

DOI: 10.15593/2499-9873/2018.1.05

УДК 658.5.011 + 658.512.8

А.В. Вожаков

ООО «1С-Софт», Москва, Россия

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ЗНАНИЙ И НЕЧЕТКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПРИ ПОДБОРЕ РЕСУРСОВ

Рассматривается задача формирования сменно-суточного задания с учетом имеющихся оперативных данных о состоянии производства и накопленных знаний о распределении ресурсов. Предлагается математическая постановка задачи оперативного планирования, позволяющая учесть основные ограничения на имеющиеся ресурсы и нечеткий характер критериев качества на формируемые планы производства. Для использования опыта предыдущего планирования вводится функция специализации исполнителей и оборудования, сформулированная как задача адаптивного поиска на основе базы знаний.

Ключевые слова: мелкосерийное производство, оперативное планирование, база знаний, адаптивный поиск, математическое моделирование, эвристические алгоритмы.

A.V. Vozhakov

Ltd "1C-Soft", Moscow, Russian Federation

OPERATIONAL ENTERPRISE RESOURCE PLANNING WITH USING BY THE KNOWLEDGE BASE AND THE FUZZY PREFERNCES

Advanced manufacture scheduling process on the state of goods and accumulated knowledge about the resources is considered. A mathematical formulation of the operational planning problem is suggested, which uses main limitations on available resources and the fuzzy nature of the quality criteria on the plans being formed. To use the previous planning experience, the specialization function of workers and work center is introduced, which formulated as the task of adaptive search based on the knowledge base.

Keywords: small-scale production, operational planning, advanced manufacture scheduling, knowledge base, adaptive search, mathematical modeling, heuristic algorithms.

Введение

Первые системы управления производственными процессами (MES – Manufacturing Execution System) [1] появились еще в конце 1980-х с целью автоматизации и оптимизации процессов операцион-

ного планирования, управления загрузкой мощностей и оперативным учетом хода производства. Потенциальная полезность использования данного класса программного обеспечения признавалась всегда, однако и до сих пор полноценно внедренные MES-системы остаются редкостью как в России, так и на Западе. MES-системы особенно полезны могли бы быть для мелкосерийных производств, производящих сложную высокотехнологичную продукцию, ведь технологические процессы в таких производствах очень запутанные, количество взаимосвязей элементов системы очень велико, что делает фактически невозможным для человека формировать картину происходящего и осуществлять грамотное планирование и управление производством. Современные MES-системы обладают встроенными алгоритмами планирования расписания выполнения производственных операций и другими механизмами, необходимыми для построения системы управления производством уровня цеха, но обратной стороной использования данных систем являются чрезмерно высокие требования к уровню качества нормативно-справочной информации (НСИ), перечню параметров, которые необходимо указывать, и повышенная операционная нагрузка на персонал цеха, связанная с необходимостью вести онлайн-учет выполнения всех технологических операций с множеством вводимых параметров. Именно эти обстоятельства являются основной причиной неудач при внедрении MES-систем. В данной статье представлен альтернативный взгляд на построение MES-системы, основанный на снижении требований к качеству НСИ, интеллектуализации процесса ручного планирования и использования базы знаний для формирования оптимальных расписаний операций и снижения трудоемкости учетных операций без снижения качества получаемой информации.

1. Система управления производством уровня цеха

Рассмотрим задачу управления производством уровня цеха на примере мелкосерийного машиностроительного предприятия. На таких предприятиях, как правило, действует система календарного планирования (обычно в рамках ERP-системы) [2, 3], определяющая планы выпуска готовых изделий, полуфабрикатов, график выполнения этапов производства (до уровня цеха) с указанием плановой даты запуска и завершения обработки партий полуфабрикатов в цехах. Календарное планирование осуществляется на основе календарных нормативов

производства; мощности и трудозатраты оцениваются объемно, без детализации по операциям.

В таких условиях задача внутрицехового управления состоит в том, чтобы обеспечить выполнение технологических операций над всеми партиями полуфабрикатов (деталей, сборок и пр.) в сроки, установленные системой календарного планирования [4]. Это, в свою очередь, ведет к необходимости формирования оперативных планов выполнения технологических операций с привязкой к сотрудникам и оборудованию, а также дисциплинированному выполнению запланированных технологических операций.

