

УДК 681.324(03)

В. А. Дубенецкий, В. В. Цехановский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Модель управления производством на основе сети заказов

Рассматривается объектная модель, позволяющая решать задачи событийного управления производством на основе сети заказов. Предлагается расширенная модель конструкторско-технологической спецификации, основным классом которой является Изделие-Операция. Для управления изготовлением изделий на основе сети заказов вводится классификация заказов по способу исполнения, включающая в себя такие классы, как Независимый заказ, Заказ по страховому запасу, Зависимый заказ. Показана возможность применения данной модели для описания разнообразных классов деятельности. Предложена модель классов, поддерживающая процессы событийного управления сетью взаимосвязанных заказов различных классов. Описываются взаимосвязанные модели поведения объектов таких классов как Заказ, Диспетчер, Групповой рабочий центр, Рабочий центр, которые участвуют в событийном управлении сетью заказов. Описаны основные классы событий, управляющих поведением объектов основных классов сети заказов. Предложенное решение позволяет применить единый подход к решению задач управления производственной деятельностью на основе заказов и событий.

Информационная система, объектная модель, модель классов, оперативное управление производством, событие, производственный заказ

В мелкосерийном, опытном или ремонтном производстве много случайных составляющих, учесть которые при централизованном планировании не представляется возможным, так как сбор данных об изменениях и поток перерасчетов существенно осложняют процессы централизованного планирования на оперативном уровне. Обсуждается проект разработки модуля событийного управления производством. Основными целями проекта являются: повышение качества управления мелкосерийным и единичным многономенклатурным производством; упрощение реализации алгоритмов управления производством. Основными задачами проекта являются: определение преимуществ и недостатков событийной модели управления производством; разработка объектной модели событийного управления производством; модификация системы класса ERP для решения задач событийного управления производством. Быстрое планирование» планирование необходимо не только для отдельно взятого предприятия. Это ключ к эффективно работающей цепочке поставок. Одна из проблем управле-

ния производством в современных условиях – обеспечение быстрой реакции на изменения как в окружении предприятия (новые заказы, изменения условий поставок и кооперации), так и внутренних условий (ресурсы оборудования, трудовые ресурсы, изменения конструкции и технологии).

Предлагаемые решения. Системы подобны цепям. В каждой системе есть самое слабое звено (ограничение), которое в конечном счете снижает результативность всей системы [1]. Системы вытягивания соответствуют принципам «бережливого» производства [2]. Управление производством по системе вытягивания может быть представлено в виде сети взаимосвязанных заказов различных классов и совокупности групповых рабочих центров (ГРЦ). Такое представление соответствует событийной модели и обладает рядом преимуществ по сравнению с моделями оперативно-календарного планирования. Событийная модель позволяет: исключить объемные и трудоемкие перерасчеты графиков изготовления продукции в связи с потоками разнообразных изменений; оперативно перераспределять материаль-

ные ресурсы, ресурсы оборудования и трудовые ресурсы; учитывать реальное состояние производства при оперативном управлении потоками заказов рабочим центрам (РЦ); перестраивать правила управления на основе накопления статистических данных о загрузке рабочих центров и состоянии заказов.

В качестве недостатков модели событийного управления можно отметить следующее. Эта модель предполагает некоторое увеличение производственных запасов; календарный график производства является ориентировочным – время выполнения заказа имеет случайную составляющую.

Быстрое планирование необходимо не только для отдельно взятого предприятия. Это ключ к эффективно работающей цепочке поставок [3].

