

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра информационных систем и программной инженерии

# АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Методические указания к практическим занятиям

*В двух частях*

*Часть 1*

Составитель  
Р. И. МАКАРОВ



Владимир 2013

УДК 004 (076)

ББК 32.97я7

А64

Рецензент

Доктор технических наук, профессор  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*В. Н. Ланцов*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Анализ** и синтез информационных систем : метод. указания к  
А64 практическим занятиям. В 2 ч. Ч. 1 / сост. Р. И. Макаров ; Владим.  
гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 43 с.

Курс знакомит с методами анализа и синтеза информационных систем. Слушатели изучают методы системного анализа и синтеза, основы оценки сложных систем, моделирование информационных систем, математические методы, применяемые при исследовании систем.

Практические занятия охватывают темы, изучаемые в первом учебном семестре. Позволяют освоить методы анализа информационных систем, анализа эффективности информационных систем в условиях определенности, неопределенности и в условиях риска.

Предназначены для подготовки магистров по дисциплине профессионального цикла по направлению 230400 «Информационные системы и технологии» по профилю «Информационные системы и технологии».

Рекомендованы для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 8. Табл. 11. Библиогр.: 6 назв.

УДК 004 (076)

ББК 32.97я7

# Занятие 1. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ КАК «ЧЕРНОГО ЯЩИКА».

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ СИСТЕМ

### 1.1. Модель «черного ящика»

Термин «Черный ящик» широко применяется в кибернетике при представлении изучаемого объекта моделью «вход – выход», показанной на рис. 1.1.

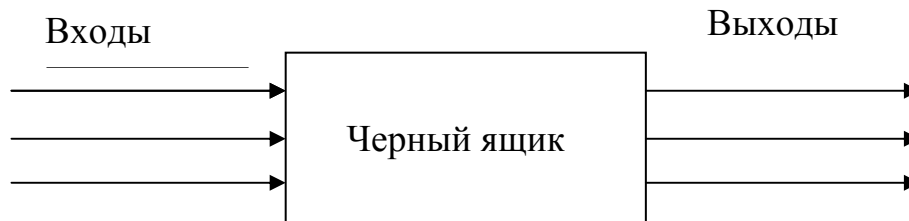


Рис. 1.1. Модель «черного ящика»

Понятие «чёрный ящик» предложено У.Р. Эшби. В кибернетике оно позволяет изучать поведение систем, то есть их реакций на разнообразные внешние воздействия и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства [1].

Модель типа «черный ящик» можно реализовывать различными способами. Были модели, в которых измерялось количество входных и выходных воздействий. Выбирались последовательности входных воздействий, случайных и направленных. Формировались векторы «входов» и «выходов». На основе протоколов испытаний разрабатывались прогнозы поведения системы, рекомендации по корректировке управляющих воздействий и т.п. В некоторых моделях «выходы» рассматривались как цели и осуществлялся поиск входных управляющих воздействий, обеспечивающих достижение целей. То есть система изучается не как совокупность взаимосвязанных элементов, а как нечто целое, взаимодействующее со средой на своих входах и выходах.

Метод «черного ящика» применим в различных ситуациях. Этот способ используется при недоступности внутренних процессов системы для исследования, при исследовании систем, все элементы и связи которых в принципе доступны, но либо многочисленны и сложны, что приводит к огромным затратам времени и средств при непосредственном изучении.

### 1.2. Декомпозиция – метод математического описания систем

Основной операцией анализа является представление целого в виде частей [2]. В результате анализа решаемые системой задачи разбиваются

на подзадачи, системы на подсистемы, цели на подцели. Процесс разбиения продолжается, пока не удастся представить соответствующий объект в виде совокупности элементарных компонентов, целевой функции объекта – в виде последовательности подцелей. Каждой подсистеме ставится в соответствие подцель и наоборот. В этом заключается смысл декомпозиции – для отдельных подсистем объекта проще составить математическое описание. Далее математическое описание объекта представляется как совокупность математических описаний подсистем.

Так, в технических системах декомпозиция проводится таким образом, чтобы функционирование каждого элемента объекта, полученного в результате декомпозиции, определялось одной физической, физико-химической или какой-либо другой зависимостью, т.е. описывалось одним уравнением.

В человеко-машинных системах цели достигаются в результате совместной работы технических систем и производственного персонала, осуществляющих производственную деятельность и определяющих направление функционирования технических средств. Такие системы имеют особенности: целенаправленность, наличие неопределенности, активность, вызванные наличием человека в системе. В качестве рекомендаций при математическом моделировании таких систем можно предложить разделение функций технической части системы и человека, принимающего решения по функционированию системы.

При декомпозиции объекта требуется соблюдать правило, по которому необходимо сопоставлять модель объекта с моделью цели и наоборот. Если цель заключается в определении показателей надежности и безопасности функционирования объекта, то соответствующая модель должна быть моделью надежности или безопасности.

В результате декомпозиции должно получаться столько частей, сколько элементов содержит модель, взятая в качестве основания. Под *основаниями декомпозиции* понимается совокупность элементов системы (частей), вглубь которых не проникает описание, т.е. они являются условно неделимыми.

Качество построенных структур зависит от применяемой методики декомпозиции. При этом набор частей должен быть, с одной стороны, полным, а с другой – не должен быть избыточным.

Алгоритм декомпозиции как способ упрощения сложного заключается в следующем [3]:

1. Определение объекта анализа (все, что угодно – любое высказывание, раскрытие смысла которого требует структурирования).
2. Определение целевой системы (определить, зачем нужно то, что мы собираемся делать; в качестве целевой выступает система, в интересах которой осуществляется анализ).
3. Выбор формальных моделей (набор фреймов и правил перебора).
4. Определение модели основания (строится с помощью классификаторов на основании изучения целевой системы).
5. Очередной объект декомпозиции анализируется.
6. Осуществляется процедура декомпозиции.
7. Анализируются полученные фрагменты.
8. Проверка очередного фрагмента на элементарность.
9. Проверка использования всех фреймов.
10. Проверка: все ли основания детализированы.
11. Отчет: окончательный результат в форме граф-схемы или структуры.

В реализации приведенного алгоритма компромисс достигается с помощью понятий существенного (необходимого), элементарного (достаточного), а также постепенной нарастающей детализацией базовых моделей и итеративности алгоритма декомпозиции.

### **1.3. Варианты заданий к практическим занятиям**

*Вариант 1-й.* Разработать функциональную модель организации учебного процесса для 2-го года обучения с момента перевода на второй курс.

За базовую структуру принять функциональную модель (рис.1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока перевода с 1-го на 2-й курс. Предусмотреть возможность продления сессии (по уважительной причине) и возможность перевода со специальности на специальность по следующему алгоритму:

- 1) заявление на имя ректора;
- 2) получение согласия кафедры и деканата (откуда и куда переводится);
- 3) при наличии согласия проректор издает приказ о переводе, производится изменение названия специальности и номера группы.

*Вариант 2-й.* Разработать функциональную модель организации учебного процесса с учетом включения в учебный план практических и лабораторных работ.

За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис.1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока организации и регистрации с учетом дополнительного посещения лабораторных работ и практических занятий.

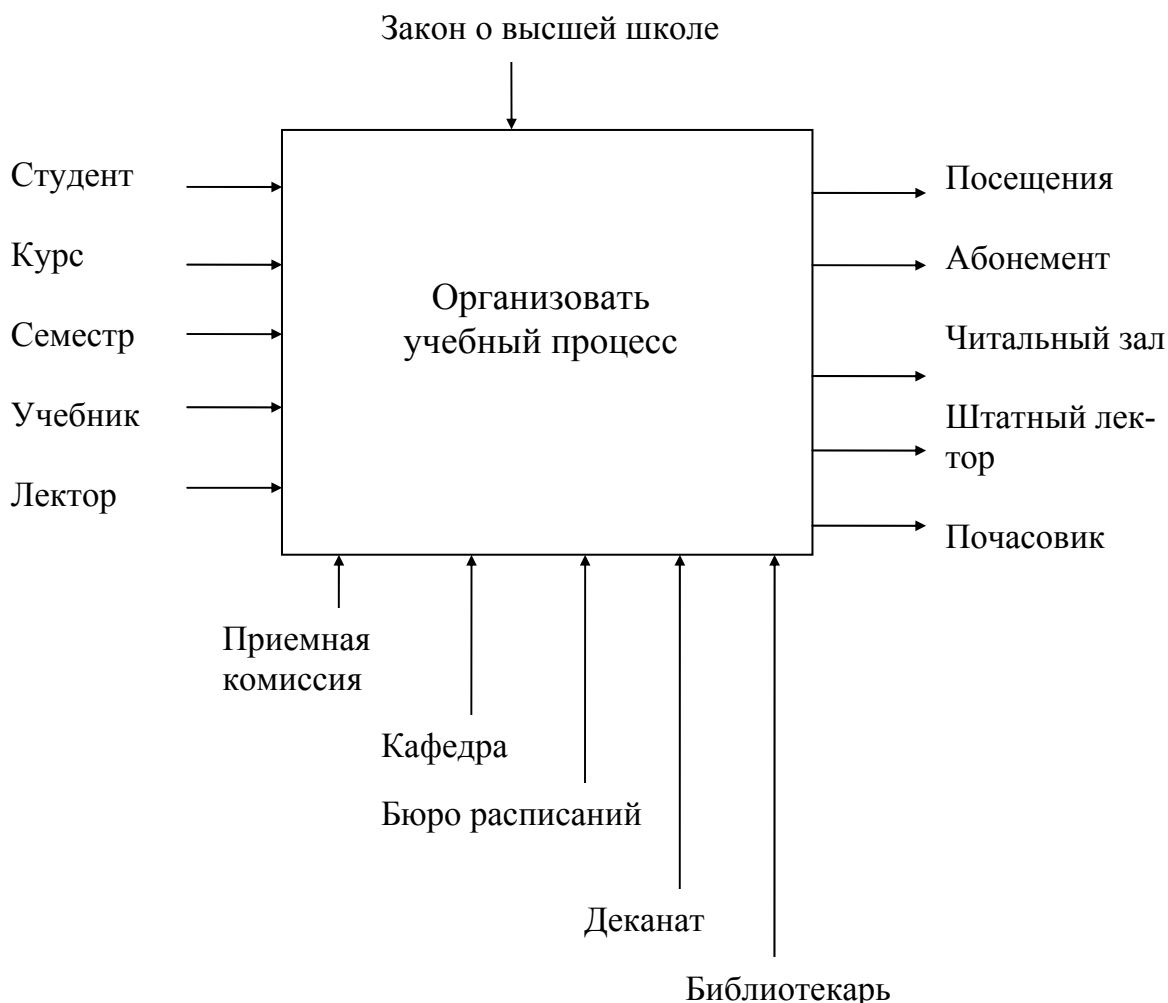


Рис. 1.2. Модель типа «черный ящик» организации учебного процесса в университете (1-го года обучения)

Алгоритм:

1. Преподаватель отмечает посещение лабораторных и практических занятий.
2. В случае уважительного пропуска организуются дополнительные работы в течение семестра.
3. Беспричинный пропуск – отработка в конце семестра.
4. Три пропуска подряд вызывают недопуск к сессии.

