

УДК 519.876

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АРМ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЪЕМНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРУБНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Фомин С.Я., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы
управления (stan.fomin2010@yandex.ru)*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Рассмотрены подходы к решению центральной проблемы высшего уровня иерархии системы управления производственным комплексом. Это проблема выбора стратегии объемно-календарного планирования трубного производства: производство продукции «на склад» или производство продукции «под заказ». Для каждой стратегии характерны специфические риски потерь предприятием ожидаемых доходов. Представлено решение процедуры формирования оптимальной структуры производственной программы (портфеля заказов). Адекватная реализация этой процедуры существенно определяет эффективность работы трубного предприятия. Это касается, прежде всего, цехов с многономенклатурным производством холоднодеформированных труб. Логистика производства в таких цехах основана на использовании разнообразных комбинаций технологических маршрутов (прокатка, протяжка, термическая обработка, химическая обработка и др.). Решение задачи реализовано в форме процедуры многокритериального выбора. Для снижения размерности оптимизационных функциональных задач объемно-календарного планирования использована методика агрегирования сортамента трубного цеха. Методика основана на алгоритме синтеза метода главных компонент факторного анализа и автоматической классификации. Согласование производственного процесса и последовательности отправления готовой продукции заказчикам выполнено с помощью диалоговой итеративной многокритериальной процедуры. Использован метод интервального оценивания замещения критериев, адекватный функциональным возможностям реальных пользователей соответствующих служб, которые не имеют специальной подготовки в области теории принятия решений.

Ключевые слова: стратегия управления, слабоструктурированные задачи, автоматизированное рабочее место (АРМ), агрегирование сортамента, производственная программа, риски, логистика, диалоговая процедура согласования производства и поставок труб.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-7-498-503

В современных экономических условиях нестабильности рынка, колебания цен на трубную продукцию, трубную заготовку, разнообразные вспомогательные материалы и т. п. необходимо адекватно оценивать возможную степень рисков недополучения предприятием планируемых доходов [1 – 4]. Экспертная система оценивания рисков требует привлечения значительного числа квалифицированных экспертов для получения надежных результатов экспертизы, что на практике трудно осуществимо. Альтернативой экспертной системе прогноза и оценки степени рисков являются математические модели вероятностного характера, широко именуемые в литературе «имитационными» [4].

При планировании закупок сырья, материалов и т. п., а также поставок своей продукции предприятие ориентируется на некоторые стабильные цены с какими-то относительно незначительными изменениями. Также и длительность изготовления продукции на агрегатах регламентирована технологическими инструкциями в соответствии с логистикой конкретного производства труб [5, 6]. Однако эти ориентировочные показатели являются, по сути, математическими ожиданиями конкретных величин. В реальности эти величины флуктуируют в некоторых диапазонах. Когда

отклонения выходят за границы заданных диапазонов, то такие ситуации оцениваются как чрезвычайные, а в производственном процессе – даже как аварийные. Последствия рисков, порождаемые подобными ситуациями, достаточно адекватно оцениваются с помощью процедур имитационного моделирования [4].

На высшем уровне иерархии системы управления производственным комплексом (ПК) решается слабоструктурированная задача выбора рациональной стратегии планирования [3]. Различают два вида стратегии: производство продукции «на склад» и «под заказ». При производстве под прогнозируемый спрос («на склад») определенная часть заказчиков имеет возможность получить продукцию достаточно быстро. Однако при этом растет вероятность риска накопления невостребованной произведенной продукции и соответственно замораживания оборотных ПК. Работа «под заказ» связана с возможным ожиданием покупателями требуемой продукции, определяемым длительностью ее производственного цикла. При этом растет вероятность отказа от сотрудничества покупателей, которым время ожидания не приемлемо. Сценарии возможного развития событий позволяют оценить прогнозируемые риски как затоваривания, так и сокращения прибыльности.