В то же время для каждой партии полуфабрикатов, поступающих в цех, заранее определен перечень технологических операций, который как минимум содержит информацию об участке выполнения операции, трудоемкости, профессии и разряде рабочего, используемом оборудовании, сроке завершения работ в цехе. Полный перечень возможных параметров выполнения технологических операций чрезвычайно обширен, но здесь и далее будем исходить из минимальных требований к нормативно-справочной информации. Однако для составления более полной картины факторов, которые влияют на принятие решения о назначении выполнения операции тому или иному рабочему и оборудованию, перечислим часто встречающиеся параметры: время переналадки оборудования (зависит от деталей предшественников); используемый инструмент и оснастка (от наличия их будет зависеть возможность выполнения операции); реальная квалификация и специализация рабочего; техническое состояние единицы оборудования [5]. Для формализованного описания всех возможных параметров потребовался бы отдельный процесс моделирования, уникальный для каждого производства, сбор необходимых данных для всех технологических операций, построение математической модели планирования, реализация алгоритмов планирования с учетом всех существенных параметров. Этот процесс может затянуться на годы, а в случае, если продукция предприятия постоянно меняется, данный процесс может стать вечной попыткой догнать то, что постоянно движется вперед с большей скоростью.

Следует отметить, что производство может быть организовано в одну, две или три смены. Возможны ситуации, когда различные участки цеха работают в разное количество смен, что требует дополни-

тельной синхронизации работы внутри цеха. Данный аспект здесь оставим за скобками, предполагая, что при решении общей задачи модель легко может быть адаптирована под условия реального производства. Для простоты изложения здесь и далее будем оперировать понятием «смена», понимаемым как промежуток времени, в рамках которого выполняются технологические операции, считая, что весь цех работает в одном календарном графике работы.

Цех, как правило, разбит на участки, представляющие собой производственные подразделения, объединяющие ряд рабочих мест, сгруппированных по определенному признаку, осуществляющие часть общего производственного процесса по изготовлению продукции или обслуживанию процесса производства. На производственных участках, помимо основных и вспомогательных рабочих, имеется руководитель – мастер участка.

Участки создаются по двум принципам:

1. *Технологический*. Участок состоит из однотипного оборудования (группа токарных станков, группа фрезерных или сверлильных станков); рабочие на участке выполняют определенный вид операции. Закрепление за рабочими местами изготовления определенных видов продукции отсутствует. Такой тип участков характерен для мелкосерийного и единичного типов организации производства.

2. *Предметно-замкнутый*. На таком участке используется разнотипное оборудование, которое располагается по ходу технологического процесса. Рабочие места специализируются на изготовлении определенного вида продукции (деталей). На участке заняты рабочие разных специальностей. Разновидностью такого типа участков являются поточные линии. Этот тип участков характерен для крупносерийного и массового производств, его работа отличается большей эффективностью по сравнению с участком, созданным по технологическому принципу.

Планирование работ участков осуществляется автономно в рамках выполнения плана цеха с учетом возникающих внутри цеха отклонений и с учетом интересов других участков цеха. Таким образом, процесс внутрицехового управления делится на множество центров принятия решений и становится нелинейным и сложно предсказуемым [6, 7]. Как уже было сказано выше, один человек не в состоянии планировать работу целого цеха, а автоматизированной системе недоста-

точно исходной информации, таким образом, существующая на сегодня модель – единственно возможная на практике.

2. Срочность выполнения работ

Важным понятием при внутрицеховом управлении является *срочность* обработки той или иной партии полуфабрикатов. Данный параметр связан с установленным сроком завершения обработки в цехе, но явно из него не следует и во многом является нечетким. При этом роль данного параметра при принятии решений об очередности обработки партий полуфабрикатов и планировании производства чрезвычайно высока. В данной работе предложена одна из многих возможных методик определения срочности обработки партии полуфабрикатов как нечеткой функции от установленного срока завершения обработки полуфабрикатов в цехе (количества рабочих смен, оставшихся до завершения срока), трудоемкости невыполненных операций, количества невыполненных операций. Используя данный параметр, перечень партий полуфабрикатов можно отсортировать по срочности таким образом, чтобы первыми в списке были наиболее срочные партии полуфабрикатов.

