

УДК 629.7

В.А. ПОПОВ, А.В. ЕЛИЗЕВА

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

## АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ

*Рассматривается проблема формализованного представления производственного предприятия на основе теории системного подхода для определения возможных решений локальных задач. Разработку системной модели предлагается проводить на основе теоретико-множественной декомпозиции, позволяющей выделить уровни управления предприятием. Особое внимание уделяется задаче обоснования архитектуры интегрированной информационной системы (ИИС), которое выполняется по результатам проведенного системного анализа, что позволяет разделить компоненты системы управления и производственной системы предприятия на функциональную и обеспечивающую части и определить требования к функциональным возможностям ИИС.*

**Ключевые слова:** системный подход, системная модель, система управления и производственная система предприятия, интегрированная информационная система, теория множеств, теория принятия решений.

### Введение

Выбор эффективных методов и моделей анализа производственных и технологических процессов (ПП и ТП) является актуальным, поскольку в производственной системе формируется качество выпускаемой продукции [1 – 3]. Обеспечение качества ПП и ТП осуществляется на основании контроля производственной документации и показателей качества изготовленной продукции.

Внедрение интегрированных систем управления предприятием (системы автоматизированного проектирования CAD/CAM/CAE, управления инженерными данными PDM и управления ресурсами предприятия ERP) способствует качественному улучшению процессов управленческого планирования и контроля деятельности со стороны руководства, а также позволяет составить должное представление о результатах деятельности предприятия [3, 4]. Из вышесказанного следует актуальность задачи обоснования средств информационной поддержки, что целесообразно осуществлять на основе системного анализа всего предприятия в целом.

### Постановка задачи

Развитие научного знания и его приложений к практической деятельности привело к возрастающей дифференциации научных и прикладных направлений, наиболее конструктивным из которых является системный анализ (СА) [1]. Применение СА при выборе средств информационной поддержки позво-

ляет создавать образ схемы ИИС на основе образа рассматриваемого предприятия.

В данной работе проводится исследование производственного предприятия и формируется его системная модель в теоретико-множественных терминах, что является общим представлением объектов различной природы [5]. Системную модель целесообразно выполнять на основе теоретико-множественной декомпозиции, что позволяет выделить уровни управления предприятием, изучить систему на различных этапах детализации и представить ее структуру, провести параметрическую декомпозицию [6], позволяющую выявлять взаимосвязи между параметрами системы и определять эффективность ее функционирования. Данная системная модель дает возможность получить полное представление о системе и благодаря большому количеству возможных операций над компонентами подробно описать ее структуру. Кроме того, такое представление позволяет выделить функциональную и обеспечивающую части системы управления и производственной системы, что определяет совокупность функциональных возможностей интегрированной информационной системы.

Необходимость внедрения ИИС на производственных предприятиях обусловлена многообразием товарно-материальных и финансовых потоков, различными видами деятельности и характером производственных процессов.

Выбор программных продуктов по основным направлениям компьютеризации и информатизации деятельности предприятия [7, 8] производится с по-

мощью метода анализа иерархий (МАИ), позволяющего выделить наиболее предпочтительный вариант из множества альтернатив [9].

## 1. Системная модель представления предметной области

### 1.1. Алгебраическая структура системной модели

Сложная производственная система определяется как алгебраическая структура, заданная следующим образом [1, 5, 6]:

$$G = \langle M, \Sigma \rangle,$$

где  $M$  – непустое основное множество, или основа;  
 $\Sigma$  – сигнатура.

Пусть  $M = \{M_1, \dots, M_n\}$  – множество основ и  $\Sigma = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}$  – совокупность операций, которые могут выполняться над компонентами  $M$ , то  $\langle M, \Sigma \rangle$  – многоосновная алгебра [6]. В свою очередь, множество  $M$  состоит из подмножеств  $\Pi$  и  $S$ :

$$M = \langle \Pi, S \rangle,$$

где  $\Pi$  – типовое промышленное предприятие, представленное множеством его частей с точки зрения видов деятельности и производственной структуры;

$S$  – внешняя среда как множество частей, влияющих на предприятие (например, поставщики, потребители и т.д.).

Представленная алгебраическая структура как системная модель предметной области в дальнейшем может быть дополнена с помощью декомпозиции ее составных частей на менее крупные части, что дает возможность описать более подробно предметную область.

