

вания (SMP), когда два или более одинаковых процессоров подключаются к общей памяти. Это позволяет ядру эффективно распределять нагрузку на процессоры путем динамического переназначения процессам разных процессоров, независимо от того, где в памяти хранятся данные конкретного процесса. Это также будет выделять LynxOS на фоне других ОС РВ, предлагающих асимметричное мультипроцессирование (ASMP), в котором отдельные специализированные процессоры используются для конкретных задач.

LynxOS 5 будет поддерживать последние версии стандартов POSIX 1003.1-2003 и 1003.13-2003 (профиль PSE53). В стандартах POSIX 1003.13 определено четыре профиля, соответствующие четырем типам систем РВ различной функциональности, начиная от простых встроенных систем с минимальными возможностями (PSE51) и кончая многоцелевыми вычислительными системами с расширенными возможностями (PSE54). Профиль PSE53 соответствует среднему уровню сложности и называется "Профиль выделенных систем РВ" (Dedicated Realtime System Profile).

Реализация указанных стандартов предоставит разработчикам дополнительные возможности по созда-

нию приложений РВ: эффективное создание процесса (spawn), новую политику планирования на основе алгоритма спорадического сервера (sporadic server), улучшенные часы времени выполнения (clocks). Спорадический сервер используется для обработки аperiодических событий на нужном уровне приоритета. При этом гарантированно выполняются временные требования, предъявляемые к низкоприоритетным процессам. Часы времени выполнения позволяют измерять излишний расход времени процессом или нитью, и таким образом динамически выявлять программные ошибки или ошибки аналитического вычисления максимально возможного времени выполнения.

Также будет увеличена поддержка оперативной памяти до 2 Гбайт. Будут обновлены компилятор gcc до версии 3.4.3 и отладчик gdb до версии 6.5, улучшится совместимость с Linux – появится поддержка ядер Linux ветви 2.6, ожидается поддержка USB 2.0 и NFS четвертой версии.

Таким образом, LynxOS остается одной из ведущих коммерческих ОС РВ, ориентированной на самую широкую область применения. Нашим Кулибиным можно только желать открытия ее исходных кодов под лицензией GPL. Будем ждать.

*Ефанов Дмитрий Валерьевич – канд. техн. наук,  
зам. директора Центра базовых информационных технологий ОАО "ВНИИНС".  
Тел.: (499) 794-68-11. E-mail: defanov@vniins.ru*

## Методы расчета производственного расписания: сравнительные характеристики

О.А. Никитин (РУДН)

*Рассмотрены особенности, преимущества и недостатки двух основных подходов – алгоритмического и метода моделирования, используемых при расчете производственных расписаний. Указаны производственные ситуации, для которых предпочтительнее использовать тот или иной подход для составления оптимальных расписаний.*

### Введение

Современное крупное машиностроительное предприятие является сложным по составу и взаимосвязям его производственных единиц (цехов). В настоящее время в машиностроении и других отраслях промышленности возрастающее значение приобретает задача оперативного планирования производства.

В управлении предприятием оперативное планирование производства (ОПП) занимает центральное место, оказывая наибольшее влияние на эффективность деятельности предприятия, служит связующим звеном между производственными процессами финансово-календарного планирования и процессами цехового уровня. В задачи ОПП входит обеспечение ритмичной работы предприятия по заранее разработанному графику. Основными особенностями задач ОПП являются: трудоемкость, громоздкость, необходимость получения результатов в короткие сроки и др. Кроме того, самой природе производства свойственен элемент случайности (перевыполнение или нарушение плана по разным причинам), что требует корректировки составленного заранее плана. Более того, с точки зрения оптимизации

все решения, получаемые в результате выработки планов, можно разделить на:

- оптимальные по всем критериям;
- оптимизированные по одному/нескольким критериям;
- приемлемые по всем ограничениям.

