

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



**УТВЕРЖДАЮ**

Председатель СПбНЦ РАН

академик

  
Ж. И. Алфёров

**ОТЧЕТ**

**о научно-исследовательской работе  
РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ  
КВАЛИМЕТРИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА  
(промежуточный)**

**по Государственному заданию СПбНЦ РАН в 2014–2016 гг.**

**Этап 2**

Научный руководитель

главный научный сотрудник


д.т.н. проф.  В.П. Заболотский

Санкт-Петербург

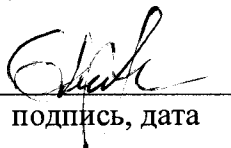
2015

## Список исполнителей

Руководитель темы, главный научный сотрудник, доктор технических наук профессор

  
подпись, дата В.П. Заболотский


Ответственный исполнитель темы, старший научный сотрудник, кандидат технических наук

  
подпись, дата В.С. Блюм

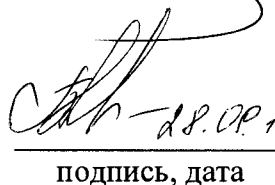
Исполнитель темы, старший научный сотрудник, кандидат технических наук доцент

  
подпись, дата В.П. Иванов

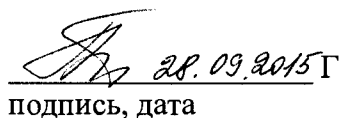
Исполнитель темы, старший научный сотрудник, кандидат технических наук доцент

  
подпись, дата 28.09.2015 М.В. Харинов

Подготовка научного отчета и публикаций по проделанной работе, инженер

  
подпись, дата 28.09.15 А.В. Борисова

Нормоконтролер

  
подпись, дата 28.09.2015 Г.С. Боброва

## Оглавление

Список исполнителей	3
Реферат	4
Основные определения	5
Используемые сокращения	7
Основные обозначения	8
Основная часть	11
Введение	11
1. Методология, математические методы и модели оценивания состояния, хода и результатов информатизации	12
1.1. Система основных понятий	12
1.2. Основные подходы к формированию системы показателей оценивания состояния и результатов информатизации	22
1.3. Показатели информированности населения	27
1.4. Показатели уровня информационного обслуживания	44
2. Методология, математические методы и модели прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации	50
2.1 Сущность подхода к прогнозированию состояния, хода и результатов информатизации	50
2.2. Сетевые модели с вероятностной структурой	52
2.3 Определение вариантов реализации сетевых моделей с вероятностной структурой	58
2.4 Основные этапы обработки результатов наблюдений процесса информатизации с применением сетевой модели наблюдаемого процесса	65
2.4.1. Выявление проводимых мероприятий комплекса по результатам наблюдений	67
2.4.2 Проверка непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели	68
2.4.3. Определение реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий	72
2.4.4. Вычисление оценок сетевых параметров реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий	75
2.4.5. Определение текущего состояния и хода выполнения наблюдаемого комплекса мероприятий	76
Заключение	79
Список использованных источников	82

## Реферат

Отчет 83 с., 20 источников

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** информатизация, информационное общество, информационная безопасность, состояние, развитие, показатель, критерий.

Объектом исследования является методология и основанные на ней методы и математические модели оценивания состояния, хода и результатов информатизации

Целью НИР является: повышение эффективности управленческих решений процесса информатизации общества в результате применения квалиметрии при их выработке, ранжировки вариантов этих решений и обоснования рационального варианта в рамках заданного показателя их качества.

Данная цель достигается на основе исследования и разработки новых методов, математических моделей и алгоритмов комплексного анализа исходной информации, комплексного анализа и интерпретации хода информатизации общества с помощью выбранной и обоснованной системы показателей.

В отчете за этап 2 НИР изложены методология и основанные на ней методы и математические модели оценивания состояния, хода и результатов информатизации, в основу которых положено представление об информатизации как целенаправленном процессе. Это позволило при выборе и формировании соответствующих показателей и критериев оценивания применить методы и подходы, используемые в квалиметрии и теории эффективности. Рассмотрены система понятий, послужившая базой для разработки показателей оценивания состояния, хода и результатов информатизации, и три основных подхода к решению задачи выбора и обоснования системы показателей, позволяющей с требуемой точностью оценить состояние, ход и результаты информатизации.

Приведены методология, математические методы и модели оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации.

## Основные определения

*Определение 1. Информационная опасность* – это:

– состояние окружающей среды или объекта, в котором существует возможность причинить объекту существенный ущерб или вред путем оказания воздействия на информационную сферу объекта;

– свойство объекта, характеризующее его способность наносить существенный ущерб какому-либо объекту путем оказания воздействия на информационную сферу этого объекта.

*Определение 2. Информационная безопасность* – это:

– состояние объекта, когда ему путем воздействия на его информационную сферу не может быть нанесен существенный ущерб или вред;

– свойство объекта, характеризующее его способность не наносить существенного ущерба какому-либо объекту путем оказания воздействия на информационную сферу этого объекта.

*Определение 3. Информационная угроза* – угроза объекту путем оказания воздействия на его информационную сферу, т.е.:

– намерение нанести (причинить) объекту существенный ущерб, путем оказания воздействия на его информационную сферу;

– информационная опасность, реализация которой становится весьма вероятной;

– фактор или совокупность факторов, создающих информационную опасность объекту. Такими факторами могут быть действия, поведение объектов, природные явления и т. д.

*Определение 4. Информационная безопасность Российской Федерации* – это состояние страны, в котором гражданам, объединениям и общественным группам граждан, обществу и государству не может быть нанесен существенный ущерб путем оказания воздействия на информационную сферу страны.

*Определение 5. Информационная безопасность личности* – это состояние человека, в котором его личности не может быть нанесено существенного ущерба путем оказания воздействия на окружающее человека информационное пространство.

*Определение 6. Информационная безопасность общества* – это состояние общества, в котором ему не может быть нанесен существенный ущерб путем воздействия на информационную сферу общества.

*Определение 7. Информационная безопасность государства* – это состояние государства, в котором ему не может быть нанесен существенный ущерб путем оказания воздействия на информационную сферу государства.

*Определение 8. Информационная война* – это действия, предпринимаемые для достижения информационного превосходства путем нанесения ущерба информационной сфере противника и обеспечении собственной информационной безопасности.

*Определение 9. Информационный криминал* – это действия отдельных лиц или групп, направленные на нанесение ущерба информационной сфере или ее использование в корыстных целях.

*Определение 10. Информационный терроризм (кибертерроризм)* – это особая форма насилия, представляющее собой сознательное и целенаправленное информационное воздействие или угрозу применения такого воздействия для принуждения правительства к реализации политических, экономических, религиозных и иных целей террористической организацией или отдельными террористами, сопровождаемое эмоциональным воздействием на общество для возбуждения в нем страха, панических настроений, потери доверия к власти и создания политической нестабильности.

*Определение 11. Информационное общество* – это такое общество, в котором: производство и потребление информации являются важнейшими видами деятельности, а информация признается наиболее значимым ресурсом; новые информационные и телекоммуникационные технологии и техника становятся базовыми технологиями и техникой, а информационная среда наряду с социальной и экологической – новой средой обитания человека.

## **Используемые сокращения**

ОПК – оборонно-промышленный комплекс.

ГИО – глобальное информационное общество.

ИБ – информационная безопасность.

ИКТ – информационно-коммуникационные технологии.

ИО – информационное общество.

ИР – информационный ресурс.

ИТКИ – информационно-телекоммуникационная инфраструктура.

ИТКТ – информационные и телекоммуникационные технологии.

МК – массовая коммуникация.

НОК – научно-образовательный комплекс.

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

ПК – персональный компьютер.

ПО – программное обеспечение.

РИП – региональная информационная политика.

СВТ – средства вычислительной техники.

СМИ – средства массовой информации.

СМИ и МК – средства массовой информации и массовой коммуникации.

СНГ – Содружество независимых государств.

GIS (Global Information Society) – глобальное информационное общество

## Основные обозначения

$s, t, u, v, w, x, y, z, \dots$	Произвольные переменные
$i, j, k, l, m, n, r, s, \dots$	Целочисленные переменные
$a, b, c, d, \dots$	Параметры
$(a, b) = \{x : a < x < b\}$	Открытый интервал значений переменной $x$
$(a, b] = \{x : a < x \leq b\}$	Полуоткрытый слева интервал значений переменной $x$
$[a, b) = \{x : a \leq x < b\}$	Полуоткрытый справа интервал значений переменной $x$
$[a, b] = \{x : a \leq x \leq b\}$	Замкнутый интервал (отрезок) значений переменной $x$
$m = k(r)n \Leftrightarrow m = k, k+r, k+2r, \dots, n$	Последовательность значений переменной $m$
$[m = k(r)n] = \{m : m = k, k+r, k+2r, \dots, n\}$	Множество последовательных значений переменной $m$
$\{x\} = \{x : U(x)\}$	Множество значений переменной $x$ , удовлетворяющих условию (описанию) $U(x)$
$\{x\} = \{x / U(x)\}$	
$F_{\langle m \rangle}(x) = \langle f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x) \rangle^T$	Вектор – функция одного аргумента
$Y_{\langle m \rangle}(x) = \langle y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x) \rangle^T$	
$\Delta(t-a) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq a \\ 1 & \text{при } t > a \end{cases}$	Единичная функция (единичный скачок)
$\delta(t-a) = \Delta'(t-a) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = a+0 \\ 0 & \text{при } t \neq a+0 \end{cases}$	Дельта-функция
$A \wedge B$	Знак конъюнкции высказываний
$A \vee B$	Знак дизъюнкции высказываний
$A \Rightarrow B$	Знак импликации высказываний
$A \rightarrow B$	
$A \Leftrightarrow B$	Знак эквивалентности высказываний
$(\forall x)U(x)$	Квантор общности
$(\exists x)U(x)$	Квантор существования
$x = y$	Знак равенства
$x \neq y$	Знак неравенства
$x < y$	Знак строгого неравенства
$x > y$	Знак строгого неравенства
$x \leq y$	Знак нестрогого неравенства
$x \geq y$	Знак нестрогого неравенства



$x \sim y$

Знак эквивалентности

$x \in M$

Знак принадлежности элемента множеству

$x \notin M$

Знак не принадлежности элемента множеству

$A \subseteq B$

Знак включения одного множества в другое

$A \subset B$

Знак строгого включения одного множества в другое

$(C = A \cap B) \sim (C = \{x : (x \in A) \wedge (x \in B)\})$

Знак пересечения (произведения) множеств

$(C = A \cup B) \sim (C = \{x : (x \in A) \vee (x \in B)\})$

Знак объединения (суммы) множеств

$(C = A \setminus B) \sim (C = \{x : (x \in A) \wedge (x \notin B)\})$

Знак дополнения (разности) множеств

$(D = A \times B) \sim (D = \{ \langle x, y \rangle : (x \in A) \wedge (y \in B) \})$

Знак прямого произведения множеств

$$\mathbf{B}_{[m,n]} = \left\| b_{ij} \right\|_m^n = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1j} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2j} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & b_{ij} & \dots & b_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mj} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}$$

Матрица размерности  $m \times n$  ( $m \times n$ - матрица)

$$\mathbf{B}_{[m]} = \mathbf{B}_{[m,n]} = \left\| b_{ij} \right\|_m^m$$

Квадратная матрица порядка  $m$ , т.е. матрица размерности  $m \times m$

$$|\mathbf{B}| = |\mathbf{B}_{[m]}| = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mm} \end{vmatrix}$$

Определитель квадратной матрицы  $\mathbf{B}$

$$Y_{\langle n \rangle} = \left\| y_{ij} \right\|_n^1 = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle^T$$

$n$ -мерный вектор-столбец

$$Y_{\langle n \rangle}^T = \left\| y_{ij} \right\|_1^n = \langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle$$

$n$ -мерный вектор-строка

$$\frac{dX_{\langle n \rangle}}{dt} = \frac{dX_{\langle n \rangle}(t)}{dt} = \begin{bmatrix} \frac{dx_1(t)}{dt} \\ \frac{dx_2(t)}{dt} \\ \dots \\ \frac{dx_n(t)}{dt} \end{bmatrix}$$

Производная вектора  $X_{\langle n \rangle}$  по скаляру  $t$

$A \cap B$

Произведение событий  $A$  и  $B$

$A \cup B$

Сумма событий  $A$  и  $B$

$\mathcal{A}, \mathcal{B}, \mathcal{C}, \dots$

Случайные события

$$P(\mathcal{A}) = \text{Вер.}\mathcal{A}$$

$U$

$$P(\mathcal{A}/B) = \text{Вер.}\mathcal{A} \text{ при } B = U$$

$\xi, \eta, \xi, \xi, \eta, \dots$

$$F_{\xi}(x) = P(\xi < x)$$

$$R_{\xi}(x) = P(\xi \geq x) = 1 - F_{\xi}(x)$$

$$\varphi_{\xi}(x) = F'_{\xi}(x) = -R'_{\xi}(x)$$

$$P_{\xi}(z_i) = P(\xi = z_i), \quad i = 1(1)n, \quad n \in [1(1)\infty]$$

$$\bar{X}_{\langle n \rangle} = M[\mathcal{X}_{\langle n \rangle}] = \langle M_{\xi_1}, M_{\xi_2}, \dots, M_{\xi_n} \rangle^T$$

$$D_{\mathcal{X}_{\langle n \rangle}} = \langle D_{\xi_1}, D_{\xi_2}, \dots, D_{\xi_n} \rangle^T$$

Безусловная (априорная) вероятность случайного события  $\mathcal{A}$

Достоверное событие

Условная (апостериорная) вероятность события  $\mathcal{A}$  относительно события  $B$

Случайные величины

Безусловная (маргинальная) функция распределения случайной величины  $\xi$

Дополнительная функция распределения случайной величины  $\xi$

Безусловная (маргинальная) плотность распределения случайной величины  $\xi$

Ряд распределения дискретной случайной величины  $\xi$

Математическое ожидание случайного вектора  $\mathcal{X}_{\langle n \rangle}$

Дисперсия случайного вектора  $\mathcal{X}_{\langle n \rangle}$

## Основная часть

### Введение

В отчете изложены методология и основанные на ней методы и математические модели оценивания состояния, хода и результатов информатизации, в основу которых положено представление об информатизации как целенаправленном процессе. Это позволило при выборе и формировании соответствующих показателей и критериев оценивания применить методы и подходы, используемые в квалиметрии и теории эффективности. Рассмотрены система понятий, послужившая базой для разработки показателей оценивания состояния, хода и результатов информатизации, и три основных подхода к решению задачи выбора и обоснования системы показателей, позволяющей с требуемой точностью оценить состояние, ход и результаты информатизации.

Приведены методология, математические методы и модели прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации.

Изложен подход к прогнозированию информатизации, в котором информатизация отнесена к классу стохастических (случайных) процессов со стохастической (вероятностной) структурой. Данные об информатизации, на основании которых составляются оценки и прогнозы ее состояния, хода и результатов, независимо от их природы и способов получения рассматриваются как результаты прямых или косвенных наблюдений за данным процессом, получение указанных выше оценок и прогнозов – как обработка результатов наблюдений за сложным комплексом мероприятий с вероятностной структурой, а задача оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации – как частный случай решения более общей задачи – обработки результатов наблюдений сложного процесса с вероятностной структурой.

Рассмотрен метод обработки результатов наблюдений сложного стохастического процесса с применением сетевой модели наблюдаемого процесса для решения задач оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации, который позволяет за счет учета структуры наблюдаемых процессов более полно извлекать из результатов наблюдений содержащуюся в них информацию, отбраковывать недостоверные и выявлять наиболее информативные результаты наблюдений, а также определять те недостающие результаты наблюдения, которые могут нести информацию, необходимую для решения задач обработки с требуемым уровнем качества. Сформулированы основные допущения, обеспечивающие корректность применения предложенного метода обработки с применением сетевой модели результатов наблюдений комплекса мероприятий, имеющего вероятностную структуру.

# 1. Методология, математические методы и модели оценивания состояния, хода и результатов информатизации

Важнейшим условием разработки и реализации научно-обоснованной политики информатизации является научное сопровождение данного процесса, а также планов, проектов и программ информатизации на всех уровнях и всех стадиях их осуществления. К одной из основных задач научного сопровождения относится задача оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации, решение которой представляет необходимое условие успешного протекания информатизации и предотвращения ее возможных негативных последствий.

Так как информатизация относится к целенаправленным процессам, а оценивание и прогнозирование состояния и хода информатизации базируется на оценках ее результатов в различные моменты времени, включая прошлые и будущие, то для решения данной задачи можно использовать методы и подходы, разрабатываемые и применяемые в квалиметрии и теории эффективности [1–3]. Для этого необходимо ввести соответствующие показатели и критерии оценивания качества результатов и эффективности информатизации. Формирование таких показателей и критериев производится на основе следующей системы понятий.

## 1.1. Система основных понятий

К основным понятиям, используемым при формировании показателей и критериев оценивания качества результатов и эффективности информатизации, относятся понятия, определяемые следующим образом.

*Определение 1.1.1. Свойство* – характерная черта, сторона объекта, которая внутренне присуща ему и обуславливает его отличие или сходство с другими объектами.

*Определение 1.1.2. Простое свойство* – свойство, которое нельзя представить в виде некоторой совокупности свойств объекта.

*Определение 1.1.3. Сложное свойство* – свойство, которое представимо в виде некоторой совокупности свойств объекта.

*Определение 1.1.4. Группа свойств* – любая совокупность свойств объекта.

*Определение 1.1.5. Признак* объекта – устойчивая совокупность свойств объекта, используемая для различения объектов или их классификации.

*Определение 1.1.6. Характеристика* свойства – описание свойств объекта.

Характеристика имеет наименование и значение. Наименование характеристики совпадает с названием свойства. Значение характеристики может быть задано как количественно, так и качественно. Поэтому различают количественные и качественные характеристики.

*Определение 1.1.7.* **Количественная характеристика** – описание свойства объекта с помощью некоторой переменной, значения которой характеризуют уровень или интенсивность этого свойства.

Такую переменную обычно называют *величиной*.

*Определение 1.1.8.* **Качественная характеристика** – описание свойства объекта без явного количественного оценивания интенсивности свойства.

Следует отметить, что качественная характеристика всегда может быть преобразована в количественную путем введения соответствующей шкалы измерения интенсивности свойства и сопоставления качественной характеристики с этой шкалой.

*Определение 1.1.9.* **Оценивание** свойства – процесс определения значения характеристики.

*Определение 1.1.10.* **Оценка** – результат оценивания.

*Определение 1.1.11.* **Измерение** – процесс определения значения количественной характеристики, в основе которого лежит нахождение значения физической величины опытным путем с помощью технических средств.

*Определение 1.1.12.* **Показатель** свойства – количественная характеристика, с помощью которой оценивается свойство.

*Определение 1.1.13.* **Групповой показатель** свойства – показатель группы свойств.

*Определение 1.1.14.* **Обобщенный показатель** свойства – показатель сложного свойства.