ности ПК. С целью снижения вероятности возникновения рисков иногда практикуется смешанная стратегия: вначале с помощью экспертных оценок выделяют необходимые ресурсы под наиболее прибыльные заказы, оставшиеся ресурсы планируются на производство под прогнозируемый спрос. Уровень прибыли определяют на основе прогноза цен и объемов продаж продукции, учитывая риски от возможных погрешностей указанных прогнозов. Ожидаемые риски могут выясняться явно в процессе прямого учета погрешностей вычисления прибыли, либо неявно – созданием страховых запасов по конкретным прогнозным показателям в сторону уменьшения/увеличения [7].

Формирование оптимального портфеля заказов (структуры производственной программы) является актуальной задачей, адекватное решение которой существенно определяет эффективность работы ПК трубного предприятия, особенно для цехов изготовления стальных холоднодеформированных (ХД) труб [8]. Логистика производства указанных труб, использующая разнообразные комбинации альтернативных технологических маршрутов, включающих операции прокатки, протяжки, термообработки, химической обработки и др., формирует издержки производства и в конечном итоге прибыль предприятия. При этом даже в условиях жесткого централизованного планирования загрузки трубных предприятий задаче формирования структуры производственной программы конкретного ПК уделялось серьезное внимание [9].

Алгоритмическое обеспечение автоматизированного рабочего места (АРМ) персонала высшего уровня системы управления предприятием позволяет в режиме диалога осуществлять выбор рациональной стратегии объемно-календарного планирования производства. Первоочередной задачей является формирование структуры производственной программы с помощью математической модели, включающей следующие оценки.

- Максимум прибыли:

$$F_1(x) = \max \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \left(P_{lk} \sum_{i=1}^{I_{lk}} x_{ilk} c_{il} - \sum_{i=1}^{I_{lk}} x_{ilk} S_{lk} \right), \quad (1)$$

где x_{ilk} – количество продукции i -го типоразмера l -го вида труб, производимой на k -ом стане, $i = \overline{1, I_{lk}}$; I_{lk} – количество типоразмеров l -го вида труб, производимых на k -ом стане ($l = \overline{1, L_{ik}}, k = \overline{1, K}$); c_{il} – договорная цена продукции i -го типоразмера l -го вида труб; P_{lk} – величина приплат/скидок для l -го вида труб по k -му стану (коэффициент изменения стоимости); S_{lk} – себестоимость изготовления единицы продукции l -го вида на k -ом стане.

- Минимум затрат времени на выполнение производственной программы:

$$F_2(x) = \max - \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^{I_{lk}} x_{ilk} t_{ilk}, \quad (2)$$

где t_{ilk} – затраты времени на производство единицы продукции i -го типоразмера l -го вида труб на k -ом стане.

- Минимум расхода металла:

$$F_3(x) = \max - \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ilk} W_{il} R_{ilk}, \quad (3)$$

где W_{il} – масса одного погонного метра труб i -го типоразмера l -го вида; R_{ilk} – соответствующий i, l и k расходный коэффициент металла.

Основным ограничением модели является проверка условий по возможностям загрузки годового фонда времени работы оборудования (ограничения на производственные мощности):

$$\left| \sum_{k=1}^{I_{lk}} t_{ilk} x_{ilk} - T_k \right| \leq \xi \quad \text{для } \forall l, k, l = \overline{1, L}, k = \overline{1, K}, \quad (4)$$

где ξ – величина, определяемая экспертно; T_k – годовой фонд времени работы k -го стана.

Для эффективной реализации процессов автоматизации выработки оптимальных решений в функциональных структурах управления (объемно-календарное планирование и др.) многономенклатурного многооперационного производства необходимо добиться существенного снижения объема исходной информации путем ее агрегирования. В этом аспекте производство ХД труб весьма характерно: многотысячная номенклатура марко-профилеразмеров, многообразие альтернативных технологических маршрутов (ТМ) с множеством технико-экономических характеристик: геометрические размеры труб (диаметр и толщина стенки) на каждом проходе ТМ, марка стали, производительности различных видов оборудования, выполняющих операции на проходах ТМ, расходные коэффициенты металла на каждой операции и соответствующие технологические затраты (энергозатраты, расход рабочего инструмента, материалы для химической обработки труб и др.). Эти характеристики являются признаками классификации сортамента.

