

УДК 65.012.45

В.А. ПОПОВ, М.В. ПОПОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассматривается применение метода динамического программирования к задаче оптимального распределения средств между автоматизируемыми производственными областями предприятия. Приводится численный пример решения данной задачи для случая автоматизации двух функциональных областей авиастроительного предприятия.

динамическое программирование, информационная система, автоматизированное рабочее место, функция дохода, функция убыли, функциональная подсистема

Введение

В последнее время основным фактором конкурентоспособности авиастроительных предприятий стало удовлетворение информационных потребностей производства с помощью различных автоматизированных систем (АС) [1]. В виду значительной стоимости таких систем предприятие зачастую приобретает сразу несколько видов автоматизированных рабочих мест (АРМ) для оптимизации «узких мест» производства на протяжении всего жизненного цикла летательного аппарата [2]. Одной из важнейших задач при планировании закупки и внедрении АРМ различного функционального назначения является максимизация прибыли от вложения в проект имеющиеся средства.

На авиастроительном предприятии, включающем обслуживание всего жизненного цикла летательного аппарата, можно выделить несколько основных функциональных подсистем, требующих информационной поддержки в виде специальных средств автоматизации [3]. Данные подсистемы в зависимости от характера реализуемых в них процессов условно можно разделить на производственные и управленческие. К производственным подсистемам относятся: конструкторская подготовка производства, технологическая подготовка производства и управление технологическими процессами произ-

водства, к управленческим – подсистема управления производством и подсистема управления данными о продукции. Эффективной информационной поддержкой для перечисленных подсистем служат АС класса CAD/CAM/CAE/SCADA/ERP/PLM/PDM.

Обследование предприятия является основанием для выбора средств автоматизации, способных наиболее полно удовлетворить выявленные требования бизнес-процессов основных функциональных подсистем. Сделав свой выбор на рынке средств автоматизации, предприятие сталкивается с проблемой эффективного размещения инвестиций в целях получения наибольшей прибыли от поэтапной автоматизации своих подсистем. Сложность процессов перечисленных функциональных областей авиастроительного предприятия обуславливает необходимость вложения значительных инвестиций в их автоматизацию. В связи с этим первоочередной задачей является построение такой стратегии управления финансовыми ресурсами, которая была бы направлена на формирование оптимальной и эффективной программы автоматизации, адаптированной к работе в условиях динамично меняющейся экономической среды.

Для принятия решения о распределении финансовых средств между автоматизируемыми процессами руководство и экономические службы предприятия должны иметь некоторый количественный

критерий оценки эффективности выбора. В качестве такого критерия может выступать доход от внедрения соответствующих автоматизированных систем.

В данной работе ставится и решается задача оптимального распределения средств между несколькими функциональными областями предприятия. При этом необходимо найти объемы денежных средств, которые, будучи поэтапно вложены в закупку того или иного вида ИТ, дадут максимальный доход за весь период реализации проекта.

Обоснование метода решения задачи оптимального распределения ресурсов предприятия

Поставленная задача предполагает развитие во времени, так как на каждом этапе проекта автоматизации решение о том или ином объеме финансирования каждой функциональной области предприятия должно опираться на результат решения предыдущего этапа.

Наиболее целесообразным для решения поставленной задачи, на наш взгляд, является применение метода динамического программирования [4, 5]. Данный метод позволяет определить оптимальные пропорции финансирования автоматизируемых подсистем предприятия, при соблюдении которых проект автоматизации дает максимальный эффект. При этом метод динамического программирования предполагает разбиение имеющейся сложной задачи на ряд простых с целью поэтапного нахождения оптимального управления для каждой из них, что существенно облегчает процесс планирования.

Постановка задачи оптимизации распределения ресурсов в терминах динамического программирования

Рассмотрим постановку задачи об оптимальном распределении инвестиций между двумя проектами автоматизации. Под первым проектом будем понимать закупку и внедрение некоторого необходимого количества АРМ систем класса CAD/CAM/CAE и SCADA, автоматизирующих производственные функциональные подсистемы авиастроительного

предприятия. Под вторым проектом будем иметь в виду закупку и внедрение некоторого необходимого количества АРМ систем класса ERP и PLM/PDM, автоматизирующих управленческие подсистемы. Для удобства будем обозначать автоматизацию производственных подсистем проектом I, управленческих подсистем – проектом II.