*Определение 1.1.15.* **Частный показатель** сложного свойства – показатель свойства, входящего в совокупность свойств, с помощью которой может быть представлено сложное свойство.

*Определение 1.1.16.* **Качество** – сложное свойство объекта, обуславливающее его пригодность для использования по назначению.

Научным направлением, исследующим проблематику и разрабатывающим методологию, методы и методики комплексного количественного оценивания качества объектов, является квалиметрия (теория количественного оценивания качества).

Как и любая теория, квалиметрия имеет свои объекты и свой предмет исследования. Исходя из определения качества, объектами изучения квалиметрии являются все объекты, обладающие качеством, то есть те объекты, которые предназначены для использования с какой-либо целью, для удовлетворения определенной потребности. Такими объектами могут быть как различные предметы, так и различные процессы. Несомненно, что в их круг, в первую очередь, входят результаты человеческой деятельности, целенаправленные (целеустремленные) системы и

процессы. Предметом изучения квалиметрии является качество объектов, т.е. совокупность свойств, обуславливающих пригодность применения объектов по назначению.

*Определение 1.1.17. Операция (целенаправленный процесс)* – упорядоченная совокупность взаимосвязанных действий, направленных на достижение конкретной цели.

*Определение 1.1.18. Результат (эффект)* – конечный итог операции, включая все ее последствия.

*Определение 1.1.19. Целевой эффект* – результат, ради которого проводится операция.

*Определение 1.1.20. Ресурсы* – силы и средства, которые используются для проведения операции.

*Определение 1.1.21. Эффективность* – сложное свойство операции, характеризующее ее приспособленность к достижению цели, ради которой операция осуществляется.

*Определение 1.1.22. Состояние* объекта – совокупность свойств, которая отражает процесс изменения объекта.

Состояние описывается с помощью набора характеристик свойств, составляющих совокупность, которая определяет состояние, и значений этих характеристик в момент времени, соответствующий описанию состояния. Процесс изменения объекта на данном интервале времени представляет собой последовательность состояний, которые принимает объект в каждый момент времени на этом интервале. Данный процесс описывается путем задания начального (исходного) состояния и изменения этого состояния для каждого момента времени на заданном интервале.

*Определение 1.1.23. Развитие* – процесс изменения объекта, подчиняющийся закономерностям, которые определяют существование объекта.

*Определение 1.1.24. Критерий оценивания* свойства – правило, с помощью которого определяют соответствие интенсивности свойства предъявляемым требованиям.

Обычно критерий формируется в виде высказывания, а точнее высказывательной формы, в которую показатели свойства входят в качестве переменных. Показателям свойства сопоставляют требования, которым должны удовлетворять значения оцениваемых показателей. В общем случае требования входят в критерий также в виде переменных. Высказывательная форма в зависимости от значений входящих в нее переменных принимает истинное или ложное значение. Проверка истинности или ложности этой формы для соответствующих значений показателей свойств и требований к ним составляет сущность процесса оценивания свойства с помощью выбранного критерия.

Если возможные значения показателей свойств удовлетворяют предъявляемым требованиям, то высказывание, в которое превращается высказывательная форма после подстановки этих значений, принимает истинное значение. В этом случае говорят, что свойство соответствует предъявляемым требованиям по выбранному критерию оценивания.

Критерии оценивания свойств объектов могут быть разбиты на три группы [3]:

- ◆ критерии пригодности;
- ◆ критерии оптимальности;
- ◆ критерии превосходства.

Для формализованного описания указанных критериев введем следующие обозначения.

Пусть имеется  $N$  объектов с  $M$  свойствами каждый.

Обозначим:

$x_{ij}$ ,  $i = 1(1)M$ ,  $j = 1(1)N$  – показатель  $i$ -го свойства  $j$ -го объекта;

$X_{<M>}^{(j)} = \langle x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Mj} \rangle$ ,  $j = 1(1)N$  – векторный показатель группы свойств  $j$ -го объекта;

$x_i^{\Delta}$ ,  $i = 1(1)M$  – допустимое значение показателя  $x_{ij}$ ,  $j = 1(1)N$ ;

$\{x_i^{\Delta}\}$ ,  $i = 1(1)M$  – множество допустимых значений показателя  $x_{ij}$ ,  $j = 1(1)N$ .

Тогда критерии перечисленных выше групп можно сформулировать следующим образом [4].

*Критерий пригодности*

$$\bigcap_{i=1}^M (x_{ij} \in \{x_i^{\Delta}\}), \quad j \in [1(1)N]. \quad (1.1.1)$$

По определению объекты, для которых высказывание (1.1.1) истинно, одинаково пригодны по оцениваемой группе свойств.

*Критерий оптимальности*

$$\bigcap_{i=1}^M (x_{ij} \in \{x_i^{\Delta}\}) \cap \left( \bigcap_{\forall l \in \{l\}_{M_0}} (x_{lj} \in \{x_l^{\text{opt}}\}) \right), \quad j \in [1(1)N], \quad M_0 \leq M, \quad (1.1.2)$$

где

$l$  – индекс оптимизируемого свойства;

$M_0$  – число оптимизируемых свойств;

$\{l\}_{M_0}$  – множество индексов оптимизируемых свойств;

$x_l^{\text{opt}}$  – оптимальное значение показателя  $l$ -го свойства;

$\{x_l^{\text{opt}}\}$  – множество оптимальных значений показателя  $l$ -го свойства.

По определению объекты, для которых высказывание (1.2) истинно, одинаково оптимальны по множеству  $\{l\}_{M_0}$  свойств и пригодны по всей оцениваемой группе  $M$  свойств.

*Критерий превосходства*

$$\left( \bigcap_{i=1}^M (x_{il} \in \{x_i^{\text{opt}}\}) \right) \bigcap \left( \bigcap_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^N \bigcap_{i=1}^M (x_{il} \succ x_{ij}) \right), \quad l \in [1(1)N], \quad (1.1.3)$$

где  $\succ$  – знак предпочтения.

По определению  $l$ -й объект, для которого высказывание (1.1.3) истинно, превосходит каждый, исключая себя, из  $N$  объектов по оцениваемой группе  $M$  свойств. При этом он является пригодным по этой же группе свойств.

Процесс оценивания свойств объектов включает в себя следующие этапы:

1. Выбор и обоснование группы свойств, учитываемых при оценивании;
2. Выбор и обоснование показателей и критериев оценивания;
3. Измерение свойств, т.е. определение значений выбранных показателей свойств;
4. Оценивание свойств объектов по выбранным критериям.

Кратко охарактеризуем эти этапы.

*1-й этап.* В совокупность свойств, учитываемых при оценивании качества, должны быть включены все свойства, существенные для использования объекта по своему назначению, и только они.

*2-й этап.* Выбор и обоснование показателей и критериев оценивания следует производить с учетом требований, изложенных ниже.

*3-й этап.* Измерение качества осуществляется путем сравнения свойств, включенных в совокупность, с эталонами и вычислением значений частных показателей качеств и обобщенного показателя качества, если таковой имеется.

*4-й этап.* Собственно оценивание состоит в подстановке в выбранный критерий измеренных значений показателей качества и проверке истинности соответствующих высказываний.

Для того чтобы показатели и критерии можно было применять при оценивании свойств объектов, они должны удовлетворять следующим требованиям [5]:

- ◆ соответствия (представительности);
- ◆ полноты;
- ◆ устойчивости;



- ◆ чувствительности (критичности);
- ◆ правильного учета неопределенности.

Требование соответствия означает, что показатель должен позволять измерять интенсивность оцениваемого свойства, а критерий обеспечивать проверку соответствия свойства предъявляемым требованиям.

Требование полноты состоит в том, что показатель должен учитывать достаточное число факторов, влияющих на интенсивность проявления свойства.

Требование устойчивости означает, что малому изменению факторов, влияющих на интенсивность проявления свойства, должно соответствовать малое изменение значения показателя свойства.

Требование чувствительности (критичности). Показатели и критерии оценивания свойства должны быть чувствительны к изменению факторов, влияющих на интенсивность оцениваемого свойства и нечувствительны к изменению факторов, такого влияния не оказывающих.

Требование реализуемости (вычислимости). Показатели и критерии оценивания свойств должны иметь такие математические выражения, чтобы по ним реально можно было вычислить значения показателя и оценить свойство.

Требование правильного учета неопределенности. Показатели и критерии оценивания свойств должны правильно учитывать вид и степень неопределенности, которая всегда сопровождает процесс проявления и оценивания свойств. Выбор детерминированных, вероятностных или иных мер в качестве показателей определяется данным требованием, пренебрежение которым может привести к оценкам весьма далеким от истинных.

Для формирования критериев оценивания необходимо уметь задавать требования к показателям оцениваемых свойств. В настоящее время существует несколько подходов к решению данной задачи, к которым относятся:

1. Экстремальный подход. При таком подходе показатель каждого оцениваемого свойства должен достигать своего экстремального значения;
2. Подход, основанный на сравнении с эталонным образцом. В этом случае задание требований осуществляется в виде отношений значений показателей свойств оцениваемого объекта и эталонного образца;
3. Эмпирический подход (подход на основе экспертных оценок). Требования к значениям показателей свойств формулируются на основе опроса экспертов и соответствующей обработке результатов опроса;
4. Подход, опирающийся на анализ качества и эффективности применения объекта. В этом случае требования к оцениваемым свойствам формируются исходя из требований к качеству

объекта или эффективности его применения. При этом используются соответствующие методы квалиметрии и теории эффективности.

Изложенные общие положения положены в основу методологии оценивания результатов и эффективности информатизации.

Схема решения задачи оценивания результатов информатизации в соответствии с предлагаемой методологией приведена на рис. 1.1.1.

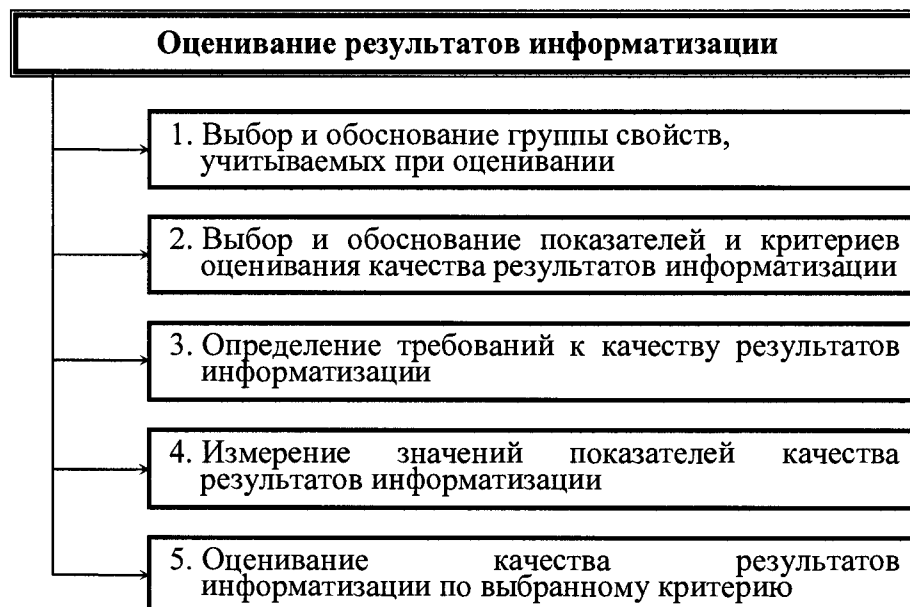


Рис. 1.1.1. Схема оценивания качества результатов информатизации

Информатизация как и любой целенаправленный процесс имеет вполне определенное назначение и, следовательно, обладает качеством и является объектом изучения квалиметрии. Однако исторически сложилось так, что целенаправленные процессы и их качество стали объектом и предметом изучения теории эффективности, которую можно рассматривать как одно из направлений квалиметрии со своими объектами, предметом и методами исследования.

Теория эффективности – это научная дисциплина, в которой разрабатываются методологические основы, методы и методики анализа и количественного оценивания качества целенаправленных процессов. Объектом изучения в теории эффективности являются целенаправленные процессы или операции, а предметом изучения – эффективность или качество таких процессов.

Эффективность операции характеризует способность (точнее, приспособленность) операции преобразовывать расходуемые ресурсы в выходные эффекты (результаты) и является основным свойством, характеризующим качество операции.

С позиций теории эффективности информатизация представляет собой типичную операцию, а эффективность информатизации – основное свойство, определяющее качество этой операции.

Как сложное свойство, эффективность порождается совокупностью свойств, к которым относятся:

- результативность;
- ресурсоемкость;
- оперативность.

*Результативность* информатизации – это свойство, характеризующее способность информатизации давать целевой эффект, т.е. результаты, обеспечивающие достижение целей информатизации.

*Ресурсоемкость* информатизации – это свойство, характеризующее расход всех видов ресурсов при информатизации для получения целевого эффекта.

Таковыми ресурсами являются:

- материальные;
- энергетические;
- информационные;
- трудовые;
- финансовые;
- временные.

*Оперативность* информатизации – это свойство, характеризующее временные затраты на проведение информатизации для достижения целевого эффекта.

Обозначим:

$Y_{<n_1>}^{(1)}$  – векторный показатель результативности информатизации;

$Y_{<n_2>}^{(2)}$  – векторный показатель ресурсоемкости информатизации;

$Y_{<n_3>}^{(3)}$  – векторный показатель оперативности информатизации.

Тогда показатель  $Y_{<n>}$  качества результатов информатизации можно представить в виде

$$Y_{<n>} = \langle Y_{<n_1>}^{(1)}, Y_{<n_2>}^{(2)}, Y_{<n_3>}^{(3)} \rangle,$$

где

$$n = n_1 + n_2 + n_3.$$

Критерий пригодности качества результатов информатизации имеет вид

$$Y_{<n>} \in \{ Y_{<n>}^{\partial} \}, \quad (1.1.4)$$

где

$\{ Y_{<n>}^{\partial} \}$  – область допустимых значений показателя  $Y_{<n>}$  качества результатов информатизации.

Выражение (1.1.4) представляет собой формализованное описание цели информатизации.

В общем случае каждая из компонент вектора  $Y_{\langle n \rangle}$  зависит от выбора конкретного варианта осуществления информатизации, ее организации и условий, в которых она проводится. Все эти факторы априори, т.е. до осуществления информатизации, являются большей частью неизвестными, и, следовательно, случайными. Более того, априори являются случайными и требования  $Y_{\langle n \rangle}^{\delta}$  к результатам информатизации.

В результате учета реальных условий выражение (1.1.4) принимает вид

$$Y_{\langle n \rangle} \in \{Y_{\langle n \rangle}^{\delta}\}, \quad (1.1.5)$$

где

$Y_{\langle n \rangle}, Y_{\langle n \rangle}^{\delta}$  – случайные векторы;

$\{Y_{\langle n \rangle}^{\delta}\}$  – случайная область.

Выражение (1.1.5) описывает случайное событие, поэтому оно не может быть непосредственно использовано для оценивания эффективности. Наиболее полными характеристиками таких событий являются законы распределения. Поэтому в данном случае лучше всего в качестве показателя эффективности выбирать вероятность наступления данного события, которая характеризует степень его объективной возможности при заданном комплексе условий

$$P_{\text{и}} = P\left(Y_{\langle n \rangle} \in \{Y_{\langle n \rangle}^{\delta}\}\right), \quad (1.1.6)$$

где

$P_{\text{и}}$  – вероятность достижения целей информатизации.

При исследовании эффективности широко применяются и другие показатели эффективности, однако пользоваться ими надо с особой осторожностью, так как во многих случаях применение их недостаточно обосновано, а сама область применения может быть настолько мала, что любая попытка применения такого показателя на практике влечет выход за пределы этой области.

Схема решения задачи оценивания эффективности информатизации, построенная с учетом изложенных выше положений, приведена на рис. 1.1.2.

Как следует из выражения (1.1.5) для вычисления показателя эффективности должны быть заданы многомерные законы распределения случайного вектора  $Y_{\langle n \rangle}$  в случайной области  $\{Y_{\langle n \rangle}^{\delta}\}$ .

Если требования, предъявляемые к результатам информатизации независимы, то область  $\{Y_{\langle n \rangle}^{\delta}\}$  представляет собой  $n$ -мерный угол с вершиной в случайной точке  $Z_{\langle n \rangle}$ .

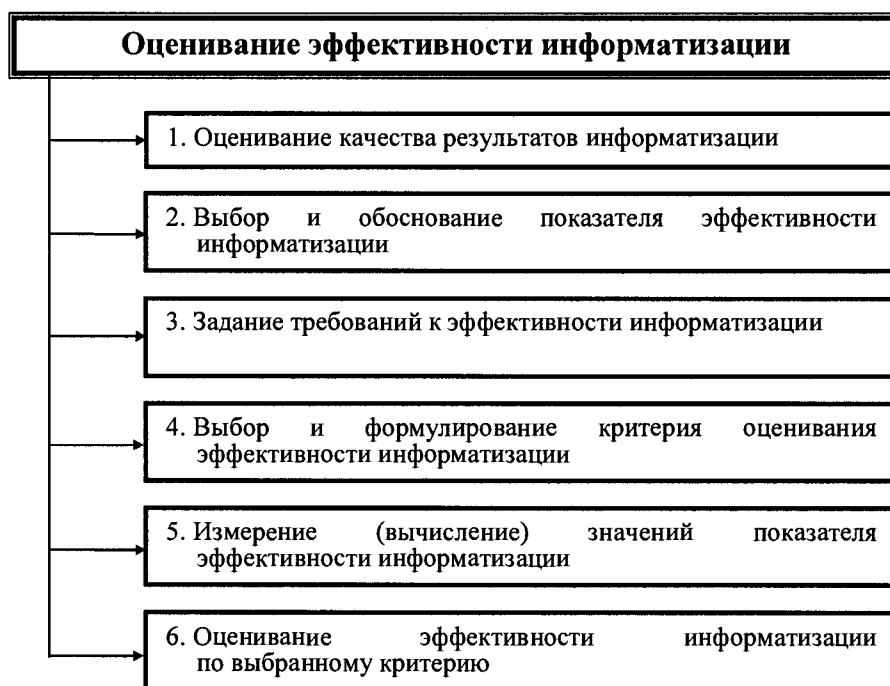


Рис. 1.1.2. Схема оценивания эффективности информатизации

Выражение (1.1.6) в данном случае принимает вид

$$P_{\text{и}} = P\left(Y_{\langle n \rangle} \in \left\{Y_{\langle n \rangle}^{\partial}\right\}\right) = P\left(Y_{\langle n \rangle} \geq Z_{\langle n \rangle}\right) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{Y_{\langle n \rangle}}(Z_{\langle n \rangle}) dF_{Z_{\langle n \rangle}}(Z_{\langle n \rangle}), \quad (1.1.7)$$

где

$\geq$  – знак одного из отношений  $\geq, >, <, \leq$ ;

$\Phi_{Y_{\langle n \rangle}}(Z_{\langle n \rangle}) = P\left(\bigcap_{i=1}^n (y_i \geq z_i)\right)$  – одна из форм интегрального закона распределения случайного вектора  $Y_{\langle n \rangle}$ ;

$F_{Z_{\langle n \rangle}}(Z_{\langle n \rangle}) = P\left(\bigcap_{i=1}^n (z_i < z_i)\right)$  – функция распределения случайного вектора  $Z_{\langle n \rangle}$ .