В результате экспертного анализа заводских ТМ изготовления ХД труб определяется предварительный отбор признаков классификации сортамента и формируется исходная матрица размером $m \times n$, где n – число типоразмеров труб в цехе, m – число признаков классификации [10]. Поскольку не все отобранные признаки одинаково информационно значимы, появляется возможность существенного снижения размерности сортамента за счет «сжатия» исходной информации для построения меньшего количества новых признаков, каждый из которых будет более информативен по сравнению с исходными. Окончательный отбор признаков осуществляется сжатием исходной информации методом главных компонент (МГК) факторного анализа.

Метод главных компонент основан на следующих соображениях. Исходные показатели – набор взаи-

мосьязанных характеристик, за сложной структурой взаимосвязей между которыми существует более простая «скрытая» от явного наблюдения структура, отражающая наиболее значимые связи и закономерности изучаемого явления – факторы, являющиеся характеристиками этой структуры. Основная задача МГК – определение факторных нагрузок, отражающих связь исходных показателей с факторами на базе исходной матрицы $R = \|x_{ij}\|, i = 1, n, j = 1, m$.

Сила линейной статистической взаимосвязи между показателями оценивается на основе корреляционной матрицы, коэффициенты корреляции которой определяются выражением

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}}, \quad (5)$$

где \bar{x}_i и \bar{x}_j – средние значения показателей x_i и x_j (i и j – признаки исходных показателей).

Задача факторного анализа сводится к представлению каждого исходного показателя линейной комбинации относительно небольшого числа общих факторов (k – признак общего фактора):

$$x_i = \sum_{k=1}^r a_{ik} f_{ik} + e_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (6)$$

где $x = (x_{i1}, \dots, x_{im})$ – m -мерный вектор-строка наблюдаемых переменных; $f_{ik} = (f_1, \dots, f_r)$ – r -мерный вектор-столбец общих факторов ($r < m$); e_i – m -мерный столбец специфических факторов, влияющих только на изменения данного показателя; a_{ik} – факторная нагрузка, характеризующая влияние k -го общего фактора на i -й показатель ($k = \overline{1, r}$).

В компонентном анализе m наблюдаемых переменных преобразуется в m -некоррелированных комбинаций этих переменных – главных компонент (ГК) таким образом, чтобы первая ГК охватывала максимум суммарной дисперсии показателя x , вторая ГК охватывала максимум оставшейся дисперсии. И так до тех пор, пока вся дисперсия не будет учтена. Если при этом дисперсия исходных переменных исчерпывается полностью, то модель компонентного анализа не включает специфические факторы e . В работе [11] показано, что нахождение ГК совпадает с определением собственных чисел корреляционной матрицы, а вычисление факторных нагрузок совпадает с вычислением собственных векторов этой матрицы. При этом первой ГК соответствует максимальное из всех собственных чисел, второй ГК – максимальное из оставшихся и т. д. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет описано 70 – 90 % исходной информации.

Для каждого выделенного в результате процедуры агрегирования класса сортамента труб вычисляется средневзвешенная масса одного погонного метра труб

и по этой величине подбирается в качестве представителя наиболее близкий реальный типоразмер, представляющий весь класс (группу труб) при решении оптимизационных функциональных задач с понижением размерности в десятки и сотни раз [10].

Структура производственной программы (портфель заказов) является информационной основой для решения другой важнейшей задачи – эффективного управления трубным ПК – синхронизации металлотоков производства и поставок заказчиком готовой продукции.