Разработку системной модели предприятия предлагается проводить на основе декомпозиции и параметризации предметной области, которая благодаря большому количеству возможных операций над компонентами суперсистемы позволяет достаточно подробно описать структуру предметной области [1]. Предложенная модель системы может быть использована на любом уровне детализации, т.к. для более полного описания необходимо одновременное использование нескольких уровней детализации.

### 1.2. Теоретико-множественное представление предприятия как суперсистемы

Производственное предприятие можно рассматривать как суперсистему, теоретико-множественное представление которой дает возможность формулировать задачи синтеза и выбора наиболее предпочтительной альтернативы из заданного множества.

Производственное предприятие может быть представлено в виде набора основных его компонентов [7, 8]:

$$\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n),$$

где  $\Pi_i \in \Pi$ ,  $i = \overline{1, n}$  – составляющая предприятия, которая в дальнейшем также может быть декомпозирована. С точки зрения видов деятельности составляющими предприятия являются основное производство, финансовая и маркетинговая деятельность.

Внешнюю среду предприятия можно охарактеризовать как совокупность составляющих, прямо или косвенно влияющих на его деятельность [7]. Теоретико-множественное представление внешней среды, каждая составляющая которой при необходимости в дальнейшем может быть декомпозирована, имеет вид [7]:

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_m),$$

где  $S_j \in S$ ,  $j = \overline{1, m}$  – составляющая внешней среды (например, поставщики, конкуренты, правительственные учреждения и т.д.) [7].

С другой точки зрения предприятие можно рассматривать в виде объединения системы управления (СУ) и производственной системы (ПС), или управляемой системы (УС). Это дает возможность выявить взаимосвязь моделей и оценить эффективность функционирования системы [1]. Разделение элементов СУ и ПС на функциональную и обеспечивающую (различные виды ресурсов для реализации функций подсистем) части позволяет выделить функции, для поддержки которых создается интегрированная информационная система.

В свою очередь, СУ можно определить как множество функций и обеспечивающих ресурсов [1]:

$$СУ = (A, B),$$

где  $A$  – множество функций СУ (функциональная часть СУ);

$B$  – множество ресурсов СУ (техническое, информационное, материальное и кадровое обеспечение).

Аналогично УС может быть представлена следующим образом:

$$УС = (C, D),$$

где  $C$  – множество функций УС;

$D$  – множество ресурсов УС.

Таким образом, предприятие может быть представлено в виде множества функций и ресурсных частей СУ и УС:

$$\Pi = (A, B, C, D).$$

При рассмотрении кадрового обеспечения (множества исполнителей) возникает несимметрич-

ная задача о назначении, т.е. одна функция может выполняться несколькими исполнителями, и один исполнитель может выполнять несколько функций.

### 1.3. Параметрическое представление суперсистемы

Совместное рассмотрение параметров предприятия и внешней среды позволяет определить параметры суперсистемы в целом, а также выявить эффективность их взаимодействия.

Параметрическое представление предприятия как суперсистемы позволяет выделить основные взаимосвязи между ее параметрами на разных уровнях детализации, а также оценить эффективность ее функционирования [6]. Такое представление имеет вид:

$$\bar{G} = \langle \bar{\pi}, \bar{\zeta}, \varphi(\bar{\pi}, \bar{\zeta}) \rangle,$$

где  $\bar{G}$  – набор экономических характеристик промышленного предприятия с учетом внешней среды; например, средняя стоимость основных производственных фондов, средняя сумма оборотных средств и т.д. [8];

$\bar{\pi}_i \in \bar{\pi}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – параметры предприятия без учета внешней среды; например, фондоемкость, средний запас товаров и т.д. [8];

$\bar{\zeta}_j \in \bar{\zeta}$  ( $j = \overline{1, m}$ ) – параметры внешней среды; например, объем поставляемых материалов и комплектующих, сроки и цена их доставки и т.д. [7];

$\varphi(\bar{\pi}, \bar{\zeta})$  – функциональная зависимость между параметрами предприятия и внешней среды.