Выражение (1.1.7) представляет собой формулу полной вероятности в интегральной форме. Это следует из сравнения данного выражения с приведенными ниже формами формулы полной вероятности:

$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A/H_i)$  – каноническая форма формулы полной вероятности;

$P_{\text{и}} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} P\left(\left(\bigcap_{i=1}^n (y_i \geq z_i)\right) / \left(\bigcap_{i=1}^n (z_i = Z_{\langle n \rangle})\right)\right) \varphi_{Z_{\langle n \rangle}}(Z_{\langle n \rangle}) dZ_{\langle n \rangle}$  – интегральная форма этой же

формулы, в которой

$$\varphi_{Z_{\langle n \rangle}}(Z_{\langle n \rangle})dZ_{\langle n \rangle} \sim P(Z_{\langle n \rangle} = Z_{\langle n \rangle}) \sim P(H_i),$$

$$P\left(\left(Y_{\langle n \rangle} \geq Z_{\langle n \rangle}\right) / \left(Z_{\langle n \rangle} = Z_{\langle n \rangle}\right)\right) \sim P(A/H_i).$$

Вычисление показателя эффективности по формуле (1.1.7) представляет определенные трудности, но они могут быть преодолены при использовании современной вычислительной техники.

## 1.2. Основные подходы к формированию системы показателей оценивания состояния и результатов информатизации

Как уже было отмечено, информатизацию можно рассматривать как процесс целенаправленного ускоренного развития информационной сферы в процессе перехода человечества от индустриального общества к постиндустриальному, а именно к той его форме, которую называют информационным обществом.

*Определение 1.2.1. Информационная сфера (инфосфера)* – это сфера общечеловеческой деятельности, связанная с получением, переработкой, распространением, распределением и использованием информации и обеспечивающая возможность интеллектуального общения между людьми, удовлетворения их информационных потребностей.

Высокоразвитая информационная сфера является одним из основных признаков информационного общества, а так как в настоящее время её развитие всецело определяется ходом информатизации, то о состоянии и результатах информатизации можно судить по степени развитости и уровне развития инфосферы. Такая тесная связь между информатизацией, развитием инфосферы и формированием информационного общества дает возможность использовать показатели уровня и результатов развития в одной области для оценивания состояния и результатов развития в другой. Эта возможность была с успехом реализована при оценке современного состояния информатизации в странах по степени их готовности к информационному обществу и будет использована далее при выборе основных подходов к формированию системы показателей для оценивания состояния и результатов информатизации с учетом уровня и результатов развития информационной сферы.

В информационной сфере можно выделить три основные составляющие, три информационных сектора, к которым относятся:

- ◆ сектор информационного производства;
- ◆ сектор информационных услуг;
- ◆ сектор потребления информации.

В соответствии с этим возможны несколько подходов к решению задачи выбора и обоснования системы показателей, позволяющей с требуемой точностью оценить состояние

информатизации и прогнозировать ход ее развития. Сущность предлагаемых подходов заключается в выборе для каждого сектора информационной сферы такой системы показателей, которая позволяет не только оценить уровень развития соответствующего сектора, но и с достаточной степенью достоверности – состояние информатизации. В общем случае в такую систему показателей будут входить показатели развития всех трех секторов.

Первый подход заключается в оценке уровня развития инфосферы, и, следовательно, состояния информатизации по уровню развития сектора потребления информации. Развитость сектора потребления определяет степень удовлетворения информационных потребностей человека.

*Определение 1.2.2. Информационная потребность* – это потребность человека в информации, необходимой для успешного осуществления своей деятельности.

Так как обеспечение информационных потребностей является основной, ведущей функцией инфосферы, то данный подход позволяет наиболее полно решать поставленную задачу.

Информационная потребность человека возникает при выполнении любого вида деятельности и непосредственно связана с его информированностью.

*Определение 1.2.3. Информированность (осведомленность)* субъекта – это сложное свойство, характеризующее способность субъекта, используя имеющиеся у него информацию, сведения и знания, формировать правильные суждения и вырабатывать на их основе правильные решения в процессе своей деятельности.

Информированность как сложное свойство определяет состояние субъекта, которое характеризуется уровнем информированности.

*Определение 1.2.4. Уровень информированности* субъекта – это характеристика информированности субъекта, определяющая удаленность характеризуемого состояния от другого, принятого за исходное.

Уровень информированности может характеризовать информированность как количественно, так и качественно.

*Определение 1.2.5. Показатель информированности* субъекта – это количественная характеристика, выбранная для оценивания данного свойства субъекта.

Чем лучше информирован человек, тем меньше ему нужно дополнительной информации, тем лучше, следовательно, удовлетворены его информационные потребности. Высокий уровень информированности всего населения, а значит и высокую степень удовлетворения его информационных потребностей, способна обеспечивать и поддерживать только высокоразвитая инфосфера, так как только она может своевременно и в соответствующей форме предоставить потребителю всю необходимую и достоверную информацию. Поэтому уровень

информированности населения может быть использован не только для оценки состояния инфосферы и уровня ее развития, но и для оценки состояния информатизации.

Такое понимание информированности позволяет связать уровень информированности с вероятностью формирования правильного суждения и выработки правильного решения. Это дает возможность принять в качестве показателей информированности соответствующие вероятностные характеристики.

Оценки таких характеристик могут быть получены путем тестирования способности субъектов решать типовые задачи с последующей обработкой полученных результатов методами математической статистики. Для обработки результатов могут быть использованы также методы теории полезности и методы, применяемые при обработке результатов социологических опросов и получении экспертных оценок. При этом должны соблюдаться все требования, которые предъявляются к проведению подобных тестирований и обработке их результатов. Система показателей состояния информатизации и уровня развития инфосферы в этом случае базируется на числовых характеристиках и законах распределения случайных величин, характеризующих вероятность принятия правильных решений с учетом их важности.

Следует отметить, что подобный подход к формированию понятия информированности сближает проблему оценки уровня информированности с проблемой оценки результатов обучения, а это позволяет использовать результаты, полученные в теории и практике обучения, для решения поставленной проблемы.

Кроме того, данный подход будет весьма полезен при оценке состояния и развития такой формы информационного общества, как «общество знаний», так как выбор информированности населения в качестве индикатора позволяет наилучшим образом отразить состояние и уровень развития этого общества.

Второй подход к решению проблемы состоит в оценивании состояния информатизации и уровня развития информационной сферы по степени развитости сектора информационных услуг. В этом случае инфосфера рассматривается как система массового обслуживания (СМО), а ее состояние и уровень развития описывается с помощью набора показателей, состав которого определяется в каждом конкретном случае типом СМО.

При использовании третьего подхода уровень развития информационной сферы оценивается по состоянию и степени развития сектора информационного производства. При этом учитывают насыщенность всех сфер деятельности человека информационными средствами, массовость применения новейших информационных технологий, развитость коммуникационных сетей и информационной экономики.

В данном случае показатели уровня развития информационной сферы включают:

- ♦ долю работающих и долю ВВП, приходящихся на информационную сферу;



- ◆ количество различной информационной техники, приходящейся на душу населения;
- ◆ плотность покрытия территории коммуникационными сетями и др.

Для каждого этапа информатизации и каждого региона в соответствии с уровнем его развития могут быть выбраны один из предложенных подходов и соответствующая система показателей уровня развития инфосферы региона. Кроме того, возможно применение комбинированного подхода, при котором в систему показателей включают соответствующим образом выбранные показатели уровня развития двух или всех трех секторов информационной сферы. Такой подход может быть достаточно эффективно реализован с помощью индексного метода, если в качестве обобщенного (сводного) показателя уровня развития инфосферы региона и её секторов выбрать индексы [6–8].

*Определение 1.2.6. Индекс* — это обобщенный показатель, характеризующий уровень или соотношение уровней какого-либо явления, в том числе и в тех случаях, когда составляющие уровней явления или его элементов непосредственно не сопоставимы.

Индексы позволяют охарактеризовать развитие сложных явлений во времени и пространстве, изучать структуры и взаимосвязи этих явлений, а также оценивать вклад различных факторов в анализируемые явления.

Индексы можно вычислять не только для всей разнородной совокупности исследуемых объектов, но и для любой характерной её части, для любой существенной группы объектов, выделенных в этой совокупности (групповые индексы, субиндексы, подиндексы).

В теории индексов с их помощью решаются три главные задачи [9]:

- 1) измеряются факторы в общей динамике показателей;
- 2) обособляется влияние структуры явлений от изменения индексируемого признака при анализе динамики вторичных признаков;
- 3) измеряются результаты изменения признаков с несоизмеримыми элементами.

Информатизация относится к сложным многокомпонентным процессам, составляющие которых имеют различную природу, трудно сопоставимы и часто объединены только единой целью. Поэтому применение индексов при оценивании состояния, хода и результатов информатизации позволяет сделать процедуру оценивания более удобной для ее практической реализации.

Для вычисления индекса информатизации можно применить метод сводного показателя (МСП) [10] так, как это было сделано при расчете индекса информационного неравенства.

В этом случае сводный показатель (индекс) информатизации рассчитывается по формуле

$$Q_i(q; w) = \sum_{j=1}^n q_{ij} w_j ,$$

где

$Q_i(q; w)$  – сводный показатель (индекс) информатизации  $i$ -го объекта,  $i = 1(1)m$ ;

$m$  – количество оцениваемых объектов;

$q_{ij}$  – индекс  $j$ -го свойства, учитываемого при оценивании  $i$ -го объекта,  $i = 1(1)m$ ,

$j = 1(1)n$ ;

$n$  – количество свойств, учитываемых при расчете индекса информатизации.

Индекс  $q_{ij}$   $j$ -го свойства, учитываемого при оценивании  $i$ -го объекта ( $i = 1(1)m$ ,  $j = 1(1)n$ ),

вычисляется по формуле

$$q_{ij} = \begin{cases} 0, & x_{ij} \leq x_{ij}^{\min}, \\ \frac{x_{ij} - x_{ij}^{\min}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}}, & x_{ij}^{\min} < x_{ij} \leq x_{ij}^{\max}, \\ 1, & x_{ij}^{\max} < x_{ij}, \end{cases} \quad i = 1(1)m, \quad j = 1(1)n,$$

где

$x_{ij}$  – значение частного показателя (индекса)  $j$ -го свойства  $i$ -го объекта,  $i = 1(1)m$ ,  $j = 1(1)n$ ;

$x_{ij}^{\min}$  – минимальное значение частного показателя (индекса)  $j$ -го свойства  $i$ -го объекта,

$i = 1(1)m$ ,  $j = 1(1)n$ ;

$x_{ij}^{\max}$  – максимальное значение частного показателя (индекса)  $j$ -го свойства  $i$ -го объекта,

$i = 1(1)m$ ,  $j = 1(1)n$ ;

$w_j$  – значимость (вес)  $j$ -го свойства,  $j = 1(1)n$ .

Весовые коэффициенты  $w_j$ ,  $j = 1(1)n$  вычисляются в соответствии с методикой расчета сводного показателя [10].

Ранжирование объектов в порядке возрастания показателей  $q_j$  будет соответствовать их расстановке, при которой более высокий ранг будет присваиваться объекту с более высоким уровнем информатизации.

В связи с огромной и все возрастающей ролью, которую в формировании современной инфосферы играет глобальная информационная сеть «Интернет», следует особо остановиться на оценке уровня развития и использования этой сети. Научно обоснованный подход к выбору и применению показателей развития и использования Интернета позволяет не только правильно оценить уровень развития данной сети, но и вклад Интернета в формирование информационной сферы и информационного общества в регионе, стране, мире.

При оценивании уровня развития Интернета могут применяться следующие показатели:

1. *Максимальная аудитория* Интернета – количество пользователей, которые хотя бы один раз воспользовались услугами Интернета.

2. *Месячная аудитория* Интернета – количество пользователей, которые посещают Интернет не реже, чем раз в месяц.

3. *Регулярная аудитория* Интернета – количество пользователей, которые посещают Интернет не реже, чем два раза в месяц.

4. *Недельная аудитория* Интернета – количество пользователей, которые посещают Интернет не реже, чем раз в неделю.

5. *Активная аудитория* Интернета – количество пользователей, которые проводят в Интернете не менее одного часа в неделю.

6. *Ядро аудитории* Интернета – количество пользователей, которые проводят в Интернете не менее трех часов в неделю.

7. *Нерегулярная пассивная аудитория* Интернета – количество пользователей, которые посещают Интернет реже, чем один раз в месяц.

Значения перечисленных выше показателей обычно исчисляются в миллионах человек (млн. чел.).

Применяется также такой показатель, как *число пользователей* Интернета. Но без указания на оцениваемую аудиторию использование данного показателя вызывает определенные сложности.

### **1.3. Показатели информированности населения**

Как было отмечено выше, первый подход к формированию системы показателей состояния информатизации заключается в оценивании состояния информатизации по уровню информированности населения. Для этого должна быть сформирована система показателей, обеспечивающая решение данной задачи с требуемой точностью, достоверностью и оперативностью.

Информированность – сложное свойство, позволяющее с помощью обобщенного показателя, к которому относится показатель уровня информированности, оценивать качество результатов информатизации. Это свойство может быть представлено в виде совокупности свойств, каждое из которых вносит свой вклад в обеспечение информированности. Поэтому уровень информированности, а, следовательно, и качество результатов информатизации, может быть оценено по частным показателям, то есть по показателям тех свойств, которые входят в совокупность свойств, определяющую информированность как сложное свойство. Выбор частных показателей уровня информированности зависит от сфер, направлений, этапов информатизации и позволяет относительно просто, с приемлемой достоверностью, оценивать качество результатов информатизации.

Рассмотрим случай, когда информированность оценивается по способности субъектов решать тестовые задачи, а сама способность измеряется в баллах. Такой подход позволяет использовать индексный метод не только при оценивании информированности населения, но уровня информатизации регионов.

Пусть необходимо оценить уровень информированности населения некоторого региона. В соответствии с демографическими данными население региона разбивается на группы по профессиональным, возрастным, социальным и другим признакам. При этом требования к информированности каждой группы, а также субъектов в группах, могут быть различными. Отбор представителей групп населения в тестируемую группу производится таким образом, чтобы она представляла репрезентативную выборку, т.е. правильно отражала количественный и качественный состав населения региона. Для проведения тестирования составляется набор разбитых на классы тестовых задач, позволяющий достаточно полно и достоверно проверить уровень информированности любой группы населения региона. Классы соответствуют сферам деятельности населения. Тестовые задачи в классах соответствуют видам (областям) деятельности в сферах. Каждому тестируемому предъявляется свой набор задач из общего набора. На решение задач выделяется определенное время, а также задаются все прочие условия, которые должны выполняться при проведении тестирования. Результаты решения задач оцениваются в баллах по  $Q$  – балльной шкале, а оценки подвергаются статистической обработке с учетом значимости информированности населения для выполнения соответствующих видов деятельности. Эта значимость задается системой показателей ценности (важности, значимости) информированности личности, общественных групп и всего населения.

Система показателей или индексов информированности населения включает три группы индексов:

- ◆ индексы (показатели) информированности конкретного человека (личности);
- ◆ индексы (показатели) информированности конкретной группы людей (общественной группы);
- ◆ индексы (показатели) информированности населения в целом (общества).

Группу индексов информированности конкретного человека составляют следующие показатели:

$I_{klmn}^{(1)}$  – индекс (показатель) уровня информированности конкретного ( $n$ -го) человека из конкретной ( $m$ -й) группы населения в данном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности;

$I_{kmn}^{(1)}$  – индекс (показатель) уровня информированности конкретного ( $n$ -го) человека из конкретной ( $m$ -й) группы населения в конкретной ( $k$ -й) сфере деятельности;

$I_{mn}^{(1)}$  – индекс (показатель) уровня информированности конкретного ( $n$ -го) человека из конкретной ( $m$ -й) группы населения.

К индексам (показателям) информированности группы населения относятся:

$I_{klm}^{(2)}$  – индекс (показатель) уровня информированности конкретной ( $m$ -й) группы населения в данном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности;

$I_{km}^{(2)}$  – индекс (показатель) уровня информированности конкретной ( $m$ -й) группы населения в конкретной ( $k$ -й) сфере деятельности;

$I_m^{(2)}$  – индекс (показатель) уровня информированности конкретной ( $m$ -й) группы населения.

В группу индексов (показателей) информированности населения в целом входят следующие показатели:

$I_{kl}$  – индекс (показатель) уровня информированности населения в конкретном ( $l$ -м) виде деятельности в конкретной ( $k$ -й) сфере;

$I_k$  – индекс (показатель) уровня информированности населения в конкретной ( $k$ -й) сфере деятельности;

$I$  – индекс (показатель) уровня информированности населения.

Система показателей ценности информированности населения, используемая при вычислении значений уровня информированности включает группы абсолютных и относительных показателей.

В группу абсолютных показателей входят следующие показатели:

1.  $v_{klmn}$  – ценность (полезность) умения решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса  $n$ -м субъектом из  $m$ -й тестируемой группы (абсолютный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) субъекта из данной ( $m$ -й) группы населения в  $l$ -м виде деятельности),  $k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m$ ;
2.  $v_{klm}^{(1)}$  – ценность (полезность) умения решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса  $m$ -й тестируемой группой (абсолютный показатель ценности информированности  $m$ -й тестируемой группы в  $l$ -м виде деятельности),  $k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M$ ;
3.  $v_{kmn}^{(2)}$  – ценность (полезность) умения решать тестовые задачи  $k$ -го класса  $n$ -м субъектом из  $m$ -й тестируемой группы (абсолютный показатель ценности информированности  $n$ -го субъекта из  $m$ -й группы во всех областях деятельности, относящихся к конкретной ( $k$ -й) сфере),  $k = 1(1)K, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m$ ;

4.  $v_{km}^{(1)}$  – ценность (полезность) умения решать тестовые задачи  $k$ -го класса  $m$ -й тестируемой группой (абсолютный показатель ценности информированности конкретной ( $m$ -й) группы населения во всех областях деятельности, относящихся к конкретной ( $k$ -й) сфере),  $k = 1(1)K$ ,  $m = 1(1)M$ ;
5.  $v_{mn}^{(2)}$  – ценность (полезность) умения решать тестовые задачи  $n$ -м субъектом из  $m$ -й тестируемой группы (абсолютный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения),  $m = 1(1)M$ ,  $n = 1(1)N_m$ ;
6.  $v_k^{(1)}$  – ценность (полезность) умения решать тестовые задачи  $k$ -го класса (абсолютный показатель ценности информированности населения во всех областях деятельности, относящихся к конкретной ( $k$ -й) сфере),  $k = 1(1)K$ ,
7.  $v_m^{(2)}$  – ценность (полезность) умения решать тестовые задачи  $m$ -й тестируемой группой (абсолютный показатель ценности информированности конкретной ( $m$ -й) группы населения),  $m = 1(1)M$ ;
8.  $v$  – ценность (полезность) умения решать тестовые задачи тестируемыми (абсолютный показатель ценности информированности населения).