В большинстве случаев цель планирования – поиск "хорошего" и не всегда "оптимального" производственного расписания. Данная задача формулируется по двум причинам. Во-первых, сложные задачи планирования (включающие значительное число ресурсов и заданий), как правило, отличаются высокой вычислительной сложностью, и поиск "оптимального" решения в разумные сроки завершить нельзя. Во-вторых, в производстве обычно одновременно преследуются несколько целей (снижение объема просроченных заданий, длительности производственного цикла, повышение коэффициента использования ресурсов и т.д.), которые часто конфликтуют друг с другом. Таким образом, на практике необходимо найти компромиссное решение, в котором эти цели уравновешены и которое может быть получено с минимальными вычислительными затратами.

Рассмотрим два основных подхода – алгоритмический и метод моделирования, используемых при расчете производственных расписаний, определим основные критерии расчета расписаний, приведем сравнительные характеристики подходов, укажем производственные ситуации, для которых предпочтительнее использовать тот или иной подход для составления оптимальных расписаний.

**Алгоритмический метод**

Алгоритмический метод определения порядка операций – один из нескольких методов создания расписаний. Работа алгоритма планирования заключается в выборе очередного задания/заказа и размещения всех производственных операций на доске планирования. Процесс повторяется до тех пор, пока все задания (производственные операции) не будут исчерпаны. Каждая операция назначается требуемому ресурсу в момент времени, как только он становится способен ее выполнять. Процесс планирования исполнения заданий (иногда называемый методом последовательной загрузки) показан на рис. 1 (а, б, в), где сначала загружается задание А (а), затем задание В (б) и, наконец, задание С (в).

Характеристики расписания, создаваемого методом планирования исполнения заданий, полностью определяются порядком их загрузки. После выбора очередного задания соответствующие операции загружаются в последовательном неизменном порядке. Качество создаваемого таким образом расписания полностью определяется правилом выбора заданий для загрузки.

Существует множество простых эвристических правил определения порядка загрузки заданий на доску планирования. Одно из них – загружать задания в порядке их приоритета. Другие критерии сортировки: самый ранний срок готовности, срок выпуска продукции, минимальное время простоя и т.д. Ни одно из этих правил с математической точки зрения оптимальным не являются. Каждое из них представляет отдельную стратегию и цели планирования заданий. Например, правила, связанные со сроками, рассчитаны на уменьшение числа задержанных заданий, в то время как правила на основе приоритетов предназначены для гарантии выполнения самых важных заданий как можно быстрее.

Иногда требуемая операция может быть выполнена двумя и более производственными ресурсами. В частности, скважину можно бурить любой бурильной установкой. В таких случаях расписание сначала составляется путем упорядочивания заданий, затем путем применения соответствующего правила распределения операций по ресурсам в процессе загрузки. Здесь также могут применяться простые эвристические правила (например, назначать выполнение указанной операции тому ресурсу, который первым завершит ее выполнение).

Несмотря на то, что программа планирования заданий, как правило, загружает задания и соответствующие операции с первой по последнюю по ходу времени (прямое планирование), можно воспользоваться тем же самым методом для планирования в обратном порядке. В этом случае программа начинает с загрузки самой по-

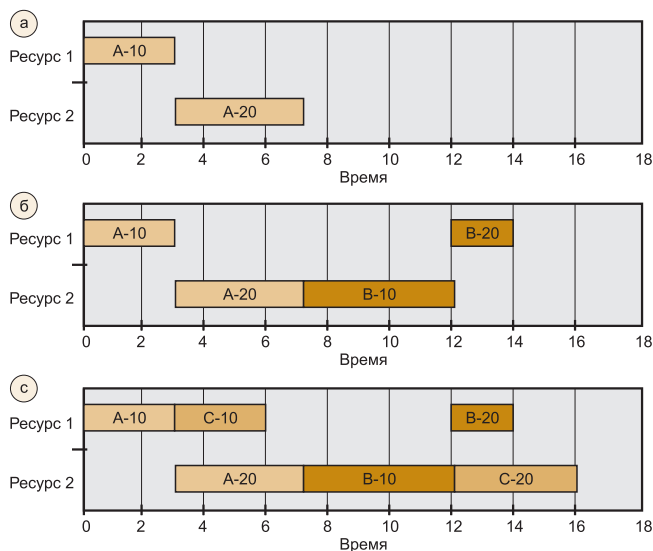


Рис. 1

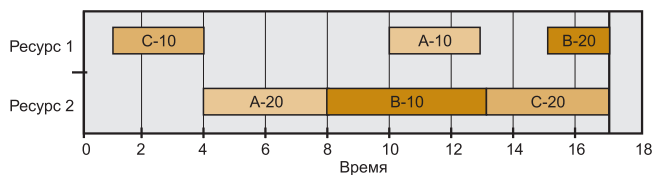


Рис. 2. Расписание выполнения заданий А, В и С, составленное методом обратного планирования