Исходя из вышеизложенной информации, оперативное управление в цехе будет состоять из планирования графика выполнения операций (формирования сменно-суточных заданий для рабочих с указанием оборудования) по участкам цеха, контроля выполнения заданий и принятия управляющих воздействий. Далее цикл повторяется. В реальном производстве, как правило, оперируют краткосрочными заданиями (максимум на две смены вперед), и по результатам работы каждой смены задания уточняются, исходя из факта выполнения работ. Таким образом, первая задача оперативного управления состоит в грамотном формировании сменно-суточных заданий по участкам цеха.

В данной работе предлагается отказаться от полностью автоматизированных систем, которые, исходя из текущего состояния производства и нормативно-справочной информации, полностью автоматически рассчитывают расписание выполнения операций. Как уже было сказано выше, перечень существенных для формирования сменных заданий параметров намного шире, чем может быть введен в систему, и, как результат, формируемые системой задания будут неактуальны, доверие к системе будет низким и по факту будут выполняться совсем другие

работы, что дискредитирует работу системы. Вместо этого предлагается построить автоматизированную систему управления производством, основываясь на следующих принципах:

1. До начала формирования сменных заданий в системе в полуавтоматическом режиме предлагается сформировать перечень сотрудников и оборудования, доступного к работе в текущей смене. Система может сама предложить список сотрудников, исходя из деления сотрудников по участкам с учетом информации, полученной из системы контроля и управления доступом на предприятии. Перечень оборудования должен быть сформирован также автоматически с исключением оборудования, находящегося в ремонте или простое по другой причине. Оборудование может быть жестко привязано к сотруднику (выбор сотрудника автоматически определяет оборудование либо наоборот – выбор оборудования автоматически определяет сотрудника).

2. Интерфейс формирования сменных заданий должен быть размещен в одном окне, в одной части которого располагается перечень сотрудников и оборудования, а в другой – перечень доступных к планированию операций.

3. Должны быть настроены быстрые фильтры, позволяющие за короткое время выделить следующие по технологическому процессу операции, требующиеся к назначению и т.д.

4. Должен быть реализован механизм быстрого назначения операций за исполнителями в одно движение (*drag and drop* или т.п.) с редким включением диалоговых окон (например, уточнить единицу оборудования или т.п.).

5. По завершении выполнения операций данные о фактическом выполнении фиксируются в системе с указанием фактически выполненного количества, зафиксированных отклонений и браке, отклонений в трудоемкости и прочих параметрах, существенных для системы.

6. Результаты работы системы в ручном режиме *накапливаются и анализируются* с целью постепенного перевода системы в полуавтоматический и автоматический режимы работы.

7. В интерфейсе добавляются элементы, позволяющие частично или полностью автоматически сформировать суточные задания.

8. В интерфейсе добавляются элементы, позволяющие частично или полностью автоматически осуществлять приемку работ и автома-

тически фокусировать внимание на операциях с повышенным риском невыполнения и брака.

Рассмотрим аналитическую информацию, которая накапливается в системе и составляет исходную базу данных для анализа:

1. Полуфабрикат (деталь, сборка).
2. Технологическая операция.
3. Трудоемкость операции.
4. Количество операций к выполнению.
5. Исполнитель.
6. Единица оборудования.
7. Фактическое количество выполненных операций.
8. Фактическая трудоемкость выполнения.
9. Фактическое количество операций с отклонениями.

Предоставленной информации достаточно, чтобы выявить в ходе статистического анализа следующие закономерности:

1. Специализация исполнителя и оборудования (может отличаться от изначально заявленного), которая определяется частотой назначения исполнителя на единицу оборудования.
2. Специализация исполнителя по полуфабрикатам.
3. Специализация оборудования по полуфабрикатам.
4. Специализация исполнителя по типам операций.
5. Специализация оборудования по типам операций.
6. Средний процент полуфабрикатов с отклонениями и детализацией по исполнителю и оборудованию.
7. Средний процент превышения трудоемкости выполнения.
8. Средний процент окончательного брака.