Группа относительных показателей ценности информированности населения включает:

1.  $w_{klmn}^{(1)}$  – весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем субъектам  $m$ -й тестируемой группы ценности (полезности) умения решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса  $n$ -м субъектом этой группы (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для этой группы);

$$\sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(1)} = 1, \quad w_{klmn}^{(1)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m;$$

2.  $w_{klmn}^{(2)}$  – весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем задачам  $k$ -го класса ценности (полезности) умения решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса  $n$ -м субъектом  $m$ -й группы (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для данной сферы деятельности),

$$\sum_{l=1}^{L_k} w_{klmn}^{(2)} = 1, \quad w_{klmn}^{(2)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m;$$

3.  $w_{klmn}^{(3)}$  –весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем тестовым задачам  $k$ -го класса и всем тестируемым субъектам  $m$ -й группы ценности (полезности) умения  $n$ -го субъекта  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для данной группы и данной сферы),

$$\sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(3)} = 1, \quad w_{klmn}^{(3)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m;$$

4.  $w_{klmn}^{(4)}$  –весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем тестовым задачам ценности (полезности) умения  $n$ -го субъекта  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для всех сфер деятельности),

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} w_{klmn}^{(4)} = 1, \quad w_{klmn}^{(4)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m;$$

5.  $w_{klmn}^{(5)}$  –весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем тестируемым ценности (полезности) умения  $n$ -го субъекта  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для всего населения),

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(5)} = 1, \quad w_{klmn}^{(5)} \geq 0, \quad k=1(1)K, l=1(1)L_k, m=1(1)M, n=1(1)N_m;$$

6.  $w_{klmn}^{(6)}$  –весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем тестовым задачам  $k$ -го класса и всем тестируемым ценности (полезности) умения  $n$ -го субъекта  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для этой сферы),

$$\sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(6)} = 1, \quad w_{klmn}^{(6)} \geq 0, \quad k=1(1)K, l=1(1)L_k, m=1(1)M, n=1(1)N_m;$$

7.  $w_{klmn}^{(7)}$  – весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем тестовым задачам и тестируемым  $m$ -й группы ценности (полезности) умения  $n$ -го субъекта  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для данной группы),

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(7)} = 1, \quad w_{klmn}^{(7)} \geq 0, \quad k=1(1)K, l=1(1)L_k, m=1(1)M, n=1(1)N_m;$$

8.  $w_{klmn}^{(8)}$  – весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем тестовым задачам и тестируемым ценности (полезности) умения  $n$ -го субъекта  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности относительно всего населения и всех сфер деятельности),

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(8)} = 1, \quad w_{klmn}^{(8)} \geq 0, \quad k=1(1)K, l=1(1)L_k, m=1(1)M, n=1(1)N_m;$$

9.  $w_{kmn}^{(1)}$  – весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем субъектам  $m$ -й тестируемой группы ценности (полезности) умения решать тестовые задачи  $k$ -го класса  $n$ -м субъектом этой группы (относительный показатель ценности информированности конкретного ( $n$ -го) представителя данной ( $m$ -й) группы населения во всех видах конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для этой группы),

$$\sum_{n=1}^{N_m} w_{kmn}^{(1)} = 1, \quad w_{kmn}^{(1)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m;$$

10.  $w_{klm}^{(2)}$  – весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем задачам  $k$ -го класса ценности (полезности) умения  $m$ -й тестируемой группы решать  $l$ -ю тестовую задачу  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности данной ( $m$ -й) группы населения в конкретном ( $l$ -м) виде конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для данной сферы),

$$\sum_{l=1}^{L_k} w_{klm}^{(2)} = 1, \quad w_{klm}^{(2)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M;$$



11.  $w_{km}^{(1)}$  –весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем группам населения ценности (полезности) умения  $m$ -й тестируемой группы решать тестовые задачи  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности данной ( $m$ -й) группы населения во всех видах конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для всего населения),

$$\sum_{m=1}^M w_{km}^{(1)} = 1, \quad w_{km}^{(1)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, m = 1(1)M;$$

12.  $w_{km}^{(2)}$  –весовой коэффициент (вес) взвешенной по всем классам тестовых задач ценности (полезности) умения  $m$ -й тестируемой группы решать тестовые задачи  $k$ -го класса (относительный показатель ценности информированности данной ( $m$ -й) группы населения во всех видах конкретной ( $k$ -й) сферы деятельности для всех сфер деятельности),

$$\sum_{k=1}^K w_{km}^{(2)} = 1, \quad w_{km}^{(2)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, m = 1(1)M;$$

13.  $w_{mn}^{(1)}$  –весовой коэффициент (вес) ценности (полезности) информированности  $n$ -го субъекта  $m$ -й группы населения относительно всех субъектов этой тестируемой группы,

$$\sum_{n=1}^{N_m} w_{mn}^{(1)} = 1, \quad w_{mn}^{(1)} \geq 0, \quad m = 1(1)M, n = 1(1)N_m;$$

14.  $w_{kl}^{(2)}$  –весовой коэффициент (вес) ценности (полезности) умения решать  $l$ -ю задачу  $k$ -го класса относительно всех тестовых задач этого класса,

$$\sum_{l=1}^{L_k} w_{kl}^{(2)} = 1, \quad w_{kl}^{(2)} \geq 0, \quad k = 1(1)K, l = 1(1)L_k.$$

15.  $w_m^{(1)}$  –весовой коэффициент (вес) ценности (полезности) информированности  $m$ -й группы населения относительно всех тестируемых групп,

$$\sum_{m=1}^M w_m^{(1)} = 1, \quad w_m^{(1)} \geq 0, \quad m = 1(1)M;$$

16.  $w_k^{(2)}$  –весовой коэффициент (вес) ценности (полезности) умения решать задачи  $k$ -го класса относительно заданных  $K$  классов тестовых задач,

$$\sum_{k=1}^K w_k^{(2)} = 1, \quad w_k^{(2)} \geq 0, \quad k = 1(1)K.$$

Вычисление значений показателей информированности населения по заданным исходным данным производится с использованием базового варианта расчета. Возможные варианты задания исходных данных для расчета и правила перехода к исходным данным для базового варианта расчета приведены в таблице 1.3.1.

Значения показателей информированности конкретного человека в базовом варианте расчета вычисляются по формулам:

$$I_{klmn}^{(1)} = q_{klmn}; \quad (1.3.1)$$

$$I_{kmn}^{(1)} = \sum_{l=1}^{L_k} w_{klmn}^{(2)} q_{klmn}, \quad (1.3.2)$$

где

$$w_{klmn}^{(2)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{l=1}^{L_k} v_{klmn} x_{klmn}};$$

$$I_{nm}^{(1)} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} w_{klmn}^{(4)} q_{klmn}, \quad (1.3.3)$$

где

$$w_{klmn}^{(4)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} v_{klmn} x_{klmn}}.$$

Значения показателей информированности конкретного человека в базовом варианте расчета вычисляются по формулам:

$$I_{klmn}^{(1)} = q_{klmn}; \quad (1.3.1)$$

$$I_{kmn}^{(1)} = \sum_{l=1}^{L_k} w_{klmn}^{(2)} q_{klmn}, \quad (1.3.2)$$

где

$$w_{klmn}^{(2)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{l=1}^{L_k} v_{klmn} x_{klmn}};$$

$$I_{nm}^{(1)} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} w_{klmn}^{(4)} q_{klmn}, \quad (1.3.3)$$

где

$$w_{klmn}^{(4)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} v_{klmn} x_{klmn}}$$

Таблица 1.3.1

**Таблица перехода от возможных вариантов задания исходных данных к базовому варианту расчета**

№ вариант а	Вариант задания исходных данных			Формулы перехода к исходным данным для базового варианта расчета
	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_{klmn}$	
1	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_{klmn}$	базовый вариант
2	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_{klnn}^{(1)}$	$v_{klmn} = v_{klm}^{(1)}, \forall n \in [1(1)N_m]$
3	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_{kmn}^{(2)}$	$v_{klmn} = v_{kmn}^{(2)}, \forall l \in [1(1)L_k]$
4	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_{km}^{(1)}$	$v_{klmn} = v_{km}^{(1)}, \forall l \in [1(1)L_k], \forall n \in [1(1)N_m]$
5	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_{mn}^{(2)}$	$v_{klmn} = v_{mn}^{(2)}, \forall k \in [1(1)K], \forall l \in [1(1)L_k]$
6	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_k^{(1)}$	$v_{klmn} = v_k^{(1)}, \forall l \in [1(1)L_k], \forall m \in [1(1)M], \forall n \in [1(1)N_m]$
7	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v_m^{(2)}$	$v_{klmn} = v_m^{(2)}, \forall k \in [1(1)K], \forall l \in [1(1)L_k], \forall n \in [1(1)N_m]$
8	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$v$	$v_{klmn} = v, \forall k \in [1(1)K], \forall l \in [1(1)L_k], \forall m \in [1(1)M], \forall n \in [1(1)N_m]$
9	$q_{klmn}$	$x_{klmn}$	$w_m^{(1)}$ $w_{mn}^{(1)}$ $w_k^{(2)}$ $w_{kl}^{(2)}$	$w_{klmn}^{(1)} = w_{mn}^{(1)}$ $w_{klmn}^{(2)} = w_{kl}^{(2)}$ $w_{klmn}^{(3)} = w_{kl}^{(2)} w_{mn}^{(1)}$ $w_{klmn}^{(4)} = w_k^{(2)} w_{kl}^{(2)}$ $w_{klmn}^{(5)} = w_m^{(1)} w_{mn}^{(1)}$ $w_{klmn}^{(6)} = w_k^{(2)} w_m^{(1)} w_{mn}^{(1)}$ $w_{klmn}^{(7)} = w_k^{(2)} w_{kl}^{(2)} w_{mn}^{(1)}$ $w_{klmn}^{(8)} = w_k^{(2)} w_{kl}^{(2)} w_m^{(1)} w_{mn}^{(1)}$ $\forall k \in [1(1)K], \forall l \in [1(1)L_k], \forall m \in [1(1)M], \forall n \in [1(1)N_m]$

Точность оценивания информированности населения по формулам (1.3.1)–(1.3.3) может быть определена по величине соответствующих дисперсий и среднеквадратичных отклонений, выражения для которых имеют следующий вид.

$$\tilde{D}[I_{kmn}^{(1)}] = \sum_{l=1}^{L_k} (w_{klmn}^{(2)})^2 \tilde{D}_1[q_{klmn}]; \quad (1.3.4)$$

$$\tilde{\sigma}[I_{kmn}^{(1)}] = E_{L_{kmn}-1} \sqrt{\tilde{D}[I_{kmn}^{(1)}]}, \quad (1.3.5)$$

где

$$\tilde{D}_1[q_{klmn}] = \frac{1}{L_{kmn} - 1} \sum_{l=1}^{L_k} (q_{klmn} - \bar{q}_{kmn})^2 x_{klmn} ;$$

$$E_{L_{kmn}-1} = \sqrt{\frac{L_{kmn} - 1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_{kmn} - 1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_{kmn}}{2}\right)} ;$$

$$L_{kmn} = \sum_{l=1}^{L_k} x_{klmn} ; \quad \bar{q}_{kmn} = \frac{1}{L_{kmn}} \sum_{l=1}^{L_k} q_{klmn} x_{klmn} ;$$

$$k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m.$$

$$\tilde{D}[I_{mn}^{(1)}] = \sum_{l=1}^{L_k} (w_{klmn}^{(4)})^2 \tilde{D}_2[q_{klmn}] ; \quad (1.3.6)$$

$$\tilde{\sigma}[I_{mn}^{(1)}] = E_{L_{mn}-1} \sqrt{\tilde{D}[I_{mn}^{(1)}]} , \quad (1.3.7)$$

где

$$\tilde{D}_2[q_{klmn}] = \frac{1}{L_{mn} - 1} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} (q_{klmn} - \bar{q}_{mn})^2 x_{klmn} ;$$

$$E_{L_{mn}-1} = \sqrt{\frac{L_{mn} - 1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_{mn} - 1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_{mn}}{2}\right)} ; \quad L_{mn} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} x_{klmn} ;$$

$$\bar{q}_{mn} = \frac{1}{L_{mn}} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} q_{klmn} x_{klmn} ;$$

$$m = 1(1)M, n = 1(1)N_m.$$

Обозначения, принятые в формулах (1.3.4)–(1.3.7):

$\tilde{D}[I_{kmn}^{(1)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_{kmn}^{(1)}$ ,  $k = 1(1)K, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m$ ;

$\tilde{D}[I_{mn}^{(1)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_{mn}^{(1)}$ ,  $m = 1(1)M, n = 1(1)N_m$ ;

$\tilde{\sigma}[I_{kmn}^{(1)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_{kmn}^{(1)}$ ,  $k = 1(1)K, m = 1(1)M, n = 1(1)N_m$ ;

$\tilde{\sigma}[I_{mn}^{(1)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_{mn}^{(1)}$ ,  $m = 1(1)M$ ,  $n = 1(1)N_m$ ;

$\bar{q}_{kmn}$  – средний балл, полученный  $n$ -м субъектом  $m$ -й тестируемой группы за решение тестовых задач  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K$ ,  $m = 1(1)M$ ,  $n = 1(1)N_m$ ;

$\bar{q}_{mn}$  – средний балл, полученный  $n$ -м субъектом  $m$ -й тестируемой группы за решение тестовых задач,  $m = 1(1)M$ ,  $n = 1(1)N_m$ ;

$\tilde{D}_1[q_{klmn}]$  состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных  $n$ -м субъектом  $m$ -й тестируемой группы за решение тестовых задач  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K$ ,  $m = 1(1)M$ ,  $n = 1(1)N_m$ ;

$\tilde{D}_2[q_{klmn}]$  состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных  $n$ -м субъектом  $m$ -й тестируемой группы за решение тестовых задач,  $m = 1(1)M$ ,  $n = 1(1)N_m$ ;

$\Gamma(x)$  – гамма-функция;

$E_{L_{kmn}-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО;

$E_{L_{mn}-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО.

Значения индексов (показателей) информированности группы населения вычисляются по формулам:

$$I_{klm}^{(2)} = \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(1)} q_{klmn}, \quad (1.3.8)$$

где

$$w_{klmn}^{(1)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{n=1}^{N_m} v_{klmn} x_{klmn}};$$

$$I_{km}^{(2)} = \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(3)} q_{klmn}, \quad (1.3.9)$$

где

$$w_{klmn}^{(3)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} v_{klmn} x_{klmn}};$$

$$I_m^{(2)} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(7)} q_{klmn}, \quad (1.3.10)$$

где

$$w_{klmn}^{(7)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} v_{klmn} x_{klmn}}.$$

Точность оценивания информированности населения по формулам (1.3.8)–(1.3.10) определяется с помощью следующих выражений.

$$\tilde{D}[I_{klm}^{(2)}] = \sum_{n=1}^{N_m} (w_{klmn}^{(1)})^2 \tilde{D}_3[q_{klmn}]; \quad (1.3.11)$$

$$\tilde{\sigma}[I_{klm}^{(2)}] = E_{L_{klm}-1} \sqrt{\tilde{D}[I_{klm}^{(2)}]}, \quad (1.3.12)$$

где

$$\tilde{D}_3[q_{klmn}] = \frac{1}{L_{klm}-1} \sum_{n=1}^{N_m} (q_{klmn} - \bar{q}_{klm}^{(1)})^2 x_{klmn};$$

$$E_{L_{klm}-1} = \sqrt{\frac{L_{klm}-1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_{klm}-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_{klm}}{2}\right)};$$

$$L_{klm} = \sum_{n=1}^{N_m} x_{klmn};$$

$$\bar{q}_{klm}^{(1)} = \frac{1}{L_{klm}} \sum_{n=1}^{N_m} q_{klmn} x_{klmn};$$

$$k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M.$$

$$\tilde{D}[I_{km}^{(2)}] = \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} (w_{klmn}^{(3)})^2 \cdot \tilde{D}_4[q_{klmn}]; \quad (1.3.13)$$

$$\tilde{\sigma}[I_{km}^{(2)}] = E_{L_{km}-1} \sqrt{\tilde{D}[I_{km}^{(2)}]}, \quad (1.3.14)$$

где

$$\tilde{D}_4[q_{klmn}] = \frac{1}{L_{km}-1} \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} (q_{klmn} - \bar{q}_{km}^{(1)})^2 x_{klmn};$$

$$E_{L_{km}-1} = \sqrt{\frac{L_{km}-1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_{km}-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_{km}}{2}\right)};$$

$$L_{km} = \sum_{n=1}^{N_m} \sum_{l=1}^{L_k} x_{klmn};$$

$$\bar{q}_{km}^{(1)} = \frac{1}{L_{km}} \sum_{n=1}^{N_m} \sum_{l=1}^{L_k} q_{klmn} x_{klmn} ;$$

$$k = 1(1)K, m = 1(1)M.$$

$$\tilde{D}[I_m^{(2)}] = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} (w_{klmn}^{(7)})^2 \tilde{D}_5[q_{klmn}] ; \quad (1.3.15)$$

$$\tilde{\sigma}[I_m^{(2)}] = E_{L_m-1} \sqrt{\tilde{D}[I_m^{(2)}]} , \quad (1.3.16)$$

где

$$\tilde{D}_5[q_{klmn}] = \frac{1}{L_m - 1} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} (q_{klmn} - \bar{q}_m)^2 x_{klmn} ;$$

$$E_{L_m-1} = \sqrt{\frac{L_m - 1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_m - 1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_m}{2}\right)} ;$$

$$L_m = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_m} \sum_{l=1}^{L_k} x_{klmn} ;$$

$$\bar{q}_m = \frac{1}{L_m} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_m} \sum_{l=1}^{L_k} q_{klmn} x_{klmn} ;$$

$$m = 1(1)M.$$

Обозначения, принятые в формулах (1.3.11)–(1.3.16):

$\tilde{D}[I_{klm}^{(2)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_{klm}^{(2)}$ ,  $k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M$ ;

$\tilde{D}[I_{km}^{(2)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_{km}^{(2)}$ ,  $k = 1(1)K, m = 1(1)M$ ;

$\tilde{D}[I_m^{(2)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_m^{(2)}$ ,  $m = 1(1)M$ ;

$\tilde{\sigma}[I_{klm}^{(2)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_{klm}^{(2)}$ ,  $k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M$ ;

$\tilde{\sigma}[I_{km}^{(2)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_{km}^{(2)}$ ,  $k = 1(1)K, m = 1(1)M$ ;

$\tilde{\sigma}[I_m^{(2)}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_m^{(2)}$ ,  
 $m = 1(1)M$ ;

$\bar{q}_{klm}^{(1)}$  – средний балл, полученный  $m$ -й тестируемой группой за решение  $l$ -тестовой задачи  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M$ ;

$\bar{q}_{km}^{(1)}$  – средний балл, полученный  $m$ -й тестируемой группой за решение тестовых задач  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K, m = 1(1)M$ ;

$\bar{q}_m^{(1)}$  – средний балл, полученный  $m$ -й тестируемой группой за решение тестовых задач,  $m = 1(1)M$ ;

$\tilde{D}_3[q_{klmn}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных  $m$ -й тестируемой группой за решение  $l$ -й тестовой задачи  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K, l = 1(1)L_k, m = 1(1)M$ ;

$\tilde{D}_4[q_{klmn}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных  $m$ -й тестируемой группой за решение тестовых задач  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K, m = 1(1)M$ ;

$\tilde{D}_5[q_{klmn}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных  $m$ -й тестируемой группой за решение тестовых задач,  $m = 1(1)M$ ;

$\Gamma(x)$  – гамма-функция;

$E_{L_{klm}-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО;

$E_{L_{km}-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО;

$E_{L_m-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО.