*Вариант 3-й.* Разработать функциональную модель организации учебного процесса с учетом включения в учебный план курсовой работы.

За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2). Разработать второй уровень декомпозиции блока организации и регистрации с учетом дополнительного посещения консультаций по курсовому проектированию. Алгоритм:

- 1) преподаватель отмечает посещение консультации;
- 2) в случае уважительного пропуска организуются консультации в течение семестра;
- 3) три беспричинных пропуска подряд вызывают недопуск к защите курсовой работы.

*Вариант 4-й.* Разработать функциональную модель организации учебного процесса с учетом возможности приобретения учебной литературы за свой счет.

За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис.1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока получения литературы в библиотеке. Алгоритм:

- 1) по номеру читательского билета заполняется личная карточка;
- 2) составляется требование на литературу;
- 3) заполняется формуляр.

*Вариант 5-й.* Разработать функциональную модель организации учебного процесса для 1-го года обучения с момента зачисления на первый курс. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Предусмотреть обслуживание студентов в читальном зале университета и проведение текущей аттестации по следующему алгоритму:

- 1) учебное пособие определяет лектор в соответствии с содержанием лекции;
- 2) библиотекарь обслуживает студента;
- 3) аттестацию проводит лектор по прочитанному лекционному материалу, а деканат принимает организационные решения.

*Вариант 6-й.* Разработать функциональную модель организации учебного процесса в университете. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. В конце первого учебного года организуется вычислительная практика по следующему алгоритму:

1. Издается приказ о командировании студентов на практику в другие организации, назначается преподаватель для руководства практикой.
2. Во время практики студент осваивает навыки работы с компьютером, ведет записи в дневнике.

3. Руководитель контролирует посещение студентом рабочего места и выполняемую работу.

4. В конце практики студент оформляет отчет по практике и сдает зачеты преподавателю. Преподаватель заполняет ведомость сдачи зачетов и делает запись в зачетной книжке студента.

*Вариант 7-й.* Разработать функциональную модель обучения студентов по индивидуальному плану. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока.

Алгоритм:

1. Студент пишет заявление на имя декана о разрешении перехода на индивидуальную форму обучения.

2. Преподаватели кафедры выдают задания и планы на индивидуальную форму обучения.

3. Студент по индивидуальному плану сдает преподавателю выполненные задания и проходит текущую аттестацию; в конце учебного семестра студент сдает экзамены вместе со своей группой.

4. Преподаватель выставляет оценку в экзаменационной ведомости и зачетной книжке студента.

*Вариант 8-й.* Разработать функциональную модель сдачи студентом экзаменов по дисциплине. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис.1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Сдача экзаменов проводится по следующему алгоритму:

1. Студент повторяет пройденный теоретический материал в процессе подготовки к экзаменам по конспектам лекций и учебникам.

2. Преподаватель проводит консультацию, отвечает на вопросы студентов.

3. Преподаватель экзаменует студента в письменной форме. Студент заполняет экзаменационный лист и пишет ответы на заданные вопросы.

4. Преподаватель выставляет оценку в экзаменационном листе, экзаменационной ведомости и в зачетной книжке студента.

5. Деканат анализирует итоги экзаменационной сессии, издает распоряжение с указанием сроков ликвидации задолженностей по сессии.

*Вариант 9-й.* Разработать функциональную модель обучения студентов по форме экстерната. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Обучение проводится по следующему алгоритму:

1. Абитуриент сдает вступительные экзамены.



2. При положительных итогах вступительных экзаменов абитуриент заключает контракт с университетом и вносит в кассу плату за обучение.

3. Приказом по университету абитуриент зачисляется на обучение в университет. Получает контрольные задания от преподавателей для изучения дисциплин.

4. Студент в течение семестра высылает контрольные задания в деканат для проверки.

5. Преподаватель проверяет контрольные задания и делает отметки об их выполнении в журнале.

6. Во время установочной сессии студент прослушивает теоретический курс, выполняет лабораторные работы.

7. По расписанию сдает экзамены. Преподаватель выставляет оценки в экзаменационном листе и зачетной книжке студента.

8. В конце учебного года издается приказ по университету о переводе студента на следующий курс обучения.

*Вариант 10-й.* Разработать функциональную модель избрания на вакантную должность доцента кафедры. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 1.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Избрание проводится по следующему алгоритму:

1. Университет объявляет конкурс на вакантную должность доцента, объявление публикует в газете.

2. Претендент пишет заявление на имя ректора о допуске к конкурсу, прикладывает необходимые документы об образовании, звании, личный листок по учету кадров, трудовую книжку, военный билет.

3. Кафедра рассматривает документы претендентов и делает заключение о профессиональном соответствии соискателей.

4. Совет факультета проводит процедуру избрания. Тайным голосованием избирается претендент на вакантную должность.

5. Отдел кадров выносит документы на ректорат. Ректорат принимает решение о заключении контракта с избранным лицом.

6. Ректор издает приказ о приеме на работу, подписывает контракт с избранным лицом.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите способы реализации модели типа «черный ящик».
2. В каких ситуациях применяется метод «черного ящика» при анализе информационной системы (ИС)?
3. В чем заключается смысл декомпозиции сложных информационных систем?

4. Как проводится декомпозиция сложных технических систем?
5. Что понимается под основаниями декомпозиции и как оно используется в процессе декомпозиции?
6. Алгоритм декомпозиции. Раскройте его содержание.

## Занятие 2. АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При оценке количественных характеристик алгоритмического комплекса ИС удобно применять ориентированный граф в качестве модели

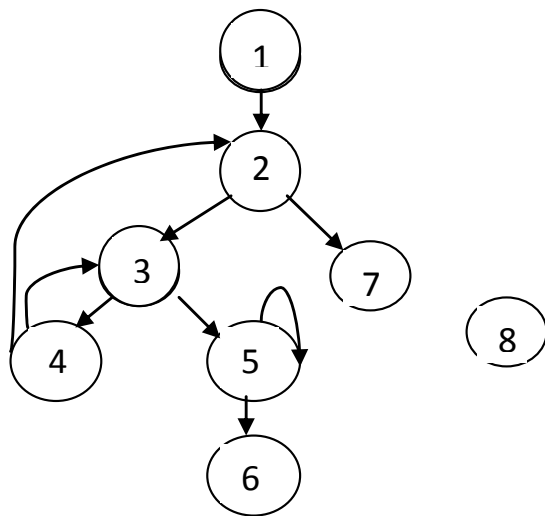


Рис. 2.1. Граф-схема алгоритмического комплекса

структуры комплекса [4]. Вершины графа отображают задачи, а дуги – информационные связи между задачами. Анализ модели позволяет выявить контуры, определить длины путей между вершинами графа, а также все количественные характеристики алгоритмического комплекса.

На рис. 2.1 в качестве примера изображен ориентированный граф алгоритмического комплекса.

Представим граф в виде матрицы смежности:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Определим полустепени захода  $P^+(i)$  и исхода  $P^-(i)$  для каждой вершины  $i, i=1, 2, \dots, 8$ :  $P^+(1) = 0, P^+(2) = 2, P^+(3) = 3, P^+(4) = 1, P^+(5) = 2, P^+(6) = 1, P^+(7) = 1, P^+(8) = 0$ ;

$P^-(1) = 1, P^-(2) = 2, P^-(3) = 2, P^-(4) = 2, P^-(5) = 2, P^-(6) = 0, P^-(7) = 0, P^-(8) = 0$ .

Вершина 1 является входом, т.к.  $P^+(1) = 0$ , вершины 6 и 7 – выходы ( $P^-(6) = 0, P^-(7) = 0$ ), вершина 8 изолирована, т.к.  $P^+(8) = 0$  и  $P^-(8) = 0$ .

Примерами путей являются последовательности дуг: 1-2-7, 1-2-3-4, 1-2-3-5-6.

Для определения порядка решения задач необходимо знать последовательность передачи результатов от задачи к задаче, а также одновременность решения некоторых задач. Для этого необходимо определить пути различной длины, ведущие к анализируемой вершине  $x_i$ . Эта проблема решается путем возведения в степень  $\xi$  матрицы смежности  $A^\xi$ . Элемент  $a_{ij}^\xi$  матрицы  $A^\xi$  равен числу различных путей длины  $\xi$ , идущих от вершины  $x_i$  к вершине  $x_j$ .

Пусть  $\xi=3$ , тогда  $A^3=A^2 \cdot A$ :

$$A^3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Элементы, стоящие на главной диагонали, указывают число контуров длины  $\xi$ . В примере вершины 2, 3, 4 имеют контуры длиной 3 дуги. Недиагональные элементы указывают длины путей между соответствующими вершинами, так  $a_{1,4}^3 = 1$  и  $a_{1,5}^3 = 1$  указывает наличие между вершинами  $x_1 - x_4$  и  $x_1 - x_5$  одного пути длины 3.