Пусть у предприятия имеется некоторое количество средств Z_0 , которое за m шагов должно быть распределено между проектами I и II. Процесс автоматизации обоих видов подсистем требует определенного времени. Предположим, он продлится нескольких лет, тогда в качестве шага решения задачи о распределении средств целесообразно взять один хозяйственный год.

Для прогноза размера доходов, полученных от каждого проекта при их финансировании в том или ином объеме, в рассмотрение вводятся так называемые функции дохода, которые задают зависимость полученной прибыли от суммы вложенных в данный проект средств. Обычно вложение небольшого количества средств практически не дает ощутимого дохода. С увеличением суммы инвестиций доход растет, однако существует предел, с превышением которого доход больше не увеличивается, сколько бы средств не было вложено. Описанный эффект насыщения накладывает ограничения на вид функции дохода. Примером соблюдения этих ограничений являются экспоненциальные функции.

Во многих случаях определение вида функций дохода вызывает затруднения. В целом ряде исследований такого рода полезным является моделирование процессов [4]. Пусть количество средств x , вложенное в проект I, за один год приносит доход $f(x)$ и в течение этого же года частично уменьшается (тратится) до некоторого остатка, описываемого функцией траты или убыли средств $\varphi(x)$, т.е. $\varphi(x) \leq x$.

Аналогично количество средств y , вложенное в проект II, приносит за год доход $g(y)$ и уменьшается до $\varphi(y)$, т.е. $\varphi(y) \leq y$.

В конце каждого года оставшиеся средства заново распределяются между проектами. Новых средств не поступает, и в проекты автоматизации

вкладываются все оставшиеся в наличии средства. Требуется найти такой способ управления ресурсами – какие средства, в какие годы и в какие подсистемы вкладывать, – при котором суммарный доход за период в t лет обращается в максимум [5].

Применение метода динамического программирования для поставленной задачи предполагает рассмотрение проектов I и II с вложенными в них средствами в виде некоторой физической системы S , состояние которой с течением времени меняется. Процесс изменения данной системы является управляемым, т.е. на каждом i -м этапе имеется управление U_i , с помощью которого мы переводим систему из состояния S_{i-1} , достигнутого в результате $(i - 1)$ -го шага, в новое состояние S_i , которое зависит от S_{i-1} и выбранного нами управления U_i :

$$S_i = S_i(S_{i-1}, U_i). \quad (1)$$

Под влиянием управлений U_1, U_2, \dots, U_m система переходит из некоторого начального состояния S_0 в конечно $S_{кон}$. На каждом шаге i средства, вложенные в оба проекта, приносят некоторый доход w_i , который зависит от состояния системы S на предыдущем $(i - 1)$ -м шаге, а также от управления, выбранного на i -м шаге: $w_i(S_{i-1}, U_i)$. По окончании обоих проектов автоматизации получим доход, равный сумме доходов за m шагов

$$W = \sum_{i=1}^m w_i(S_{i-1}, U_i). \quad (2)$$

Доход W характеризует эффективность примененных на каждом этапе управлений U_1, U_2, \dots, U_m .

Таким образом, задача состоит в том, чтобы из множества возможных управлений U найти оптимальное управление $U^* (U_1^*, \dots, U_m^*)$, которое переводит физическую систему S из состояния S_0 в состояние $S_{кон}$ так, чтобы критерий W обратился в максимум:

$$W = \max_U \{W(U)\}. \quad (3)$$

Алгоритм решения задачи оптимального распределения ресурсов методом динамического программирования

Определим параметры, характеризующие состояние системы S на каждом шаге решения. Из

постановки задачи ясно, что перед распределением средств на i -м шаге в распоряжении проектов I и II остается некоторое количество средств с предыдущего $(i - 1)$ -го шага, обозначим их x'_{i-1} и y'_{i-1} . После распределения средств i -й шаг будет характеризоваться количествами средств x_i и y_i , вложенных в проекты I и II.