Значения индексов (показателей) информированности населения вычисляются по следующим формулам:

$$I_{kl} = \sum_{n=1}^{N_m} \sum_{m=1}^M w_{klmn}^{(5)} q_{klmn}, \quad (1.3.17)$$

где

$$w_{klmn}^{(5)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} v_{klmn} x_{klmn}};$$

$$I_k = \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{n=1}^{N_m} \sum_{m=1}^M w_{klmn}^{(6)} q_{klmn}, \quad (1.3.18)$$



где

$$w_{klmn}^{(6)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} v_{klmn} x_{klmn}};$$

$$I = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} w_{klmn}^{(8)} q_{klmn}, \quad (1.3.19)$$

где

$$w_{klmn}^{(8)} = \frac{v_{klmn} x_{klmn}}{\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} v_{klmn} x_{klmn}}.$$

Точность оценивания уровня информированности населения по формулам (1.3.17)–(1.3.19) определяется по величине соответствующих дисперсий и среднеквадратичных отклонений, которые вычисляются с помощью следующих выражений.

$$\tilde{D}[I_{kl}] = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} (w_{klmn}^{(5)})^2 \tilde{D}_6[q_{klmn}]; \quad (1.3.20)$$

$$\tilde{\sigma}[I_{kl}] = E_{L_{kl}-1} \sqrt{\tilde{D}[I_{kl}]}, \quad (1.3.21)$$

где

$$\tilde{D}_6[q_{klmn}] = \frac{1}{L_{kl} - 1} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} (q_{klmn} - \bar{q}_{kl}^{(2)})^2 x_{klmn};$$

$$E_{L_{kl}-1} = \sqrt{\frac{L_{kl} - 1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_{kl} - 1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_{kl}}{2}\right)};$$

$$L_{kl} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{klmn};$$

$$\bar{q}_{kl}^{(2)} = \frac{1}{L_{kl}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} q_{klmn} x_{klmn};$$

$$k = 1(1)K, \quad l = 1(1)L_k.$$

$$\tilde{D}[I_k] = \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} (w_{klmn}^{(6)})^2 \tilde{D}_7[q_{klmn}]; \quad (1.3.22)$$

$$\tilde{\sigma}[I_k] = E_{L_k-1} \sqrt{\tilde{D}[I_k]}, \quad (1.3.23)$$

где

$$\tilde{D}_7[q_{klmn}] = \frac{1}{L_k - 1} \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} (q_{klmn} - \bar{q}_k^{(1)})^2 x_{klmn};$$

$$E_{L_k-1} = \sqrt{\frac{L_k-1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L_k-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L_k}{2}\right)};$$

$$L_k = \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{klmn};$$

$$\bar{q}_k^{(1)} = \frac{1}{L_k} \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} q_{klmn} x_{klmn};$$

$$k = 1(1)K.$$

$$\tilde{D}[I] = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} (w_{klmn}^{(8)})^2 \tilde{D}_8[q_{klmn}]; \quad (1.3.24)$$

$$\tilde{\sigma}[I] = E_{L-1} \sqrt{\tilde{D}[I]}, \quad (1.3.25)$$

где

$$\tilde{D}_8[q_{klmn}] = \frac{1}{L-1} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} (q_{klmn} - \bar{q})^2 x_{klmn};$$

$$E_{L-1} = \sqrt{\frac{L-1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{L-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{L}{2}\right)};$$

$$L = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{klmn};$$

$$\bar{q} = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} q_{klmn} x_{klmn}.$$

Обозначения, принятые в формулах (1.3.20)–(1.3.25):

$\tilde{D}[I_{kl}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_{kl}$ ,  $k = 1(1)K$ ,  $l = 1(1)L_k$ ;

$\tilde{D}[I_k]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I_k$ ,  $k = 1(1)K$ ;

$\tilde{D}[I]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии показателя информированности  $I$ ;

$\tilde{\sigma}[I_{kl}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_{kl}$ ,  $k = 1(1)K$ ,  $l = 1(1)L_k$ ;

$\tilde{\sigma}[I_k]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I_k$ ,  $k = 1(1)K$ ;

$\tilde{\sigma}[I]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) показателя информированности  $I$ ;

$\bar{q}_{kl}^{(1)}$  – средний балл, полученный тестируемыми за решение  $l$ -й тестовой задачи  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K$ ,  $l = 1(1)L_k$ ;

$\bar{q}_k^{(1)}$  – средний балл, полученный тестируемыми за решение тестовых задач  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K$ ;

$\bar{q}$  – средний балл, полученный тестируемыми за решение тестовых задач;

$\tilde{D}_6[q_{klmn}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных тестируемыми за решение  $l$ -й тестовой задачи  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K$ ,  $l = 1(1)L_k$ ;

$\tilde{D}_7[q_{klmn}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных тестируемыми за решение тестовых задач  $k$ -го класса,  $k = 1(1)K$ ;

$\tilde{D}_8[q_{klmn}]$  – состоятельная, несмещенная и асимптотически эффективная оценка дисперсии оценок, полученных тестируемыми за решение тестовых задач;

$\Gamma(x)$  – гамма-функция;

$E_{L_k-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО;

$E_{L_k-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО;

$E_{L-1}$  – поправочный коэффициент, обеспечивающий несмещенность СКО.

Так как значения показателей информированности населения, вычисленные по результатам тестирования, являются случайными величинами, то наиболее полно информированность населения может быть оценена с помощью соответствующих законов распределения. Все значения показателей информированности расположены в интервале  $[q_{\min}, q_{\max}]$ , а само распределение можно считать унимодальным, поэтому для значений показателей уровня информативности в качестве аппроксимирующего закона может быть выбрано бета-распределение. Выражения для плотности распределения  $\varphi(q; q)$  и параметров  $\alpha$  и  $\gamma$  этого закона в этом случае имеют вид:

$$\varphi(q; q) = \begin{cases} C(q - q_{\min})^\alpha (q_{\max} - q)^\gamma, & q \in (q_{\min}, q_{\max}), \\ 0, & q \notin (q_{\min}, q_{\max}), \end{cases} \quad (1.3.26)$$

где

$$C = [(q_{\max} - q_{\min})^{\alpha + \gamma + 1} B((\alpha + 1, \gamma + 1))]^{-1};$$

$$\alpha = \frac{(\bar{q} - q_{\min})\gamma - (q_{\max} + q_{\min}) + 2\bar{q}}{q_{\max} - \bar{q}};$$

$$\gamma = \frac{q_{\max} - \bar{q}}{q_{\max} - q_{\min}} \left[ \frac{(q_{\max} + q_{\min})\bar{q} - q_{\min}q_{\max} - \bar{q}^2}{D[q]} + \frac{q_{\max} + q_{\min} - 2\bar{q}}{q_{\max} - \bar{q}} - 3 \right];$$

$q_{\min}$  – наименьшее значение случайной величины  $q$ ;

$q_{\max}$  – наибольшее значение случайной величины  $q$ ;

$\bar{q}$  – математическое ожидание случайной величины  $q$ ;

$D[q]$  – дисперсия случайной величины  $q$ ;

$B(\alpha + 1, \gamma + 1)$  – бета-функция.

Подставляя в (1.3.26) значения математических ожиданий и дисперсий, вычисленные с помощью приведенных выше выражений, а также значения наибольшей и наименьшей оценок, получаем формулы для соответствующих законов распределения. Мода случайных величин, распределенных по этим законам, определяется выражением

$$\text{Mo}[q] = \frac{\alpha q_{\max} + \gamma q_{\min}}{\alpha + \gamma}. \quad (1.3.27)$$

Следует отметить, что мода может быть также использована в качестве показателя уровня информированности населения. Для ее вычисления достаточно применить выражение (1.3.27).

#### 1.4. Показатели уровня информационного обслуживания

Второй подход к формированию системы показателей уровня информатизации состоит в оценивании этого уровня по степени развития сферы информационных услуг. При этом данная сфера рассматривается как система массового обслуживания (СМО), а ее состояние и уровень развития описывается с помощью набора показателей, состав которого определяется в каждом конкретном случае типом СМО.

В общем случае инфосфера может быть представлена многоканальной СМО с отказами, ожиданием и множеством источников требований. Структурная схема такой системы приведена на рис.1.4.1.

Во многих случаях свойства сферы информационных услуг и процессов, в ней происходящих, позволяют с достаточной степенью точности преобразовать эту систему в одноканальную СМО с одним входным потоком требований (рис.1.4.2). Такие системы относительно легко исследуются как аналитическими методами, так и методами имитационного моделирования, применяемыми в теории массового обслуживания [19], теории качества [2], теории эффективности [3].

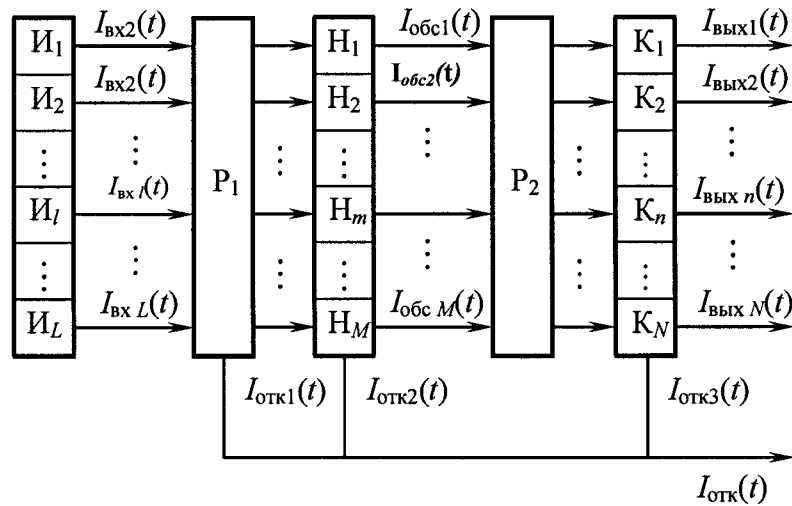


Рис.1.4.1. Модель инфосферы в виде многоканальной СМО с отказами, ожиданием и множеством источников требований

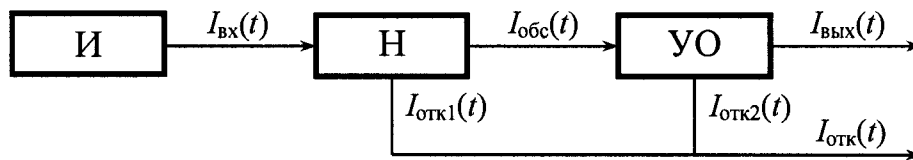


Рис. 1.4.2. Модель инфосферы в виде одноканальной СМО с отказами

Обозначения на рисунках:

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| И –источник требований;      | $I_{вх}(t)$ –входящий поток требований;                          |
| Р –распределитель;           | $I_{обс}(t)$ –поток требований на обслуживание;                  |
| Н –накопитель;               | $I_{вых}(t)$ –поток обслуженных требований;                      |
| К –канал обслуживания;       | $I_{отк}(t)$ –поток требований, получивших отказ в обслуживании. |
| УО –устройство обслуживания; |  |

Вычисление показателей уровня информационного обслуживания для модели, изображенной на рис.1.4.2, выполняется с учетом следующих предположений:

1. Входящий поток  $I_{вх}(t)$  требований на информационное обслуживание – простейший с плотностью  $\lambda$ ;
2. Требование на информационное обслуживание, поступившее в устройство обслуживания, обслуживается до конца. Время  $t_{обс}$  обслуживания каждого из требований случайно и подчинено показательному закону распределения с параметром  $\mu$ .

$$\Phi_{\xi_{обс}}(t) = \mu e^{-\mu \Delta(t)},$$

где

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{обс}},$$

$$\Delta(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \geq 0, \\ 0, & \text{если } t < 0. \end{cases}$$

3. Устройство обслуживания включает  $N$  каналов обслуживания. Требование, заставшее все каналы занятыми, поступает в накопитель (очередь на информационное обслуживание), имеющий ограниченный объем  $M$ ;

4. Из очереди требования вызываются на обслуживание в порядке их поступления в систему информационного обслуживания (СИО) и занимают любой из свободных обслуживающих каналов (полнодоступная СМО). Время ожидания требованием начала обслуживания ограничено случайной величиной  $\epsilon_{оч}$ , подчиненной показательному закону распределения с параметром  $\nu$ . По существу  $\tau_{оч}$  – это максимально допустимое время пребывания в очереди;

5. Состояние системы информационного обслуживания определяется количеством требований  $k$ , находящихся в системе,  $k = 0(1)N+M$ .

Введем обозначения:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu}; \quad \beta = \frac{\nu}{\mu}; \quad \gamma = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\lambda}{\nu}; \quad \delta = \frac{N}{\beta} = \frac{N\mu}{\nu}; \quad \varphi = \frac{\alpha}{N} = \frac{\lambda}{N\mu}.$$

Тогда показатели уровня информационного обслуживания определятся следующими выражениями:

1. Предельные вероятности  $p_k$  состояний системы информационного обслуживания;

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} p_0 = \frac{\alpha^k}{k!} \left[ \sum_{n=0}^N \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^N}{N!} \sum_{m=1}^M \frac{\alpha^m}{\prod_{i=1}^m (N+i\beta)} \right]^{-1}, \quad k=0(1)N;$$

$$p_k = \frac{\alpha^k}{N! \prod_{i=1}^{k-N} (N+i\beta)} p_0 = \frac{\alpha^k}{N! \prod_{i=1}^{k-N} (N+i\beta)} \left[ \sum_{n=0}^N \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^N}{N!} \sum_{m=1}^M \frac{\alpha^m}{\prod_{i=1}^m (N+i\beta)} \right]^{-1}, \quad k=N+1(1)N+M;$$

2. Математическое ожидание  $\bar{m}$  числа  $m$  требований, ожидающих начала обслуживания в произвольный момент времени (средняя длина очереди),

$$\bar{m} = M[m] = \sum_{k=N+1}^{N+M} (k-N) p_k = \sum_{m=1}^M m p_{N+m}.$$

3. Вероятность  $P_{обс}$  того, что произвольное требование будет обслужено

$$P_{обс} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{\bar{n}_3}{\alpha},$$

где

$\lambda_0$  – плотность потока обслуженных требований;

$\bar{n}_3$  – математическое ожидание числа  $n_3$  обслуживающих каналов, занятых в произвольный момент времени, определяемое выражением

$$\bar{n}_3 = M[n_3] = \sum_{k=0}^N k p_k + N \sum_{k=N+1}^{N+M} p_k.$$

4. Вероятность  $P_{\text{отк}}$  того, что произвольное требование покинет СИО не обслуженным (получит отказ из-за отсутствия мест в накопителе или покинет очередь из-за недостатка резерва времени),

$$P_{\text{отк}} = 1 - P_{\text{обс}} = 1 - \frac{\bar{n}_3}{\alpha}.$$

5. Вероятность  $P_{\text{ож}}$  того, что произвольному требованию, поступившему в СИО, придется ожидать начала обслуживания, вычисляется по формуле

$$P_{\text{ож}} = \sum_{k=N}^{N+M} p_k = 1 - \sum_{k=0}^{N-1} p_k.$$

6. Вероятность  $P_{\text{оч}}$  наличия очереди на информационное обслуживание в произвольный момент времени

$$P_{\text{оч}} = \sum_{k=N+1}^{N+M} p_k = 1 - \sum_{k=0}^N p_k.$$

7. Среднее время пребывания произвольного требования в очереди на информационное обслуживание

$$\bar{t}_{\text{оч}} = \frac{\bar{m}}{\lambda}.$$

При необходимости набор введенных показателей уровня информационного обслуживания может быть пополнен.

Таким образом, материалы данной главы позволяют сделать следующие выводы.

1. Предложена методология оценивания состояния, хода и результатов информатизации, в основу которой положено представление информатизации как целенаправленного процесса. Это позволило при выборе и формировании соответствующих показателей и критериев оценивания применить методы и подходы, используемые в квалиметрии и теории эффективности. Сформирована система определений понятий, послужившая базой для разработки показателей оценивания состояния, хода и результатов информатизации.

2. Предложены три основных подхода к решению задачи выбора и обоснования системы показателей, позволяющей с требуемой точностью оценить состояние, ход и результаты информатизации. Сущность предлагаемых подходов заключается в выборе для каждого сектора информационной сферы такой системы показателей, которая позволяет не только оценить уровень развития соответствующего сектора, но и с достаточной степенью достоверности – состояние информатизации. В общем случае в такую систему показателей предложено включать показатели развития всех трех секторов.

3. Первый подход к решению задачи выбора и обоснования системы показателей заключается в оценке уровня развития инфосферы, и, следовательно, состояния информатизации по уровню развития сектора потребления информации. Развитость сектора потребления определяет степень удовлетворения информационных потребностей человека, которая непосредственно связана с его информированностью. Поэтому уровень информированности населения был использован для оценки результатов и состояния информатизации. Подобный подход сближает проблему оценки результатов и состояния информатизации с проблемой оценки результатов обучения, а это позволяет использовать результаты, полученные в теории и практике обучения, для решения поставленной проблемы.

Для реализации первого подхода рассмотрена система показателей, обеспечивающая оценивание состояния информатизации по уровню информированности населения с требуемой точностью и достоверностью. При этом информированность оценивается по способности субъектов решать тестовые задачи, а сама способность измеряется в баллах.

Рассмотренная система включает три группы индексов (показателей):

- индексы (показатели) информированности конкретного человека (личности);
- индексы (показатели) информированности конкретной группы людей (общественной группы);
- индексы (показатели) информированности населения в целом (общества).

Рассмотрены модели и методика расчета и оценивания точности расчетов значений индексов (показателей), входящих в систему при различных вариантах задания исходных данных.

4. Второй подход к решению задачи состоит в оценивании состояния информатизации по степени развитости сектора информационных услуг. В этом случае инфосфера рассматривается как система массового обслуживания (СМО), а ее состояние и уровень развития описывается с помощью набора показателей, состав которого определяется в каждом конкретном случае типом СМО. Предложены показатели оценивания уровня информационного обслуживания, а также методы и математические выражения для их расчета.