Построение согласованных («контактных») графиков загрузки трубных станков и соответствующих им графиков отгрузки готовой продукции является сложной слабоструктурированной многоцелевой задачей большой размерности, решение которой сопряжено с необходимостью достижения компромисса между интересами производственного персонала (минимум переоснасток оборудования и т. п.) и оперативной комплектацией поставок по соответствующим транспортным маршрутам с учетом приоритетности заказчиков и удаленности от пункта загрузки.

Основными исходными данными этой задачи являются:

- месячная производственная программа (портфель заказов);
- специализация и производительность агрегатов (станы, агрегаты термообработки, химической обработки и др.);
- матрицы длительностей переналадок агрегатов при переходе с обработки одного типоразмера труб на другой;
- приоритетность и географическое расположение заказчиков (покупателей);
- наличие требуемой заготовки и рабочего инструмента (валки, калибры, волочильные кольца и др.);
- незавершенное производство;
- остатки готовой продукции от предшествующего периода планирования;
- директивные указания свыше.

Обобщенный показатель качества календарного плана (КП) загрузки трубных станков включает совокупность критериев, оценивающих работу производственного оборудования и последовательность отгрузки готовой продукции со следующих позиций.

- «Закрытия» заказов в порядке снижения приоритетности заказчиков

$$F_1 = \max \sum_{i=1}^{N_p} P_i (N_c - c_i), \quad (7)$$

где N_p – число позиций различных заказов, которые необходимо выполнить до конца интервала планирования; c_i – номер суток изготовления труб для i -ой позиции заказа; P_i – приоритет заказчика i -ой позиции.

- «Закрытия» заказов в порядке сокращения расстояния до заказчика

$$F_2 = \max \sum_{i=1}^{N_p} R_i(N_c - c_i), \quad (8)$$

где R_i – номер зоны расположения (удаления) i -ой позиции.

- Снижения затрат времени переналадок оборудования

$$F_3 = \max \sum_{r=1}^r \sum_{d=1}^{D-1} a_{\alpha}, \quad d + 1, \quad (9)$$

где $a_{\alpha, \alpha+1}$ – время переналадки стана при переходе с изготовления труб диаметром d на диаметр $d + 1$ ($\alpha \in D$, D – множество диаметров труб, r – множество станом).

- Максимального удовлетворения технологическим особенностям конкретного производства (в частности, для электросварных труб одного диаметра предпочтительно изготовление труб в порядке возрастания толщины стенки труб, в противном случае растет вероятность появления брака «смещение кромок»)

$$F_4 = \min \sum_{i=1}^{N_p} \xi, \quad (10)$$

где $\xi = \begin{cases} 0, & \text{если толщина стенки трубы в } i\text{-ой позиции} \\ & \text{больше, чем в } (i-1)\text{-ой,} \\ 1 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$

- Равномерной загрузки вспомогательного оборудования (агрегаты термообработки, химической обработки и др.)

$$F_5 = \min \sum_{i=1}^L \sum_{q=1}^{N_c} |W_{cp}^l - W_q^l|, \quad (11)$$

где W_{cp}^l – среднесуточная норма выработки l -го вспомогательного оборудования; W_q^l – планируемая выработка l -го вспомогательного оборудования за q -е сутки интервала планирования ($l \in L$ – множество вспомогательных агрегатов).

- Максимального объема оплаченной продукции, поставленной в планируемом периоде времени

$$F_6 = \max \sum_{i=1}^{N_p} z_i, v_i, \delta_i, \quad (12)$$

где $\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{если продукция } i\text{-ой позиции будет} \\ & \text{отгружена в сроки, гарантирующие} \\ & \text{оплату в текущем месяце,} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$

z_i – цена продукции i -ой позиции; v_i – объем продукции i -ой позиции.