Известно также, что сумма вложений в оба проекта равна начальному запасу средств

$$x + y = Z_0, \quad (4)$$

а сумма средств, вложенных в проекты I и II, не может превосходить начальный размер средств Z_0 . Кроме того, вложенные средства должны быть неотрицательными, т.е. начальное состояние системы должно удовлетворять условиям

$$x + y \leq Z_0, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0. \quad (5)$$

Управление на i -м шаге U_i , осуществляемое при распределении средств, состоит в выборе неотрицательных значений x_i и y_i таких, что

$$x_i + y_i = x'_{i-1} + y'_{i-1}. \quad (6)$$

При этом доход, получаемый в результате такого управления, равен

$$w_i = f(x_i) + g(y_i), \quad (7)$$

а система S переходит в состояние, характеризующее остатками вложенных средств:

$$x'_i = \varphi(x_i); \quad y'_i = \psi(y_i). \quad (8)$$

Алгоритм решения задачи оптимального распределения ресурсов методом динамического программирования предполагает прохождение двух этапов.

Этап 1: Нахождение условного оптимального управления для i -го шага решения ($i = m, m-1, \dots, 1$), начиная с последнего шага и заканчивая первым. Эта особенность обусловлена тем, что планирование распределения средств на каждом шаге зависит от управлений на всех последующих шагах, а единственный шаг, на котором будущее уже не имеет значения, – последний. Найдя управление на этом шаге, можно переходить к нахождению управления на предпоследнем шаге, «пристраивая» к нему уже найденное управление последнего шага и так далее, вплоть до первого шага, который зависит от всех последующих шагов [5]. Чтобы оптимально спланировать последний m -й шаг, необходимо сделать не-

которые предположения о том, чем закончился предыдущий $(m - 1)$ -й шаг. При этом необходимо принять во внимание все возможные исходы предшествующего шага и выбрать такое управление $U_m(S_{m-1})$, которое совместно с управлением на предыдущем шаге U_{m-1} даст максимальное значение дохода W , приносимого проектами I и II.

Условное оптимальное управление на i -м шаге зависит от всех шагов, с i -го по m -й и состоит в выборе такого количества средств $x_i^*(Z_{i-1})$, при котором условный максимальный доход за все шаги, начиная с i -го, будет равен

$$W_{i,i+1,\dots,m}^*(Z_{i-1}) = \max_{0 \leq x_i \leq Z_{i-1}} \{f(x_i) + g(Z_{i-1} - x_i) + W_{i+1,\dots,m}^*(\varphi(x_i) + \psi(Z_{i-1} - x_i))\}, \quad (9)$$

где $f(x_i)$ – заданная функция дохода от вложения средств x_i в автоматизацию первой подсистемы предприятия (проект I); $g(Z_{i-1} - x_i)$ – заданная функция дохода от вложения средств $(Z_{i-1} - x_i)$ в автоматизацию второй подсистемы предприятия (проект II), $Z_{i-1} - x_i = y_i$; $\varphi(x_i)$ – количество средств, до которого уменьшился доход проекта I на i -м шаге; $\psi(Z_{i-1} - x_i)$ – количество средств, до которого уменьшился доход проекта II на i -м шаге, $Z_{i-1} - x_i = y_i$; $W_{i+1,\dots,m}^*(\varphi(x_i) + \psi(Z_{i-1} - x_i))$ – оптимальное условное управление на $(i + 1)$ -м шаге,

$$Z_i = \varphi(x_i) + \psi(Z_{i-1} - x_i) - \quad (10)$$

количество средств, оставшихся после i -го шага и подлежит перераспределению на $(i + 1)$ -м шаге;

$$W_{i+1,\dots,m}^*(\varphi(x_i) + \psi(Z_{i-1} - x_i)) = W_{i+1,\dots,m}^*(Z_i).$$

Этап 2: Нахождение численного решения задачи.

Для первого шага ($i = 1$) (9) переписывается в виде

$$W_{1,2,\dots,m}^*(Z_0) = \max_{0 \leq x_1 \leq Z_0} \{f(x_1) + g(Z_0 - x_1) + W_{2,\dots,m}^*(\varphi(x_1) + \psi(Z_0 - x_1))\}. \quad (11)$$

Подставив в это выражение значение для Z_0 , можно найти количество средств x_1^* , которое, будучи вложено в проект I, обращает функцию дохода $W_{1,2,\dots,m}^*(Z_0)$ в максимум. x_1^* представляет собой