Наличие матриц  $A, A^2, A^3, \dots, A^k$  позволяет определить длины наибольших путей, связывающих вершины. Если выполняется условие

$$\begin{aligned} (\sum a_j)^k &> 0, \\ (\sum a_j)^{k+1} &= 0, \end{aligned} \tag{2.1}$$

где  $(\sum a_j)^k$  – сумма элементов  $j$ -го столбца матрицы  $A^k$ , то максимальная длина пути, ведущая к вершине  $j$  (порядок вершины  $\Pi_j$ ), равна  $k$ . Это означает, что вся необходимая входная информация  $j$ -й задачи будет готова после реализации  $k$  задач. Этот вывод важен для составления временной диаграммы включения алгоритмов ИС. Проводят преобразования (триангуляцию) исходной матрицы смежности так, чтобы номера вершин преобразованной матрицы соответствовали порядку. При этом матрица смежности будет иметь треугольную форму. Триангуляция возможна в случае, когда исходная матрица смежности не будет содержать контуры, только в этом случае каждая вершина будет иметь единственный порядок.

Обнаруженные контуры информационной связи исключаются путем замены их эквивалентными операторами. Граф (см. рис. 2.1), содержит три контура, охватывающие вершины 3-4, 2-3-4 и вершину 5. Первые два контура заменим эквивалентной вершиной  $2^*$ , а последний – вершиной  $5^*$ . После таких замен граф-схема алгоритмического комплекса примет вид, приведенный на рис. 2.2. Матрица смежности преобразованного графа примет вид

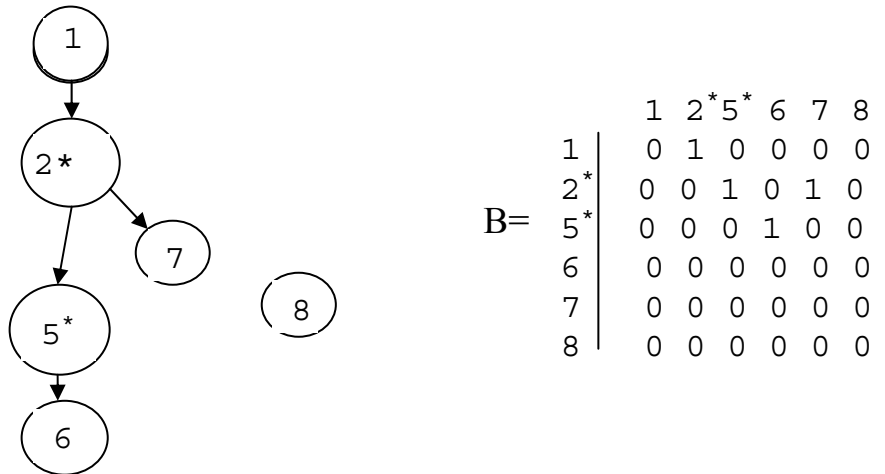


Рис. 2.2. Граф-схема и матрица смежности алгоритмического комплекса после удаления контуров

Возведя матрицу смежности  $B$  последовательно в степень  $\xi = 2, 3, 4$  и проверяя каждый раз выполнение соотношения (2.1), определили порядки вершин:  $\Pi_1 = 0, \Pi_8 = 0, \Pi_{2^*} = 1, \Pi_{5^*} = 2, \Pi_7 = 2, \Pi_6 = 3$ . Затем проводится перенумерация вершин по возрастанию порядка, начиная с вершин нулевого порядка. Триангулированная матрица смежности строится путем расположения в первых строках и столбцах номеров вершин нулевого порядка, в последующих строках и столбцах – номеров вершин первого порядка и т.д., в последних строках и столбцах – номеров вершин третьего порядка (рис. 2.3).

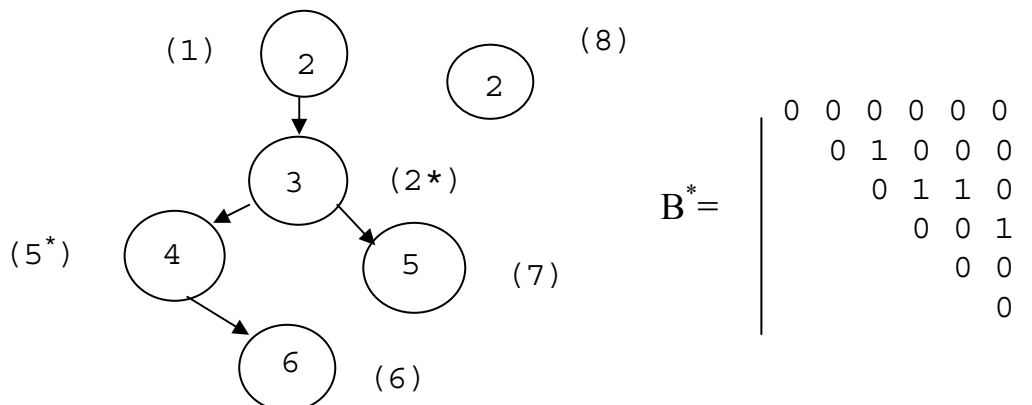


Рис. 2.3. Преобразованная граф-схема и триангулированная матрица

Дуги между вершинами графа (см. рис. 2.3) отображают связи между алгоритмами, указывая их взаимозависимость. Число алгоритмов, входящих в один ярус, называют шириной яруса, определяющей степень его параллелизма, т.е. число ветвей, которое можно реализовать одновременно.

### Задачи

*Пример 2.1.* Для матрицы смежности, отображающей граф алгоритмического комплекса, построить исходный и преобразованный графы. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

*Пример 2.2.* Для матрицы смежности, отображающей граф алгоритмического комплекса, построить исходный и преобразованный графы. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

*Пример 2.3.* Для матрицы смежности, отображающей граф алгоритмического комплекса, построить исходный и преобразованный графы. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

*Пример 2.4.* Для граф-схемы алгоритмического комплекса, приведенного на рис. 2.2, размыкая контур, охватывающий вершины 2-3-4, построить матрицу смежности, провести триангуляцию матрицы, построить преобразованный граф. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

*Пример 2.5.* Для граф-схемы алгоритмического комплекса, приведенного на рис. 2.2, размыкая контур, охватывающий вершины 3-4, построить матрицу смежности, провести триангуляцию матрицы, построить преобразованный граф. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

*Пример 2.6.* Для граф-схемы алгоритмического комплекса, приведенного на рис. 2.2, размыкая контур, охватывающий вершину 5, построить матрицу смежности, провести триангуляцию матрицы, построить преобразованный граф. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

*Пример 2.7.* Для граф-схемы алгоритмического комплекса, приведенного на рис. 2.2, размыкая контуры, охватывающие вершины 2-3-4 и вершину 5, построить матрицу смежности, провести триангуляцию матрицы, построить преобразованный граф. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

*Пример 2.8.* Для граф-схемы алгоритмического комплекса, приведенного на рис. 2.2, размыкая контуры, охватывающие вершины 3-4 и вершину 5, построить матрицу смежности, провести триангуляцию матрицы, построить преобразованный граф. Провести анализ структурных характеристик алгоритма.

### **Контрольные вопросы**

1. Количественные характеристики алгоритмического комплекса и их оценка.
2. Что необходимо знать для определения порядка решения задач в алгоритмическом комплексе?
3. Для чего преобразуют матрицу смежности, отражающую информационные связи между алгоритмами?
4. Как обнаруживаются контуры информационной связи по граф-схеме алгоритмического комплекса?

## **Занятие 3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ. ВЫБОР СТЕПЕНИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ**

Степень участия человека в процессе управления определяется степенью автоматизации управления, которая вычисляется по формуле

$$\gamma = n_a/n, \quad (3.1)$$

где  $n$  – общее количество связей между алгоритмами;  $n_a$  – число связей, по которым передается информация для автоматического управления.

На выбор величины  $\gamma$  влияют два фактора: ограниченность пропускной способности оператора и затраты [4]. Повышение степени автоматизации сопряжено с дополнительными затратами: нужны дополнительные технические средства (датчики, исполнительные средства, линии связи), возрастают расходы на наладку и эксплуатацию. Одновременно повышение степени автоматизации улучшает характеристики управления, уменьшается количество обслуживающего персонала и улучшаются условия труда.

Соотношение между  $n_{a \min}$  (минимальное количество информации, обрабатываемое автоматически) и  $n$  определяет минимальный уровень автоматизации  $\gamma_0$

$$\gamma_0 = n_{a \min} / n. \quad (3.2)$$

Проведем анализ влияния степени автоматизации управления на затраты  $S$ , связанные с эксплуатацией системы:

$$S = t(s_1/t_{\text{ок}}A + s_2m + s_3A + s_4A), \quad (3.3)$$

где  $t$  – время эксплуатации системы, мес.;  $t_{\text{ок}}$  – установленный срок окупаемости системы, мес.;  $A$  – количество технических средств (ТС);  $m$  – число операторов;  $s_1$  – стоимость одного ТС, руб.;  $s_2$  – зарплата оператора, руб.;  $s_3$  – затраты в течение месяца на обслуживание и ремонт одного эквивалентного ТС, руб.;  $s_4$  – затраты в течение месяца на электроэнергию, потребляемую одним ТС, руб.

Зависимости числа операторов  $m$  и количества технических устройств  $A$  от уровня автоматизации  $\gamma$  описываются уравнениями [4]:

$$m = M(1 - \gamma), \quad (3.4)$$

$$A = A_p + (A_a - A_p)\gamma^2, \quad (3.5)$$

где  $M$  – максимальное число операторов при полном ручном управлении;  $A_a$  – необходимое количество ТС при полном автоматическом управлении;  $A_p$  – необходимое количество ТС при полном ручном управлении.

Подставляя (3.4) и (3.5) в (3.3), получаем соотношение для расчета затрат при произвольной степени автоматизации  $1 \geq \gamma \geq 0$ :

$$S = t\{[A_p + (A_a - A_p)\gamma^2](s_1/t_{\text{ок}} + s_3 + s_4) + M(1 - \gamma)s_2\}. \quad (3.6)$$

Целесообразная степень автоматизации  $\gamma^*$  определяется приравнением нулю производной  $dS/d\gamma = 0$ , убедившись, что  $d^2S/d\gamma^2 > 0$ , получаем:

$$\gamma^* = Ms_2/[2(A_a - A_p)(s_1/t_{\text{ок}} + s_3 + s_4)]. \quad (3.7)$$

Если  $\gamma^*$  окажется меньше  $\gamma_0$ , это означает, что рациональный уровень автоматизации не может быть достигнут и минимальные возможные затраты определяются по (3.6) при  $\gamma = \gamma_0$ .

