представление об этом типе установки приведено на рисунке 2. Обычно продукты, производимые на многопродуктовой установке, химически схожи, и замена продукта проста. Многопродуктовый завод был исследован как в форме кампании, так и в форме ограничивающей технологии.

В форме кампании в течение заданного горизонта производятся различные партии различных продуктов. Например, в фиксированное время горизонта (например, 1500 часов для летнего сезона), скажем, что 10 партий A, 15 партий B и 5 партий C должны быть выполнены, чтобы удовлетворить спрос. Есть два способа реализовать эту процедуру;

1. По одному продукту за раз в каждой кампании: так как все количество производится для определенного продукта, тогда для следующего продукта начинается другой набор циклов (например, 10 партий А, затем 15 партий В, затем 5 партий С в этом кампания).

2. Мультипродукты в каждой кампании: за любой партией любого продукта может следовать партия другого продукта до того, как будет завершена его совокупность (например, за 4 партиями B могут следовать 2 партии A).

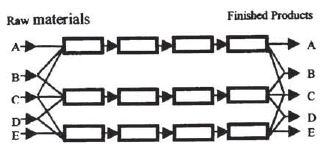


Рис. 2. Многопродуктовый завод

В форме последовательности операций одинаковая структура рецептов используется для всех продуктов; таким образом, сеть оборудования является фиксированной и, кроме того, партии планируются индивидуально, а не в кампаниях.

На основе ранее разработанной модели планирования LP Flowshop Scheduling Model Birewar and Grossmann (1990), когда в качестве целевой функции берется максимальная прибыль, которая может эффективно агрегировать количество партий, принадлежащих каждому продукту, для одновременного производства предлагается многопериодная модель LP. планирование и составление расписания многопродуктовых периодических установок, которые могут состоять из одной или нескольких неидентичных параллельных линий. Затраты на инвентаризацию, зависящие от последовательности сроков очистки, а также затраты и штрафы за нехватку продукции легко учитываются в этой модели.

Общая проблема планирования разбита на два уровня. На верхнем уровне проблема планирования представлена моделью многопериодного планирования LP, которая устанавливает производственные цели для максимизации прибыли. На нижнем уровне проблема составления расписаний сводится к подзадаче секвенирования, которая должна соответствовать целям, поставленным задачей планирования. За невыполнение заказов налагаются штрафы. Модели LP также решают, какие заказы должны быть выполнены и в какой степени в случае конкуренции за ресурсы из разных заказов. Модели также определяют сумму, которая будет произведена для продажи на открытом рынке. Модели LP устанавливают производственные цели для каждого периода и каждой производственной линии для различных продуктов.

Cerda et.al. (1990), предложили нелинейную математическую программу для поиска как наилучшей производственной стратегии, так и минимальных размеров оборудования одновременно, принимая минимальные капитальные затраты завода в качестве целевой функции. Формулировка MILP помогает определить эффективные по времени мультипродуктовые кампании, которые следует учитывать, и связанные с ними периоды пребывания в партии.

В работе Voudouris and Grossmann (1993) было показано, что учет влияния инвентаризации конечного продукта на этапе проектирования оказывает значительное влияние на прибыльность периодического процесса. Цель состоит в том, чтобы максимизировать чистую приведенную стоимость. Модель учитывает распределение задач для оборудования, расположение промежуточного хранилища, определение размера оборудования и емкостей для хранения, оптимальную последовательность продуктов и оптимальную продолжительность производственного цикла. Результаты показывают, что преимущество предлагаемой модели состоит в том, что она может систематически учитывать множество сложных компромиссов, связанных с проблемой синтеза, проектирования, планирования производства и составления графиков многопродуктовых серийных заводов.

Алгоритм Branch and Bound был представлен для планирования N партий или кампаний с одним продуктом в серийном многопродуктовом процессе M-unit с неограниченным промежуточным хранением, чтобы минимизировать штрафы сроков в стратегии решения, разработанной Ku и Karimi (1990). Процедура выполнима для решения проблем с N до 15. Процедура LP может определить, какая доминирующая кампания должна быть имплантирована, и время, отведенное им - для максимальной прибыли или минимального времени для удовлетворения заданным требованиям к продукту.