уже не условное, а оптимальное управление на 1-м шаге. Зная x_1^* , количество средств, которое необходимо направить в проект II, может быть найдено из выражения

$$y_1^* = Z_0 - x_1^*. \quad (12)$$

После перераспределения средств на 1-м шаге система S переходит в состояние, которое характеризуется параметрами:

$$(x_1')^* = \varphi(x_1^*), \quad (y_1')^* = \psi(y_1^*). \quad (13)$$

Сумма $\varphi(x_1^*) + \psi(y_1^*)$ представляет собой количество средств, подлежащих перераспределению на 2-м шаге — Z_1 . Таким образом, подставляя численные данные в общий вид решения на каждом шаге, будет найдено окончательное решение задачи: максимальный доход за все m шагов W^* и соответствующее ему оптимальное управление $X^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$, указывающее, какое количество средств на каком этапе нужно выделять в проект I (остаток автоматически отводится на проект II).

Пример оптимального распределения средств между двумя видами автоматизируемых подсистем

Приведем пример решения задачи оптимального распределения средств авиастроительного предприятия между двумя видами автоматизируемых функциональных подсистем. Под проектом I будем снова подразумевать автоматизацию процессов производственных подсистем предприятия (конструкторская подготовка производства, технологическая подготовка производства и управление технологическими процессами производства), под проектом II – автоматизацию процессов управленческих подсистем (управление производством и управление данными о продукции). Пусть реализацию обоих проектов планируется осуществить за $m = 5$ лет.

Зададимся конкретным видом функций дохода и уменьшения средств предприятия. Пусть количество средств x , вложенное в проект I, дает за один год доход $f(x) = 0,9x^2$ и уменьшается до $\varphi(x) = 0,8x$,

а количество средств y , вложенное в проект II, дает за один год доход $g(y) = 1,6y^2$ и уменьшается до $\psi(y) = 0,5y$.

Требуется произвести распределение ресурсов Z_0 между проектами I и II на каждый год планируемого периода (5 лет).

Решение. Этап 1: Условное оптимальное управление на последнем 5-м шаге x_5^* (количество средств, вкладываемое в проект I) находится как значение x_5 , при котором достигает максимума доход на последнем шаге

$$W_5^*(Z_4) = \max_{0 \leq x_5 \leq Z_4} \{w_5(Z_4, x_5)\},$$

где $w_5(Z_4, x_5) = 0,9x_5^2 + 1,6 \cdot (Z_4 - x_5)^2$.

График функции $w_5 = w_5(Z_4, x_5)$ при заданном Z_4 в зависимости от аргумента x_5 изображается некоторой параболой. Так как вторая производная функции w_5 по x_5 положительна, эта парабола обращена выпуклостью вниз. Поэтому максимальное значение функции $W_5^*(Z_4)$ может достигаться только на границах промежутка $(0, Z_4)$. Чтобы определить, на какой именно границе, подставим в формулу $x_5 = 0$ и $x_5 = Z_4$. В первом случае получим $w_5 = 1,6Z_4^2$, во втором случае – $w_5 = 0,9Z_4^2$.

Таким образом, независимо от значения Z_4 , максимум дохода на последнем шаге достигается при $x_5 = 0$, т.е. условное оптимальное управление не зависит от Z_4 и всегда равно нулю, а это значит, что в начале последнего года все имеющиеся средства нужно вкладывать в проект II. Этот результат можно объяснить тем, что доход, приносимый проектом II, больше, а уменьшения средств не предвидится, т.к. следующего шага не будет. При таком управлении последний год принесет доход $W_5^*(Z_4) = 1,6Z_4^2$.

Рассмотрим 4-й год проекта автоматизации. Запас средств, который подлежит распределению в этом году, равен Z_3 . Таким образом, условный максимальный доход за два последних года будет равен

$$W_{4,5}^*(Z_3) = \max_{0 \leq x_4 \leq Z_3} \{0,9x_4^2 + 1,6(Z_3 - x_4)^2 + W_5^*(Z_4)\}.$$

Расписав Z_4 согласно (10):

$$Z_4 = 0,8x_4 + 0,5(Z_3 - x_4),$$

получим

$$W_{4,5}^*(Z_3) = 1,6[0,8x_4 + 0,5(Z_3 - x_4)]^2,$$

отсюда

$$W_{4,5}^*(Z_3) = \max_{0 \leq x_4 \leq Z_3} \left\{ 0,9x_4^2 + 1,6(Z_3 - x_4)^2 + 1,6[0,8x_4 + 0,5(Z_3 - x_4)]^2 \right\}.$$