При построении аналитических данных следует учитывать, что производственная среда и уровень подготовки сотрудников постоянно меняются, состояние оборудования также подвержено изменениям. Таким образом, при получении и аналитической обработке информации более свежие результаты должны учитываться с большим весом, нежели старые.

В первом приближении статистических данных обычно бывает достаточно для принятия решения по формированию сменно-суточных заданий. Однако статистические данные могут быть противоречивыми по разным показателям анализа (например, высокая специализация рабочего и высокий процент брака на операции). В таком случае исход-

ную базу данных следует рассматривать как *базу знаний*, содержащую фактические данные, правила вывода, результаты решения предыдущих задач и оценку качества решений [8].

Исходя из вышеописанных условий, информационная система должна выполнять следующие интеллектуальные функции на основе сформированной базы знаний:

1. Автоматически формировать суточные задания участка.
2. Автоматически фокусировать внимание на операциях с повышенным риском невыполнения и возможного брака.

3. Постановка задачи

Считается, что на начало планирования известен полный перечень партий полуфабрикатов, подлежащих обработке в цехе P_i , где $i \in \overline{1, P}$ – количество партий в производстве. Пусть известны размеры партий деталей и сборочных единиц (ДСЕ), которые обозначим как PC_i .

Временную шкалу планирования представим для удобства в виде номера рабочей смены d , где текущая смена имеет номер $d = 0$. Следующие смены имеют номера $d \in 1, 2, 3, \dots$, а предыдущие смены имеют отрицательные номера $d \in -1, -2, -3, \dots$

Плановый срок завершения обработки партии полуфабрикатов в цехе задается в виде номера смены d и указан для всех партий полуфабрикатов u_i .

Для каждой партии полуфабрикатов определен перечень операций o_{ij} , который сформирован таким образом, что на момент составления расписания все полностью выполненные технологические операции из него исключены. Таким образом, первая операция партии ($j = 1$) – на самом деле первая невыполненная операция в партии. При этом возможна ситуация, при которой партия полуфабрикатов в производстве разделяется на несколько. В таких случаях для каждой операции должно быть указано количество полуфабрикатов в партии, для которых данная операция должна быть выполнена. При этом технологические операции должны выполняться строго по порядку. Таким образом, количество последующих операций всегда больше или равно количеству операций предшественников, т.е.

$$oc_{ij} \leq oc_{ij+1} \leq PC_i. \quad (1)$$

Для каждой операции определена общая трудоемкость tr_{ij} ее выполнения для всего количества полуфабрикатов, доступных к выполнению, и указан участок выполнения операции st_{ij} .

Известным является список рабочих и/или бригад рабочих (далее – исполнители) для назначения сменных заданий W_k , $k \in \overline{1, W}$, где W – общее количество исполнителей в смене. Также известен перечень доступного оборудования W_c , $c \in \overline{1, M}$, где M – количество единиц оборудования. Для каждой операции технологией определены требования к профессии и разряду рабочего, типу используемого оборудования. Введем подмножества сотрудников W_k^{ij} и оборудования W_c^{ij} , соответствующих требованиям технологического процесса для каждой операции. Известна длительность смены Dl . Определена максимальная выработка каждого исполнителя Dl_k , которая, как правило, будет равна длительности смены, но при использовании бригадной или многосменной работы может существенно отличаться в большую сторону.

Введем функцию срочности обработки партии полуфабрикатов, которая принимает меньшие значения при увеличении срочности обработки полуфабрикатов. Если оставшегося для обработки времени недостаточно для обработки в срок, функция принимает отрицательные значения:

$$U(i) = Dl \cdot u_i - \sum_i tr_{ij} - \rho \cdot \sum_j \text{sign}(o_{ij}), \quad (2)$$

где ρ – время пролеживания.

Отметим, что параметр «время пролеживания» характеризует среднюю величину времени межоперационного ожидания и транспортировки полуфабрикатов от одного места выполнения к другому. Данный параметр является условной величиной и подбирается экспертным путем.

