УДК 658.51:004.9
ББК 65.29
Ч 49

Черненко А.А.
Аспирант кафедры информационной безопасности и прикладной информатики Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, e-mail: spiritfov@yandex.ru

Управление производственными расписаниями в информационной системе оперативно-календарного планирования

(Рецензирована)

Аннотация. *Предлагается алгоритм поиска допустимого расписания для задачи оперативно-календарного планирования с заданными на множестве операций отношениями предшествования. В основе алгоритма лежит применение объектной модели предприятия. Проведен анализ процесса управления полученным расписанием. Рассматривается структура информационной системы оперативно-календарного планирования. На примере процесса добавления нового заказа в расписание раскрывается взаимосвязь промышленных информационных систем различных уровней.*

Ключевые слова: *MES, ODS, PRM, управление производственным расписанием, оперативно-календарное планирование.*

Chernenko A.A.
Post-graduate student of Department of Information Security and Applied Informatics, Maikop State University of Technology, Maikop, e-mail: spiritfov@yandex.ru

Management of production schedules in information system for operational planning

Abstract. *An algorithm for finding an acceptable schedule for an operational scheduling task with precedence relations set on a set of operations is proposed. The algorithm is based on the application of the enterprise object model. The analysis of the management of the obtained schedule is carried out. The structure of the information system of operational-calendar planning is considered. The example of the process of adding a new order to the schedule reveals the relationship of industrial information systems of different levels.*

Keywords: *MES, ODS, PRM, management of production schedule, operational scheduling.*

Рассмотрим следующую задачу теории расписаний. Имеется m параллельно работающих машин, каждая из которых единовременно может быть задействована для обработки только одного требования. На множестве требований заданы отношения предшествования. Рассмотрим штрафную функцию U_{ij}, принимающую значение 1, если обработка требования j на машине i завершается во время $C_j > D_j$, где D_j – директивный срок завершения обработки требования j на машине i, и 0 – в противном случае. Необходимо построить такое расписание, в котором суммарный штраф будет минимальным (1).

$$Pm \,||\, prec \,||\, \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} U_{ij} \,. \tag{1}$$

В работе [1] приведен алгоритм нахождения допустимого решения, основанный на модификации жадного алгоритма для классической задачи о рюкзаке, без учета отношений предшествования операций. В целях устранения этого ограничения представим производственный процесс как множество участков B, на каждом из которых располагаются производственные единицы, выполняющие определенные операции. Множества из (2) образуют объектную модель предприятия (*Production Reference Model*, PRM).

$$\begin{gathered} B = \{b_1, b_2, \ldots, B_n\}, \text{ где } n \text{ – количество участков,} \\ b_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \ldots, e_{im}\}, \quad m \text{ – количество производственных единиц на участке } b_i \,. \end{gathered} \tag{2}$$

Применение объектной модели позволяет снизить сложность задачи (1) путем нахождения частных допустимых решений на каждом участке. Однако открытым остается вопрос о согласовании директивных сроков выполнения операций при переходе от участка i к участку $i+1$.

Приведем алгоритм согласования промежуточных решений между участками (рис. 1). На вход подаются следующие элементы: количество производственных единиц на текущем участке $E0$, количество производственных единиц на предыдущем участке $E1$, массивы длительностей и директивных сроков операций p и d соответственно. Вспомогательные функции: $SPT(list)$ – функция, возвращающая последовательность наименьшего времени выполнения операций из $list$, где $list$ – список суммарных длительностей обработки операций.