Рассмотрим типовую структуру изделия, состоящего из узлов и деталей. Каждая партия компонентов изделия и партия самих изделий должны пройти по определенному маршруту через цепочку ГРЦ в соответствии с маршрутной технологией. При классическом подходе основной сущностью для области производства является класс *Изделие*, который должен пройти определенные позиции технологического маршрута (ассоциативный класс *Позиция ТМ* с ролью *Технологический маршрут*) [4]. В свою очередь, с классом *Позиция ТМ* связан ассоциативный класс *Ресурс для позиции ТМ* через ассоциацию с ролью *Требуемый ресурс*. Для класса *Позиция ТМ* также указаны оборудование (ассоциация с ролью *Тре-*

буемый исполнитель, класс *Групповой РЦ*). Если известен *План выпуска*, временные ресурсы *Рабочих центров* и *Сотрудников*, то модель маршрутной технологии позволяет рассчитать *Календарный график изготовления* для всех компонентов всех изделий из плана. Любые отклонения в сроках выполнения графика, изменения в трудовых ресурсах, ресурсах оборудования, материальных ресурсах требуют перерасчета *Календарного графика изготовления*. Для мелкосерийного дискретного производства такой перерасчет может быть выполнен не чаще одного раза в сутки. Приостановить заказ, ускорить его выполнение, включить новый заказ с назначением ему заданных ресурсов, синхронизировать выполнение заказов с закупками, кооперацией, изменениями в спецификации изделий оказывается достаточно трудоемко и неудобно.

В [5] предлагается решение по управлению производством по схеме вытягивания. Однако единая модель управления потоками в этом решении отсутствует.

При построении модели событийного управления на основе сети заказов предлагается перейти от классов *Изделие* и *Технологическая операция* к сущности *Изделие-Операция* и сделать ее основной во всех дальнейших аспектах рассмотрения. На рис. 1 представлена диаграмма классов предлагаемой модели для поддержки вытягивающей схемы выполнения сети заказов.