Пусть  $\bar{\pi}_1$  – количество израсходованного сырья,  $\bar{\zeta}_1$  – цена сырья за единицу, тогда функциональная зависимость параметров суперсистемы определяется как [8]:

$$\varphi(\bar{\pi}_1, \bar{\zeta}_1) = \bar{\pi}_1 \bar{\zeta}_1,$$

где видно отображение влияния внешней среды на показатели эффективности функционирования предприятия.

Для конкретных случаев инженерно-экономического анализа необходимо привлекать такие формульные соотношения, которые в явном виде характеризуют зависимость предлагаемых критериев от параметров функционирующей и обеспечивающей частей.

Такой критерий очевидным образом позволяет говорить о рациональном согласовании функциональных потребностей и ресурсных возможностей, что дает оптимальное соответствие функциональной и обеспечивающей частей для производственной и управленческой подсистем в некотором количественном измерении.

## 2. Алгоритм обоснования архитектуры интегрированной информационной системы

Существует ряд конкретных задач по анализу и оптимизации взаимодействия процессов предприятия и соответствующих им ресурсов. В частности, обобщенная задача о назначении дает возможность поставить формальным образом соответствующую конкретным данным и условиям задачу согласования процессов и реализующих их ресурсов. В данной работе рассмотрена задача о выборе средств информационной поддержки для типового промышленного предприятия, которое реализует типовой список функций для компьютеризации.

Проведение автоматизации деятельности производственного предприятия можно условно разделить на три этапа [3, 9]:

- оснащение системами автоматизированного проектирования, анализа и технологической подготовки производства (системы CAD/CAM/CAE);
- внедрение систем управления инженерными данными (системы PDM);
- внедрение систем управления ресурсами предприятия (системы ERP).

В современных условиях компьютеризация производства связана с созданием базы данных (БД) и единого информационного пространства (ЕИП) предприятия [9]. Кроме того, БД должна содержать информацию о движении ресурсов по технологической цепочке, где будут храниться данные о степени готовности деталей и узлов. Для данных с табличной структурой применяются программные продукты ORACLE, INFORMIX, DELPHI и др.

Возможности реализации различных программных решений приводят к возникновению задачи интеграции приложений. Успешная интеграция корпоративных систем позволяет обеспечить автоматизированный контроль прохождения основных бизнес-процессов на предприятии и информационную безопасность при реализации бизнес-процессов [4, 12].

Таким образом, для построения информационной системы предприятия согласно алгоритму обоснования архитектуры ИИС (рис. 1) выделяются следующие укрупненные шаги:

- определение суперсистемы;
- разработка системной модели с помощью теоретико-множественной и параметрической декомпозиции;
- выделение функций системы управления и производственной системы предприятия и назначение им исполнителей;
- четкое разделение функций, выполняемых персоналом, от функций, которые подлежат автоматизации;