- Сокращения времени комплектации «вагонных норм» по направлениям отгрузки готовой продукции

$$F_7 = \min \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^{N_c} \alpha_q^j, \quad (13)$$

где $\alpha_q^j = \begin{cases} 0, & \text{если } K_q^j = n\text{ВН}, n = 0, 1, \dots, \\ 1 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$

ВН – вагонная норма; K_q^j – количество продукции j -го направления ($j \in J$), имеющееся на складе в q -е сутки (оно должно быть кратно вагонной норме ВН).

Каждый альтернативный вариант «контактных» графиков изготовления труб на каждом стане допускается к диалоговой процедуре окончательного выбора предпочтительного решения по результатам проверки выполнения ряда условий (ограничений): наличие требуемой заготовки; пропускные возможности вспомогательного оборудования; вместимости складов готовой продукции; условие совместимости планово-предупредительных ремонтов с планируемыми перерывами станом; условие предпочтительности одноразового изготовления одного диаметра труб в течение месяца.

Для формирования оптимального КП синхронизации производственного процесса с поставками (отгрузкой) готовой продукции разработана итеративная диалоговая процедура, алгоритмическая структура которой включает следующие блоки.

Блок 1 – определение для каждого стана оптимального графика изготовления труб разных диаметров месячной производственной программы (использованы оценки критериев F_1, F_2, F_3, F_6). Минимизация времени переналадок станом (критерий F_3) представлена в форме задачи о бродячем торговце, для решения которой методом «ветвей и границ» использован алгоритм Литтла [12].

Блок 2 – формирование опорного плана изготовления труб разных толщин стенок внутри графиков массивов труб каждого диаметра (использованы оценки F_1, F_2, F_4). На каждом шаге диалоговой процедуры проверяется выполнение условий (ограничений) по наличию требуемой заготовки и др.

Блок 3 – корректировка сформированного КП по оценкам F_6 и F_7 и возможным перераспределениям в режиме диалога некоторых позиций КП между направлениями поставок (наработка дополнительных альтернатив – развитие гибкости процедуры выбора приемлемого решения).

Блок 4 – прогноз с помощью модели транспортной сети (ТС) производственного комплекса оценки реализуемости альтернатив графиков загрузки станом. Удаление из рассмотрения окончательного варианта исходного множества альтернатив (ИМА) нереализуемых графиков. Вершинам ТС соответствуют агрегаты технологической структуры цеха, дугам – пропускные способности соответствующих технологических опе-

раций каждого ТМ. С учетом планируемой загрузки дуг ТС в каждом ТМ выясняются с помощью алгоритма Форда-Фалкерсона возможные резервы/дефициты мощностей по каждому агрегату и суммарный ресурс мощности по всей ТС – производственному комплексу [13]. Соответствующая информация выдается на экран пользователя.

Блок 5 – выбор из ИМА окончательного графика загрузки станов по совокупности критериев F_n ($n = 1, 7$) с помощью диалоговой процедуры многокритериального выбора методом интервального оценивания замещений критериев (ИОЗ), адекватного функциональным возможностям реальных пользователей соответствующих служб, не имеющих специальной подготовки в области принятия решений [14].

Диалоговые процедуры решения задач многокритериальной оптимизации структуры производственной программы и синхронизации материальных потоков изготовления и отгрузки готовых труб заказчикам реализованы с помощью программного модуля метода ИОЗ, базовая концепция которого заключается в представлении информации на запросы вычислительной системы о предпочтениях ЛПР об уступках одного критерия в пользу другого в процессе попарного сравнения альтернатив в форме неточных (интервальных) ответов с целью пошагового сужения множества недоминируемых альтернатив вплоть до получения окончательного предпочтительного решения. Адаптация указанных диалоговых процедур в производственных условиях показала, что решающее правило, основанное на интервальной информации, достаточно адекватно реальным пользователям – руководителям подразделений различных служб, активно участвовавшим на всех этапах интерактивной диалоговой процедуры.