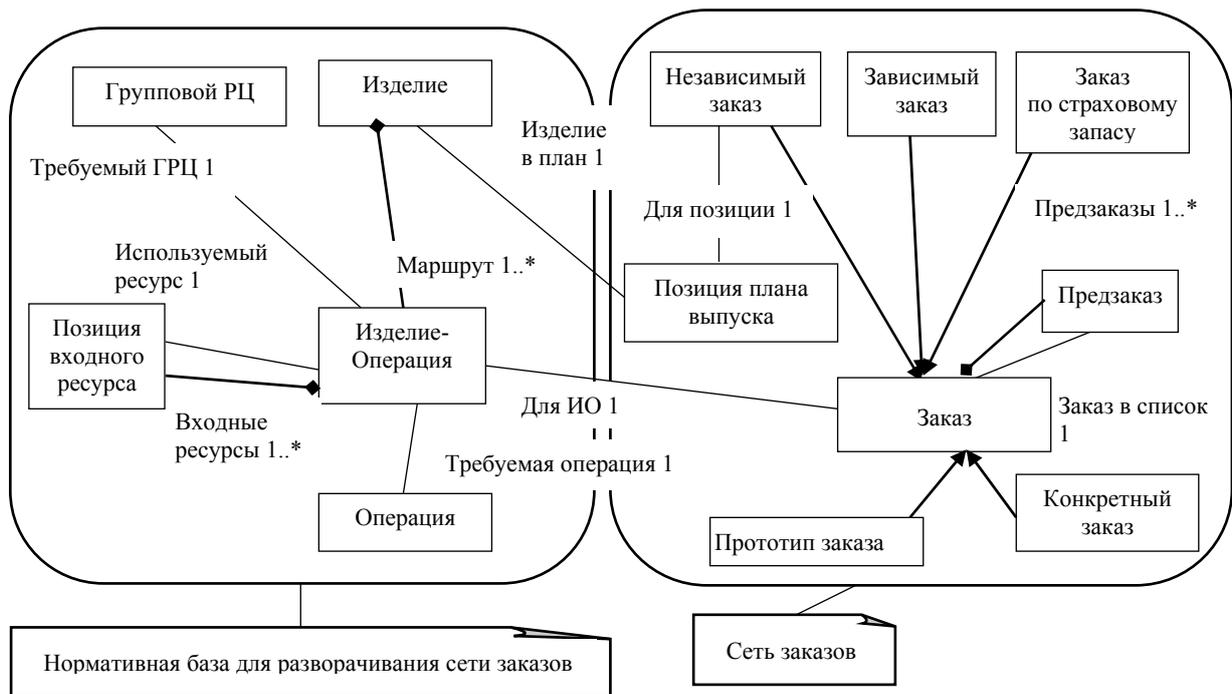


Рис. 1

Левая часть диаграммы поясняет локальную модель классов, позволяющую поддерживать нормативные данные операционной деятельности в виде описания маршрутной технологии. Особенностью этой модели является представление нормативных данных в виде сети зависимости *изделий-операций* (класс *Изделие-Операция* как сущность, ассоциативный класс *Позиция входного ресурса* с использованием паттерна *Компоновщик*).

Правая часть диаграммы поясняет, каким образом формируется сеть заказов на основе нормативных данных, используемых как прототип. В качестве ресурсов выступают *изделия-операции* – элементы класса *Изделие-Операция*.

Классы заказов. По правилам формирования выделяем три подкласса класса *Заказ*. Класс *Независимый заказ* описывает заказы, которые формируются на основе *Позиции плана выпуска* продукции или по решению менеджера по управлению производством. В качестве *изделия-операции* может выступать продукция после выполнения последней операции (готовая продукция). Однако могут формироваться и заказы на готовые узлы, детали, отдельные полуфабрикаты. График потребности для этих заказов, как правило, известен.

Класс *Заказ по страховому запасу* – описывает заказы, которые формируются на основе анализа остатков *Партий изделий-операций* и скорости их расходования. Данные заказы только косвенно связаны с планом выпуска. Для всех потребителей заказываемых изделий-операций гарантировано наличие необходимого количества ресурсов. Как правило, заказы этого класса могут формироваться автоматически в соответствии с правилами пополнения запасов. Изделия для таких заказов выбираются, например, на основе ABC-XYZ-анализа.

Класс *Зависимый заказ* – описывает заказы, которые формируются автоматически по спецификации изделия по всем входящим ресурсам до *точек заказа*, по которым входящие ресурсы уже есть в достаточном количестве.

Каждому заказу в сети соответствует *изделие-операция*, а зависимости заказов строятся по аналогии зависимости класса *Изделие-Операция*.

Модель конструкторско-технологических спецификаций (КТС). Данная модель в аспекте событийного управления производством изменена. Ассоциативный класс *Изделие-Операция* описывает *изделия-операции*, а ассоциация с ролью

Входные ресурсы описывает состав *изделий-операций* для конкретного изделия. Зависимости *изделий-операций* заданы ассоциативным классом *Позиция входного ресурса* с ролью *Входные ресурсы*. Роль *После операции* указывает на *изделия-операции*, от которых зависит исходное *изделие-операция*. Таким образом, класс *Позиция входного ресурса* для некоторого изделия, с одной стороны, указывает на другие *изделия-операции* этого изделия, задавая порядок выполнения операций маршрута, а с другой – на *изделия-операции* других изделий, являющиеся *входным ресурсом* (с учетом норм расхода). Класс *Групповой РЦ* и ассоциация с ролью *Требуемый ГРЦ* позволяют указать требования к оборудованию для исполнения операции позиции маршрута. Предложенное операционное представление деятельности позволяет единообразно описать не только традиционные технологические операции, но и другие классы операций (классы *Хозяйственная операция*, *Операция кооперации*, *Транспортировка*, *Заказ на закупку* и т. д.).