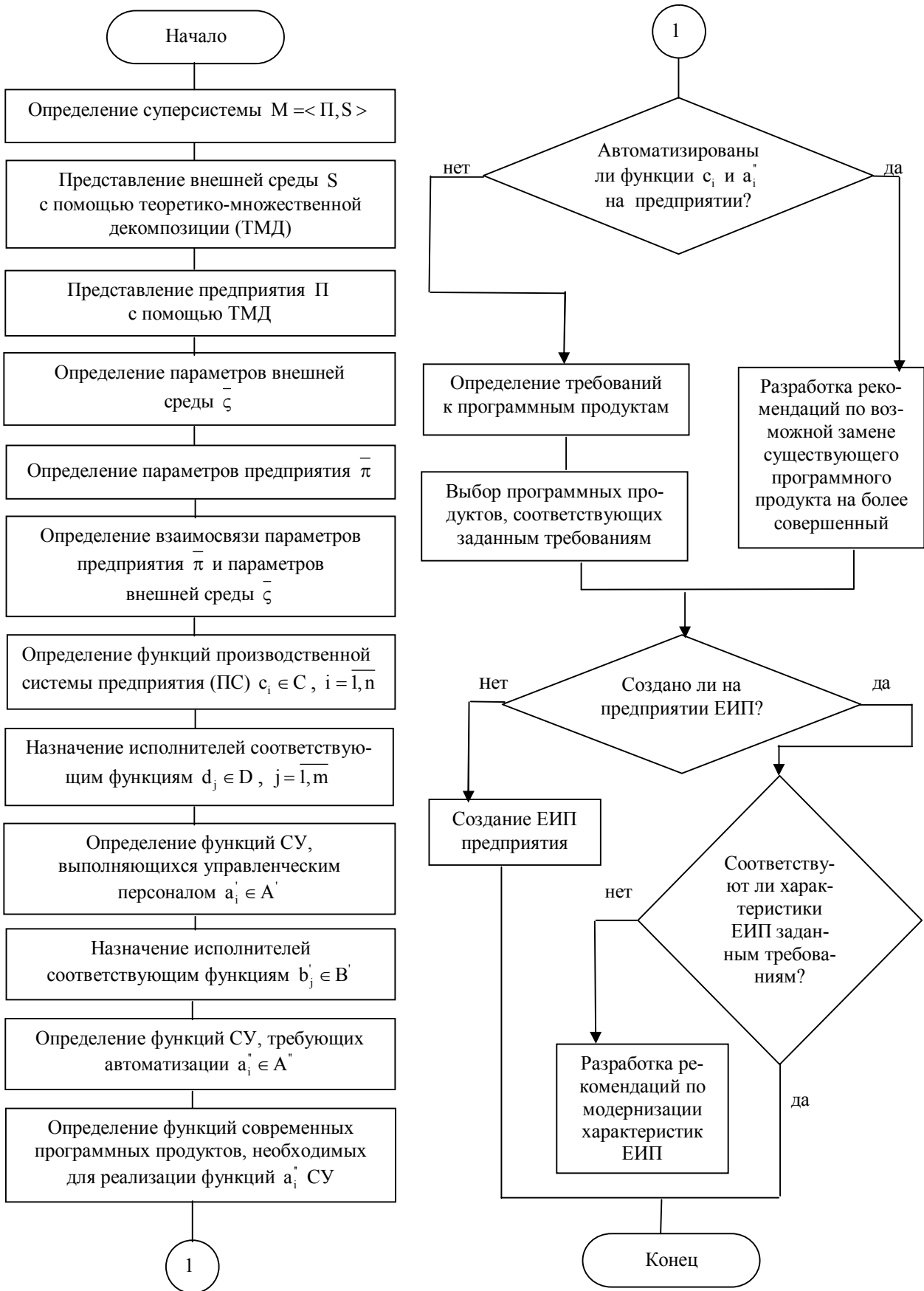


Рис. 1. Алгоритм обоснования архитектуры ИИС производственного предприятия

- определение основных возможностей программных продуктов основных направлений автоматизации деятельности предприятия;
- определение требований к выбору программных продуктов;
- выбор наиболее предпочтительного программного продукта одного из основных направлений автоматизации;
- создание ЕИП или разработка рекомендаций по модернизации его характеристик.

В результате выполнения алгоритма (рис. 1) в зависимости от особенностей промышленного предприятия и окружающей его внешней среды формируется состав программного обеспечения для ИИС. В данной работе более подробно рассмотрены задачи определения требований к средствам информационной поддержки деятельности предприятия и выбора программного продукта, соответствующего заданным требованиям (рис. 1).

### 3. Выбор средств информационной поддержки с помощью метода анализа иерархий

Задачу выбора наиболее предпочтительного программного обеспечения из множества представленных альтернатив программных продуктов [10] предлагается решать с применением метода анализа иерархий, который позволяет благодаря простоте структуры и применяемым математическим методам решать многокритериальные задачи с иерархическими структурами [11].

Рассмотрим пример выбора наиболее предпочтительной системы класса CAD/CAM/CAE из множества альтернативных вариантов.

Основными возможностями систем данного класса являются [10]:

- проектные работы по определению технических данных, характеристик;
- конструкторская проработка с выпуском конструкторской документации;
- технологическая проработка, составление техпроцессов, оформление технологической документации;
- программирование станков с ЧПУ;
- контроль качества продукции;
- моделирование изделий и оснастки;
- управление документами.

Согласно МАИ необходимо выполнить следующие этапы.

1. Сформировать критерии выбора наиболее предпочтительных альтернатив. Критериями выбора системы являются [10]:

- A<sub>1</sub> – полнота функциональных возможностей (включая адаптацию к отечественным стандартам);

- A<sub>2</sub> – наличие уникальных функций, жизненно необходимых предприятию либо имеющих очень важное значение (например, оптимизационное моделирование или интеграция с САПР электроники);
- A<sub>3</sub> – средняя стоимость одного рабочего места;

- A<sub>4</sub> – простота интерфейса и легкость освоения (включая наличие необходимой справочной литературы на русском языке).