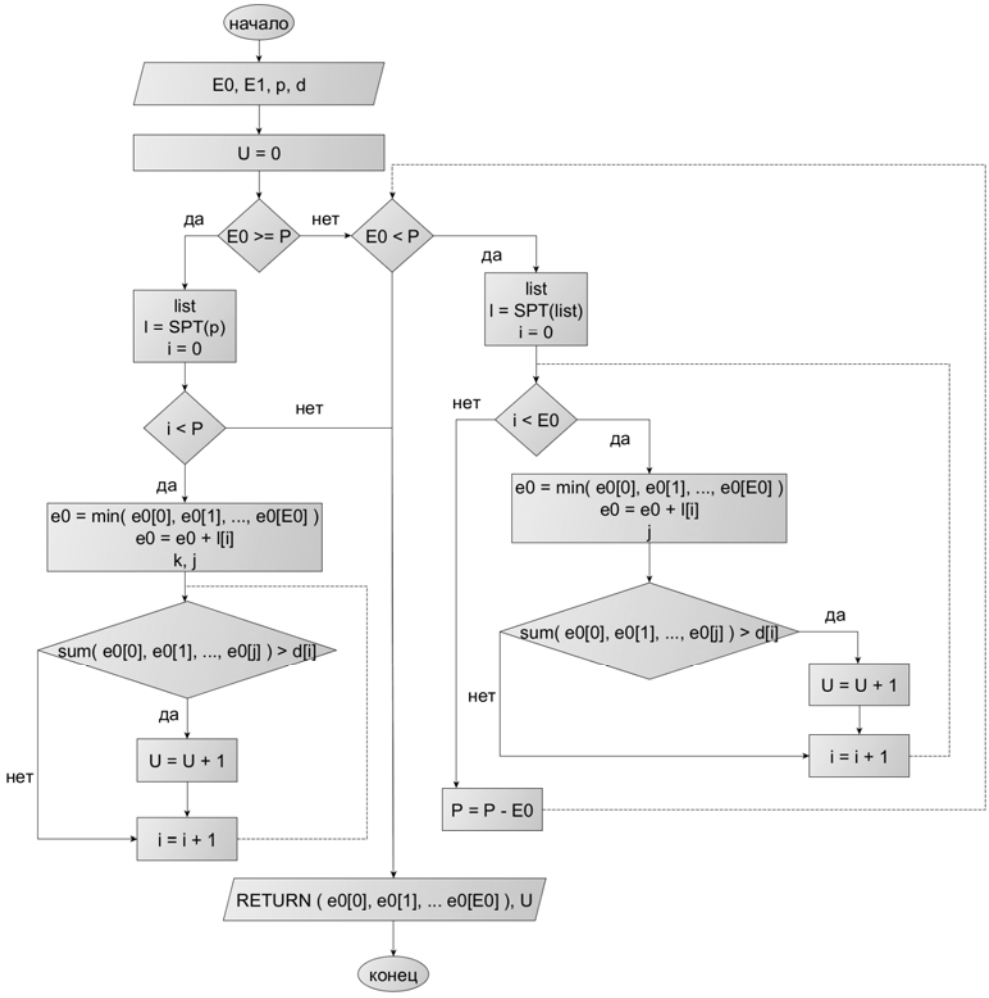

Рис. 1. Алгоритм согласования расписаний между участками

Алгоритм возвращает список производственных единиц, каждая из которых содержит порядок обработки операций (расписание) и суммарный штраф, если расчетное время завершения операции превышает директивный срок.

Приведенный алгоритм позволяет согласовать решения частных задач на множестве B за счет расположения операций, не соответствующих ограничению предшествования, в порядке наименьшего времени выполнения. Допустимое решение задачи (1) может быть найдено за n–1 шагов (2). Отметим, что решение задачи можно начинать с любого участка, необходимо лишь иметь готовое расписание на предыдущем.

Однако применение такого расписания на практике нецелесообразно ввиду следующих факторов: отсутствие реакции на внешние и внутренние возмущающие воздействия, оперативное отражение производственных потерь, изменений объемов заказов и других факторов.

Например, в случае возникновения аварии на оборудовании обработка операций прекращается на некоторый промежуток времени t, необходимый для проведения ремонтных работ. Фактически простой длительностью t не будет учтен в расписании, что может повлечь за собой срывы сроков выполнения других операций.

Расписание рассчитывается с учетом множества ограничений, но при этом обладает статичным характером. Изменение структуры ограничений с течением времени может по-

влиять на значение целевой функции, то есть суммарный штраф увеличится или уменьшится.

В качестве одного из решений по адаптации расписания к изменениям возможно предложить следующее. Представим процесс управления производственным расписанием в виде одной из функций информационной системы оперативно-календарного планирования (рис. 2).