Сеть заказов. При появлении *Заказа* на изготовление *Партии изделий-операций* в количестве N штук должна быть развернута сеть заказов, вершины которой связаны с элементом **.Групповой РЦ*. ГРЦ многофункциональны, поэтому некоторые операции могут выполняться несколькими РЦ одного ГРЦ. С каждым компонентом сети заказов при его выполнении связывается **.Партия изделий-операций* с количеством, определенным посредством учета исполнения заказов. Так как каждый заказ связан только с одним *изделием-операцией*, то ему соответствует один ГРЦ. Таким образом, сеть заказов можно преобразовать в сеть ГРЦ с входными и выходными заказами и накопителями, содержащими экземпляры из *Партий изделий-операций*. К каждому ГРЦ будет выстраиваться очередь *Заказов изделий-операций*, готовых к исполнению на данном ГРЦ. Каждый ГРЦ может быть представлен как многоканальный обслуживающий прибор. Таким образом, каждый заказ содержит указание на получение заданного количества элементов **.Изделие-Операция* и порождает сеть зависимых заказов при движении в виде обратной волны по схеме маршрутной технологии от исходного *изделия-операции*. Каждая ветвь полученной сети заказов заканчивается или первой операцией соответствующего изделия, или обнаружением и закреплением остатков необходимых *изделий-операций*.

Для каждой запускаемой позиции заказа из *Позиции плана выпуска* строится множество производственных операций с указанием выполняющего ГРЦ и состоянием «1. Ожидание разрешения на выполнение». Необходимо определить список операций, которые готовы к выполнению. В соответствии с приоритетом позиций все операции разделяются на соответствующие группы. Для *изделия-операции* одного ГРЦ и одного *Заказа* приоритеты могут быть назначены дополнительно в соответствии с прогнозом времени от окончания операции до выполнения заказа. Например, операция, находящаяся дальше в графе изготовления по прогнозируемому времени, имеет больший приоритет. Осталось решить вопрос об определении готовности объектов **.Заказ*. Из графа зависимости *Изделий-Операций* можно получить список заказов ***.Заказов*, которые должны быть выполнены, чтобы искомым **.Заказ* стал «3. Ожидание очереди на выполнение». Такая проверка реализуется достаточно просто. Определим условия, когда такие проверки необходимо выполнять. При каждом учете выполнения одного из ***Заказов* необходимо проверять «готовность к исполнению» тех заказов, которые зависят от выполненного. При выполнении «условия готовности» текущий **.Заказ* и ставится в очередь на выполнение (переходит в состояние «3. Ожидание очереди на выполнение»). В соответствии с правилами обслуживания очередной готовый к выполнению **.Заказ* переходит в состояние «4. Выполнение». При завершении выполнения **.Заказ* переходит в состояние «Выполнен», а расходимые ***Заказы* переходят в состояние «Использованы». Множество вариантов взаимодействия достаточно велико. Применительно к задаче управления производством по вытягивающей схеме требуется решить вопрос синхронности взаимодействия.

Модель учета исполнения заказов. Каждый заказ является заданием конкретному ГРЦ на исполнение и формирование соответствующей партии изделий после определенной операции. Класс *Партия_изделий-операций* обеспечивает данные по остаткам при выполнении заказов. Исполнение заказа возможно, если: 1) все входящие ресурсы для заказа имеются в необходимом количестве; 2) в ГРЦ есть свободный временной ресурс хотя бы одного РЦ; 3) в очереди к ГРЦ нет заказов с более высоким приоритетом; 4) сам заказ не приостановлен.

Модели поведения участников производства. Множество вариантов взаимодействия достаточно велико. Применительно к решению задачи управления производством по вытягивающей схеме (ВС) нас интересует аспект синхронности взаимодействия. Рассмотрим пример поведения объектов при управлении выполнением заказов. В табл. 1 представлены коды и обозначения классов участников производственного процесса, используемые на диаграммах.