2. Установить приоритеты критериев путем формирования матрицы парных сравнений (табл. 1).

В табл. 1 приведена матрица парных сравнений по первому критерию оценивания. Аналогичным образом могут быть получены матрицы парных сравнений по всем остальным критериям сравнения систем CAD/CAM/CAE.

Для определения нормализованного результата необходимо умножить n элементов каждой строки и извлечь корень n-й степени и нормализовать полученные числа [11].

Таблица 1

Матрица парных сравнений критериев оценивания систем CAD/CAM/CAE

Критерии	Нормализованный результат	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	0,4	1	1	3	2
A <sub>2</sub>	0,16	1	1	1/3	1/2
A <sub>3</sub>	0,23	1/3	2	1	1
A <sub>4</sub>	0,21	1/2	1	1	1

При этом индекс согласованности мнений экспертов [11] составляет 0,04, что свидетельствует о незначительном расхождении мнений экспертов:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимальное (главное) собственное значение, полученное путем суммирования произведений сумм оценок экспертов по столбцам и нормализованных результатов по строкам (табл. 1);

n – ранг матрицы.

Приведем список некоторых представителей класса систем CAD/CAM/CAE [10]:

1. B<sub>1</sub> – ADEM (Omega Technology);
2. B<sub>2</sub> – Cimatron (Cimatron Ltd.);
3. B<sub>3</sub> – Mastercam (CNC Software, Inc.);
4. B<sub>4</sub> – AutoCAD 2000;
5. B<sub>5</sub> – Powermill (DELCAM);
6. B<sub>6</sub> – Unigraphics (Unigraphics Solutions);
7. B<sub>7</sub> – IronCad (VDS);
8. B<sub>8</sub> – Pro/Desktop (Parametric Technology Corp.);
9. B<sub>9</sub> – SolidWorks (SolidWorks Corp.).

В табл. 2 приведен фрагмент матрицы парных сравнений альтернатив по критерию  $A_1$  для первых четырех представителей систем класса CAD/CAM/CAE.

При этом альтернативы принимают значение экспертной оценки в шкале измерений от 1 до 9.

Таблица 2

Фрагмент матрицы парных сравнений альтернатив по критерию  $A_1$

Представители	Нормализованный результат	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$B_1$	0,1	1	1	1	1/2
$B_2$	0,1	1	1	2	1/2
$B_3$	0,1	1	1/2	1	1
$B_4$	0,11	2	2	1	1

Аналогично формируются матрицы парных сравнений по каждому из критериев.

Результирующий вектор приоритетов  $W$  представлен на рис. 2.

$$W = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,11 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,12 & 0,1 \\ 0,14 & 0,14 & 0,15 & 0,13 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,16 & 0,16 & 0,15 & 0,12 \\ 0,1 & 0,1 & 0,08 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,08 & 0,11 \\ 0,11 & 0,11 & 0,12 & 0,13 \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,4 \\ 0,16 \\ 0,23 \\ 0,21 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0,105 \\ 0,1 \\ 0,105 \\ 0,14 \\ 0,1 \\ 0,149 \\ 0,114 \\ 0,116 \\ 0,117 \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Результирующий вектор приоритетов

Результирующий вектор приоритетов определяется путем умножения матрицы, сформированной из нормализованных результатов по каждому критерию оценивания, на вектор приоритетов критериев оценивания системы.

Таким образом, в результате проведенных расчетов был выбран программный продукт системы класса CAD/CAM/CAE Unigraphics, являющийся оптимальным вариантом. Об этом свидетельствует максимальное значение 0,149 результирующего вектора приоритетов.

Согласно МАИ [11] аналогичным образом может быть проведен выбор наиболее предпочтительных представителей программных продуктов для других классов систем.

Например, среди систем классов PDM, ERP предлагается использовать SmarTeam V5R10 и Га-

лактика со значениями результирующего вектора приоритетов 0,12 и 0,125 соответственно.