5. При использовании третьего подхода уровень развития информационной сферы оценивается по состоянию и степени развития сектора информационного производства. При этом



учитывают насыщенность всех сфер деятельности человека информационными средствами, массовость применения новейших информационных технологий, развитость коммуникационных сетей и информационной экономики.

В частности, третий подход к формированию системы показателей информатизации был реализован при оценке при характеристике этапов перехода Санкт-Петербурга к информационному обществу.

## **2. Методология, математические методы и модели прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации**

### **2.1. Сущность подхода к прогнозированию состояния, хода и результатов информатизации**

Информатизация является сложным многоаспектным социальным, технико-технологическим процессом, затрагивающим все стороны жизни и деятельности человека и включающим множество различных мероприятий с разнообразными связями между ними. Ни состав мероприятий, ни связи между ними обычно заранее не известны. Следовательно, при оценивании и прогнозировании состояния, хода и результатов информатизации данный процесс может быть отнесен к классу стохастических (случайных) процессов со стохастической (вероятностной) структурой. Данные об информатизации, на основании которых составляются оценки и прогнозы ее состояния, хода и результатов, независимо от их природы и способов получения можно рассматривать как результаты прямых или косвенных наблюдений за данным процессом, получение указанных выше оценок и прогнозов – как обработку результатов наблюдений за сложным комплексом мероприятий с вероятностной структурой, а задачу оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации – как частный случай решения более общей задачи – обработки результатов наблюдений сложного процесса с вероятностной структурой [20].

Такой подход, в основу которого положен принцип погружения, когда частная задача погружается в более общую, разрабатывается способ решения общей задачи, решается общая задача этим методом, а затем решение частной задачи находится как частный случай общего решения для конкретных исходных данных, был использован при разработке рассматриваемого метода оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации.

Поэтому дальнейший материал данного раздела будет посвящен изложению такого общего метода, а именно – метода обработки результатов наблюдений сложного стохастического процесса с применением сетевой модели наблюдаемого процесса и методике применения этого метода для решения задачи оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации.

Среди основных задач обработки результатов наблюдений любого процесса важнейшее место занимают следующие задачи:

- ◆ выявление и идентификация наблюдаемого процесса по данным наблюдения;
- ◆ определение текущего состояния, а также хода наблюдаемого процесса в прошлом;
- ◆ прогнозирование развития наблюдаемого процесса в будущем.

Наиболее сложно указанные задачи решаются при наблюдении целенаправленных процессов, представляющих собой комплексы большого количества разнообразных мероприятий

(операций, работ) с большим числом связей между ними. При этом входящие в комплексы мероприятия сами, в свою очередь, могут быть представлены в виде комплексов большого числа различных и взаимосвязанных между собой мероприятий, и такая декомпозиция комплексов может быть доведена до любого требуемого уровня детализации декомпозируемых комплексов. Комплексы, обладающие указанными выше свойствами, далее будем называть сложными.

Трудности решения задач обработки результатов наблюдения сложных комплексов обусловлены как природой самих комплексов, так и свойствами системы наблюдения, определяющими полноту и достоверность данных наблюдения, а также оперативность их получения и обработки.

Одним из способов обеспечения требуемого качества решения перечисленных задач обработки результатов наблюдений сложных комплексов мероприятий особенно при недостаточной полноте и достоверности информации, содержащейся в результатах наблюдений, является использование структурных моделей, а именно, сетевых моделей наблюдаемых комплексов, в процессе обработки полученных результатов наблюдений.

Применение сетевых моделей при обработке результатов наблюдений сложных комплексов позволяет за счет учета структуры наблюдаемых комплексов более полно извлекать из результатов наблюдений содержащуюся в них информацию, отбраковывать недостоверные и выявлять наиболее информативные результаты наблюдений, а также определять те недостающие результаты наблюдения, которые могут нести информацию, необходимую для решения задач обработки с требуемым уровнем качества.

В зависимости от условий проведения и требований к результатам выполнения наблюдаемого комплекса мероприятий он может иметь различный состав включаемых мероприятий и связей между ними. Это означает, что данный комплекс обладает переменной структурой. Каждый возможный состав мероприятий, включенных в комплекс, а также связей между ними характеризует конкретный вариант структуры комплекса. Множество таких вариантов не более чем счетно. При большом количестве вариантов их можно объединить в классы, подклассы, виды, подвиды и т.д., число которых всегда может быть выбрано конечным и не слишком большим.

Если для каждого варианта структуры можно задать вероятность его осуществления, то такие структуры будем называть вероятностными структурами, а комплексы, обладающие такими структурами – *комплексами мероприятий с вероятностной структурой*. В дальнейшем будут рассмотрены только такие комплексы.

Для каждого варианта структуры комплекса мероприятий с вероятностной структурой можно построить сетевую модель (сеть). Так как при этом любой вариант имеет детерминированную структуру, то сетевые модели вариантов комплекса с вероятностной

структурой будут сетями с детерминированной структурой. Поэтому, хотя полная сетевая модель комплекса мероприятий с вероятностной структурой, включающая все варианты структуры комплекса будет сетью с вероятностной структурой, при ее построении и анализе возможно использование способов построения и анализа детерминированных сетей в качестве базовых элементов. В предлагаемых ниже способах построения и анализа сетевых моделей с вероятностной структурой данная возможность используется достаточно полно, что позволяет повысить эффективность данных способов и упрощает их применение.

Так как рассматриваемый метод базируется на применении сетевых моделей с вероятностной структурой, то следует более подробно остановиться на этих моделях.

## 2.2. Сетевые модели с вероятностной структурой

*Сетевой моделью (сетью)  $G$*  называют ориентированный граф с заданной на нем функцией.

В зависимости от неопределенности сетевой модели различают:

- ◆ детерминированные сетевые модели;
- ◆ вероятностные сетевые модели.

*Определение 2.2.1. Детерминированная сетевая модель  $G$*  – это сеть, у которой ориентированный граф и заданная на нем функция являются неслучайными (детерминированными):

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

где

$X$  – детерминированное множество вершин сетевой модели;

$U \subseteq X \times X$  – детерминированное множество дуг сетевой модели;

$f: Z \rightarrow R$  – неслучайная функция, заданная на множествах вершин и дуг сетевой модели и отображающая их в числовое множество;

$R$  – одномерное векторное (евклидово) пространство.

*Определение 2.2.2. Вероятностная сетевая модель  $G$*  – это сеть, у которой хотя бы одно из множеств вершин и дуг или функция, заданная на этих множествах, являются случайными.

Различают вероятностные сетевые модели с детерминированной и вероятностной структурами.

*Определение 2.2.3. Вероятностная сетевая модель  $G$  с детерминированной структурой* – это вероятностная сеть, у которой ориентированный граф является неслучайным (детерминированным):

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

где

$f: Z \rightarrow R$  – случайная функция, заданная на множествах вершин и дуг сетевой модели и отображающая их в числовое множество.

Сетевые модели с детерминированной структурой не должны содержать петель и контуров.

**Определение 2.2.4. Вероятностная сетевая модель  $G$  с вероятностной структурой** – это вероятностная сеть, у которой ориентированный граф является случайным.

К сетевым моделям с вероятностной структурой относятся сети вида:

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

где

$X$  – детерминированное множество вершин сетевой модели;

$U$  – детерминированное множество дуг сетевой модели;

$X$  – случайное множество вершин сетевой модели;

$U$  – случайное множество дуг сетевой модели.

**Определение 2.2.5. Вероятностная сетевая модель  $G$  с вероятностной структурой и случайными параметрами** – это сеть, у которой как ориентированный граф, так и заданная на нем функция являются случайными.

К данным сетевым моделям относятся сети вида:

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

$$G = \langle X, U, f(z) \rangle, \quad z \in Z \subseteq X \cup U,$$

где

$f: Z \rightarrow R$  – случайная функция, заданная на случайных множествах вершин и дуг сетевой модели.

Классификация сетевых моделей в соответствии с введенными выше определениями приведена на рис. 2.2.1.

**Определение 2.2.6. Детерминированная вершина** – это вершина, которая является концевой только для неслучайных дуг сети.

**Определение 2.2.7. Вероятностная вершина** – это вершина вероятностной сети, которая является концевой хотя бы для одной случайной дуги.

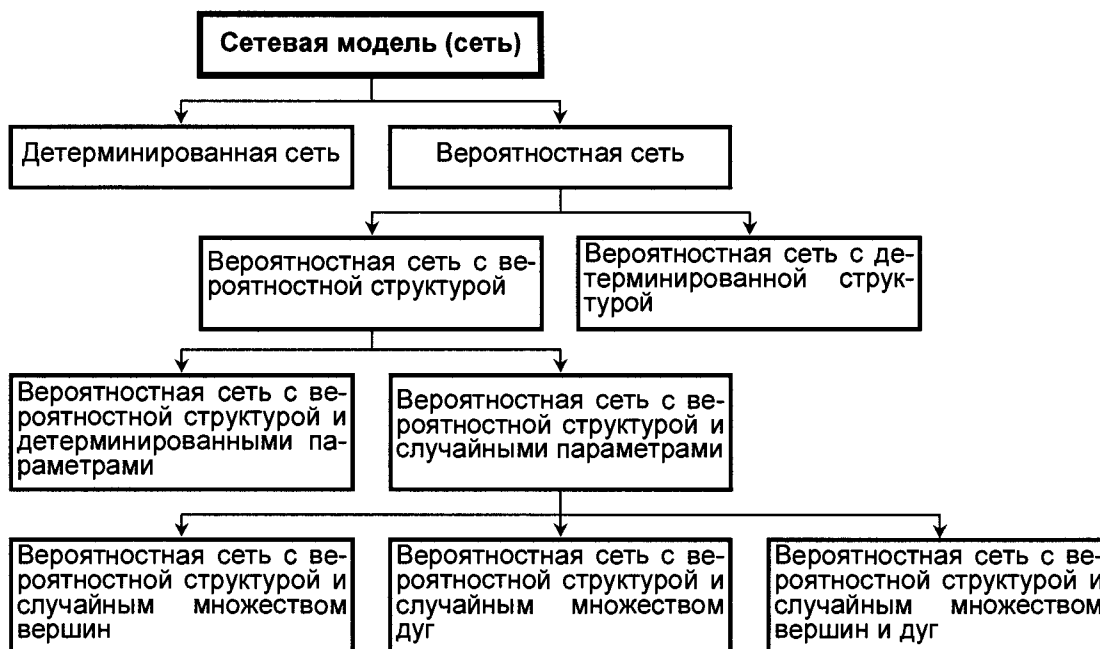


Рис. 2.2.1. Классификация сетевых моделей

Введем понятия входов и выходов вершин сетевой модели. Каждую вершину сетевой модели можно представить в виде совокупности элементов, в которые либо входят, либо из которых выходят дуги.

*Определение 2.2.8.* **Вход вершины** – это элемент вершины сетевой модели, в который заходит дуга.

*Определение 2.2.9.* **Выход вершины** – это элемент вершины сетевой модели, из которого исходит дуга.

*Определение 2.2.10.* **Детерминированный вход** – это вход вершины сетевой модели, в который заходит неслучайная дуга.

*Определение 2.2.11.* **Вероятностный вход** – это вход вершины сетевой модели, в который заходит случайная дуга.

*Определение 2.2.12.* **Детерминированный выход** – это выход вершины сетевой модели, из которого исходит неслучайная дуга.

*Определение 2.2.13.* **Вероятностный выход** – это выход вершины сетевой модели, из которого исходит случайная дуга.

При геометрическом представлении вершин сетевой модели различными фигурами входом вершины будет служить окрестность точки на поверхности фигуры, в которую заходит дуга, а выходом – окрестность точки на поверхности фигуры, из которой исходит дуга.

*Определение 2.2.14.* **Детерминированный путь** – это путь в сетевой модели, содержащий только неслучайные дуги.

Детерминированный путь проходит только через детерминированные вершины. При этом начальная и конечная вершины пути могут быть вероятностными.

*Определение 2.2.15. Вероятностный путь* – это путь в сетевой модели, содержащий хотя бы одну случайную дугу.

Вероятностный путь проходит хотя бы через одну вероятностную вершину сетевой модели, не считая начальной и конечной вершин этого пути.

*Определение 2.2.16. Детерминированный контур* – это контур сетевой модели, содержащий только неслучайные дуги.

Детерминированный контур может проходить только через детерминированные вершины.

Введенные определения позволяют сформулировать основное требование, которое должно выполняться при построении сетевых моделей следующим образом.

*Требование.* Сетевые модели не должны содержать детерминированных петель и контуров.

*Определение 2.2.17. Вероятностный контур* – это контур сетевой модели, содержащий хотя бы одну случайную дугу.

Вероятностные сетевые модели могут содержать вероятностные петли и контуры, однако в этом случае обязательно должно быть указано условие выхода из этих контуров и петель.

Вероятностная структура сетевой модели может быть задана различными способами.

К этим способам относятся:

- ◆ задание законов распределения реализаций дуг и вершин сети, представленных в той или иной форме;
- ◆ задание условий, при которых реализуются дуги и вершины сети.

При матричном описании сетевой модели и задании ее вероятностной структуры законами распределения реализаций вершин и дуг сети (например, сеть задается своей матрицей смежности) строки матрицы смежности будут соответствовать входам вершин сети, столбцы – выходам вершин сети, а элементы матрицы будут равны вероятностям реализации дуг между соответствующими входами и выходами.

При геометрическом описании сетевой модели с вероятностной структурой, т.е. представлении модели сетевым графиком, в сетевой график вводятся дополнительные элементы, используемые для изображения вероятностных вершин. Эти элементы приведены на рис. 2.2.2. Детерминированные входы и выходы вероятностной вершины изображаются также как входы и выходы детерминированной вершины, а вероятностные входы и выходы – прямоугольными участками с указанием внутри них вероятности входа либо исхода случайной дуги из рассматриваемой вершины.

Прямоугольники  $K_1$  и  $K_2$  изображают вероятностные вершины с вероятностными входами и детерминированным выходом. При этом, для исхода дуг из вершины  $K_1$  достаточно реализации только одной из входящих случайных дуг  $u_1$  и  $u_2$ , а для исхода дуг из вершины  $K_2$  – дуги  $u_1$  или пары дуг  $u_2$  и  $u_3$ . У каждого вероятностного входа вершин проставлены вероятности реализации

указанных условий, которые соответствуют вероятностям реализаций этих входов. При такой интерпретации моделируемых с помощью данных вершин явлений вероятность исхода дуг из рассматриваемых вершин будет определяться выражением

$$p = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2),$$

где

$p_1$  – вероятность реализации дуги  $u_1$ ;

$p_2$  – вероятность реализации дуги  $u_2$  для вершины  $K_1$  или пары дуг  $u_2$  и  $u_3$  для вершины  $K_2$ .

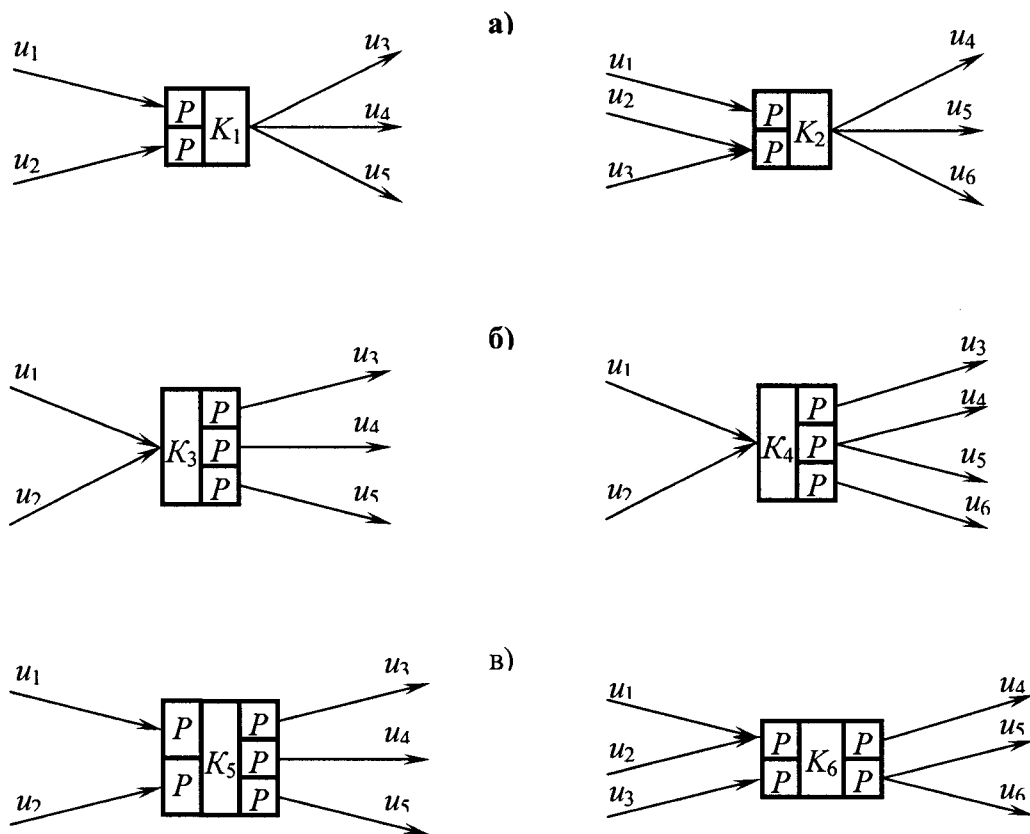


Рис.2.2.2. Геометрические представления вероятностных вершин

Очевидно, что данные вершины будут изолированными с вероятностью

$$\bar{p} = (1 - p_1)(1 - p_2).$$

Вероятностные вершины с детерминированными входами и вероятностными выходами представлены элементами  $K_3$  и  $K_4$ . При реализации сетевой модели из вершины  $K_3$  может исходить только одна из дуг  $u_3$ ,  $u_4$ ,  $u_5$ , а из вершины  $K_4$  – либо одна из дуг  $u_3$ ,  $u_6$ , либо пара дуг  $u_4$  и  $u_5$ . Вероятности исхода дуг проставлены у соответствующих выходов вершин.

Вершины  $K_3$  и  $K_4$  будут тупиковыми в сетевой модели с вероятностью

$$\bar{p} = (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3),$$



где

$p_1$  – вероятность реализации дуги  $u_3$ ;

$p_2$  – вероятность реализации дуги  $u_4$  для вершины  $K_3$  или пары дуг  $u_4$  и  $u_5$  для вершины  $K_4$ .

$p_3$  – вероятность реализации дуги  $u_5$  для вершины  $K_3$  или дуги  $u_6$  для вершины  $K_4$ .

Элементы  $K_5$  и  $K_6$  изображают вероятностные вершины с вероятностными входами и выходами. При определенных условиях эти вершины могут быть как тупиковыми, так и висячими с соответствующими вероятностями.

