

УДК 65.012.45

В.А. ПОПОВ, А.С. КОРЕНЕЦ

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

## ПОДХОД К РАСПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСОВ ВО ВРЕМЕНИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Предлагается подход к обоснованию состава и очередности внедрения информационной управляющей системы (ИУС), включающий использование методов целеполагания, функционально-стоимостного анализа для определения «узких мест» - нерационально выполняемых функций, подлежащих автоматизации, метода анализа иерархий для выбора информационной поддержки, максимально соответствующей требованиям выделенных функций, и динамического программирования, с помощью которого решается задача распределения финансовых ресурсов между основными направлениями автоматизации (CAD/CAM/CAE, SCADA и ERP системы). Приводится пример решения задачи распределения ресурсов для трёх проектов.

**Ключевые слова:** компьютерная система, системный анализ, функционально-стоимостной анализ, метод анализа иерархий, динамическое программирование, задача распределения ресурсов.

### Введение

Автоматизация процессов управления на основе применения электронно-вычислительной техники и перехода к автоматизированным системам управления является одним из важнейших путей совершенствования управления [1]. Однако, внедрение вычислительной техники связано с большими капитальными вложениями и затратами на проведение проектных работ. Для аналитического проектирования информационных управляющих систем в настоящее время используется комплекс различных методов. От адекватности выбранных методов зависит эффективность функционирования проектируемой ИУС. Несмотря на это, развитие методических подходов к решению системных задач идет по пути широкого использования эвристических приёмов и методов создания интеллектуальных средств поддержки решений на основе систематизации, обобщения и накопления знаний и опыта разработчиков. В данной статье предлагается методика проведения анализа предприятия с целью обоснования как состава, так и очередности внедрения элементов компьютерной системы, позволяющая формализовать процесс принятия решения о внедрении информационных технологий.

### 1. Обобщенная схема методики анализа предприятия для обоснования его компьютерной системы

Предлагается структура обобщенной методики, которая отражает последовательность основных процедур решения данной задачи (рис. 1).

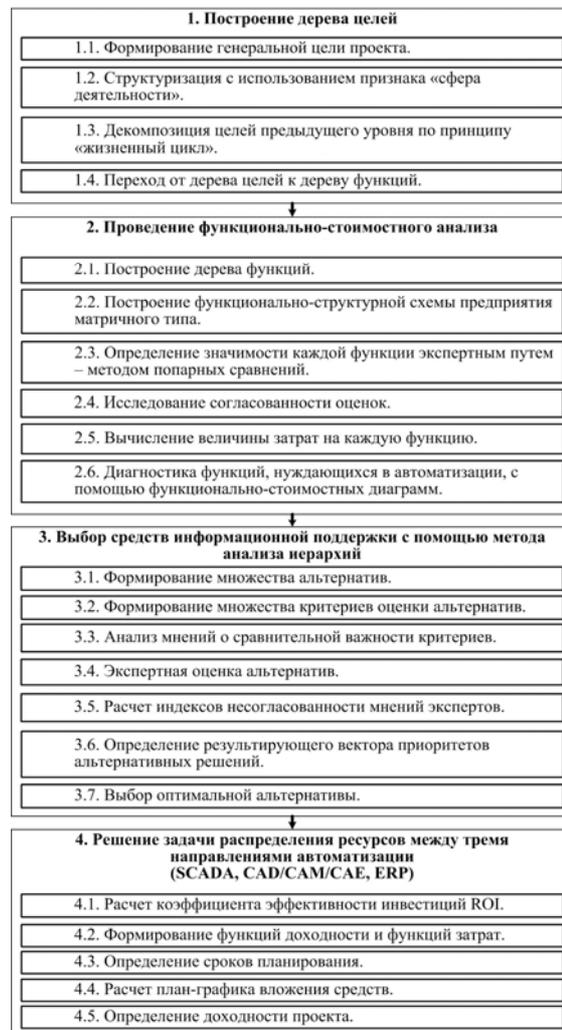


Рис. 1. Методика проведения анализа предприятия с целью обоснования его компьютерной системы

## 2. Определение целей проекта

Процесс обоснования оптимальной структуры компьютерной системы предприятия традиционно начинают с определения целей проекта. В соответствии с принципами структурно-целевого анализа будем представлять цели построения (модификации) ИУС путём задания дерева целей ориентированным графом, не имеющим петель и циклов [2, 3].