При  $\gamma^*$  больше  $\gamma_0$  уточняется число операторов по (3.4), расчеты округляются до целого числа. Находится необходимое количество ТС  $A$  по (3.5) и уточняются затраты по (3.6).

*Пример*

Провести функциональный анализ информационно-управляющей системы при следующих данных:  $S_1 = 30$  тыс. руб.;  $S_2 = 20$  тыс. руб.;  $S_3 = 3$  тыс. руб.;  $S_4 = 2$  тыс. руб.;  $t_{ок} = 30$  мес.;  $t = 12$  мес.;  $n = 100$ ;  $A_a = 10$ ;  $A_p = 1$ ;  $M = 4$ . Выбрать степени автоматизации управления.

Рассмотрим три варианта распределения функций управления между оператором и техническими средствами: автоматизированное с минимальным уровнем автоматизации  $\gamma_{0 \text{ мин}} = 0,6$ , автоматическое с  $\gamma_{0 \text{ мин}} = 0,9$  и ручное с  $\gamma_{0 \text{ мин}} = 0,1$ .

С использованием формул (3.4) – (3.7) были проведены расчеты, результаты которых даны в таблице.

Результаты анализа распределения функций управления

$n$	$n_a$	$\gamma_{0 \text{ мин}}$	$\gamma^*$	$m$	$S(\gamma^*)$	$S(\gamma_0)$	$A$	$n_{р \text{ факт}}$	Управление
100	80	0,6	0,74	1,03	676,4	689,28	5,9	25,9	Автоматизированное
100	100	0,9	0,74	1,03	692,8	692,88	8,29	10	Автоматическое
100	0	0,1	0,74	1,03	676,4	942,48	5,9	25,9	Ручное

Повышение степени автоматизации сопряжено с дополнительными затратами ( $S(\gamma^*) = 692,8$  тыс. руб.), нужны дополнительные ТС ( $A = 8,29$ ), возрастают расходы на наладку и эксплуатацию. Одновременно повышение степени автоматизации улучшает характеристики управления – уменьшается количество информации, перерабатываемой оператором ( $n_{р \text{ факт}} = 10$ ). Оптимальным уровнем автоматизации задач управления является  $\gamma^* = 0,74$ .

**Задачи**

*Пример 3.1.* Провести анализ влияния стоимости технических средств на степень автоматизации при  $S_1 = 20, 30, 40, 50$  тыс. руб. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных стоимостях ТС.

*Пример 3.2.* Провести анализ влияния затрат на обслуживание и ремонт ТС, если стоимость обслуживания и ремонта одного условного ТС в течение месяца составит  $S_3 = 2,5; 3; 3,5; 4$  тыс. руб. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных стоимостях обслуживания и ремонта ТС.



*Пример 3.3.* Провести анализ влияния зарплаты оператора на степень автоматизации при  $S_2 = 10, 15, 20, 25$  тыс. руб. в месяц. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных зарплатах оператора.

*Пример 3.4.* Провести анализ влияния изменения стоимости электроэнергии, потребляемой ТС, на уровень автоматизации при  $S_4 = 1,5; 2; 2,5; 3$  тыс. руб. в месяц на одно ТС. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различной стоимости электроэнергии.

*Пример 3.5.* Провести анализ влияния срока окупаемости системы на уровень автоматизации при сроках окупаемости  $t_{ок} = 24, 30, 36, 48$  месяцев. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных установленных сроках окупаемости системы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как оценивается в ИС степень участия человека в процессе управления?
2. Что влияет на выбор степени автоматизации управления в ИС?
3. Как влияет степень автоматизации управления на затраты, связанные с эксплуатацией системы?
4. Каким образом определяется целесообразная степень автоматизации управления в ИС?
5. Влияет ли стоимость технических средств на степень автоматизации управления в ИС и каким образом?
6. Как влияет срок окупаемости информационной системы на степень автоматизации управления?
7. Объясните влияние изменения стоимости электроэнергии, потребляемой ТС, на степень автоматизации управления.

## **Занятие 4. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

### **4.1. Оценка проектных решений**

Важное место при проектировании информационных систем (ИС) занимает принятие решений – выбор лучшего варианта построения системы. Для количественной оценки качества вариантов системы выбирается показатель эффективности. При выборе показателя эффективности принимают во внимание требования, предъявляемые к системе техническим заданием. Варианты, не удовлетворяющие требованиям технического задания, не рассматриваются в качестве альтернатив.

Встречаются случаи, когда примерно одинаковые по техническим характеристикам варианты ИС имеют разные экономические показатели. Экономические показатели позволяют сравнивать между собой примерно равные по техническим характеристикам варианты, планировать процесс создания системы, добиваясь минимизации затрат на проектирование и эксплуатацию.

Проведем сравнение двух вариантов создания системы, учитывая фактор времени капитальных и текущих затрат на эксплуатацию системы [4]. Обычно затраты приводятся к началу эксплуатации ИС. Капитальные вложения, приведенные с учетом фактора времени, рассчитываются по формуле:

$$K_0 = K_i (1 + E_{\text{нп}})^i, \quad (4.1)$$

где  $K_i$  – капитальные затраты, произведенные за  $i$  лет до начала эксплуатации;  $E_{\text{нп}}$  – норматив для приведения разновременных затрат.

В период эксплуатации ИС могут иметь место капитальные вложения, они приводятся к первому году эксплуатации по формуле

$$K_0 = K_j / (1 + E_{\text{нп}})^j, \quad (4.2)$$

где  $K_j$  – капитальные вложения, сделанные в  $j$ -м году периода эксплуатации системы.

Суммарные капитальные вложения за время жизни ИС, приведенные к первому году эксплуатации, равны:

$$K = \sum_{j=r-1}^0 K_j (1 + E_{\text{нп}})^j + \sum_{j=1}^r \frac{K_j}{(1 + E_{\text{нп}})^j} = \sum_{j=1-r}^r \frac{K_j}{(1 + E_{\text{нп}})^j}, \quad (4.3)$$

где  $r$  – период времени от начала проектирования до начала эксплуатации ИС.

Вышеприведенные рассуждения справедливы и для текущих затрат, которые планируются заранее, аналогичные соотношения можно записать для суммарных текущих затрат  $C$ , приведенных к первому году эксплуатации ИС:

$$C = \sum_{j=1-r}^r \frac{C_j}{(1 + E_{\text{нп}})^j}. \quad (4.4)$$

Величина приведенных затрат  $S$  будет равна сумме капитальных вложений  $K$  и текущих затрат  $C$ :

$$S = K + C. \quad (4.5)$$

*Пример.* В результате эскизного проектирования предложены варианты построения системы и определены темпы финансирования, данные в табл. 4.1 [4].

Таблица 4.1. Темпы финансирования проекта ИС по вариантам, тыс. руб

Вид затрат	Затраты по годам								Общая сумма затрат
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Вариант 1:</b>									
<i>Период проектирования</i>									
Капитальные вложения	100	80	60	40					280
Текущие затраты			100	80					180
<i>Период эксплуатации</i>									
Текущие затраты					20	20	20	20	80
Капитальные вложения					60	10	10	10	90
Итого.....									630
<b>Вариант 2:</b>									
<i>Период проектирования</i>									
Капитальные вложения	40	60	80	100					280
Текущие затраты			40	180					220
<i>Период эксплуатации</i>									
Текущие затраты					20	20	20	20	80
Капитальные вложения					20	10	10	10	50
Итого.....									630
<b>Вариант 3:</b>									
<i>Период проектирования</i>									
Капитальные вложения	70	70	70	70					280
Текущие затраты			110	110					220
<i>Период эксплуатации</i>									
Текущие затраты					20	20	20	20	80
Капитальные вложения					12	13	12	13	50
Итого.....									630

Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен, первый или второй?

Варианты отличаются темпами финансирования при одинаковых капитальных вложениях и текущих затратах. В варианте 1 просматривается тенденция опережающих темпов. Сравнительную экономическую эффек-

тивность можно провести только с учетом фактора времени. Норматив для приведения разновременных затрат примем равным  $E_{\text{нп}} = 0,08$  [4]. В рассматриваемом примере период времени от начала проектирования до начала эксплуатации ИС равен  $r = 4$ .

Рассчитаем величину приведенных затрат по (4.3) и (4.4) для варианта 1:

$$K_1 = 100 \cdot 1,08^3 + 80 \cdot 1,08^2 + 60 \cdot 1,08^1 + 40 + 60 \cdot 1,08^{-1} + 10(1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 402,9 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_1 = 100 \cdot 1,08 + 80 + 20(1,08^{-1} + 1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 254,2 \text{ тыс. руб.}$$

$$S_1 = 402,9 + 254,2 = 657,1 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем величину приведенных затрат по (4.3) и (4.4) для варианта 2:

$$K_2 = 40 \cdot 1,08^3 + 60 \cdot 1,08^2 + 80 \cdot 1,08^1 + 100 + 20 \cdot 1,08^{-1} + 10(1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 348,7 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_2 = 40 \cdot 1,08 + 180 + 20(1,08^{-1} + 1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 289,4 \text{ тыс. руб.}$$

$$S_2 = 348,7 + 289,4 = 638,1 \text{ тыс. руб.}$$

Сравнение вариантов показывает, что вариант 2 эффективнее, поскольку он экономичнее по приведенным затратам:  $S_2 < S_1$ .

В простейшем случае, когда капитальные вложения  $K$  имеют единовременный характер, срок окупаемости ИС  $t_{\text{ок}}$  составляет менее года, а время жизни системы не превышает трех лет, лучший вариант системы должен обеспечивать минимум годовых *приведенных затрат* [4]:

$$S = C + E_{\text{н}} \cdot K, \quad (4.6)$$

$$C = \sum_{i=1}^{t_{\text{ок}}} \frac{C_i}{t_{\text{ок}}}$$

где  $C$  – средние годовые текущие затраты,  $E_{\text{н}}$  – нормативная величина эффективности капитальных вложений ( $E_{\text{н}} = 0,12$ ).