График выражения в фигурных скобках снова представляет собой параболу с выпуклостью вниз, поэтому на максимум необходимо исследовать только крайние точки интервала

$$x_4 = 0 \text{ и } x_4 = Z_3.$$

В первом случае получим

$$W_{4,5} = 1,6Z_3^2 + 1,6(0,5Z_3)^2 = 2Z_3^2,$$

во втором случае

$$W_{4,5} = 0,9Z_3^2 + 1,6(0,8Z_3)^2 = 1,924Z_3^2.$$

Так как максимум снова достигается при $x_4 = 0$ и равен $W_{4,5}(Z_3) = 2Z_3^2$, то на предпоследнем шаге все средства также необходимо вкладывать в проект II.

Рассмотрим 3-й год проекта автоматизации. Здесь необходимо максимизировать полином второй степени

$$W_{3,4,5}(Z_2) = 0,9x_3^2 + 1,6(Z_2 - x_3)^2 + 2[0,8x_3 + 0,5(Z_2 - x_3)]^2.$$

Соответствующая парабола (как и на любом из шагов) будет снова обращена выпуклостью вниз. Но на этот раз максимум будет достигаться на правой границе участка. Действительно, при $x_3 = 0$:

$$W_{3,4,5} = 1,6Z_2^2 + 2(0,5Z_2)^2 = 2,1Z_2^2,$$

а при $x_3 = Z_2$:

$$W_{3,4,5} = 0,8Z_2^2 + 1,856(0,6Z_2)^2 = 2,18Z_2^2.$$

Таким образом, на этом шаге оптимальное управление состоит в том, чтобы все имеющиеся средства вкладывать в проект I:

$$x_3^2(Z_2) = Z_2,$$

при этом условный максимальный доход будет равен

$$W_{3,4,5}(Z_2) = 2,18Z_2^2.$$

На всех следующих этапах максимум всегда будет достигаться на правом конце отрезка.

Действительно, для $i < m - 2$ функция $W_{i,i+1,\dots,m}$ будет иметь вид

$$W_{i,i+1,\dots,m} = 0,9x_i^2 + 1,6(Z_{i-1} - x_i)^2 + C[0,8x_i + 0,5(Z_{i-1} - x_i)]^2,$$

где коэффициент C будет больше, чем 2,18, так как с каждым шагом он только увеличивается. Поэтому оптимальным условным управлением до самого первого шага (включительно) останется

$$x_i^*(Z_{i-1}) = Z_{i-1}, \quad (i = m - 2, m - 3, \dots, 1),$$

а условный максимальный доход за все шаги, начиная с i -го, будет равен

$$W_{i,i+1,\dots,m}^*(Z_{i-1}) = 0,9Z_{i-1}^2 + W_{i+1,\dots,m}^*(0,8Z_{i-1}).$$

Таким образом, оптимальный процесс управления средствами при заданных исходных данных состоит в распределении средств следующем образом (табл. 1):

Таблица 1

Распределение средств между проектами автоматизации

Год	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Проект I	Z_0	$0,8Z_0$	$0,64 Z_0$	0	0
Проект II	0	0	0	$0,51 Z_0$	$0,256 Z_0$

Остаток средств предприятия в конце 5-го года составит $0,13Z_0$, максимальный доход за пять лет – $2,37Z_0$.

Полученный результат означает, что в первую очередь все выделенные средства предприятия направляются на автоматизацию процессов конструкторско-технологической подготовки производства и управления технологическими производственными процессами. Автоматизацию производственных подсистем планируется завершить к концу 3-го года проекта, а затем перейти к проекту автоматизации управления предприятием и данными о продукции, на который отводится два последних года

проекта. Данный результат естественным образом отражает логику последовательности автоматизации процессов производства и управления (управление не может быть автоматизировано раньше производства, т.к. управлять еще нечем), и говорит о том, что функции дохода и уменьшения средств для соответствующих подсистем выбраны адекватно.