следней операции задания, которое должно быть закончено к плановому сроку. Затем загружается предшествующая операция, которая должна завершиться к сроку начала этой последней операции. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет загружена первая операция данного задания. В этот момент программа выбирает следующее задание и повторяет описанный процесс с самого начала, то есть с последней операции этого задания. Работа над расписанием заканчивается, когда будут загружены все задания. На рис. 2 показан пример расписания, составленного методом обратного планирования (толстая вертикальная линия в правой части рисунка означает дату завершения всех трех заданий А, В и С).

Преимущество метода обратного планирования является отсутствие в расписании задержанных заданий. Вместе с тем дата запуска расписания может оказаться нереальной, то есть предшествовать текущей дате составления расписания. В общем, метод прямого планирования определяет сроки окончания работ (которые могут быть позднее планового срока) при фиксированной начальной дате, а метод обратного планирования определяет сроки начала работ при фиксированной дате их окончания.

Однако при обратном планировании все задания сдвигаются на доске вправо, то есть момент начала выполнения определяется максимально поздним (при этом срок окончания должен быть соблюден). Таким образом, у системы нет никакого запаса по времени, и любое непредвиденное событие (поломка оборудования, задержки в поставке материалов и т.д.) тут же приведет к появлению просроченных заданий. Вместе

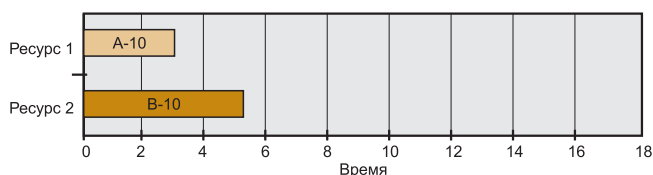


Рис. 3. Шаг 1: загрузка операций A-10 и B-10

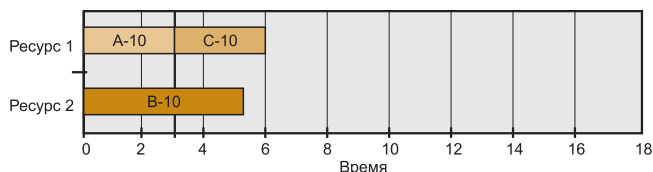


Рис. 4. Шаг 2: загрузка операции C-10

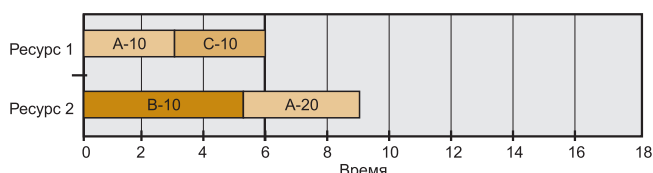


Рис. 5. Шаг 3: загрузка операции A-20

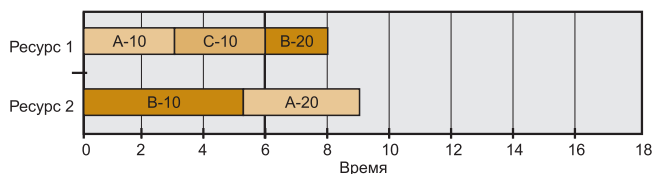


Рис. 6. Шаг 4: Загрузка операции B-20

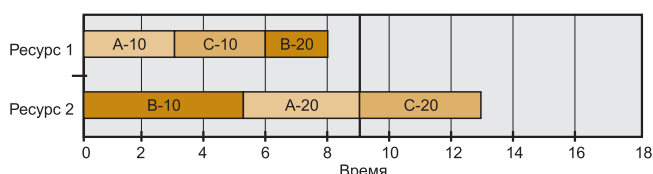


Рис. 7. Шаг 5: загрузка операции C-20

с тем, отсрочка в использовании свободных ресурсов и ожидание до самой последней минуты, чтобы начать выполнение очередного задания, будут означать невозможность включения в расписание дополнительных заданий, которые могут появиться позднее.