Поставленная задача реализована в инструментальной среде «1С: Предприятие 7.7» (Комплексная конфигурация Бухгалтерия + Торговля + Склад + Зарплата + Кадры» редакция 4.5 (7.70.545)).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жирнов В.И. Управление производственными ресурсами предприятия в условиях меняющейся конъюнктуры рынка // Управление большими системами: Сб. докл. Шестой школы-конференции молодых ученых. Ч. 1. Ижевск: Изд-во Удмурт. гос. ун-та, 2009. С. 171 – 178.
2. Голоктеев К.Н., Матвеев И.А. Управление производством: инструменты, которые работают. – СПб.: Питер, 2008. – 251 с.
3. Мауэргауз Ю.Е. Критерии качества производственного планирования и их приоритеты для разных уровней плановой иерархии. <http://www.erpnews.ru>.
4. Емельянов А.А. Имитационное моделирование в управлении рисками. – СПб.: СПбГИЭА, 2000. – 376 с.
5. Логистика / Под ред. Б.А. Аникина. – М.: ИНФА, 2004. – 368 с.
6. Волгин В.В. Склад. Логистика, управление, анализ. – М.: Дашков и Ко, 2007. – 376 с.
7. Иванова О.С., Жирнов В.И. Модель составления оптимального плана производства в рамках информационной системы управления предприятием // Наука. Технологии. Инновации: Матер. Всерос. научн. конф. молодых ученых. – Новосибирск: Изд-во Новосибир. гос. тех. ун-та, 2007. С. 42 – 46.
8. Жирнов В.И. Столбов В.Ю. Модель формирования оптимального плана производства как элемент поддержки принятия решений на стратегическом уровне управления предприятием // Теоретические и прикладные аспекты информационных технологий: Сб. науч. тр. – Пермь: ГосНИИУМС, 2007. Вып. 56. С. 87 – 96.
9. Фалилеев И.Л., Малышев Г.И., Фомин С.Я. Структуризация оптимальной производственной программы трубного предприятия // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 1989. № 12. С. 66 – 67.
10. Фомин С.Я. Этапы формализации процедуры разработки организационно-технологического классификатора для агрегирования сортамента трубного завода // Математическое моделирование. Труды МИСиС. – М.: МИСиС, 1990. С. 117 – 124.
11. Дубров А.М. Обработка статистических данных методом главных компонент. – М.: Статистика, 1978. – 124 с.
12. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
13. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 323 с.
14. Фомин С.Я. Метод многокритериальной оптимизации, адекватный диалоговой процедуре эффективных решений в АСУ производственными комплексами // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 5. С. 58 – 65.

Поступила 28 июня 2015 г.

ALGORITHMIC MAINTENANCE OF WKS SUPPORT FOR VOLUME SCHEDULING IN PIPE PRODUCTION

S.Ya. Fomin

National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russia

Abstract. Approaches to solving the central problem of the highest hierarchical level of industrial complex management system are considered. This is the problem of choosing the strategy of volume scheduling (VC) of pipe production: production to the “warehouse” or production “order”. Each strategy can be characterized by the specific risks of expected revenues losses. The solution of the procedure of forming the optimal structure of the production program (portfolio of orders) is presented. Adequate implementation of this

procedure significantly affects the performance of the pipe business. This applies primarily to the shops with the multiproduct production of cold deformed pipes. Production logistics in such shops is based on the use of various combinations of technological routes (rolling, broaching, heat treatment, chemical treatment, etc.). The solution was implemented in the form of multicriterial selection process. Decrease in the dimension of optimization problems of VC was implemented using techniques of assortment aggregation of the pipe shop. The technique is based on the algorithm of the synthesis method of principal components factor analysis and automatic classification. Coordination of the production process and the departure sequence of finished products to customers were made via an interactive multicriteria iterative procedure. The author has used the method of interval

estimation of the substitution criteria, adequate to functionality of the actual users of the services that does not have special training in the theory of decision making.