### Задачи

*Пример 4.1.1.* В результате эскизного проектирования предложены первый и третий варианты построения системы. Определены темпы финансирования, приведенные в табл. 4.1. Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен, первый или третий?

*Пример 4.1.2.* В результате эскизного проектирования предложены второй и третий варианты построения системы. Определены темпы финансирования, приведенные в табл. 4.1. Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен, второй или третий?

*Пример 4.1.3.* В результате эскизного проектирования предложены три варианта построения системы. Определены темпы финансирования,

приведенные в табл. 4.1. Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен?

*Пример 4.1.4.* Оценить лучший вариант проектирования ИС. В первом варианте единовременные капитальные вложения составляют  $K = 200$  тыс. руб. Годовые затраты на эксплуатацию системы в течение времени жизни системы составляют 15, 20, 25 тыс. руб. Расчетный срок окупаемости системы равен 0,8 года.

Во втором варианте единовременные капитальные вложения составляют  $K = 250$  тыс. руб. Годовые затраты на эксплуатацию системы составляют 10, 15, 20 тыс. руб. Расчетный срок окупаемости системы равен 0,7 года.

Принять нормативную величину эффективности капитальных вложений равной 0,12.

### **Контрольные вопросы**

1. Как принимается решение по выбору лучшего варианта построения информационной системы?
2. Содержание показателя эффективности для количественной оценки качества вариантов системы.
3. Что учитывается при сравнении двух вариантов создания системы?
4. Что служит критерием выбора лучшего варианта системы, если капитальные вложения имеют единовременный характер, а срок окупаемости ИС менее года и время жизни системы не превышает трех лет?
5. Как капитальные вложения и темпы финансирования влияют на величину приведенных затрат на проектирование системы?

### **4.2. Анализ загрузки устройств вычислительной системы**

Операторный метод используется для анализа загрузки, а также при модернизации существующих вычислительных систем (ВС). Исходные данные для расчета производительности ВС и отдельных ее устройств получают экспериментально с помощью аппаратных и программных измерительных систем [5].

Функциональные связи устройств ВС удобно описывать в виде графа, вершины которого обозначают номера устройств, а дуги связи между устройствами  $q(i, j) > 0$ .

Расчет производительности работы вычислительной системы и ее отдельных устройств проводится методом операционного анализа. Фиксируется некоторый период времени  $T$ . Время, в течение которого система обрабатывала задание, обозначим  $B(0) \leq T$ , а количество обработанных за-

даний за это время обозначим  $C(0)$ . Индекс 0 означает параметры всей системы.

Параметры системы рассчитываются по формулам:

- коэффициент использования  $U(0) = \frac{B(0)}{T}$ ,

- среднее время выполнения одного задания  $S(0) = \frac{B(0)}{C(0)}$ ,

- интенсивность выходного потока заданий  $X(0) = \frac{C(0)}{T}$ .

Величина  $X$  также называется пропускной способностью ВС и часто используется в качестве критерия производительности вычислительной системы, который надо максимизировать:

$$X(0) = \frac{U(0)}{S(0)}. \quad (4.7)$$

Схема ВС на рис. 4.1 содержит центральный процессор с двумя каналами ввода/вывода, запуск заданий осуществляется в пакетном режиме. Схема является системой с центральным процессорным устройством, для которой коэффициенты посещения можно записать формулами (4.8):

$$\begin{aligned} X(0) &= X(1) \cdot q(1,0); \\ X(1) &= X(0) + X(2) + X(3) + \dots + X(k); \\ &\dots \\ X(i) &= X(1) \cdot q(1,i); \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} V(1) &= \frac{1}{q(1,0)}; \\ &\dots \\ V(i) &= \frac{q(1,i)}{q(1,0)}, \end{aligned}$$

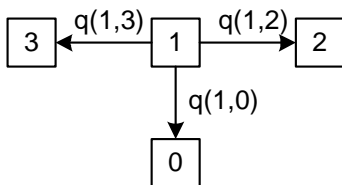


Рис. 4.1. Схема вычислительной системы с одним процессором и двумя устройствами: 0 – система в целом; 1 – центральный процессорный элемент; 2 – магнитный диск, сервер; 3 – принтер, сервер

где  $k$  – число устройств;  $X(i)$  – интенсивность выходного потока заданий с  $i$ -го устройства;  $V(i)$  – коэффициент посещения  $i$ -го устройства;  $q(i, j)$  – вероятность перехода задания от устройства  $i$  к устройству  $j$ .

Коэффициент посещения  $i$ -го устройства можно выразить через количество заданий  $C(i)$ , покинувших  $i$ -ое устройство за период времени  $T$ :

$$V(i) = \frac{X(i)}{X(0)} = \frac{C(i)}{C(0)}.$$

Из соотношения  $q(i, j) = \frac{C(i, j)}{C(i)}$  можно определить

$$C(j) = \sum_i C(i) \cdot q(i, j),$$

где  $C(i, j)$  – количество заданий, покинувших  $i$  устройство и поступивших на  $j$  устройство за время  $T$ .

Поделив обе части на  $T$ , получим соотношение для интенсивности потоков:

$$X(j) = \sum X(i) \cdot q(i, j),$$

затем, поделив повторно это соотношение на  $X(0)$ , получим:

$$V(j) = q(0, j) + \sum_{i=1} V(i) \cdot q(i, j), \quad V(0) = 1.$$

Полученное уравнение имеет простое решение, если  $k$  величин из  $q(i, j)$  находятся в интервале  $0 < q(i, j) < 1$ , для  $j > 1$ . Данному условию соответствуют ВС с одним центральным процессором, когда от остальных устройств возможен переход только к процессору, или локальные ВС с одним сервером и соединением типа “звезда”.

Выполняемое задание создает различные нагрузки для отдельных устройств ВС. С увеличением числа одновременно выполняемых заданий  $N$  у всех устройств системы будет расти коэффициент использования  $U(i)$ . Среди  $i$ -х устройств может оказаться одно, у которого коэффициент использования может быть  $\approx 1$ . Это устройство будет создавать в системе основные задержки для выполнения заданий. Такое устройство называется насыщенным. У насыщенного устройства нагрузка  $U(d)$  будет максимальной среди нагрузок других устройств

$$U(d) = \max (U(i)), \text{ т.е. } V(d) \cdot S(d) \rightarrow \max (V(i) \cdot S(i)),$$

где  $S(i)$  – среднее время занятости  $i$ -го устройства.

Интенсивность выходного потока заданий не может превысить величины

$$X' \leq \frac{1}{V(d) \cdot S(d)}.$$

Минимальное среднее время ответа можно получить с учетом того, что время выполнения одного задания не может быть больше среднего времени ответа одного устройства

$$S(i) < R(i),$$

поэтому минимальное время ответа будет

$$R''(i) = V(i) \cdot S(i).$$

Это имеет место для числа одновременно выполняемых заданий (коэффициент мультипрограммирования равен  $N = 1$ ). Интенсивность выходного потока заданий в зависимости от  $N$  отображается графиком, приведенным на рис. 4.2, и граничит с величиной  $X'$ .

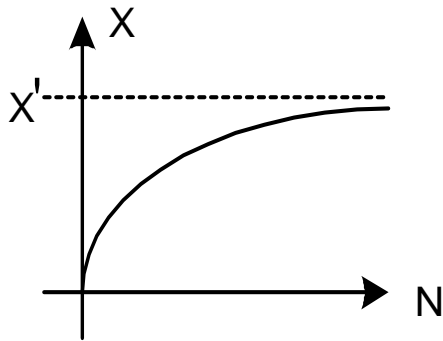


Рис. 4.2. Интенсивность выходного потока заданий

По результатам измерений среднее время выполнения одного задания на ЭВМ составляет 2 мин ( $S(0) = 2$ ). Интенсивность потока запросов  $X(0) = 20$  запросов / ч =  $1/3$  1 / мин.

*Пример 1*

Провести операционный анализ работы вычислительной системы, оценить коэффициент использования системы (рис.4.1).

**Решение**

Рассмотрим работу ВС в течение времени  $T = 60$  мин, определим основные параметры системы.

Коэффициент использования ВС  $U(0)$  рассчитаем по (4.7)

$$X(0) = \frac{U(0)}{S(0)}, \quad X(0)S(0) = U(0), \quad U(0) = \frac{1}{3} \cdot 2 \cong 0,67 \text{ или } 67 \%$$

Время обработки заданий равно  $B(0) = U(0) T = 0,67 \cdot 60 = 40$  (мин).

Количество обработанных заданий за 60 мин  $C(0) = B(0)/S(0) = 40/2 = 20$ .

*Пример 2*

Провести операционный анализ работы устройств ВС: магнитного диска 2 и принтера 3 (см. рис. 4.1) при вероятности перехода задания от процессора 1 к магнитному диску 2, равной  $q(1,2) = 0,9$ , от процессора 1 к принтеру 3 -  $q(1,3) = 0,1$ . Оценить загрузку устройств системы.

**Решение**

По формулам (4.8) определим пропускную способность устройств  $X(i)$ ,  $i = 2;3$  и коэффициенты посещения устройств  $V(2)$ ,  $V(3)$ :

$$X(1) = X(0) = 1/3; \quad X(2) = X(1) q(1,2) = 1/3 \cdot 0,9 = 0,3 \text{ (1/мин);}$$

$$X(3) = X(1) q(1,3) = 1/3 \cdot 0,1 = 1/30;$$

$$V(1) = V(0) = 1; \quad V(2) = q(1,2)/q(1,0) = 0,9/1 = 0,9;$$

$$V(3) = q(1,3)/q(1,0) = 0,1/1 = 0,1.$$

Времена обработки заданий в устройствах принимаем пропорциональными вероятностям перехода задания от процессора к устройствам:



$$B(1) = B(0) q(0,1) = 40 \cdot 1 = 40 \text{ мин};$$

$$B(2) = B(1) q(1,2) = 40 \cdot 0,9 = 36 \text{ мин};$$

$$B(3) = B(1) q(1,3) = 40 \cdot 0,1 = 4 \text{ мин}.$$

При этом коэффициент использования устройств составит:

$$U(1) = B(1)/T = 40/60 = 0,67;$$

$$U(2) = B(2)/T = 36/60 = 0,6;$$

$$U(3) = B(3)/T = 4/60 \approx 0,07.$$

### **Задачи**

*Пример 4.2.1.* Провести анализ загрузки вычислительной системы и ее устройств (см. рис.4.1) при следующих данных: время выполнения одного задания 3 мин; интенсивность потока запросов 20 запросов/ч = 1/3 1/мин; время работы  $T = 60$  мин; вероятности перехода задания от процессора к устройствам  $q(1,2) = 0,95$ ,  $q(1,3) = 0,05$ .