## Заключение

В данной работе предлагается системная модель производственного предприятия, которая может быть использована при решении задач о несимметричном назначении и выборе элементов компьютерной системы. Алгебраическая декомпозиция дает возможность формулировать задачи обоснования и выбора наиболее предпочтительной альтернативы из заданного множества. Параметрическая декомпозиция позволяет выделить основные взаимосвязи элементов предприятия при наличии соответствующих функциональных зависимостей на различных уровнях детализации. Выбор средств информационной поддержки является частным случаем задачи оптимального выбора исполнителей для заданных функций. Предложенный метод выбора может быть использован для любого предлагаемого списка альтернатив систем классов PDM, ERP, а также систем других классов.

## Литература

1. *Системный анализ в экономике и организации производства* / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. Л.: Политехника, 1991. – 398 с.
2. *Точилин О.В. Создание интегрированных систем управления (ИСУ) на авиапредприятиях* / О.В. Точилин // Полет. – 2009. – № 4. – С. 40-45.
3. *Гребеников А.Г. Интегрированные технологии проектирования самолетных конструкций* / А.Г. Гребеников, В.С. Кривцов // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. ред. А.Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – С. 154-177.
4. *Улучшение бизнес-процессов* / А.И. Островерх, А.В. Воронцов, В.В. Хоменко, А.В. Цыркков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4. – Х., 2008. – С. 12-22.
5. *Колесников Л.А. Основы теории системного подхода* / Л.А. Колесников. – К.: Наук. думка, 1988. – 176 с.
6. *Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов* / Ф.А. Новиков. – СПб: Питер, 2000. – 304 с.
7. *Ямпольская Д. Внешняя среда и ее влияние на организацию [Электронный ресурс]* / Д. Ямпольская, М. Зонис. – Режим доступа: <http://www.inventech.ru/lib/management/management-0011>.
8. *Баканов М.И. Теория экономического анализа* / М.И. Баканов, А.Д. Шеремет. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 417 с.

9. Мяслица А.К. Технология поддержки жизненного цикла самолета - новый шаг авиастроения / А.К. Мяслица // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса; под общ. ред. А.Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – С. 135-147.

10. ITpedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itpedia.ru/index.php>.

11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

12. Островерх А.И. Механизмы поддержки организационной структуры проекта создания сложной технической системы / А.И. Островерх, М.М. Мальгина // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2008. – № 3. – С. 3-11.

Поступила в редакцию 6.09.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. авиационных приборов и измерений Н.Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ З МЕТОЮ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ

*В.О. Попов, А.В. Єлизєва*

Розглядається проблема формалізованого представлення виробничого підприємства на основі теорії системного підходу для з'ясування можливих рішень локальних задач. Розробку системної моделі пропонується проводити на основі теоретико-множинної декомпозиції, яка дозволяє виділити рівні управління підприємством. Особлива увага приділяється задачі обґрунтування архітектури інтегрованої інформаційної системи (ІС), яка виконується за результатами проведеного системного аналізу, що дозволяє розділити компоненти системи управління і виробничої системи підприємства на функціональну й забезпечуючу частини й визначити вимоги до функціональних можливостей ІС.

**Ключові слова:** системний підхід, системна модель підприємства, система управління й виробнича система підприємства, виробнича схема підприємства, інтегрована інформаційна система, теорія множин, теорія прийняття рішень.

### THE ANALYSIS OF MANUFACTURING ENTERPRISE ON THE BASIS OF THE THEORY OF THE SYSTEM APPROACH FOR THE PURPOSE OF THE CHOICE OF MEANS OF SUPPORT INFORMATION

*V.A. Popov, A.V. Yelizeva*

The problem of the enterprise formalized representation on the basis of the theory of the system approach for definition of possible decisions of local problems is considered. Working out of system model is offered to be spent on the basis of the teoretiko-plural decomposition, allowing to allocate levels of control system of enterprise. The special attention is given to a problem of a substantiation of architecture of the integrated information system (IIS), which is carried out by results of the spent system analysis that allows to divide components of a control system and industrial system of the enterprise into functional and providing parts and to define requirements to functionality IIS.

**Keywords:** the system approach, system model of the enterprise, control system, industrial system, enterprise functional scheme, integrated information system, the theory of sets, the decision-making theory.

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

**Елизєва Алина Владимировна** – аспірантка кафедри інформаційних управляючих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.