Keywords: management strategy, semistructured problem, workstation (WKS), aggregation of assortment, production program, risks, logistics, dialog procedure, production and delivery, pipe.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-7-498-503

REFERENCES

1. Zhirnov V.I. Enterprise production management in a changing market environment. In: *Upravlenie bol'shimi sistemami: Sb.dokl. 6-i shkoly-konferentsii molodykh uchenykh* [Managing of large systems: References of 6 th School-conference of young scientists]. Part. 1. Izhevsk: Izd-vo Udmurt. gos. Un-ta, 2009, pp. 171-178. (In Russ.).
2. Golokteev K.N., Matveev I.A. *Upravlenie proizvodstvom: instrumenty, kotorye rabotayut* [Production management: tools that work]. St. Petersburg: Piter, 2008, 251 p. (In Russ.).
3. Mauergauz Yu.E. *Kriterii kachestva proizvodstvennogo planirovaniya i ikh prioritety dlya raznykh urovnei planovoi ierarkhii* [Criteria for quality of production planning and priorities for different levels of planning hierarchy]. Available at URL: <http://www.erpnews.ru>. (In Russ.).
4. Emel'yanov A.A. *Imitatsionnoe modelirovanie v upravlenii riskami* [Simulation modeling of risk management]. St. Petersburg: Spb-GIEA, 2000, 376 p. (In Russ.).
5. *Logistika* [Logistics]. Anikina B.A. ed. Moscow: INFA, 2004, 368 p. (In Russ.).
6. Volgin V.V. *Sklad. Logistika, upravlenie, analiz* [Warehouse. Logistics, management, analysis]. Moscow: Dashkov i Ko. 2007, 376 p. (In Russ.).
7. Ivanova O.S., Zhirnov V.I. Model of optimal production plan in the framework of enterprise management information system. In: *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: Materialy vseros. Nauchn. konf. molodykh uchenykh* [Science. Technology. Innovations: Proc. of All-Russian Sci. Conf. of young scientists]. Novosibirsk: Iz-vo Novosib. gos. tekhn. un-ta, 2007, pp. 42-46. (In Russ.).
8. Zhirnov V.I. Stolbov V.Yu. The model of an optimum production plan as an element of decisionmaking support at the strategic level of enterprise management. In: *Teoreticheskie i prikladnye aspekty informatsionnykh tekhnologii: sb. nauch. trudov* [Theoretical and applied aspects of information technology: Coll. of sci. works]. Perm: GosNIIUMS, 2007, Issue 56, pp. 87-96. (In Russ.).
9. Falileev I.L., Malyshev G.I., Fomin S.Ya. Structuring of an optimal production program of pipe enterprise. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. Moscow: OAO "Chermetinformatsiya", 1989, no. 12, pp. 66-67. (In Russ.).
10. Fomin S.Ya. The stages of formalizing of developing procedure for organizational and technological classifier for mix pipe factory aggregation. In: *Matematicheskoe modelirovanie: Trudy MISiS*, [Mathematical modeling: Proceedings of MISiS]. Moscow: MISiS, 1990, pp. 117-124. (In Russ.).
11. Dubrov A.M. *Obrabotka statisticheskikh dannyykh metodom glavnynykh component* [Processing of statistical data by the method of principal components]. Moscow: Statistika, 1978, 124 p. (In Russ.).
12. Chernorutskii I.G. *Metody prinyatiya reshenii* [Methods of decision-making]. St. Petersburg: BKhV-Peterburg. 2005, 416 p.
13. Minieka Edward. *Optimization Algorithms for Networks and Graphs*. Marcel Dekker, New York, 1978, 356 p. (Russ.ed.: Minieka E. *Algoritmy optimizatsii na setyakh i grafakh*. Moscow: Mir, 1981, 323 p.).
14. Fomin S.Ya. Intermodule optimization method adequate to interactive operator command for computer – aided manufacturing (CAM) complex. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 5, pp. 58-65. (In Russ.).

Information about the author:

S.Ya. Fomin, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Automation Control Systems (ACS) (stan.fomin2010@yandex.ru)

Received June 28, 2015