Решением задачи формирования сменно-суточного задания цеха будет заполнение массива коротежей данных T_s следующего вида:

$$T_s = (d_s, o_s, ot_s, w_s, m_s, tr_s), \quad (3)$$

где $o_s \in o_{ij}$ – назначаемая операция; $ot_s \leq oc_{ij}$ – количество полуфабрикатов к обработке в рамках задания; $w_s \in W_k^{ij}$ – назначенный исполни-

тель операции; $m_s \in M_c^{ij}$ – назначенное оборудование операции; tr_s – трудоемкость выданных работ, $tr_s = tr_{ij} \cdot \frac{ot_s}{ot_{ij}}$.

При этом на сменное задание наложен ряд естественных ограничений:

1. Количество выдаваемых операций не должно превышать количество операций в плане:

$$\sum_{o_s=o_{ij}} ot_s \leq oc_{ij}. \quad (4)$$

2. Трудоемкость назначаемых исполнителю работ не должно превышать максимально допустимое значение:

$$\sum_{w_s=w_k} tr_s \leq Dl_k. \quad (5)$$

3. Трудоемкость назначаемых на оборудование работ не должно превышать максимально допустимое значение:

$$\sum_{m_s=M_c} tr_s \leq Dl. \quad (6)$$

4. Порядок выполнения операций не должен нарушаться:

$$\sum_{o_s=o_{ij}} ot_s + PC_i - o_{ij} \leq \sum_{o_s=o_{ij+1}} ot_s + PC_i - o_{ij+1}. \quad (7)$$

Статистика выполнения сменных заданий накапливается в фактических массивах кортежей данных F_a следующего вида:

$$F_a = (d_a, o_a, ot_a, w_a, m_a, tr_a, of_a, ob_a, trf_a), \quad (8)$$

где к ранее описанным переменным добавляются следующие: $of_a \leq oc_{ij}$ – количество фактически обработанных полуфабрикатов; $ob_a \leq oc_{ij}$ – количество полуфабрикатов, обработанных с отклонениями; $trf_a \leq oc_{ij}$ – фактически достигнутая трудоемкость.

На основании статистики может быть построена функция *специализации операций* за оборудованием и исполнителями, которая оценивает данные за период учета статистики D . Значение специализации выше, если в ближайшее время были успешно выполнены операции указанного вида указанным исполнителем на указанном оборудовании. Значение функции уменьшается, если есть статистика по выполнению операций с отклонениями:

$$Sp(o_{ij}, W_k, M_c) = \sum_{\substack{o_{ij}, W_k, M_c \\ ot_a = of_a \\ tr_a = tr'_a \\ d_a \in -D, 0}} \text{sign}(ot_a) \cdot \left(1 + \frac{d_a}{D}\right) - \sum_{\substack{o_{ij}, W_k, M_c \\ ot_a \neq of_a \\ tr_a \neq tr'_a \\ d_a \in -D, 0}} \text{sign}(ot_a) \cdot \left(1 + \frac{d_a}{D}\right). \quad (9)$$

Представленная функция является упрощенным решением задачи и не учитывает множества взаимосвязей и закономерностей, которые могут быть в системе. В общем случае вместо формирования множества статистических закономерностей и принятия решения на основании данных статистики предлагается решать задачу ассоциативного поиска с использованием базы знаний и действующих ограничений. Над базой данных должна быть построена *семантическая сеть*, определяющая отношения и закономерности между всеми существенными параметрами системы [9]. Таким образом, оценка уровня *специализации* исполнителя и оборудования для конкретной операции будет осуществляться с учетом всех выявленных закономерностей, в том числе с учетом результатов работы исполнителя по аналогичным операциям и на аналогичном оборудовании, отношению уровня брака к количеству успешно выполненных операций и т.д. Таким образом, функция (9) может быть заменена на функцию специализации базы знаний.

Значения функции специализации используются как при назначении работ исполнителю, так и при приемке работ. При этом система автоматически выделяет цветом операции, имеющие низкий уровень специализации с целью фокусировки внимания на операциях, которые потенциально несут риски выполнения с отклонениями от заданных нормативов.