* 1. *Многоцелевой завод в режиме кампании*

Многоцелевой заводы в режиме кампании обычно обозначаются как:

• подходит для продуктов с разной рецептурой

• позволяет много-много-много назначений юнитов / задач

• использует несколько кампаний с участием одной или нескольких производственных линий

• каждый работает циклически

• они распространены на предприятиях, которые производят большое количество продукции меньшего объема (от 30 до 300 тонн / год).

Простое представление об этом типе установки приведено на рисунке 3. Форма кампании многоцелевого завода используется, когда требования к чистоте продукта строгие (например, в фармацевтическом производстве) по причинам эксплуатационной простоты или для обеспечения согласованности партии.

В исследованиях Wellons и Rek1aitis (1989) (в которых в качестве целевой функции используется максимальная скорость обработки) рассматривается оптимальное составление графика для одной и нескольких производственных линий. На основании наблюдения, что упорядочение группы оборудования и пути определения размера партии являются важными аспектами проблемы планирования производственной линии, представлена формулировка MINLP для этой проблемы, которая включает эти решения. В 1991 году решается формирование и планирование производства одно- и многопродуктовой кампании.

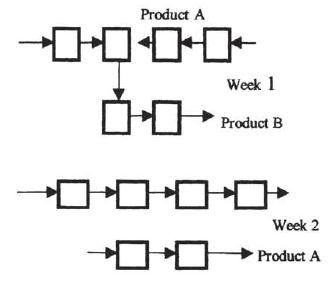


Рис. 3. Многоцелевой периодический завод в режиме кампании.

Общая математическая формулировка планирования/составления графиков нескольких кампаний для многоцелевых переодических/полунепрерывных заводов представлена в исследовании Papageorgiou и Pantelides (1996). Проблема заключается в одновременном определении кампаний (т. е. продолжительности и составляющих продуктов), а для каждой кампании - распределении задач по единицам (блокам), заданиям, срокам и потоку материала через завод. Задача сформулирована как одноуровневая модель целочисленного линейного программирования.

* 1. *Универсальный многоцелевой завод*

Это многоцелевой завод, работающий без определенных производственных линий; скорее, производство происходит апериодическим способом, включающим назначения множества единиц / задач для отдельных партий. Общая форма позволяет более эффективно использовать основное оборудование за счет сложности эксплуатации и дополнительных затрат на переналадку. Если производственные требования к отдельным продуктам низки, а риски перекрестного загрязнения низки, то выгодно ослабить структуры режима производства кампании и позволить ациклическим задачам по мере необходимости выполнять конкретные сроки выполнения заказа. Простое представление этого типа заводов приведено на рисунке 4.

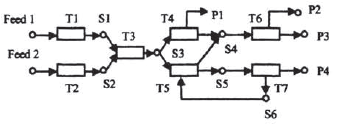


Рис. 4. Универсальный многоцелевой завод

1. ЗАМЕЧАНИЯ

В зависимости от бизнес-среды, а также от наличия точной информации о будущих потребностях во всех потенциальных производимых продуктах, периодические / полунепрерывные заводы обычно работают в одном из двух отдельных режимов. В отсутствие надежной долгосрочной информации заводы, как правило, работают в краткосрочном режиме, а производственный план в значительной степени определяется текущими невыполненными заказами. Обычно это подразумевает относительно короткие горизонты планирования (обычно от одной до нескольких недель). Схема операций в любом графике обычно нерегулярна, поскольку производство отличается от одного интервала планирования к другому из-за различий в характере невыполненных заказов. Если, с другой стороны, доступны надежные долгосрочные прогнозы спроса, часто предпочтительнее разделить горизонт планирования на ряд относительно длительных периодов времени («кампаний»), каждый из которых посвящен производству одного продукта или подмножеству продуктов. Эта операция в режиме кампании может привести к важным преимуществам, таким как минимизация количества затрат на перенастройку при переключении производства с одного продукта на другой. Сложность управления и контроля за работой установки еще больше снижается за счет более регулярной работы установки, например, в циклическом режиме в рамках каждой кампании, причем один и тот же шаблон операций повторяется с постоянной частотой. Типичная продолжительность кампании составляет от нескольких недель до нескольких месяцев с продолжительностью цикла от нескольких часов до нескольких дней. Режим работы кампании часто используется для производства «общих» материалов (например, базовых фармацевтических препаратов), которые производятся в относительно больших количествах, а затем используются в качестве сырья или последующих процессов для производства различных более специализированных конечных продуктов. Каждая из этих проблем сама по себе представляет интересную область для исследований и разработок вычислительного характера.