Приведем пример построения дерева целей для мелкосерийного приборостроительного предприятия (рис. 2). В данном дереве целей  $\text{Ц}_0$  – совершенствование системы управления предприятием,  $\text{Ц}_1$  – управление производственным процессом предприятия,  $\text{Ц}_2$  – организационное управление предприятием,  $\text{Ц}_{11}$  – совершенствование конструкторской подготовки производства,  $\text{Ц}_{12}$  – совершенствование технологической подготовки производства,  $\text{Ц}_{13}$  – совершенствование производственных процессов,  $\text{Ц}_{14}$  – совершенствование контроля,  $\text{Ц}_{21}$  – совершенствование прогнозирования,  $\text{Ц}_{22}$  – совершенствование планирования,  $\text{Ц}_{23}$  – совершенствование контроля и учёта,  $\text{Ц}_{24}$  – совершенствование регулирования.

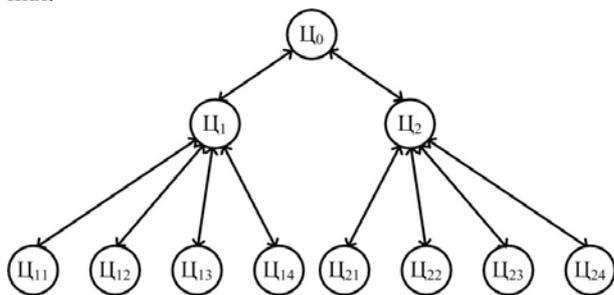


Рис. 2. Дерево целей приборостроительного предприятия

## 3. Функционально-стоимостной анализ предприятия

При выделении функций, требующих дополнительной информационной поддержки, будем использовать функционально-стоимостной анализ (ФСА) [4], который представляет собой один из наиболее результативных методов рационализации деятельности по совершенствованию различных объектов.

На первом этапе собирается и обрабатывается необходимая исходная информация, характеризующая деятельность предприятия.

На аналитическом этапе формулируются и классифицируются функции предприятия, а также строится функциональная схема предприятия — дерево функций. Функции разделяем на главные (ГФ), основные (ОФ), второстепенные (ВФ) и вспомогательные (ВсФ). Преемственность с предыду-

щим этапом состоит в том, что главные функции являются средствами достижения целей 3-го порядка ( $\text{Ц}_{11}$  –  $\text{Ц}_{24}$ ), в след за которыми дерево целей перерастает в дерево функций.

Далее строится функционально-структурная схема матричного типа, содержащая информацию об исполнителях всех выявленных функций.

На следующем этапе проводится определение значимости (важности) каждой функции экспертным путем. Оценка значимости производится методом парных сравнений: если функция в строке важнее, чем функция в столбце, то в соответствующую клетку на пересечении строки ставится цифра «2», если функции равны по важности – то «1», если более важна функция в столбце – то «0». Функции ранжируем по количеству набранных по строкам баллов. Затем, путём деления количества баллов по каждой функции на сумму баллов по всем функциям, определяем их относительную значимость.