4. Построение обобщенного критерия оптимизации

Рассмотрим частные критерии оптимальности сменного задания:

1. Срочность назначаемых работ должна быть максимальна:

$$J_1 = \sum U(T_s) \rightarrow \min. \quad (10)$$

2. Риск невыполнения операций по причине невыполнения предшествующих операций должен быть минимален, т.е. сначала должны планироваться в работу первые операции, а только потом последующие. При этом подразумевается, что риск невыполнения операций ли-

нейно возрастает в зависимости от количества предшествующих операций в сменном задании:

$$J_2 = \sum j(T_s) \rightarrow \min. \quad (11)$$

3. Уровень специализации назначаемых операций за исполнителем и оборудованием должен быть максимальным (критерий приведен к минимизации):

$$J_3 = -\sum Sp(T_s) \rightarrow \min. \quad (12)$$

Для того чтобы задача была разрешимой, требуется ввести обобщенный критерий оптимальности сменного задания. При этом на практике обычно один из частных критериев выбирают как «главный», т.е. имеющий наивысшую важность. Однако все эксперты сходятся во мнении, что про другие критерии также нельзя забывать – все они имеют важность. Однако соотношение важности этих критериев весьма нечетко [10]. Таким образом, предлагается ввести обобщенный критерий, который будет учитывать главный критерий как основной, а все остальные – как вспомогательные критерии, которые также надо учитывать [11].

На основе предложенных частных критериев может быть введен обобщенный критерий оптимальности [12] с использованием расширенного специального нечеткого множества над частными критериями оптимальности $J^r = \left\{ \mu_1/J_1; \mu_2/J_2; \mu_3/J_3 \right\}$, где $\mu_i \in [0;1], i \in \overline{1,4}$ – экспертная оценка значимости i -го критерия. Теперь, используя четкую функцию от нечеткого аргумента $H(J^{r1}, J^{r2})$ (специальный индекс ранжирования), можно записать:

$$H(J^{r1}, J^{r2}) = \text{sign}(C_i), \text{ где } C_i = \frac{\mu_i \cdot J_i^{r1} - \mu_i \cdot J_i^{r2}}{d_i}, \quad (13)$$

а i доставляет $\max \left| \frac{\mu_i \cdot J_i^{r1} - \mu_i \cdot J_i^{r2}}{d_i} \right|$, μ_i – функция принадлежности (значимость) J_i^{r1} (или J_i^{r2}), $d_i = \max(J_i^{r1}; J_i^{r2})$.

При этом если значение i единственно и если $\text{sign}(C_i) = +1$, то $J^{r1} > J^{r2}$, а если $\text{sign}(C_i) = -1$, то $J^{r1} < J^{r2}$.

Если значение i не единственно, то определим k – количество равных по модулю экстремумов ($k \leq n$) и вычислим

$$\alpha = \sum_{i=1}^k \text{sign}(C_i).$$

Если $\alpha = 0$, то $J^{r1} = J^{r2}$; если $\alpha < 0$, то $J^{r1} < J^{r2}$; если $\alpha > 0$, то $J^{r1} > J^{r2}$.

Поставленная задача формирования оптимальных сменных заданий (1)–(13) является нелинейной задачей с нечетким критерием оптимизации и функцией специализации, основанной на базе знаний. Эти обстоятельства делают невозможным ее решение аналитическими методами и требуют разработки новых алгоритмов на основе интеллектуальных технологий. При этом общая задача может быть разбита на две большие задачи:

1. Построение базы знаний и адекватной функции специализации над базой данных.

2. Решение задачи формирования оптимальных сменных заданий при заданной функции специализации.

При этом видится целесообразным сначала решить вторую задачу с использованием упрощенного представления функции специализации (9), проанализировать результаты решения, выделить слабые стороны и лишь затем перейти к решению задачи с использованием базы знаний.

Заключение

Представленная постановка задачи построения интеллектуальной системы формирования и учета выполнения сменных заданий не является единственно возможной для конкретного предприятия. Возможно, потребуются модификация задачи с учетом специфики производства. При этом рассматриваемая постановка задачи имеет крайне низкие требования к качеству и составу нормативно-справочной информации, что позволяет осуществить запуск такой системы в кратчайшие сроки. Сотрудник, ответственный за формирование сменных заданий, всегда может внести корректировки в автоматически сформированные задания, которые в дальнейшем будут также учтены при последующей работе системы в качестве новых знаний. Предлагаемая система способна многократно снизить трудозатраты на формирование сменных зада-

ний, повысить качество планирования, увеличить скорость реакции на изменения в производстве и снизить количество возникающих отклонений за счет использования специализации исполнителей и оборудования. Как результат, может быть снижен процент брака на производстве, повысится выработка рабочих, сократятся прецеденты срыва сроков отгрузки продукции потребителю.