*Пример 4.2.2.* Провести анализ влияния интенсивности потока запросов на загрузку вычислительной системы и ее устройств (см. рис. 4.1) при следующих данных: интенсивность потока запросов составляет 10, 20, 30 запросов/ч; время выполнения одного задания 2 мин; время работы  $T = 60$  мин; вероятности перехода задания от процессора к устройствам  $q(1,2) = 0,9$ ,  $q(1,3) = 0,1$ .

*Пример 4.2.3.* Провести анализ влияния времени выполнения одного задания на загрузку вычислительной системы и ее устройств (см. рис. 4.1) при следующих данных: интенсивность потока запросов 20 запросов/ч; время выполнения одного задания составляет 1; 2; 3 мин; время работы  $T = 60$  мин; вероятности перехода задания от процессора к устройствам  $q(1,2) = 0,9$ ,  $q(1,3) = 0,1$ .

### **Контрольные вопросы**

1. Операторный метод оценки загрузки устройств ВС, в каких случаях он используется?
2. Как влияет интенсивность потока запросов на загрузку вычислительной системы и ее устройств?
3. Как влияет время выполнения одного задания на загрузку вычислительной системы и ее устройств?
4. Как определяется насыщенное устройство в ИС и на что оно влияет?
5. Что используется в качестве критерия производительности вычислительной системы и от чего он зависит?

### 4.3. Планирование проверок технического состояния информационных систем

В информационных системах с аппаратным контролем могут появляться ситуации, когда возникающие неисправности не могут обнаруживаться техническими средствами. В связи с этим возникает необходимость использования программного контроля. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся случаи, когда контролируемые программы включаются в заранее определенные моменты времени с периодичностью  $T_{\Pi}$ . Длительность процесса контроля составляет  $T_{\kappa}$ .

Предположим, что поток отказов в аппаратуре имеет случайный характер и описывается экспоненциальным законом плотности распределения вероятности

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot \Delta t),$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов аппаратуры;  $\Delta t$  – продолжительность времени работы системы.

ИС может находиться в следующих состояниях, которые будут характеризоваться событиями:

- 1)  $A$  – ИС работоспособна;
- 2)  $\bar{A}$  – неработоспособное состояние системы;
- 3)  $B$  – ИС используется в задачах принятия решений;
- 4)  $\bar{B}$  – система используется не по назначению в некоторый момент времени.

Каждое событие характеризуется потерями:

- 1)  $F(A, B) = 0$  – система работоспособна и используется по назначению, следовательно, потери в этой системе равны нулю;
- 2)  $F(A, \bar{B}) = A1$  – система работоспособна и проводится ее проверка.  $A1$  – потери на проверку работоспособности системы;
- 3)  $F(\bar{A}, \bar{B}) = A2$  – ремонт неисправной системы (в течение времени  $T_p$ ). Потери  $A2$  – затраты на восстановление системы;
- 4)  $F(\bar{A}, B) = A3$  – использование неработоспособной системы для принятия решений.  $A3$  – потери от ошибочных решений.

Принимаем, что в системе выполняется соотношение  $0 < A1 \leq A2 \leq A3$ .

Общие потери  $C(L)$  за большое число циклов работы системы  $L$  будут определяться выражением [4, 5]:

$$C(L) = L (T_{\kappa} A1 \cdot \exp(-\lambda T_{\Pi}) + ((T_{\Pi} + T_{\kappa}) A3 + T_p A2)(1 - \exp(-\lambda T_{\Pi})). \quad (4.9)$$

Продолжительность времени работы ИС за  $L$  циклов

$$t(L) = L ((T_{\Pi} + T_{\kappa}) \exp(-\lambda T_{\Pi}) + (T_{\Pi} + T_{\kappa} + T_p)(1 - \exp(-\lambda T_{\Pi})). \quad (4.10)$$

Средние потери в единицу времени получаются делением (4.9) на (4.10). Учитывая, что  $T_p \lambda \ll 1$  и что  $T_K \leq T_{\Pi}$  формула средних потерь принимает вид

$$\bar{C} \cong A1 \cdot T_K \cdot \left( \frac{1}{T_{\Pi}} + \lambda \right) + A2 \cdot T_p \cdot \lambda + A3 \cdot T_{\Pi} \cdot \lambda. \quad (4.11)$$

В этой формуле первое слагаемое учитывает затраты системного времени на контроль работоспособности. Второе слагаемое учитывает затраты на проведение ремонтных работ. Третье слагаемое отражает затраты, связанные с использованием неработоспособной системы.

Приравняв нулю, первую производную от (4.11) по  $T_{\Pi}$  получаем оптимальную периодичность проведения контроля:

$$T_{\Pi} = \sqrt{\frac{A1 \cdot T_K}{A3 \cdot \lambda}}. \quad (4.12)$$

При этом средние потери на проведение проверок технического состояния информационных систем будут минимальными и равными

$$\bar{C}_{\min} \cong 2\sqrt{A1 \cdot A3 \cdot T_K \cdot \lambda} - A1 \cdot T_K \cdot \lambda + A2 \cdot T_p \cdot \lambda. \quad (4.13)$$

На практике сопоставить функции потерь  $A1$  и  $A3$  не всегда удается. Поэтому периодичность проверок выбирается из других соображений.

Вводится понятие относительных затрат системного времени на проведение проверок

$$\gamma = \frac{T_K}{T_{\Pi} + T_K}.$$

Периодичность проверок выбирается из соотношений

$$\frac{T_K}{\gamma^*} \leq T_{\Pi} + T_K \leq \frac{H^*}{\lambda} \quad \text{или} \quad (4.14)$$

$$\gamma^* \cdot H^* \geq T_K \cdot \lambda,$$

где  $\gamma^*$  – допустимые относительные затраты системного времени на проведение проверок;  $H^*$  – допустимая недоверность работоспособности системы.

При задании одного из ограничений  $\gamma^*$  или  $H^*$  для обеспечения другому показателю минимального значения период проверок  $T_{\Pi}$  выбирается из условия (4.14).

*Пример*

Вероятность безотказной работы ИС в течение 500 ч. равна  $P(t = 500) = 0,99$ . Провести анализ влияния периодичности проверок тех-

нического состояния ИС на потери. Известны потери при различных состояниях системы, тыс. руб./ч и время на организацию проверок, ч, (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Исходные данные

A1	A2	A3	T <sub>к</sub>	T <sub>р</sub>	T <sub>п</sub>
0,023	0,125	0,231	0,5	0,5	24

### Решение

Определим интенсивность отказов ИС из формулы вероятности безотказной работы системы при экспоненциальном законе распределения отказов:

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot T), \text{ откуда } \lambda = -\ln P(t)/T = -\ln(0,99)/500 = 2,01 \cdot 10^{-5} / \text{ч.}$$

Подставляя данные табл. 4.2 в формулу (4.13), вычислим средние потери в единицу времени на проведение проверок технического состояния информационной системы:  $C = 0,00059$  тыс. руб./ч.

По формуле (4.12) вычислим оптимальную периодичность проведения проверок ИС:  $T_{п}^* = 49,8$  ч. При этом средние потери в единицу времени на проведение проверок технического состояния информационной системы составят 0,00046 тыс. руб./ч, т.е. уменьшатся на 22 %.

### Задачи

*Пример 4.3.1.* Провести анализ влияния вероятности безотказной работы ИС на периодичность проведения проверок и величину потерь в процессе эксплуатации системы. Исходные данные для расчетов брать из табл. 4.2. Рассмотреть вероятности безотказной работы систем  $P(t=500)=0,99; 0,97; 0,95$ .

*Пример 4.3.2.* Провести анализ влияния потерь, связанных с проверкой работоспособности системы  $A1=0,02; 0,025; 0,03$  тыс. руб./ч. Исходные данные для расчетов брать из табл. 4.2.

*Пример 4.3.3.* Провести анализ влияния продолжительности проверок работоспособности ИС на периодичность проведения проверок и величину потерь в процессе эксплуатации системы. Исходные данные для расчетов брать из табл. 4.2. Рассмотреть продолжительность проверок работоспособности, равную  $T_{к}=0,5; 0,6; 0,7$  ч.

### Контрольные вопросы

1. Для чего проводятся проверки технического состояния информационных систем?
2. Критерии, используемые при планировании проверок технического состояния информационных систем.

3. Влияние безотказности работы ИС на периодичность проверок.
4. Влияние продолжительности проверок работоспособности ИС на периодичность проверок.

### Занятие 5. ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Специфические черты организационно-технических систем часто не позволяют свести операции, проводимые этими системами, к детерминированным или вероятностным. В неопределенной операции  $a_i$  могут быть известны множество состояний обстановки  $n_j$  и эффективность систем для каждой из них  $k_{ij}$ , но нет данных, с какой вероятностью может появиться то или иное состояние (см. рисунок).

В зависимости от характера неопределенности операции могут делиться на игровые и статистически неопределенные. В игровых операциях неопределенность вносит своими сознательными действиями противник.