Сетевые модели с вероятностной структурой и несколькими висячими (исходными) и тупиковыми (завершающими) вершинами могут быть аналогично сетевым моделям с детерминированной структурой и несколькими висячими и тупиковыми вершинами эквивалентно преобразованы с помощью фиктивных вероятностных вершин и дуг в сетевые модели с одной висячей и одной тупиковой вершинами. При этом висячей вершиной будет вершина с вероятностными выходами, а тупиковой – вершина с вероятностными входами.

Расчет параметров сетевой модели с вероятностной структурой можно осуществить двумя способами.

*Первый способ* включает выполнение следующих действий:

- ◆ определение всех возможных вариантов реализации структуры сетевой модели;
- ◆ расчет параметров сети для каждого варианта методами, разработанными для сетевых моделей с детерминированной структурой;
- ◆ построение законов распределений параметров модели с вероятностной структурой с учетом вероятностей реализации вариантов.

Данный способ является достаточно универсальным и позволяет проводить исследование практически любых сетей с вероятностной структурой.

*Второй способ* заключается в построении вероятностной сетевой модели меньшего объема, но имеющей одинаковые с исследуемой моделью законы распределения либо числовые характеристики интересующих нас параметров, проведении статистических испытаний построенной модели и обработке результатов испытаний методами математической статистики. Этот способ может оказаться эффективным, если построенная модель достаточно мала, а определяются только отдельные параметры исходной сетевой модели с вероятностной структурой, например, только критический путь. Основным недостатком данного способа является трудность построения подходящей модели. Этот недостаток преодолевается путем использования в качестве такой модели графа вариантов, о котором будет сказано ниже.

В дальнейшем будет рассматриваться только первый способ, так как он позволяет, несмотря на то, что сетевые модели с вероятностной структурой относятся к наиболее сложным типам

сетевых моделей, в основу методов их построения и исследования положить методы построения, преобразования и анализа сетевых моделей с детерминированной структурой. При этом одним из этапов, существенно отличающих методы анализа сетевых моделей с вероятностной структурой от методов анализа сетевых моделей с детерминированной структурой, является этап определения вариантов структуры сетей с вероятностной структурой. Некоторые результаты данного этапа могут быть использованы при реализации второго способа анализа вероятностных сетей. На эти возможности будет также указано при изложении первого способа.

Так как при использовании первого способа ключевым этапом является определение всех возможных вариантов реализации структуры сетевой модели, то рассмотрим подробнее данный этап.

### 2.3. Определение вариантов реализации сетевых моделей с вероятностной структурой

Каждому варианту сетевой модели с вероятностной структурой соответствует конкретное сочетание реализаций входов и выходов вероятностных вершин этой модели, детерминированных путей между этими реализациями, а также детерминированные пути из исходной вершины сети к реализованным вероятностным входам и от реализованных вероятностных выходов к завершающей вершине сети. Множество всех возможных сочетаний реализаций вероятностных входов и выходов вершин сетевой модели с учетом наличия детерминированных путей между ними, а также между этими реализациями и исходной и завершающей вершинами определяет множество всех вариантов структуры рассматриваемой модели.

Существенную помощь в выявлении всех вариантов структуры сетевой модели может оказать использование специальным образом построенного графа, который будем называть графом вариантов.

*Определение 2.3.1.. Граф вариантов*  $G_1 = \langle X_1, U_1 \rangle$  сетевой модели  $G = \langle X, U, f(z) \rangle$ ,  $z \in Z \subseteq X \cup U$  с вероятностной структурой – это граф, множество  $X_1$  вершин которого составляют исходная, завершающая и все вероятностные вершины сетевой модели  $G$ , а входы и выходы вершин графа соединены дугами в том и только в том случае, если между соответствующими входами и выходами вершин сетевой модели  $G$  существует хотя бы один детерминированный путь.

Очевидно, что  $X_1 \subseteq X$ .

Каждому варианту структуры сетевой модели с вероятностной структурой, для которой построен граф вариантов, соответствует вполне определенная совокупность полных путей этого графа, отвечающая конкретному сочетанию входов и выходов вершин графа вариантов, и наоборот – любой совокупности полных путей графа вариантов, соответствующих конкретному сочетанию входов и выходов вершин этого графа, отвечает вполне определенный вариант

структуры сетевой модели с вероятностной структурой, для которой построен данный граф вариантов.

Если каждой дуге графа вариантов сопоставить, например, длительность наибольшего по продолжительности пути в сетевой модели, соответствующего этой дуге, то граф вариантов в этом случае будет представлять собой вероятностную модель исходной сетевой модели (оригинала), но значительно меньшего объема, чем оригинал. Анализ такой модели осуществить проще, чем анализ оригинала. Поэтому для получения оценок параметров, совпадающих у модели и оригинала, целесообразнее будет использовать граф вариантов. К таким оценкам относятся продолжительности критических путей, вероятности реализации вариантов структуры, упомянутое выше число вариантов структуры и другие.

Определение варианта структуры сетевой модели с помощью графа вариантов производится следующим образом.

1. Задают конкретную совокупность реализаций входов и выходов вероятностных вершин графа вариантов.

2. Заменяют вероятностные вершины графа вариантов детерминированными, имеющими только один вход и один выход, соответствующие заданной реализации этих входов и выходов у заменяемых вероятностных вершин. Дуги, исходящие из нереализованных входов и заходящие на нереализованные выходы вероятностных вершин графа вариантов, исключают из графа. В результате получают подграф, соответствующий конкретному варианту структуры сетевой модели.

3. В полученном подграфе каждую дугу заменяют совокупностью всех детерминированных путей сетевой модели, которые соответствуют этой дуге, т.е. тех детерминированных путей, которые соединяют те же реализации входов и выходов в сетевой модели, что и заменяемая дуга в подграфе. В результате получают вариант структуры рассматриваемой сетевой модели с вероятностной структурой.

4. Перебирая все возможные комбинации реализаций входов и выходов вершин графа вариантов и выполняя при этом приведенные выше операции, получают все варианты структуры сетевой модели.

Количество всех возможных вариантов структуры сетевой модели при условии, что у каждой вероятностной вершины в каждый момент может реализоваться не более одного вероятностного входа и одного вероятностного выхода, не превышает величины, определяемой по формуле

$$q = \prod_{n=1}^N s_n t_n, \quad (2.3.1)$$

где

$q$  – количество всех возможных вариантов структуры сетевой модели;

$N$  – количество вершин сетевой модели;

$s_n$  – количество входов  $n$ -й вершины сетевой модели,  $n = 1(1)N$ ;

$t_n$  – количество выходов  $n$ -й вершины сетевой модели,  $n = 1(1)N$ .

Вариант структуры сетевой модели с вероятностной структурой можно определить, не используя граф вариантов.

Для этого:

1. Задают конкретную совокупность реализаций входов и выходов вероятностных вершин сетевой модели.

2. Заменяют все вероятностные вершины сетевой модели детерминированными, имеющими только по одному входу и выходу, которые соответствуют заданным реализациям входов и выходов заменяемых вероятностных вершин. Дуги, исходящие из нереализованных входов или заходящие в нереализованные выходы вероятностных вершин, исключают из сетевой модели.

3. Выявляют все возникшие при этом висячие и тупиковые вершины (кроме исходной и завершающей вершин) и исключают их из сетевой модели. Затем исключают дуги, заходящие в исключенные вершины или исходящие из них.

4. Выявляют в сетевой модели все вновь возникшие висячие и тупиковые вершины, исключают их из сети (кроме исходной и завершающей), исключают дуги, заходящие в исключенные вершины или исходящие из них. Эту операцию повторяют до тех пор, пока в сетевой модели после исключения дуг не будут возникать новые висячие и тупиковые вершины. Как только это произойдет, выполнение данной операции прекращают. В результате получают вариант структуры сетевой модели, соответствующий заданной совокупности реализаций входов и выходов вероятностных вершин этой модели.

Рассмотрим определение вариантов структуры сетевой модели с использованием графа вариантов на следующем примере.

### *Пример*

Пусть сетевой график сетевой модели с вероятностной структурой имеет вид, представленный на рис. 2.3.1.

Вероятности реализаций вероятностных входов и выходов вероятностных вершин сетевой модели обозначены символами  $p_i$ ,  $i=1(1)8$  и проставлены у соответствующих входов и выходов.

Требуется определить все варианты структуры сетевой модели и вероятности их реализаций.

### *Решение*

Предположим, что у каждой вероятностной вершины в каждый момент может реализоваться не более одного вероятностного входа и одного вероятностного выхода. Данное предположение не

является существенным, но упрощает процедуру построения вариантов структуры сети и делает ее более наглядной.

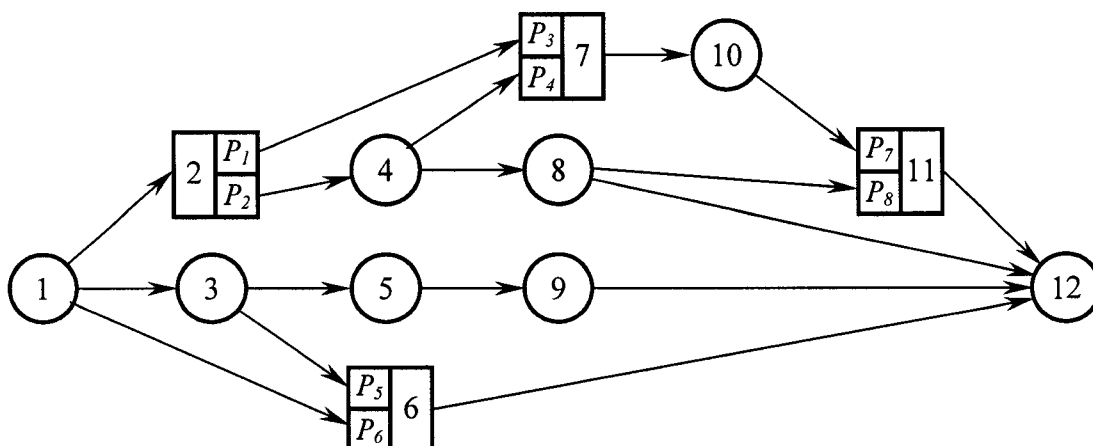


Рис. 2.3.1. Сетевой график сети с вероятностной структурой

Определение вариантов структуры сетевой модели выполняется следующим образом.

1. В соответствии с указанными выше правилами строим граф вариантов сетевой модели, который представлен на рис. 2.3.2.

2. Определяем все возможные сочетания реализаций вероятностных входов и выходов сетевой модели. Так как каждому вероятностному входу и выходу соответствует свой символ  $p_i$ , обозначающий вероятность реализаций этого входа или выхода, то для простоты обозначим этим же символом и саму реализацию. Каждое конкретное сочетание определяемых реализаций имеет четыре символа, т.к. в модели всего четыре вероятностных вершины, которые имеют либо вероятностные входы и детерминированный выход, либо детерминированный вход и вероятностные выходы. Каждая вероятностная вершина имеет ровно два вероятностных входа либо два вероятностных выхода, поэтому число сочетаний искомых реализаций равно шестнадцати.

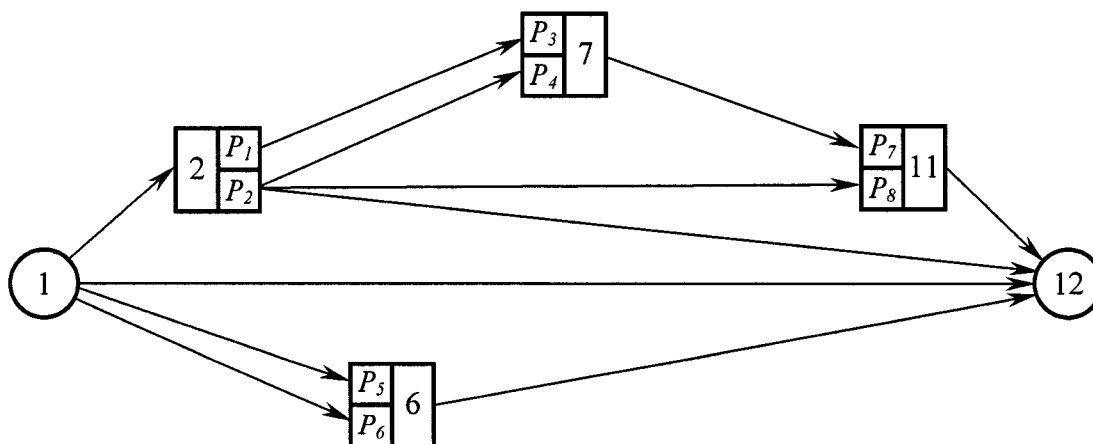


Рис. 2.3.2. Граф вариантов сети с вероятностной структурой

Выполнение данной операции значительно облегчается, если предварительно построить деревья вероятностных входов и выходов сетевой модели (рис. 2.3.3). Искомые сочетания представляют собой ветви построенных деревьев.

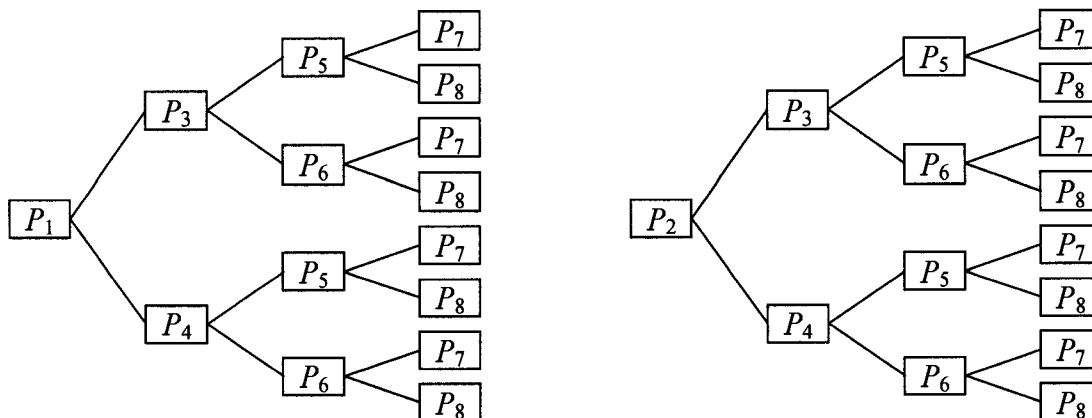


Рис. 2.3.3. Деревья вероятностных входов и выходов сетевой модели

Само множество искомым сочетаний имеет вид:

$$P_{\{16\}} = \{(p_1, p_3, p_5, p_7), (p_2, p_3, p_5, p_7), (p_1, p_4, p_5, p_7), (p_2, p_4, p_5, p_7), (p_1, p_3, p_6, p_7), (p_2, p_3, p_6, p_7), (p_1, p_4, p_6, p_7), (p_2, p_4, p_6, p_7), (p_1, p_3, p_5, p_8), (p_2, p_3, p_5, p_8), (p_1, p_4, p_5, p_8), (p_2, p_4, p_5, p_8), (p_1, p_3, p_6, p_8), (p_2, p_3, p_6, p_8), (p_1, p_4, p_6, p_8), (p_2, p_4, p_6, p_8)\}.$$

3. Проведем предварительный анализ полученных сочетаний с привлечением графа вариантов.

Очевидно, что сочетания реализаций, в которых не реализуется выход  $p_2$  следует исключить из рассмотрения, т.к. в этом случае в графе вариантов не реализуется дуга  $\langle 2, 12 \rangle$ , а следовательно, в сетевой модели не реализуется детерминированный путь  $L_{2,12}$ , ведущий из вероятностного входа  $p_2$  вершины 2 в детерминированную вершину 12. Это означает, что, либо событие, соответствующее этой вершине 12, не сможет свершиться в моделируемом комплексе мероприятий, либо мероприятие, соответствующее этой вершине 12, не может быть выполнено, а поэтому и сам комплекс мероприятий при соответствующих вариантах структуры также не может быть выполнен. В результате исключения остаются следующие восемь сочетаний:

$$P_{\{8\}} = \{(p_2, p_3, p_5, p_7), (p_2, p_4, p_5, p_7), (p_2, p_3, p_6, p_7), (p_2, p_4, p_6, p_7), (p_2, p_3, p_5, p_8), (p_2, p_4, p_5, p_8), (p_2, p_3, p_6, p_8), (p_2, p_4, p_6, p_8)\}.$$

При реализации выхода  $p_2$  вероятностной вершины 2 сети моделируемый комплекс мероприятий будет выполнен, если реализуются вход  $p_8$  вершины 11 или одновременно входы  $p_4$  и  $p_7$  вершин 7 и 11, так как только в этом случае реализуется детерминированная дуга  $\langle 11, 12 \rangle$ . Поэтому из оставшихся сочетаний следует исключить те, в которых при реализации входа  $p_7$  не реализуется одновременно вход  $p_4$ . Таких сочетаний будет два:

$$P_{\{2\}} = \{(p_2, p_3, p_5, p_7), (p_2, p_3, p_6, p_7)\}.$$

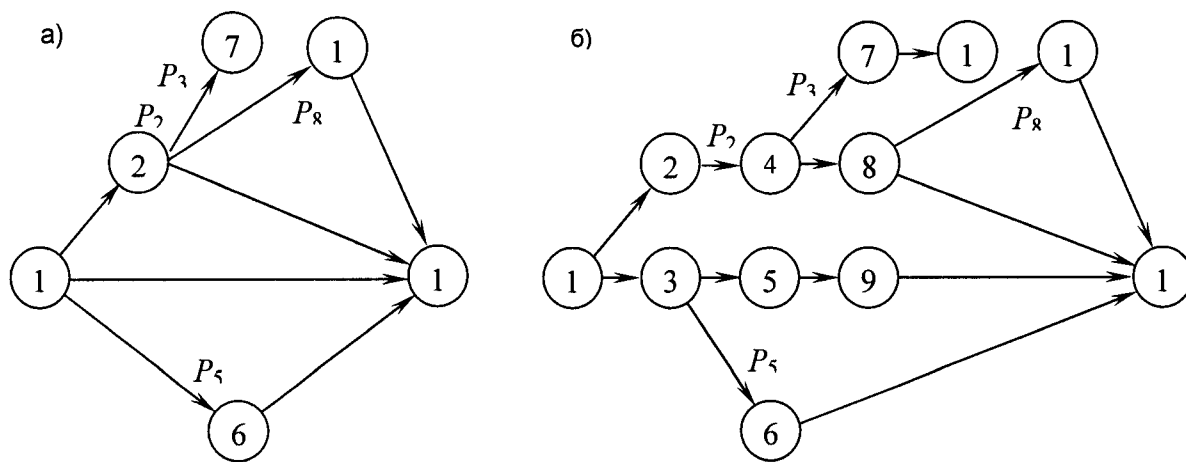


Рис. 2.3.4. Подграф графа вариантов и вариант  $\{p_2, p_3, p_5, p_8\}$  структуры сети