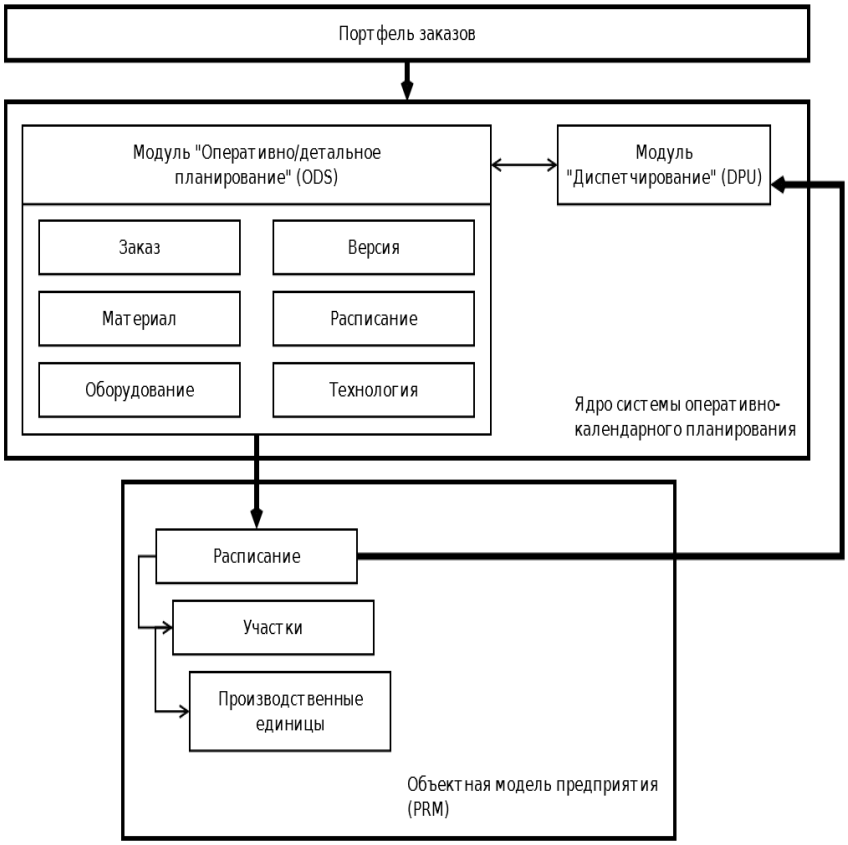

Рис. 2. Структурная схема ядра системы оперативно-календарного планирования

Управление производственным расписанием осуществляется на уровне ядра системы оперативно-календарного планирования. За счет введения контура обратной связи в виде модуля диспетчирования (Dispatching Production Unit, DPU) обеспечивается коррекция расписания на всей объектной модели предприятия. Так, например, если на участке i были зафиксированы изменения в структуре ограничений, имеется возможность перерасчета расписания с применением предложенного алгоритма, на вход которого подается расписание с участка i–1.

Основной информацией, необходимой для формирования расписания, является портфель заказов. Интерпретация содержащихся в нем потребностей клиентов в терминах производственного процесса представляет собой объемный показатель продукции, которую необходимо произвести к определенному сроку (горизонт планирования). Управление портфелем заказов осуществляется на верхнем уровне иерархии системы управления предприятием, например, системы планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP) [2].

Система оперативно-календарного планирования, по сути, расширяет возможности ERP в сфере оперативного планирования: планы ERP формируются на основе поступающих заказов в объемном выражении, а затем уточняются в системе оперативно-календарного планирования вплоть до операции. Поэтому для функционирования системы оперативно-календарного планирования необходима интеграция с ERP, как минимум, по двум модулям: «Продажи» и «Склад» (рис. 3).

Каждый заказ производится в соответствии с определенной технологией. Технологическая карта определяет порядок обработки операций на производственных единицах, а также скоростные и расходные параметры. Для удобства в системе предусматривается несколько версий расписания, одна из которых – актуальная.