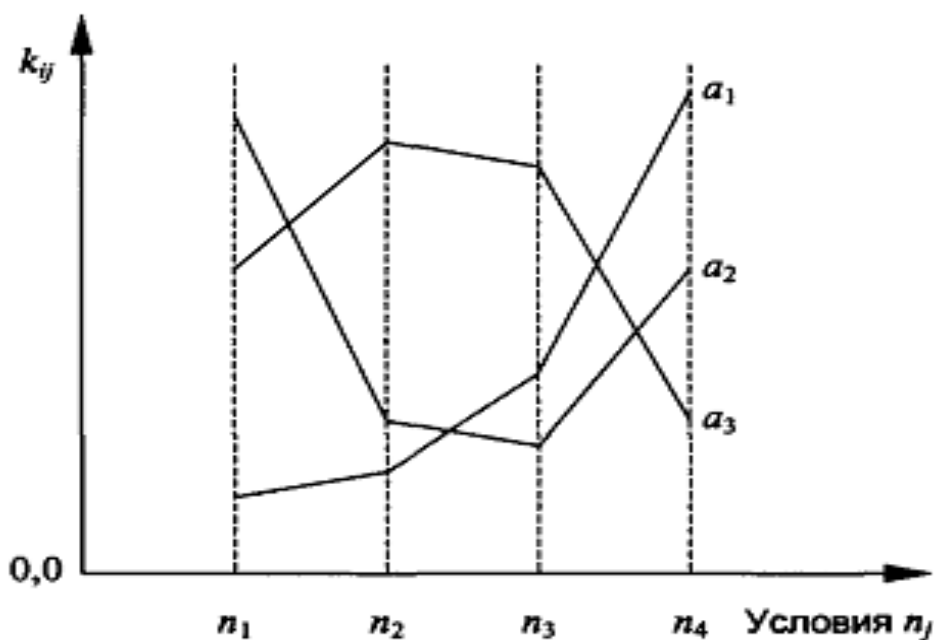


Диаграмма эффективности систем  $a_i$  для условий  $n_j$

Для исследования игровых операций используется теория игр. Условия статистически неопределенных операций зависят от объективной действительности, называемой природой. Природа рассматривается как незаинтересованная, безразличная к операции сторона (она пассивна по отношению к лицу, принимающему решение). Такие операции могут исследоваться с применением теории статистических решений.

Если операция, проводимая системой, уникальна, то для разрешения неопределенности при оценке систем используются субъективные предпочтения ЛПР.

В зависимости от характера предпочтений ЛПР наиболее часто в неопределенных операциях используются критерии среднего выигрыша; Лапласа; осторожного наблюдателя (Вальда); максимакса; пессимизма-оптимизма (Гурвица); минимального риска (Сэвиджа). Рассмотрим эти критерии на примере.

*Пример [6].* Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i, i = \{1, 2, 3\}$  для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий  $k_j, \{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$ . Матрица эффективности представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Матрица эффективности программных продуктов

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,1	0,5	0,1	0,2
$a_2$	0,2	0,3	0,2	0,4
$a_3$	0,1	0,4	0,4	0,3

*Критерий среднего выигрыша.* Данный критерий предполагает задание вероятностей состояний обстановки  $p_i$ . Эффективность систем оценивается как среднее ожидаемое значение (математическое ожидание) оценок эффективности по всем состояниям обстановки

$$K(a_i) = \sum_{j=1}^l p_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Оптимальной системе будет соответствовать эффективность

$$K_{\text{опт}} = \max_i \sum_{j=1}^l p_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Если в данном примере задаться вероятностями применения противником программных воздействий  $p_1 = 0,4, p_2 = 0,2, p_3 = 0,1$  и  $p_4 = 0,3$ , то получим следующие оценки систем:

$$K(a_1) = 0,4 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,5 + 0,1 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,21;$$

$$K(a_2) = 0,4 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,4 = 0,28;$$

$$K(a_3) = 0,4 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,4 + 0,1 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,3 = 0,25.$$

Оптимальное решение – программный продукт  $a_2$ .

Для применения критерия среднего выигрыша необходим перевод операции из неопределенной в вероятностную.

*Критерий Лапласа.* В основе критерия лежит предположение: поскольку о состояниях обстановки ничего не известно, то их можно считать равновероятными. Исходя из этого следует

$$K(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^t k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$K_{\text{опт}} = \max_i \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^t k_{ij} \right), \quad i = 1, \dots, m.$$

Рассчитаем эффективность систем по данному критерию для приведенного примера

$$K(a_1) = 0,25 (0,1 + 0,5 + 0,1 + 0,2) = 0,225;$$

$$K(a_2) = 0,25 (0,2 + 0,3 + 0,2 + 0,4) = 0,275;$$

$$K(a_3) = 0,25 (0,1 + 0,4 + 0,4 + 0,3) = 0,3.$$

Оптимальное решение – программный продукт  $a_3$ . Критерий Лапласа представляет собой частный случай критерия среднего выигрыша.

*Критерий осторожного наблюдателя (Вальда).* Это максиминный критерий, он гарантирует определенный выигрыш при наихудших условиях. Критерий основывается на том, что, если состояние обстановки неизвестно, нужно поступать осторожно, ориентируясь на минимальное значение эффективности каждого программного продукта.

В каждой строке матрицы эффективности находится минимальная из оценок систем по различным состояниям обстановки

$$K(a_i) = \min_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, t.$$

Оптимальным считается программный продукт из строки с максимальным значением эффективности

$$K_{\text{опт}} = \max_i (\min_j k_{ij}), \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, t.$$

Применение критерия максимина к нашему примеру дает следующие оценки:

$$K(a_1) = \min (0,1; 0,5; 0,1; 0,2) = 0,1;$$

$$K(a_2) = \min (0,2; 0,3; 0,2; 0,4) = 0,2;$$

$$K(a_3) = \min (0,1; 0,4; 0,4; 0,3) = 0,1.$$

Оптимальное решение – программный продукт  $a_2$ .

Максиминный критерий ориентирует на решение, не содержащее элементов риска: при любом из возможных состояний обстановки выбранная система покажет результат операции не хуже найденного максимина.

Такая осторожность является в ряде случаев недостатком критерия. Другой недостаток – добавление постоянного числа к каждому элементу столбца матрицы эффективности влияет на выбор системы.

*Критерий максимакса.* Этим критерием предписывается оценивать системы по максимальному значению эффективности и выбирать в качестве оптимального решения систему, обладающую эффективностью с наибольшим из максимумов:

$$k(a_i) = \max_j k_{ij},$$

$$K_{\text{опт}} = \max_i (\max_j k_{ij}).$$

Оценки систем на основе максимаксного критерия в нашем примере принимают следующие значения:

$$K(a_1) = \max(0,1; 0,5; 0,1; 0,2) = 0,5;$$

$$K(a_2) = \max(0,2; 0,3; 0,2; 0,4) = 0,4;$$

$$K(a_3) = \max(0,1; 0,4; 0,4; 0,3) = 0,4.$$

Оптимальное решение – программный продукт  $a_1$ . Критерий максимакса – оптимистический критерий. Те, кто предпочитает им пользоваться, всегда надеются на лучшее состояние обстановки и, естественно, в большей степени рискуют.

*Критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица).* Это критерий обобщенного максимина. По этому критерию при оценке и выборе систем неразумно проявлять как осторожность, так и азарт, а следует, учитывая самое высокое и самое низкое значения эффективности, занимать промежуточную позицию (взвешиваются наихудшие и наилучшие условия). Для этого вводится коэффициент оптимизма  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), характеризующий отношение к риску лица, принимающего решение. Эффективность систем находится как взвешенная с помощью коэффициента  $\alpha$  сумма максимальной и минимальной оценок

$$K(a_i) = \alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij}.$$

Условие оптимальности записывается в виде

$$K_{\text{опт}} = \max_i \left[ \alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij} \right], \quad 0 \leq \alpha \leq 1.$$

Зададимся значением  $\alpha = 0,6$  и рассчитаем эффективность систем для рассматриваемого примера.

$$K(a_1) = 0,6 \cdot 0,5 + (1 - 0,6) \cdot 0,1 = 0,34;$$



$$K(a_2) = 0,6 \cdot 0,5 + (1 - 0,6) \cdot 0,2 = 0,32;$$

$$K(a_3) = 0,6 \cdot 0,4 + (1 - 0,6) \cdot 0,1 = 0,34.$$

Оптимальный программный продукт –  $a_1$ .

Значение  $\alpha$  определяется методом экспертных оценок. Очевидно, что чем опаснее оцениваемая ситуация, тем величина  $\alpha$  должна быть ближе к единице, когда гарантируется наибольший из минимальных выигрышей или наименьший из максимальных рисков.

На практике пользуются значениями коэффициента  $\alpha$  в пределах 0,3 – 0,7.

*Критерий минимального риска (Сэвиджа).* Минимизирует потери эффективности при наихудших условиях. Для оценки систем на основе данного критерия матрица эффективности должна быть преобразована в матрицу потерь (риска). Каждый элемент матрицы потерь определяется как разность между максимальным и текущим значениями оценок эффективности в столбце

$$\Delta k_{ij} = \max_i k_{ij} - k_{ij}.$$

После преобразования матрицы используется критерий минимакса

$$K(a_i) = \max_j \Delta k_{ij};$$

$$K_{\text{опт}} = \min_i (\max_j \Delta k_{ij}).$$

Оценим эффективность систем из приведенного примера в соответствии с данным критерием. Матрице эффективности (см. табл. 5.1) будет соответствовать матрица потерь (табл. 5.2). Тогда

$$K(a_1) = \max (0,1; 0; 0,3; 0,2) = 0,3;$$

$$K(a_2) = \max (0; 0,2; 0,2; 0) = 0,2;$$

$$K(a_3) = \max (0,1; 0,1; 0; 0,1) = 0,1.$$

Оптимальное решение – программный продукт  $a_3$ . Критерий минимального риска отражает сожаление по поводу того, что выбранная система не оказалась наилучшей при определенном состоянии обстановки. Так, если произвести выбор программного продукта  $a_1$ , а состояние обстановки в действительности  $k_3$ , то сожаление, что не выбран наилучший из программных продуктов ( $a_3$ ), составит 0,3.

Таблица 5.2. Матрица потерь

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,1	0	0,3	0,2
$a_2$	0	0	0,2	0
$a_3$	0,1	0,1	0	0,1

О критерии Сэвиджа можно сказать, что он, как и критерий Вальда, относится к числу осторожных критериев. По сравнению с критерием Вальда в нем придается несколько большее значение выигрышу, чем проигрышу.

Таким образом, эффективность систем в неопределенных операциях может оцениваться по целому ряду критериев. На выбор того или иного критерия оказывает влияние ряд факторов:

- природа конкретной операции и ее цель (в одних операциях допустим риск, в других – нужен гарантированный результат);

- причины неопределенности (одно дело, когда неопределенность является случайным результатом действия объективных законов природы, и другое, когда она вызывается действиями разумного противника, стремящегося помешать в достижении цели);

- характер лица, принимающего решение (одни люди склонны к риску в надежде добиться большего успеха, другие предпочитают действовать всегда осторожно).