После определения значимости функций проводится вычисление величины затрат на каждую функцию:

$$3\Phi_i = \sum_{j=1}^n (3\Pi_{ij} \cdot \frac{T_{ij}}{T_j}), \quad (1)$$

где  $3\Phi_i$  – затраты на выполнение  $i$ -й функции,  $i$  – порядковый номер функции,  $j$  – порядковый номер исполнителя, выполняющего  $i$ -ю функцию,  $3\Pi_{ij}$  – заработная плата  $j$ -го исполнителя, участвующего в выполнении  $i$ -й функции,  $T_j$  – годовой фонд времени  $j$ -го исполнителя,  $T_{ij}$  – рабочее время, затрачиваемое  $j$ -м исполнителем на выполнение  $i$ -й функции.

Полученные с использованием формулы (1) величины затрат переводим в относительный вид и сравниваем с относительной значимостью функции. Нормальным является положение, когда относительная значимость каждой функции и относительная величина затрат на её выполнение совпадают. Превышение затрат над значимостью определяет затраты как излишние и неоправданные. Для проведения такого анализа наиболее удобным и наглядным средством являются функционально-стоимостные диаграммы. Полученные результаты могут играть роль критерия необходимости и эффективности мероприятий по автоматизации.

## 4. Выбор средств информационной поддержки

Рассмотрим выбор программной поддержки выбранных функций как многокритериальную задачу оптимизации в нечёткой постановке (с нечётко выраженными критериями и альтернативами) [5]. В качестве методов решения будем использовать метод анализа иерархий.

Суммы средств, направленных на закупку набора программ, должны обеспечивать максимальное выполнение поставленных на предыдущем этапе задач. Поиск будет вестись по направлениям, соответствующим наиболее важным классам информационной поддержки (CAD/CAM/CAE, ERP и SCADA).

1. Определим степень важности оценочных критериев. Критерии должны представлять собой как общие требования к качеству ПО, изложенные в стандарте ISO/IEC 9126 (надежность, переносимость, интегрируемость, безопасность, продуктивность и т.д.), так и специфичные для данного класса ИТ-продуктов (например, возможность 2D- и 3D-моделирования для систем CAD/CAM/CAE). Для определения степени важности критериев составим матрицу парных сравнений критериев между собой с использованием шкалы от 1 до 9 по их влиянию на решение исследуемой проблемы.

2. Определим относительную важность (степень участия) программных пакетов в решении требований, представленных оценочными критериями.

3. Определим результирующий вектор приоритетов программных пакетов. Найдём оптимальное распределение ресурсов и уровень эффективности их использования, решая задачу линейного программирования с целевой функцией  $Z(x, \omega)$ , основ-

ным ограничением  $\sum_{i=1}^n x_i = 1$  и  $n$  ограничениями на диапазон изменения искомым переменных, где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – значения средств, представленные в относительных единицах (долях от бюджета компании).

### 5. Постановка и решение задачи динамического программирования

Задача о распределении ресурсов [6] допускает случай, когда средства распределяются не между двумя, а между  $k$  проектами, причём для каждого  $j$ -го проекта ( $j=1..k$ ) заданы функции доходности  $f_j(x^j)$  и затрат  $\varphi_j(x^j)$ , а также период планирования –  $m$  лет. Тогда максимальный суммарный доход на шаге  $m$  составит  $W_m^* = \max(\sum f_j(x_m^j))$ , а запас средств, подлежащих распределению на шаге  $m$ , –  $Z_{m-1} = \sum x_m^j$ . На последующих шагах

$$W_{m-1}^* = \max_{0 \leq x^j \leq Z_{m-1}} (\sum f_j(x_{m-1}^j) + W_m^*),$$

причём

$$Z_{m-1} = \sum \varphi_j(x_{m-1}^j), \quad Z_{m-2} = \sum x_{m-1}^j.$$

Таким образом, необходимо найти максимальное значение функции  $j$  переменных на участке

$(0..Z_{m-1})$ . Данный максимум может достигаться либо в точке экстремума в середине участка, либо на границах. Сложность состоит в том, что уже для трёхмерной задачи границами участков являются функции, а не точки.