В рассмотренном примере оптимальное управление состояло в том, чтобы на каждом шаге вкладывать все средства либо в одну, либо в другую отрасль. В случае изменения вида функций $f(x)$ и $g(y)$, каждый этап решения задачи будет характеризоваться необходимостью вложения доли средств в оба проекта [5].

Варианты изменения постановки задачи оптимального распределения средств

Рассмотренная на примере постановка задачи представляет собой классический вариант задачи о распределении ресурсов, решаемой методом динамического программирования. Она может быть видоизменена с учетом различных требований.

Одним из таких требований может быть неоднородность доходов и убыли средств в проектах I и II на различных этапах автоматизации: средства x и y , вложенные в проекты I и II, дают на i -м шаге доход $f_i(x)$, $g_i(y)$ и уменьшаются до $\varphi_i(x) \leq x$, $\psi_i(y) \leq y$.

Такие изменения в постановке задачи несущественно влияют на алгоритм ее решения. Так как задача оптимизации управления решается по этапам, то совершенно неважно, одинаковы ли функции $f_i(x)$, $g_i(y)$, $\varphi_i(x)$, $\psi_i(x)$ на разных этапах или различны [5].

Постановка задачи о распределении ресурсов может также быть изменена для ситуации, когда средства предприятия распределяются не между двумя, а между k проектами:

$$I, II, \dots, (k),$$

причем для каждого j -го проекта заданы: функция дохода, выражающая доход, получаемый при вло-

жении средств x , в j -й проект на i -м шаге, и функция уменьшения средств, показывающая, до какой величины убывает количество средств x , вложенное в j -й проект на i -м шаге. Такая постановка задачи может быть обусловлена необходимостью оптимального распределения средств между проектами автоматизации пяти перечисленных выше функциональных подсистем авиастроительного предприятия.

Решение такого рода задач усложняется по сравнению с простейшим вариантом тем, что приходится находить максимум функции дохода, зависящей не от двух, а от $(k - 1)$ переменных. Для этого требуется применение специального программного обеспечения.

Возможен также и такой вариант постановки задачи распределения ресурсов, при котором доход от предыдущего этапа может (полностью или частично) вкладываться в проект автоматизации на следующем этапе вместе с остатком от начальных капиталовложений. Данная постановка предусматривает несколько разновидностей. Например, в проект автоматизации можно вкладывать весь доход или только некоторую его долю. Можно искать управление, которое обеспечивает максимальный суммарный чистый доход, приносимый проектами на всех m этапах. Можно искать и такое управление, которое обращает в максимум общую сумму средств (включая и доход, и сохранившиеся начальные капиталовложения) после m этапов.

Заключение

Информационная поддержка процессов производства и управления авиастроительного предприятия требует значительных финансовых затрат на закупку и внедрение автоматизированных систем класса CAD/CAM/CAE/SCADA/ERP/PLM/PDM. Поэтому при построении ИС авиастроительного предприятия оптимизация расходов является особенно актуальной. Проект комплексной автоматизации предприятия зачастую растягивается на несколько лет, поэтому возникает задача поиска опти-

мальной стратегии управления инвестиционными средствами при необходимости распределения средств между несколькими функциональными подсистемами предприятия.

Рассмотрев общую постановку задачи об оптимальном распределении ресурсов, можно сделать вывод о том, что применение метода динамического программирования для решения описанной задачи позволит предприятию повысить эффективность своих инвестиций. Возможность находить решение для различных видоизменений классической постановки задачи оптимального распределения ресурсов с учетом требований реалий предприятия делает применение данного метода еще более привлекательным.

Литература

1. Попов В.А., Котляров А.В. Создание ИУС проектирования производства: Уч. пос. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2004. – 104 с.
2. Линцер Л.А. Создание корпоративной информационной системы крупного предприятия. Ч. I. Проблемы и решения // ORACLE magazine. – 2003. – № 1. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.lanit.ru/oraclemagazine3_01_03.html (12.06.05).
3. Доброскок И.А., Корякин Л.А., Макаров Д.А., Станкевич А.М. Логистическая поддержка жизненного цикла изделия в системах корпоративного управления // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2004. – № 1. – С. 31 – 37.
4. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
5. Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования. – М.: Наука, 1964. – 176 с.

Поступила в редакцию 25.07.2005

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Е.А. Дружинин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.