Кроме того, метод обратного планирования создаст расписания, отличающиеся меньшим коэффициентом использования ресурсов. В расписании на рис. 2 виден промежуток между операциями A-10 и B-20, выполняемыми ресурсом 1. Этот промежуток вряд ли можно будет занять какой-либо операцией, загружаемой на более поздних шагах планирования, и коэффициент использования этого ресурса снизится. В методе прямого планирования этот промежуток начинался бы с конца операции B-20 (добавлялся бы к резерву мощностей) и был бы доступен для выполнения другой операции любой длительности.

Алгоритмическим методом можно также составлять расписания в обоих направлениях. В этом случае планирование осуществляется, начиная с некоторой операции в середине последовательности заданий: методом пря-

мого планирования определяются все следующие операции, методом обратного планирования – все предшествующие. Такой подход обычно используется, когда имеется некоторый критичный и часто загружаемый ресурс, свободный именно тогда, когда он нужен. Естественно, целесообразнее соответствующую операцию зафиксировать в этот момент времени и планирование осуществлять, начиная с нее в обоих направлениях.

В целом, алгоритмический метод – это простой и быстрый способ загрузки заданий на доску планирования. Расписание составляется полностью путем упорядочивания заданий и применения правила выбора ресурсов.

### Метод моделирования

Метод моделирования – достойная внимания альтернатива алгоритмическому методу, отличающаяся простотой и вместе с тем высокой гибкостью составления расписаний. В целом, с его помощью можно создавать те же расписания, что и с помощью алгоритмического метода. Вместе с тем он способен справляться с ситуациями, на которые алгоритмический метод не рассчитан. Таким образом, метод моделирования (иногда называемый методом планирования ресурсов или методом параллельной загрузки) может создавать лучшие расписания по сравнению с алгоритмическим подходом (хотя качество в данном случае очень сильно зависит от того, что считать "лучшим").

В отличие от алгоритмического метода, в методе моделирования загружаются не задания/заказы, а операции. Загрузка индивидуальных операций обеспечивает более гибкое управление процессом заполнения доски планирования и, таким образом, более широкие возможности составления расписаний.

Второе коренное отличие метода моделирования от алгоритмического метода заключается в том, что составление расписания осуществляется за один временной проход путем перехода от одного временного события к другому, начиная с указанного момента времени. Сначала загружаются все операции, которые могут начаться в указанное время. Отметим, что эти операции не принадлежат одному и тому же заданию, как в алгоритмическом методе, и могут быть выбраны из всего набора заданий. Когда операции, которые могут начаться в данный момент, будут загружены на доску планирования, осуществляется переход к следующему временному событию, в частности, к самому первому моменту завершения какой-либо из загруженных операций. Это событие означает высвобождение занятого ресурса, и метод моделирования пытается загрузить очередную операцию. Процесс продолжается до следующего временного события, после чего на доску планирования загружается новая операция, и указанные действия продолжаются, пока все операции не будут исчерпаны.

Этапы составления расписаний методом моделирования показаны на рис. 3 – 7. Вертикальная линия означает текущее показание моделируемого времени. Сначала планировщик загружает операции, выполнение которых может быть начато в текущий момент времени:

- шаг 1: ресурсы 1 и 2 могут начать выполнение операций А-10 и В-10 соответственно;

- шаг 2: моделируемое время прошло до окончания операции А-10, ресурс 1 освободился, поэтому может быть загружена операция С-10;

- шаг 3: моделируемый момент — окончание операции В-10. Ресурс 2 готов к выполнению операции А-20;

- шаг 4: моделируемый момент — окончание операции С-10. Загружается операция В-10;

- шаг 5: моделируемый момент времени — окончание операции В-20. Поскольку операций для ресурса 1 больше нет, моделируемое время смещается до момента окончания операции А-10, после чего на доску планирования загружается последняя операция С-20 (для ресурса 2).