Трёхмерная задача сводится к нахождению максимума поверхности, ограниченной призмой

$$x_m^1 = 0, \quad x_m^2 = 0, \quad x_m^1 + x_m^2 = Z_{m-1}.$$

При этом  $Z_{m-1} = \sum x_m^j$ , следовательно,

$$x_m^3 = Z_{m-1} - (x_m^1 + x_m^2).$$

В этом случае для решения необходимо:

- исследовать на экстремум-максимум саму поверхность

$$W = f_1(x_m^1) + f_2(x_m^2) + f_3(Z_{m-1} - x_m^1 - x_m^2)$$

на участке

$$x_m^1 \in (0..Z_{m-1}), \quad x_m^2 \in (0..Z_{m-1});$$

- найти значения  $W$  в трех граничных точках:

$$(x_m^1 = 0, \quad x_m^2 = 0), \quad (x_m^1 = 0, \quad x_m^2 = Z_{m-1}) \text{ и}$$

$$(x_m^1 = Z_{m-1}, \quad x_m^2 = 0);$$

- исследовать на экстремум-максимум граничные линии (линии пересечения поверхности с гранями призмы):

$$W_{x^1=0} = f_2(x_m^2) + f_3(Z_{m-1} - x_m^2),$$

$$W_{x^2=0} = f_1(x_m^1) + f_3(Z_{m-1} - x_m^1);$$

$$W_{x_m^1+x_m^2=Z_{m-1}} = f_1(x_m^1) + f_2(Z_{m-1} - x_m^1) + f_3(0).$$

Решением будет максимальное значение  $W$  из полученных и те значения  $x_m^1, x_m^2$ , которые этот максимум обеспечивают.

При этом  $W$  будет являться функцией только от  $Z_{m-1}$ , значения же  $x_m^1, x_m^2$  будут фиксированы.

Переход на следующий шаг осуществляется традиционным способом, с той лишь разницей, что сохраняются две, а не одна переменная  $x$ .

Приведём пример расчёта распределения ресурсов по трем инвестиционным проектам внедрения информационной поддержки функций предприятия системами классов CAD/CAM/CAE (I), ERP(II) и SCADA(III). Функции доходности имеют квадратичный вид  $Ax^2$ , функции затрат – линейны –  $ax$ .

Коэффициенты  $A$  будем находить как эффективность вложений (ROI) – количественный показатель, характеризующий финансовую выгоду ИТ-проекта. Он рассчитывается как отношение дисконтированных поступлений, ожидаемых от внедрения данной ИС, к начальной стоимости инвестиций.

Пусть для проекта I функция доходности составит  $f_1(x_1)=2x^2$ , а функция затрат  $\varphi_1(x_1)=0,75x$ , для проекта II –  $f_2(x_2)=x^2$  и  $\varphi_2(x_2)=0,9x$  соответственно и для проекта III  $f_3(x_3)=3x^2$  и  $\varphi_3(x_3)=0,5x$ . Период планирования – 7 лет. На любом шаге на максимум будет исследоваться вогнутый вниз параболоид, поэтому максимумы нужно искать только в граничных точках.

На последнем шаге необходимо найти

$$W_i^*(Z_{i-1}) = \max_{0 \leq \sum x_j \leq Z_{i-1}} (w_i).$$

Подставляем значения функций доходности:

$$w_7 = 2x_1^2 + x_2^2 + 3(Z_6 - (x_1 + x_2))^2.$$

Преобразовав, получаем

$$w_7 = 5x_1^2 + 4x_2^2 + 6x_1x_2 - 6Z_6x_1 - 6Z_6x_2 + 3Z_6^2.$$

Находим величину дохода в граничных точках:

$$x_1 = x_2 = 0 : w_7 = 3Z_6^2;$$

$$x_1 = 0, x_2 = Z_6 : w_7 = 4Z_6^2 - 6Z_6^2 + 3Z_6^2 = Z_6^2;$$

$$x_1 = Z_6, x_2 = 0 : w_7 = 5Z_6^2 - 6Z_6^2 + 3Z_6^2 = 2Z_6^2.$$

Очевидно, что максимум будет достигаться в точке  $x_1 = x_2 = 0, x_3 = Z_6$ , тогда  $W_7^*(Z_6) = 3Z_6^2$ .