Список литературы

1. Meyer H., Fuchs F., Thiel K. Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning and Deployment. – 2009. – 248 с.
2. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. – СПб.: Питер, 2002.
3. Сури Р. Время – деньги. Конкурентное преимущество быстро-реагирующего производства / пер. с англ. В.В. Дедюхина. – 2-е изд. (эл.). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 326 с.
4. О’Лири Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М.: Вершина, 2004. – 258 с.
5. Оно Т. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства: пер. с англ. / Ин-т комплексных стратегических исследований. – М., 2005. – 192 с.
6. Хитоси Такеда. Синхронизированное производство: пер. с англ. / Ин-т комплексных стратегических исследований. – М., 2008. – 288 с.
7. Ротер М. Учись видеть бизнес-процессы. Практика построения карт потоков создания ценности: пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс: CBSD, Центр развития деловых навыков, 2005. – 144 с.
8. Васильев Д.Н., Чернов В.Г. Интеллектуальные информационные системы: основы теории построения : учеб. пособие. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 120 с.
9. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Matlab 6 / под общ. ред. канд. техн. наук В.Г. Потемкина. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 496 с.
10. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов [и др.]. – М.: Радио и связь, 1989. – 302 с.
11. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях: монография / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман,

В.Ю. Столбов, А.В. Вожаков. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 229 с.

12. Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б. Управление производством на тактическом уровне планирования в условиях нечеткой исходной информации // Проблемы управления. – 2009. – № 5. – С. 36–43.

References

1. Meyer H., Fuchs F., Thiel K. Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning and Deployment, 2009. 248 p.

2. Gavrillov DA Production management using MRP II standard. SPb.: Peter, 2002.

3. Suri R. It's About Time. The competitive advantage of Quick Response Manufacturing NY: CRC Press, 2014. 326 p.

4. O'Leary D. Modern ERP systems planning and management of resources pre-acceptance. M. Top, 2004. 258 p.

5. Ono T. Toyota Production System. Departing from mass production. M.: Institute for Complex Strategic Studies, 2005. 192 p.

6. Hitoshi Takeda. Synchronized production. M.: Institute for Complex Strategic Studies, 2008. 288 p.

7. Rother M., Shook J. Learn to see business processes. Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Moscow: Alpina Business Books: of CBSD, Center for Business Skills Development, 2005. 144 p.

8. Vasiliev D.N. Intellectual information systems: the fundamentals of the theory of construction: Textbook. allowance / D.N. Vasiliev, V.G. Chernov; Vladimir. state. un-t. Vladimir: The publishing house of Vladimir. state. University, 2008. 120 s.

9. Medvedev V.S. Neural networks. Matlab 6 / V.S. Medvedev, V.G. Potemkin; under the Society. Ed. Cand. tech. Sciences of V. Potemkin. M.: Dialog-Mythy, 2002. 496 p.

10. Processing of fuzzy information in decision-making systems / A.N. Borisov [et al.]. M.: Radio and Communication, 1989. 302 p.

11. Quality management in modern industrial enterprises: a monograph. / S.A. Fedoseev, M.B. Gitman, V.Yu. Stolbov, A.V. Vozhakov. Perm: Publishing house of Perm. nat. issled. Polytechnic. University Press, 2011. 229 p.

12. Fedoseyev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B. Production management tactful-sky level of planning under the fuzzy initial information // Problems-we control. 2009. № 5. S. 36-43.

Получено 23.01.2018

Об авторе

Вожаков Артем Викторович (Москва, Россия) – кандидат технических наук, руководитель направления поддержки ключевых проектов в оборонно-промышленном комплексе ООО «1С-Софт» (127434, г. Москва, Дмитровское ш., 9, e-mail: voza@1c.ru).

About the author

Artem V. Vozakov (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Head of 1CERP Key Projects at Machinebuilding Enterprises, Ltd “1C-Soft” (9, Dmitrov Highway, Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: voza@1c.ru).