Таблица 1

Код	Наименование	Обозначение
1	Сотрудник	С
2	Производственный заказ	ПЗ
3	Групповой рабочий центр	ГРЦ
4	Рабочий центр	РЦ

События на диаграммах кодируются следующим образом: «код класса участника». «код события» «.» «имя события». Для рассматриваемого примера выделены следующие события: 1.1. Исполнение разрешено; 1.2. Отложить резервирование; 1.3. Создать заказ; 1.4. Продолжить резервирование; 1.5. Отложить готовность; 1.6. Восстановить готовность; 1.7. Отложить выполнение; 1.8. Выполнить ТОР; 1.9. Начать перерыв; 1.10. Продолжить выполнение; 1.11. Освободить ресурсы; 1.12. Приход ресурсов; 2.1. Ресурсы готовы; 2.2. Ресурсов не хватает; 3.1. Выполнить заказ; 3.2. Заказ выбран; 3.3. Готовых к выполнению заказов нет; 3.6. Свободных РЦ нет; 4.1. Заказ выполнен; 4.2. ТОР выполнен; 4.3. Перерыв завершен.

Для каждого экземпляра каждого класса участников создаются экземпляры соответствующих процессов. Представленные далее диаграммы описывают шаблоны поведения для каждого класса участников. Взаимодействие экземпляров процессов осуществляется на основе обмена событиями и связанными с ними сообщениями. Для настройки шаблонов процессов на основе моделей поведения может быть использован *Конструктор процессов*, описанный в [5].

Пример модели поведения *Заказа* представлена на рис. 2. Дуги на диаграммах помечены кодами событий, представленных в табл. 2. Выделено 9 состояний. Переходам соответствуют коды событий из табл. 1. Логика поведения достаточно сложна. Экземпляр заказа реагирует на события, генерируемые диспетчером, ГРЦ и результаты выполнения процедур готовности входных ресурсов.