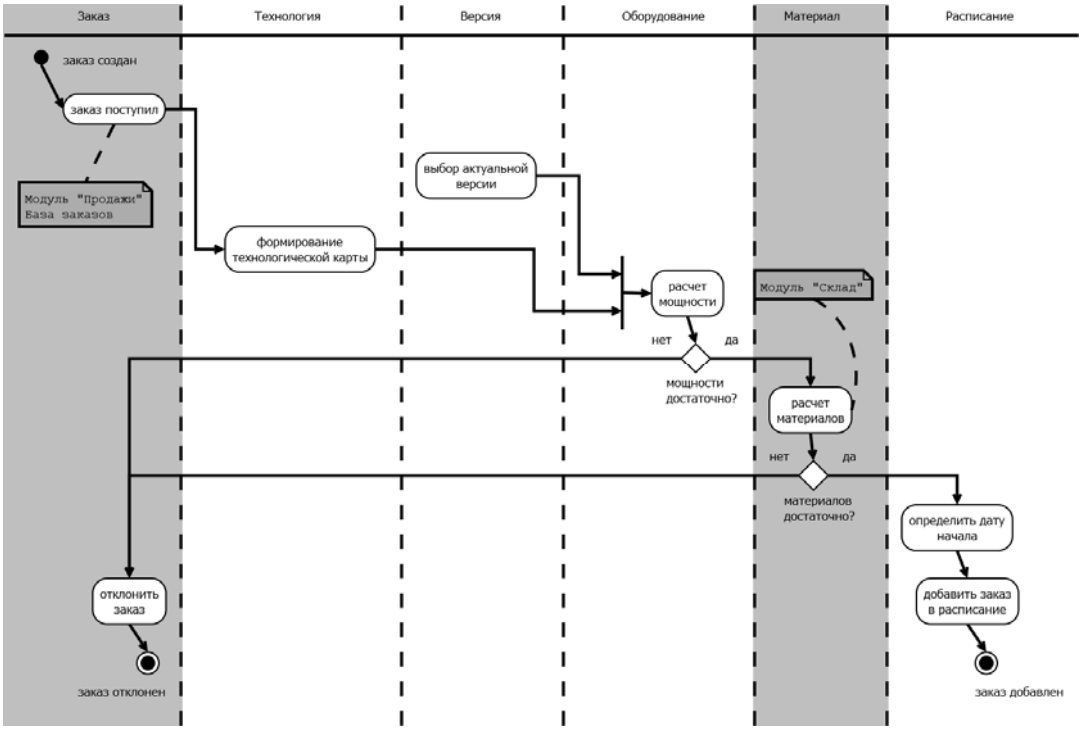

Рис. 3. Диаграмма процесса добавления нового заказа в расписание

Скоростные параметры определяют общую длительность выполнения заказа, для расчета которой могут применяться различные подходы, одним из которых является оценка риска. Так как процесс управления расписанием протекает в условиях неопределенности, характеристикой которой является угроза возникновения производственных потерь, существует угроза возникновения отклонений от предусмотренных расписанием сроков вследствие внутренних и внешних возмущающих воздействий. Вероятность возникновения определенного уровня потерь характеризуется риском. В оперативно-календарном планировании наибольшее влияние на расписание оказывают внутренние риски, а именно:

1) организационные (срывы работ, снижение производительности труда персонала, задержки поставок материалов на рабочие места, ошибки в проектной документации, включение нового заказа в загруженный портфель);

2) технические (аварии на производственных единицах, перерасход материалов из-за нарушений технологического процесса, низкое качество поставляемых материалов) [3, с. 189].

Количественная оценка риска, сформированная на основе приведенной классификации, является основой для разработки сценариев реализации производственного плана (рис. 4).

Первый – пессимистичный сценарий – состоит в отыскании для каждого решения наихудшей оценки по всем ситуациям и последующим выбором наилучшей из них. Оптимистичный сценарий, наоборот, подразумевает выбор наилучшей оценки из всех наилучших.

Адекватный производственным условиям сценарий реализации планового решения строится на нахождении баланса между количеством альтернативных вариантов, которые могут быть осуществлены в случае возникновения проблемной ситуации, и количеством корректировок расписания.

В модуле «Оборудование» осуществляется расчет необходимой для обработки заказа производственной мощности. На этапе расчета мощностей решается вопрос о допустимости расписания при включении в него нового заказа. В основе расчета мощности лежат скоростные параметры, определенные технологической картой производства заказа.