6-й шаг.

Необходимо максимизировать функцию

$$w_6 = 5,19x_1^2 + 4,48x_2^2 + 6,6x_1x_2 - 5,25Z_5x_1 - 4,8Z_5x_2 + 3,75Z_5^2.$$

Доход в граничных точках составит:

$$x_1 = x_2 = 0 : w_6 = 3,75Z_5^2;$$

$$x_1 = 0, x_2 = Z_5:$$

$$w_6 = 4,48Z_5^2 - 4,8Z_5^2 + 3,75Z_5^2 = 3,43Z_5^2;$$

$$x_1 = Z_5, x_2 = 0:$$

$$w_6 = 5,19Z_5^2 - 5,25Z_5^2 + 3,75Z_5^2 = 3,69Z_5^2.$$

Максимум будет достигаться в точке  $x_1 = x_2 = 0, x_3 = Z_5$ , значит,  $W_6^*(Z_5) = 3,75Z_5^2$ .

5-й шаг.

Необходимо максимизировать функцию

$$w_5 = 5,23x_1^2 + 4,6x_2^2 + 6,75x_1x_2 - 5,06Z_4x_1 - 4,5Z_4x_2 + 3,94Z_4^2.$$

Рассчитаем доход в граничных точках:

$$x_1 = x_2 = 0 : w_5 = 3,94Z_4^2;$$

$$x_1 = 0, x_2 = Z_4:$$

$$w_5 = 4,6Z_4^2 - 4,5Z_4^2 + 3,94Z_4^2 = 4,04Z_4^2;$$

$$x_1 = Z_4, x_2 = 0:$$

$$w_5 = 5,23Z_4^2 - 5,06Z_4^2 + 3,94Z_4^2 = 4,11Z_4^2.$$

Максимум будет достигаться в точке  $x_1 = Z_4, x_2 = 0, x_3 = 0$  и  $W_5^*(Z_4) = 4,11Z_4^2$ .

4-й шаг.

Необходимо максимизировать функцию

$$w_4 = 5,26x_1^2 + 4,65x_2^2 + 6,82x_1x_2 - 4,97Z_3x_1 - 4,36Z_3x_2 + 4,03Z_3^2.$$

Величина дохода в граничных точках:

$$x_1 = x_2 = 0 : w_4 = 4,03Z_3^2;$$

$$x_1 = 0, x_2 = Z_3:$$

$$w_4 = 4,65Z_3^2 - 4,35Z_3^2 + 4,03Z_3^2 = 4,33Z_3^2;$$

$$x_1 = Z_3, x_2 = 0:$$

$$w_4 = 5,26Z_3^2 - 4,97Z_3^2 + 4,03Z_3^2 = 4,31Z_3^2.$$

Максимум будет достигаться в точке

$$x_1 = 0, x_2 = Z_3, x_3 = 0, \text{ то есть, } W_4^*(Z_3) = 4,33Z_3^2.$$

На следующих шагах максимум всегда будет достигаться при вложении всех средств в проект III.

Получаем, что на шагах с 1-го по 4-й все средства следует вкладывать в проект II, на 5-ом шаге все средства следует вкладывать в проект III, на шагах 6 и 7 все средства следует вкладывать в проект I. Уменьшение объемов первоначальных средств по годам приводится в таблице 1.