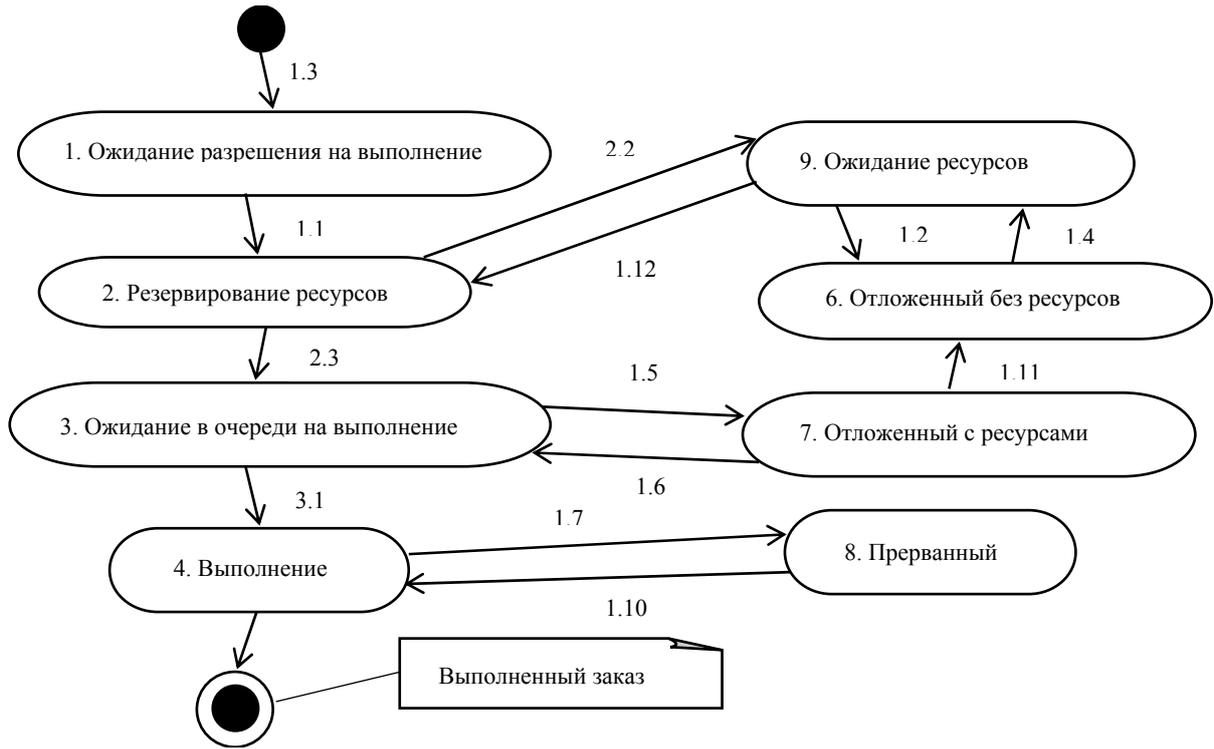


Рис. 2

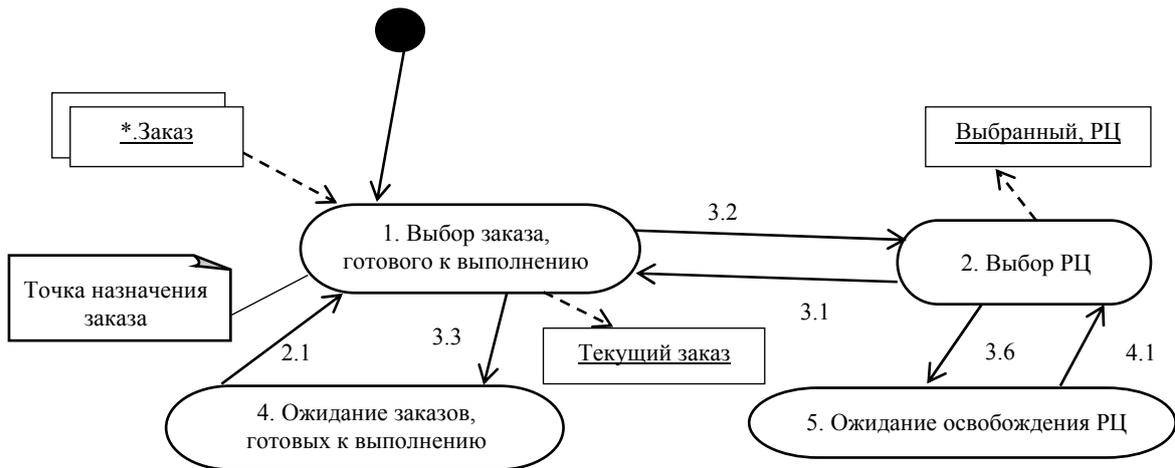


Рис. 3

Источником большинства принимаемых событий является диспетчер, управляющий потоком заказов (код = 1). Видно, что возможности по управлению потоками заказов достаточно велики, никаких перерасчетов графика выполнения не требуется, ГРЦ и РЦ будут адекватно реагировать на изменения состояния каждого заказа, а имеющиеся ресурсы автоматически перераспределяются соответствующими ГРЦ.

Пример модели поведения ГРЦ представлен на рис. 3. Каждый ГРЦ выполняет роль диспетчера. С одной стороны, он обеспечивает выбор очередного готового к выполнению заказа (состояние «1. Выбор заказа готового к выполнению»), а с

другой стороны, обеспечивает выбор РЦ для исполнения заказа (состояние «2. Выбор РЦ»). Алгоритм выбора очередного заказа на выполнение выполняется в состоянии «1. Выбор заказа, готового к выполнению». Это состояние является точкой назначения очередного заказа на выполнение. Выбор РЦ, выполняющих заказ, осуществляется в состоянии «2. Выбор РЦ».

Модель поведения РЦ представлена на рис. 4. Для каждого РЦ выделено 5 состояний: состояния «1. Ожидание работы», «2. Выполнение заказа» – основные; состояния «4. Техобслуживание и ремонт», «3. Перерыв», «5. Останов выполнения» – дополнительные.