На следующем этапе происходит оценка фактического количества материалов на складе в соответствии с расходными параметрами заказа. Как уже отмечалось, необходимая информация становится доступной за счет интеграции систем. Формирование объемного плана в ERP-системе также осуществляется на основе фактических данных о количестве запасов на

складе. Необходимость дублирования запроса о фактическом состоянии запасов при расчете расписания в системе оперативно-календарного планирования обуславливается несвоевременностью поставок, изменениями в портфеле заказов, а также периодом планирования.

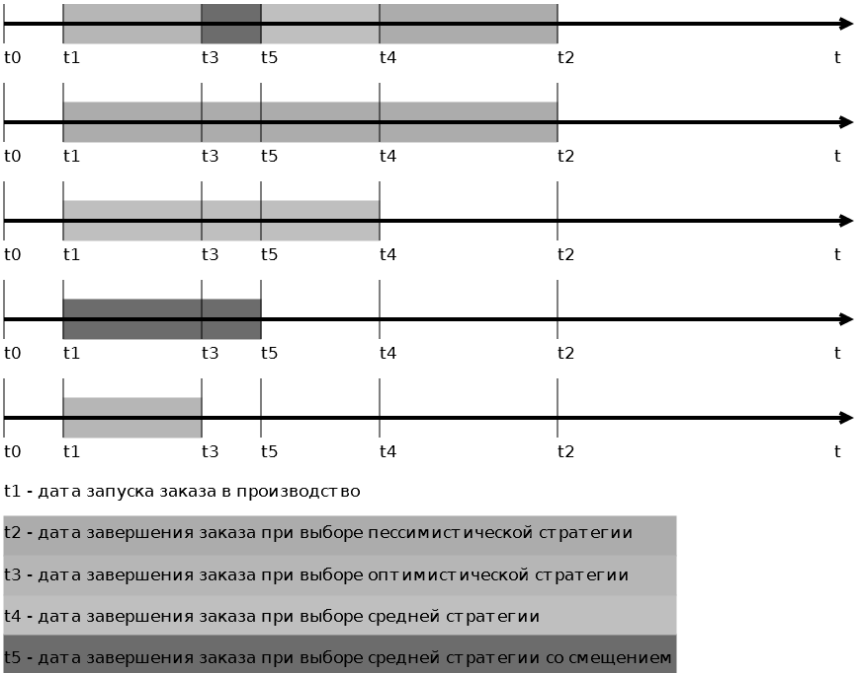

Рис. 4. Зависимость продолжительности выполнения заказа от выбранной стратегии

Завершающим этапом добавления заказа в расписание является определение даты и времени запуска первой операции из технологической карты в производство.

Взаимосвязь между модулями на уровне системы оперативно-календарного планирования, а также с модулями других систем образуется за счет реляционной модели данных (рис. 5). Так, операции в расписании имеют три контрольные даты: дату начала, дату окончания и критическую дату (в терминах теории расписаний r, C и D соответственно) [4, с. 15]. В пределах участка порядок следования операций задается также численным атрибутом «порядок». Любая операция может быть идентифицирована в расписании по коду заказа.