Выбор какого-то одного критерия приводит к принятию решения по оценке систем, которое может быть отличным от решений, диктуемых другими критериями.

Тип критерия для выбора рационального варианта должен быть оговорен на этапе анализа систем, согласован с заказывающей организацией или предполагается заданным. Устойчивость выбранного рационального варианта можно оценить на основе анализа по нескольким критериям.

### Задачи

*Пример 5.1.* Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i$ ,  $i = \{1, 2, 3\}$  для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий  $k_j$ ,  $\{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$ . Матрица эффективности представлена в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Матрица эффективности программных продуктов

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,6	0,1	0,15	0,15
$a_2$	0,4	0,1	0,05	0,45
$a_3$	0,2	0,3	0,4	0,1

*Пример 5.2.* Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i$ ,  $i = \{1, 2, 3\}$  для борьбы с одним из четырех ти-

пов программных воздействий  $k_j$ ,  $\{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$ . Матрица эффективности представлена в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Матрица эффективности программных продуктов

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,35	0,2	0,15	0,3
$a_2$	0,55	0,05	0,15	0,25
$a_3$	0,35	0,3	0,2	0,15

*Пример 5.3.* Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i$ ,  $i = \{1, 2, 3\}$  для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий  $k_j$ ,  $\{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$ . Матрица эффективности представлена в табл. 5.5.

Таблица 5.5. Матрица эффективности программных продуктов

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,55	0,05	0,15	0,25
$a_2$	0,6	0,1	0,15	0,15
$a_3$	0,4	0,1	0,05	0,45

*Пример 5.4.* Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i$ ,  $i = \{1, 2, 3\}$  для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий  $k_j$ ,  $\{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$ . Матрица эффективности представлена в табл. 5.6.

Таблица 5.6. Матрица эффективности программных продуктов

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,1	0,5	0,2	0,2
$a_2$	0,2	0,2	0,4	0,2
$a_3$	0,3	0,4	0,1	0,2

*Пример 5.5.* Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i$ ,  $i = \{1, 2, 3\}$  для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий  $k_j$ ,  $\{j\} = \{1, 2, 3, 4\}$ . Матрица эффективности представлена в табл. 5.7.

Таблица 5.7. Матрица эффективности программных продуктов

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,2	0,2	0,4	0,2
$a_2$	0,35	0,3	0,2	0,15
$a_3$	0,6	0,1	0,15	0,15

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные критерии оценки сложных систем в условиях неопределенности.
2. Что собой представляет критерий среднего выигрыша, в каких случаях используется?
3. Охарактеризуйте критерий Лапласа, в каких случаях используется?
4. Что собой представляет критерий осторожного наблюдателя, в каких случаях используется?
5. Что называется критерием максимакса, в каких случаях используется?
6. Что собой представляет критерий пессимизма-оптимизма, в каких случаях используется?
7. Что собой представляет критерий минимального риска, в каких случаях используется?

## Занятие 6. ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РИСКА

Операции, выполняемые в условиях риска, называются вероятностными. Соответствие между системами и исходами в вероятностных операциях нарушается. Это означает, что каждой системе (альтернативе)  $a$  ставится в соответствие множество исходов  $\{y_k\}$  с известными условными вероятностями появления  $p(y_k / a_i)$ . Например, из-за ограниченной надежности сетевого оборудования время передачи сообщения может меняться случайным образом по известному закону.

Эффективность систем в вероятностных операциях находится через математическое ожидание функции полезности на множестве исходов  $K(a) = M_a[F(y)]$

$$K(a_i) = \sum_{k=1}^m p(y_k / a_i) F(y_k), i = 1, \dots, n.$$

Из данного выражения как частный случай может быть получена оценка эффективности систем для детерминированных операций, если принять, что исход, соответствующий системе, наступает с вероятностью, равной единице, а вероятности остальных исходов равны нулю.

При исходах с непрерывными значениями показателей математическое ожидание функции полезности определяется как

$$K(a_i) = \int_R f(y/a_i)F(y)dy,$$

где  $f(y/a_i)$  – плотность вероятностей исходов;  $R$  – допустимая область векторного пространства исходов.

Для оценки эффективности систем в вероятностной операции необходимо:

- определить исходы операции по каждой системе;
- построить функцию полезности на множестве исходов операции;
- найти распределение вероятностей на множестве исходов операции;
- рассчитать математическое ожидание функции полезности на множестве исходов операции для каждой системы.

Критерий оптимальности для вероятностных операций имеет вид

$$K(a_i) = \max_{a_i} M_{a_i}[F(y)], \quad (i = 1, \dots, m).$$

В соответствии с этим критерием оптимальной системой в условиях риска считается система с максимальным значением математического ожидания функции полезности на множестве исходов операции.

Оценка систем в условиях вероятностной операции – это оценка «в среднем», поэтому ей присущи все недостатки такого подхода, главный из которых заключается в том, что не исключен случай выбора неоптимальной системы для конкретной реализации операции. Однако если операция будет многократно повторяться, то оптимальная в среднем система приведет к наибольшему успеху.

Сведение задачи оценки систем к вероятностной постановке применимо для операций, имеющих массовый характер, для которых существует возможность определить объективные показатели исходов, вероятностные характеристики по параметрам обстановки и законы распределения вероятностей на множестве исходов операции.

Рассмотрим пример оценки эффективности систем в вероятностных операциях по приведенному критерию [6].

*Пример.* Оценка вариантов конфигурации гетерогенной локальной вычислительной сети общего пользования. Исследуемая операция – обмен

сообщениями между пользователями, система – варианты размещения сетевого оборудования, показатель исхода операции – число переданных сообщений  $n_k$  (дискретная величина). Числовые данные для оценки приведены в таблице.

Данные для оценки вычислительной сети

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$	$K(a_i)$
Вариант 1	60	0,3	0,8	0,51
	40	0,5	0,5	
	20	0,2	0,1	
Вариант 2	60	0,25	0,8	0,515
	40	0,60	0,5	
	20	0,15	0,1	

Расчет показателей и оценка эффективности по критерию превосходства показывают, что в качестве оптимальной системы должен быть признан вариант 2 конфигурации сети:

$$K(a_1) = 0,3 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,1 = 0,51;$$

$$K(a_2) = 0,25 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,1 = 0,515;$$

$$K_{opt} = \max \{K(a_1), K(a_2)\} = K(a_2) = 0,515.$$

Кроме оптимизации «в среднем» в вероятностных операциях используются и другие критерии оценки систем [6]. Рассмотрение этих критериев составляет один из разделов теории принятия решений.

### Задачи

Для представленных ниже вариантов рассчитать показатели и оценку эффективности по критерию превосходства

1.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	85	0,5	0,3
	65	0,25	0,7
	45	0,25	0,2
Вариант 2	85	0,65	0,2
	65	0,25	0,45
	45	0,1	0,6
Вариант 3	85	0,4	0,15
	65	0,35	0,65
	45	0,25	0,2

2.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	120	0,7	0,6
	80	0,1	0,6
	60	0,2	0,3
Вариант 2	120	0,5	0,4
	80	0,3	0,45
	60	0,2	0,4
Вариант 3	120	0,8	0,35
	80	0,05	0,5
	60	0,15	0,3

3.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	60	0,4	0,15
	50	0,1	0,65
	40	0,5	0,2
Вариант 2	60	0,2	0,6
	50	0,3	0,6
	40	0,5	0,3
Вариант 3	60	0,6	0,2
	50	0,15	0,45
	40	0,25	0,6

4.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	60	0,4	0,4
	50	0,1	0,45
	40	0,5	0,4
Вариант 2	60	0,65	0,6
	50	0,25	0,6
	40	0,1	0,3
Вариант 3	60	0,8	0,2
	50	0,05	0,45
	40	0,15	0,6

5.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	85	0,65	0,3
	65	0,25	0,7
	45	0,1	0,2
Вариант 2	85	0,4	0,2
	65	0,1	0,45
	45	0,5	0,6
Вариант 3	85	0,5	0,15
	65	0,25	0,65
	45	0,25	0,2

### Контрольные вопросы

1. Для каких целей проводится оценка сложных систем? Каковы основные этапы оценивания сложных систем?
2. Приведите вид критерия оптимальности.
3. Что такое функция полезности?
4. Как осуществляется оценка сложных систем в условиях риска на основе функции полезности?
5. Как определяется математическое ожидание при исходах с непрерывными значениями показателей?



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М. : Наука, 1983.
2. Антонов, А. В. Системный анализ : учеб. для вузов / А. В. Антонов. – М. : Высш. шк., 2004. – 454 с. – ISBN 5-06-004862-4.
3. Лапыгин, Ю. Н. Системное управление / Ю. Н. Лапыгин; Владим. гос. ун-т. – 4-е изд., перераб. и доп. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2006. – 198 с.
4. Хетагуров, Я. А. Проектирование информационно-вычислительных комплексов: учеб. для вузов по специальности. «АСУ» / Я. А. Хетагуров, Ю. Г. Дреус. – М. : Высш. шк., 1987. – 280 с.
5. Макаров, Р. И. Методология проектирования информационных систем : учеб. пособие / Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева; Владим. гос. ун-т, – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2008. – 334 с. – ISBN 978-5-89368-817-7.
6. Анфилатов, В. С. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин; под ред. А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 368 с. – ISBN 5- 279-02435-Х.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Занятие 1. Описание системы как «черного ящика».	
Декомпозиция систем .....	3
Занятие 2. Анализ структурных характеристик алгоритмических систем .....	10
Занятие 3. Функциональный анализ информационно- управляющих систем. Выбор степени автоматизации управления .....	14
Занятие 4. Анализ эффективности информационных систем в условиях определенности .....	17
Занятие 5. Оценка сложных систем в условиях неопределенности ..	29
Занятие 6. Оценка сложных систем в условиях риска .....	36
Библиографический список .....	41

## АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Методические указания к практическим занятиям

Составитель

МАКАРОВ Руслан Ильич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор И. Е. Жигалов.

Подписано в печать 16.04.13.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,56. Тираж 75 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.