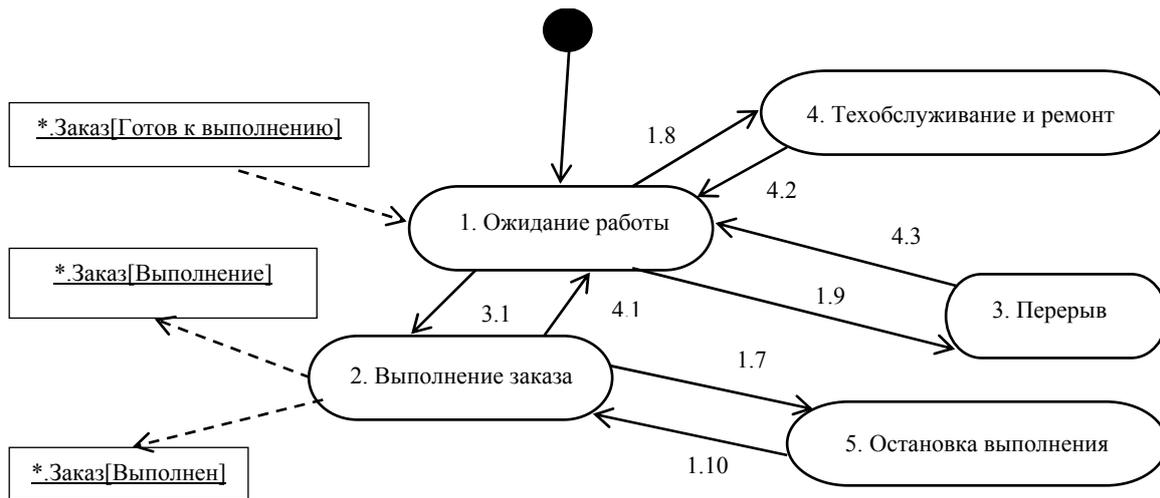


Рис. 4

Предложенное операционное описание деятельности позволяет единообразно представить не только традиционные технологические, но и другие классы операций (классы *Хозяйственная операция*, *Операция кооперации*, *Транспортировка*, *Заказ на закупку* и т. д.).

Предложена объектная модель оперативного управления производством на основе событий и

сети заказов, обеспечивающая единое описание разнообразных производственно-логистических процессов и, как следствие, общую реализацию исполнения. Результаты исследования используются в проекте модернизации системы управления ресурсами предприятия «ИС РЕУРС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детмер У. Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008.

2. Хэллет Д. Обзор систем вытягивания: wkazarin.ru/. URL: <http://www.pullscheduling.com> (дата обращения 12.11.20).

3. Питеркин С. В. Быстрое производство. Современные методы управления производством. От ERP до Lean и SCM. Теория и практика применения. URL:

<http://www.lean-accounting.ru/wp-content/uploads/2012/03/Быстрое-производство.pdf> (дата обращения 12.11.20).

4. Дубенецкий В. А., Советов Б. Я., Цехановский В. В. Проектирование корпоративных информационных систем. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.

5. Дубенецкий В. А., Кузнецов А. Г., Цехановский В. В. Технология создания корпоративных информационно-управляющих систем на основе моделей, допускающих исполнение. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019.

V. A. Dubenetsky, V. V. Tsekhanovsky
Saint Petersburg Electrotechnical University

PRODUCTION MANAGEMENT MODEL BASED ON A NETWORK OF ORDERS

We consider an object model that allows us to solve the problems of event-based production management based on a network of orders. An extended model of the design and technological specification is proposed, the main class of which is the Product-Operation. To manage the production of products based on the order network, a classification of orders by the method of execution is introduced, including such classes as Independent Order, Stock Order, and Dependent Order. The possibility of using this model to describe various classes of activities is shown. A class model is proposed that supports the processes of event management of a network of interconnected orders of various classes. It describes the interrelated behavioral models of objects of such classes as Order, Dispatcher, Group Work Center, and Work Center, which participate in the event management of the order network. The main classes of events that control the behavior of objects of the main classes of the order network are described. The proposed solution allows us to apply a unified approach to solving problems of managing production activities based on orders and events.

Information system, object model, class model, operational production management, event, production order