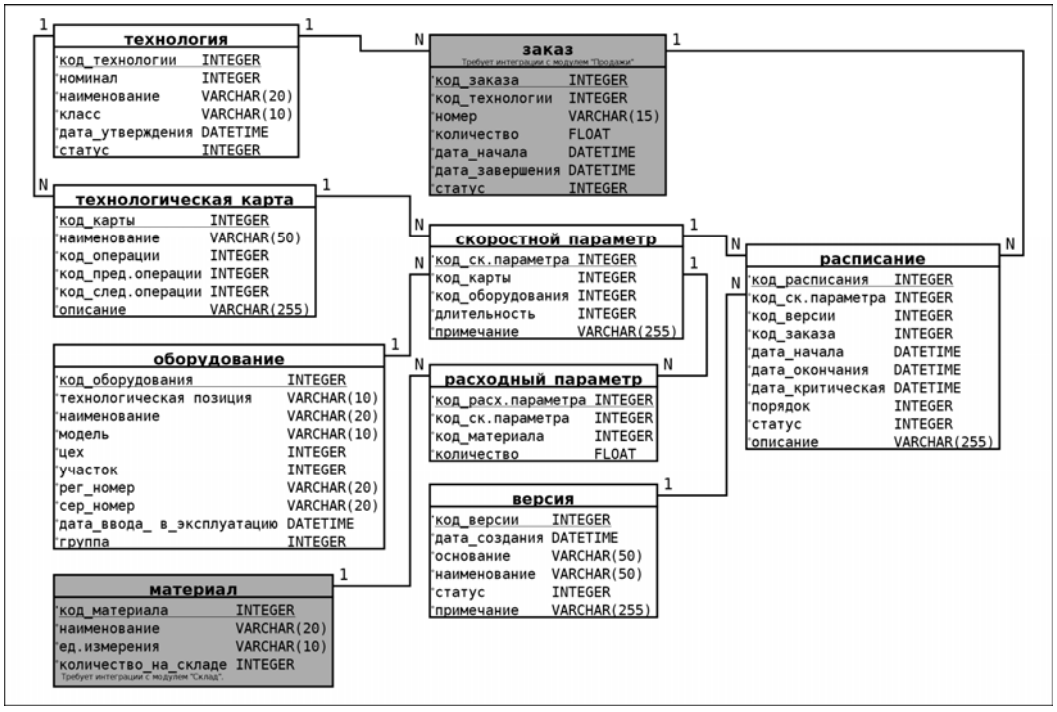

Рис. 5. Фрагмент модели данных системы оперативно-календарного планирования (модуль «Оперативно-детальное планирование»)

Фактическое состояние операции в расписании описывается атрибутом «статус». В системе зарезервированы следующие статусы операций: 0 – активная операция; -1 – операция заморожена; 1 – операция завершена. Отрицательное значение статуса присваивается в случае возникновения аварии на производственной единице.

Одно и то же расписание может быть представлено в виде нескольких версий (атрибут «код_версии»). Например, тестовое расписание может быть использовано при внедрении системы, а архивное – в качестве исходных данных для анализа. Тип версии задается атрибутом «статус».

Реляционный подход при проектировании модели данных системы оперативно-календарного планирования обеспечивает разделение уровней представления (Graphical User Interface, GUI) и бизнес-логики. Так, в частности, одно и то же расписание в базе данных на физическом уровне может интерпретироваться как: график Гантта, таблица в разрезе участка, группы участков, производственной единицы, операции, – на уровне пользовательского интерфейса приложения.

Область применения системы оперативно-календарного планирования: дискретное мелкосерийное производство, административные учреждения, банки. Обязательными требованиями для работы являются: сводимость к задаче (1), а также наличие технологии с четко определенными длительностями операций.

Примечания:

1. Черненко А.А. Алгоритм поиска допустимого расписания для непрерывных многостадийных производств // Осенние математические чтения в Адыгее: материалы I Междунар. науч. конф. Майкоп: Изд-во АГУ, 2015. С. 222–226.
2. Черненко А.А. Схема межцеховой маршрутизации заявок как инструмент диспетчирования в информационной системе оперативно-календарного планирования // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. 2015. Вып. 3 (166). С. 154–160. URL: http://vestnik.adygnet.ru
3. Ильин А.И. Планирование на предприятии: учеб. 2-е изд., перераб. Минск: Новое знание, 2001. 635 с.
4. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний: задачи и алгоритмы. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. 222 с.

References:

1. Chernenko A.A. Search algorithm feasible schedule for the continuous multi-stage productions // Autumn mathematical reading in Adygea: materials of the 2nd intern. sci. conf. Maikop: ASU Publishing House, 2015. P. 222–226.
2. Chernenko A.A. Driving interdepartmental routing of applications as a tool for dispatching in the operational scheduling system // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2015. Iss. 3 (166). P. 154–160. URL: http://vestnik.adygnet.ru
3. Ilyin A.I. Planning for the Enterprise: a textbook. 2nd ed., revised and enlarged. Mn.: New Knowledge, 2001. 635 pp.
4. Lazarev A.A., Gafarov E.R. Scheduling Theory: problems and algorithms. M.: Publishing House of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov (MSU) , 2011. 222 pp.