В отличие от алгоритмического метода, время в методе моделирования движется только вперед. Показания времени увеличиваются только после того, как будут загружены все операции, которые могут выполняться в текущий момент. То есть метод моделирования при наступлении очередного события временно приостанавливает изменение времени и анализирует набор оставшихся заданий, переходя к следующему временному событию только после того, как будут загружены все подходящие операции. Алгоритмический же метод постоянно возвращается к начальному моменту времени после загрузки всех операций очередного задания. Сначала загружаются все операции первого задания. Затем так же с начального момента времени выполняется загрузка операций второго задания. Процесс продолжается до тех пор, пока на доску планирования не будут загружены все операции всех заданий. Таким образом, обработка следующего задания алгоритмическим методом выполняется только после того, как по времени будут распределены все операции текущего задания.

При составлении расписаний могут использоваться любые из возможных правил выбора очередных операций (перечислены типичные правила): по наименьшему времени настройки/выполнения; по самому раннему сроку готовности; по минимальному значению критического коэффициента; согласно указанной очередности и т.д.

Хотя используемые в методе моделирования принципы загрузки операций и обеспечивают высокую эффективность составления расписаний, в целом эта гибкость определяется типом правила выбора очередного задания для освободившегося ресурса.

Вместе с тем методу моделирования присущи и определенные недостатки. В качестве примера можно привести правило выбора с минимизацией запаздыва-

ния (типа "критического коэффициента"), согласно которому выбор операций определяется взаимосвязью длительности завершения операции и сроком выполнения заказа. В этом случае, если мощностей не хватает, метод моделирования создает расписания с минимальным общим запаздыванием выполнения всех заданий, что может привести к повышению числа просроченных работ (то есть большому числу работ с малым запаздыванием выполнения). Алгоритмический метод с выбором опции по сроку готовности, как правило, дает меньшее число просроченных работ, однако с очень значительными сроками запаздывания. В результате пользователю будет проще определять те задания, выполнение которых наверняка будет задержано.

Алгоритмический метод обеспечивает более эффективное управление некоторыми технологическими параметрами, чем метод моделирования. Например, в пищевой и некоторых перерабатывающих отраслях промышленности часто необходимо, чтобы интервалы времени между последовательными технологическими переделами были ограничены (пищевые полуфабрикаты могут испортиться). Поскольку алгоритмический метод загружает все операции одного задания сразу, он обеспечивает более эффективный контроль и изменение длительности интервалов между операциями.

Метод моделирования в этом отношении обладает гораздо меньшими возможностями, так как после загрузки очередной операции заранее неизвестно, на какой момент времени будет назначено выполнение следующей. Впоследствии сместить первую операцию может оказаться невозможно из-за наличия других загруженных операций.

В целом, метод моделирования с правилом выбора операций в порядке их поступления (FIFO) будет создавать расписания с более высоким коэффициентом загрузки и меньшей длительностью выполнения всех заданий, чем алгоритмический метод, правда, за счет большего объема незавершенного производства.

Итак, на основании сравнительного анализа двух методов можно сделать следующие выводы:

- алгоритмический метод следует применять при необходимости: планирования в срок (повышение уровня клиентского обслуживания); расширения узких мест; минимизации незавершенного производства (минимизация запасов);

- метод имитационного моделирования применяется в случаях расчета расписаний с равномерной загрузкой мощностей (ресурсов) и минимизации переналадок.

*Никитин Олег Алексеевич — аспирант Российского Университета Дружбы Народов.*

*E-mail: noa@pro-sto.ru*

**22 - 25 апреля 2008 г.**

### **2-я международная выставка "Сертификация и технические регламенты"**

Основные направления экспозиции: сертификация продукции российских компаний на международном рынке; сертификация продукции российских и иностранных фирм, реализуемой на российском рынке; сертификация менеджмента качества на соответствие требованиям ИСО 9001:2000; экологическая сертификация на соответствие

требованиям ИСО 14001; сертификация охраны труда на предприятиях; системы добровольной сертификации продукции и услуг; сертификация, оценка и капитализация интеллектуальной собственности; юридические услуги в области сертификации; образование и ярмарка вакансий; оборудование и приборы для испытательных центров.

*Контактные телефоны (499) 618-05-65, 618-36-83. E-mail: sert@mirexpo.ru Http://www.mirexpo.ru*