Таблица 1

Уменьшение объемов первоначальных средств

Годы	Проект	Остаток средств на конец года
1	II	0,9 Z <sub>0</sub>
2	II	0,81 Z <sub>0</sub>
3	II	0,73 Z <sub>0</sub>
4	II	0,66 Z <sub>0</sub>
5	III	0,33 Z <sub>0</sub>
6	I	0,25 Z <sub>0</sub>
7	I	0,18 Z <sub>0</sub>

Прибыль составит 2,94 Z<sub>0</sub> (Z<sub>0</sub> – исходный запас средств).

Таким образом, составлен план вложения средств в программные пакеты классов ERP, CAD/CAM/CAE и SCADA, выбранные на предыдущем шаге, при условии максимизации прибыли.

### Заключение

Предлагается подход к решению задачи обоснования состава и очередности внедрения отдельных частей информационной системы, который предполагает этапы целеполагания, функционально-стоимостного анализа «узких мест», выбора наиболее рациональных информационных технологий. Приводится пример распределения ресурсов для трёх проектов автоматизации на 7 лет.

## Литература

1. Попов В.А. Алгоритм построения информационной поддержки промышленного предприятия / В.А. Попов, М.В. Попова // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2005. – № 4. – С. 53-62.
2. Лукьянова Л.М. Логические проблемы системного анализа организационно-технических комплексов и основные направления их решения / Л.М. Лукьянова // *Кибернетика и системный анализ*. – 2006. – № 3. – С. 140-147.
3. Системный анализ в экономике и организации производства: Учебник для студентов, обучающихся по специальности «Экономическая информатика и АСУ» / С.А. Валугев, В.Н. Волкова, А.П. Градов и др.; под общ. ред. С.А. Валугева, В.Н. Волковой. – Львов: Политехника, 1991. – 398 с.
4. Моисеева Н.К. Функционально-стоимостной анализ в машиностроении / Н.К. Моисеева – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
5. Федоров Ю.В. Решение многокритериальной задачи оптимизации в нечёткой постановке / Ю.В. Федоров // *Информационные технологии*. – 2005. – № 7. – С. 55-60.
6. Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 176 с.

Поступила в редакцию 23.08.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ПІДХІД ДО РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ В ЧАСІ ПРИ УПРОВАДЖЕННІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

*В.О. Попов, А.С. Корінець*

Пропонується підхід до обґрунтування складу і черговості упровадження інформаційної управляючої системи (IUC), який включає використання методів цілеполягання, функціонально-вартісного аналізу для визначення «вузьких місць» - нерационально виконуваних функцій, що підлягають автоматизації, методу аналізу ієрархій для вибору інформаційної підтримки, максимально відповідної вимогам виділених функцій, і динамічного програмування, за допомогою якого розв'язується задача розподілу фінансових ресурсів між основними напрямками автоматизації (CAD/CAM/CAE, SCADA і ERP системи). Наводиться приклад рішення задачі розподілу ресурсів для трьох проектів.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, системний аналіз, функціонально-вартісний аналіз, метод аналізу ієрархій, динамічне програмування, задача розподілу ресурсів.

## THE APPROACH TO ALLOCATION OF RESOURCES IN TIME AT INTRODUCTION OF INFORMATION TECHNOLOGIES AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

*V.A. Popov, A.S. Korinets*

The approach to a substantiation of structure and sequence of introduction of the information control system (ICS), including use of methods of primary purpose setting, functional-cost analysis for the definition of «bottle-necks» - irrationally carried out functions which are subject to automation, method of analysis of hierarchies for the choice of the information support as much as possible corresponding to requirements of the selected functions, and dynamic programming, by which problem of allocation of financial resources between the basic directions of automation (CAD/CAM/CAE, SCADA and ERP systems). The example of the decision of a resource allocation problem for three projects is resulted.

**Key words:** computer system, systems analysis, functional-cost analysis, method of analysis of hierarchies, dynamic programming, resource allocation problem.

**Попов Вячеслав Алексеевич** – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных управляющих систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Корінець Анна Сергеевна** – студентка 5 курса факультета систем управления летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Fletcher-86@mail.ru.