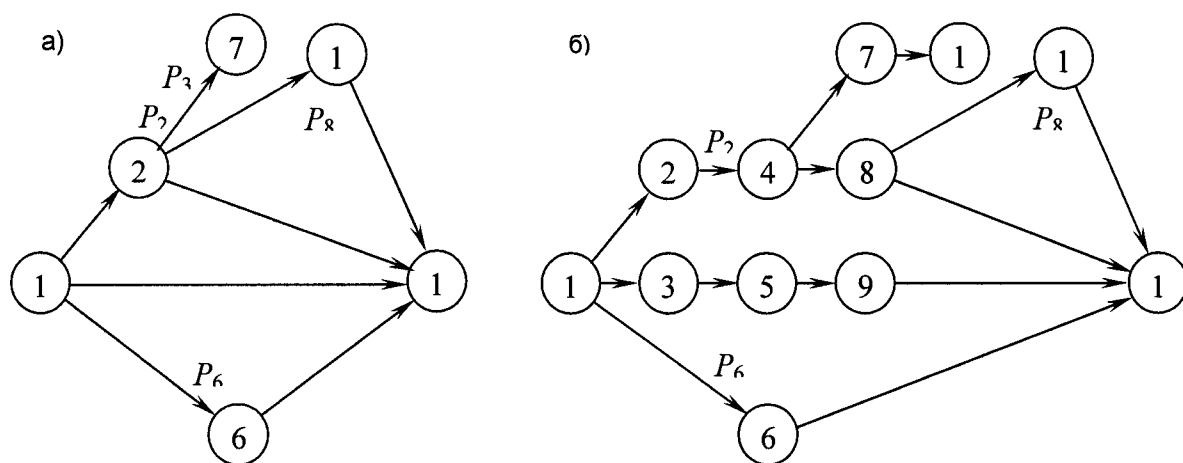


Рис. 2.3.5. Подграф графа вариантов и вариант  $\{p_2, p_3, p_6, p_8\}$  структуры сети

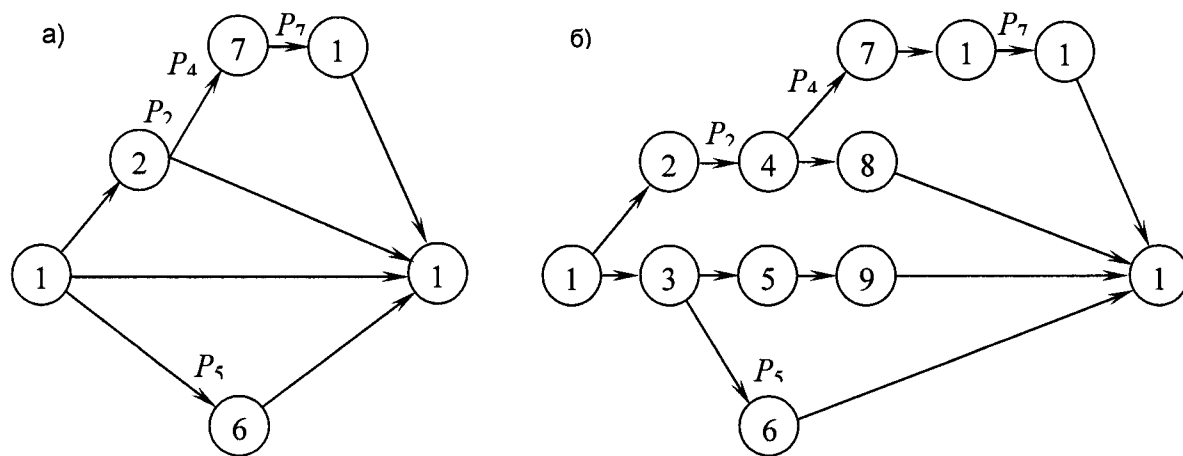


Рис. 2.3.6. Подграф графа вариантов и вариант  $\{p_2, p_4, p_5, p_7\}$  структуры сети

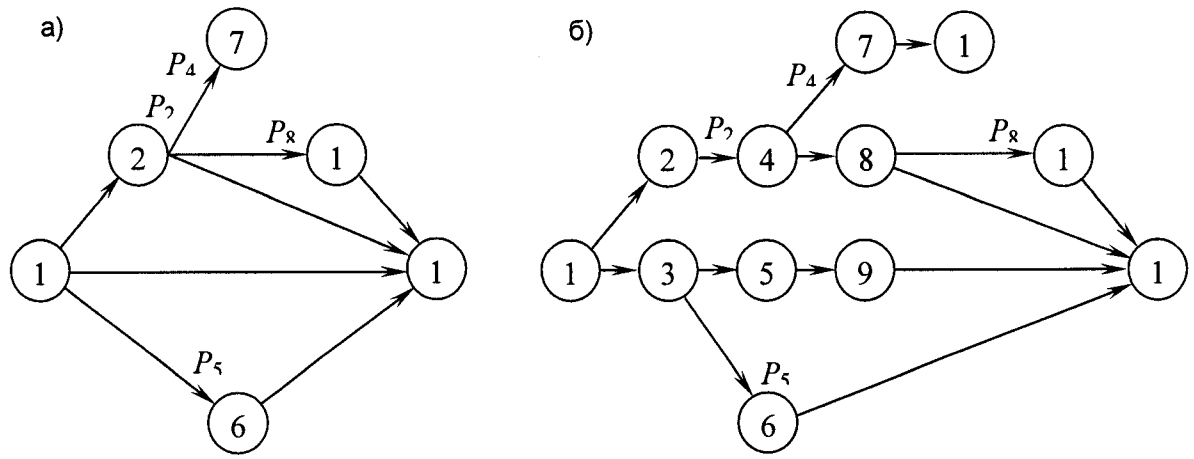


Рис. 2.3.7. Подграф графа вариантов и вариант  $\{p_2, p_4, p_5, p_8\}$  структуры сети

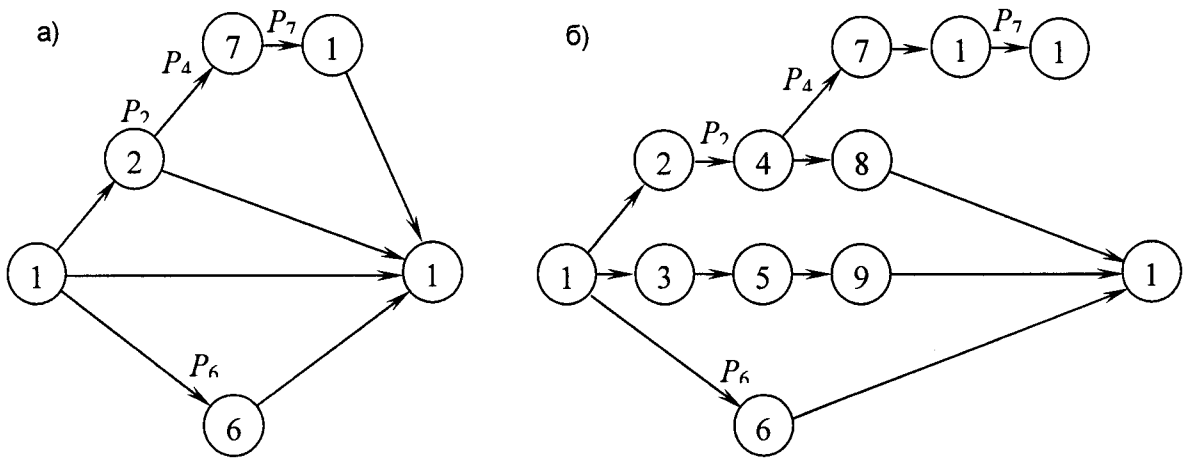


Рис. 2.3.8. Подграф графа вариантов и вариант  $\{p_2, p_4, p_6, p_7\}$  структуры сети

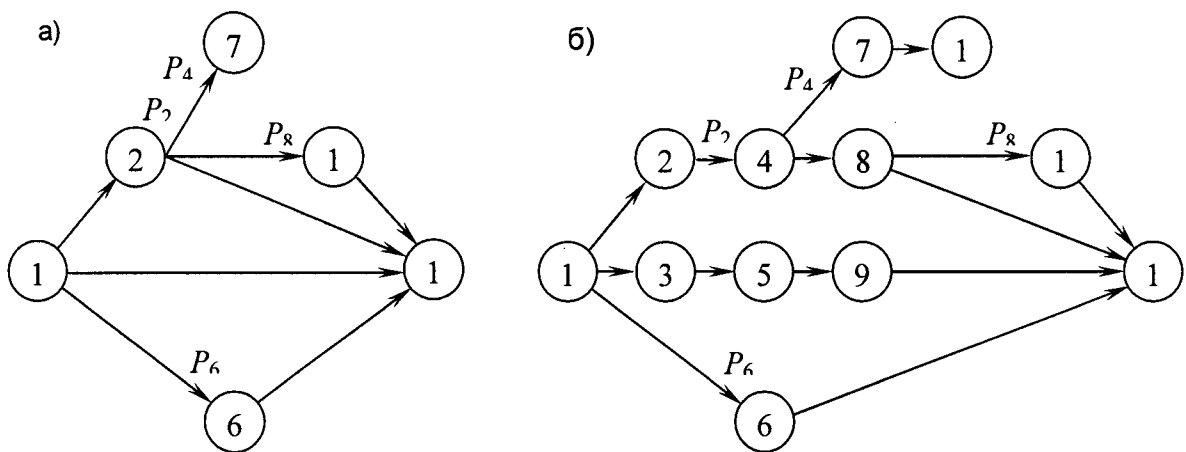


Рис. 2.3.9. Подграф графа вариантов и вариант  $\{p_2, p_4, p_6, p_8\}$  структуры сети



4. Для оставшихся шести сочетаний

$$P_{\{6\}} = \{(p_2, p_3, p_5, p_8), (p_2, p_3, p_6, p_8), (p_2, p_4, p_5, p_7), (p_2, p_4, p_5, p_8), (p_2, p_4, p_6, p_7), (p_2, p_4, p_6, p_8)\}$$

строим по соответствующим правилам подграфы графа вариантов и варианты структуры сетевой модели.

Конкретные сочетания, построенные для них подграфы графа вариантов и варианты структуры сетевой модели приведены на рис. 2.3.4 – 2.3.9.

Таким образом заданная сетевая модель (рис. 2.3.1) имеет шесть вариантов структуры.

Тогда вероятности реализаций этих вариантов будут определяться следующими выражениями:

$$P(A) = p_2 p_3 p_5 p_8, \quad P(B) = p_2 p_3 p_6 p_8, \quad P(C) = p_2 p_4 p_5 p_7,$$

$$P(D) = p_2 p_4 p_5 p_8, \quad P(E) = p_2 p_4 p_6 p_7, \quad P(F) = p_2 p_4 p_6 p_8.$$

Вероятности вариантов вычислялись при условии, что у любой вероятностной вершины сетевой модели в каждом варианте может реализовываться только один вероятностный вход и один вероятностный выход. При других предположениях вид формул для вычисления вероятностей может измениться.

Вероятность  $P(G)$  события  $G$ , заключающегося в том, что комплекс мероприятий, моделируемый заданной сетью с вероятностной структурой (рис. 2.3.1.), не будет выполнен, определяется выражением

$$P(G) = 1 - [P(A) + P(B) + P(C) + P(D) + P(E) + P(F)] = 1 - P_2(P_4 + P_3 P_8).$$

Так как все искомые результаты получены, то решение примера на этом заканчивается.

Если количество вероятностных вершин в графе вариантов слишком велико, то рассмотренный способ аналитического определения вариантов структуры сетевой модели и вероятности осуществления каждого варианта окажется весьма сложным. В этом случае граф вариантов можно представить в виде сети Петри и для решения указанной задачи воспользоваться аппаратом соответствующей теории.

## **2.4. Основные этапы обработки результатов наблюдений процесса информатизации с применением сетевой модели наблюдаемого процесса**

Как уже отмечалось ранее, информатизация является сложным процессом, включающим множество различных мероприятий с разнообразными связями между ними. Этот процесс при оценивании и прогнозировании состояния, хода и результатов информатизации можно отнести к классу случайных процессов с вероятностной структурой и представить в виде сложного комплекса мероприятий с вероятностной структурой. При этом данные об информатизации, на основании которых составляются оценки и прогнозы ее состояния, хода и результатов,

рассматривают как результаты прямых или косвенных наблюдений за данным комплексом мероприятий, а получение указанных выше оценок и прогнозов – как обработку полученных результатов наблюдений.

Сущность рассматриваемого метода обработки результатов наблюдений комплекса мероприятий с вероятностной структурой с применением сетевой модели наблюдаемого комплекса состоит в том, что с помощью сетевой модели по результатам наблюдений сначала выявляют осуществимый вариант комплекса мероприятий, а затем для выявленного варианта определяют состояние и ход осуществления комплекса, оценки временных параметров мероприятий, входящих в комплекс, и самого комплекса в целом. При этом производят сопоставление мероприятий, выявленных непосредственно по данным наблюдения, с мероприятиями, включенными в сетевую модель. Если возникает необходимость, то полученные данные либо модель уточняются. Данные, противоречащие модели и не получившие подтверждения, отбраковываются. По расположению в сетевой модели мероприятий, выявленных по результатам наблюдений и прошедших проверку на непротиворечивость, судят об осуществляемом варианте комплекса и для него получают искомые оценки параметров.

Сформулируем основные допущения, обеспечивающие корректность применения рассматриваемого метода.

Пусть проводится наблюдение за комплексом, включающим  $M$  мероприятий и имеющим вероятностную структуру. Предположим также, что для наблюдаемого комплекса построена сетевая модель, представляющая собой сеть с вероятностной структурой. При этом каждому возможному варианту осуществления наблюдаемого комплекса соответствует вариант структуры сетевой модели.

В результате проведения  $n$  последовательных сеансов наблюдений в интервале  $[t_0, t_1]$  получены данные о  $m$  мероприятиях наблюдаемого комплекса, проводимых в момент наблюдения. Эти данные могут быть представлены в виде матрицы

$$Z_{[m,n]} = \begin{bmatrix} Z_{11}(t_{11}) & Z_{12}(t_{12}) & \dots & Z_{1n}(t_{1n}) \\ Z_{21}(t_{21}) & Z_{22}(t_{22}) & \dots & Z_{2n}(t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1}(t_{m1}) & Z_{m2}(t_{m2}) & \dots & Z_{mn}(t_{mn}) \end{bmatrix},$$

где

$t_{ij}$  – момент наблюдения  $i$ -го мероприятия в  $j$ -ом сеансе наблюдения,  $i = 1(1)m, j = 1(1)n$ ;

$Z_{ij}(t_{ij})$  – кортеж данных об  $i$ -м мероприятии, полученный в  $j$ -м сеансе наблюдений в момент  $t_{ij} \in [t_0, t_1], i = 1(1)m, j = 1(1)n$ .

Кортеж данных  $Z_{ij}(t_{ij})$  представляет собой упорядоченный набор данных, необходимых и достаточных для получения по ним вывода о проведении наблюдаемого мероприятия с заданной

степенью достоверности. При отсутствии любой компоненты этого кортежа достоверность вывода о проведении мероприятия снижается, а при отсутствии нескольких компонент такой вывод может стать просто недостоверным.

*Определение 2.4.1. Элементарное мероприятие* – это мероприятие, проведение которого выявляется непосредственно по результатам наблюдений.

Предположим, что все мероприятия наблюдаемого комплекса являются элементарными. Такое предположение упрощает изложение метода, но не является принципиальным, если наблюдаемый комплекс представляет собой сложную операцию, а именно такие комплексы и рассматриваются в предлагаемом методе.

*Определение 2.4.2. Сложная операция* – это такой комплекс мероприятий, в котором любое мероприятие, входящее в сложную операцию, может быть представлено комплексом более мелких, более детальных мероприятий, которые, в свою очередь, могут быть представлены комплексами еще более мелких мероприятий.

Такая детализация мероприятий может осуществляться до любого уровня, т.е. и до такого, на котором все мероприятия, входящие в комплекс, будут представлены комплексами более мелких, но зато элементарных мероприятий.

Предположение об элементарности мероприятий, составляющие комплекс, означает, что проведение любого мероприятия, входящего в комплекс, а, следовательно, и в сетевую модель, может быть выявлено непосредственно по результатам наблюдений.

Основными этапами рассматриваемого метода обработки с применением сетевой модели результатов наблюдений комплекса мероприятий, имеющего вероятностную структуру, являются:

1. Выявление проводимых мероприятий комплекса по результатам наблюдений;
2. Проверка непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели;
3. Определение реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;
4. Вычисление оценок сетевых параметров реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;
5. Определение текущего состояния и оценивание хода выполнения наблюдаемого комплекса мероприятий.

Рассмотрим эти этапы.

#### *2.4.1. Выявление проводимых мероприятий комплекса по результатам наблюдений*

Если результаты наблюдений комплекса мероприятий приведены в виде матрицы  $Z_{[m,n]}$ , то каждый элемент матрицы представляет собой набор наблюдаемых значений количественных и качественных признаков наблюдаемых мероприятий комплекса. Для принятия информационного решения о проведении мероприятия в момент наблюдения с уровнем достоверности не ниже заданного необходимо и достаточно, чтобы набор наблюдаемых признаков проводимого

мероприятия имел вполне определенный состав. Оптимальный состав такого набора может быть определен, например, методами теории планирования эксперимента. Отклонение от оптимального состава набора наблюдаемых признаков мероприятия приводит к понижению уровня достоверности вывода о проведении этого мероприятия либо к увеличению затрат на наблюдение за мероприятием.

Результатом выполнения первого этапа является принятие по данным наблюдений, полученными на интервале времени  $[t_0, t_1]$  в  $n$  сеансах наблюдения за  $m$  мероприятиями наблюдаемого комплекса, информационного решения о проведении  $m_1$  мероприятий данного комплекса в  $n_1$  моментах интервала наблюдения  $[t_0, t_1]$ , где  $m_1 \leq m$ ,  $n_1 \leq n$ .

Выявленные мероприятия составляют вполне определенную временную последовательность, порядок следования в которой определяется моментами наблюдений.

Обозначим выявленные мероприятия символами  $a_i$ ,  $i=1(1)m_1$ , множество выявленных мероприятий – символом  $A_{\{m_1\}} = \{a_i\}_1^{m_1}$ , а последовательность этих мероприятий – символом  $A_{\langle m_1 \rangle} = \langle a_1, a_2, \dots, a_{m_1} \rangle$ .

Эти мероприятия могут быть упорядочены по моментам наблюдений и представлены в виде временных диаграмм или матриц следующего вида:

$$A_{[m, n]} = \left\| a_{ij} \right\|_{m_1}^n,$$

где

$$a_{ij} = \begin{cases} a(t_{ij}) & \text{– если } i\text{-е выявленное мероприятие наблюдалось в момент } t_{ij} \text{ } j\text{-го сеанса} \\ & \text{наблюдения, } i = 1(1)m_1, j = 1(1)n; \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

В частности можно выбрать

$$a(t_{ij}) = t_{ij}.$$

#### 2.4.2. Проверка непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели

На данном этапе проверяется наличие в сетевой модели выявленных мероприятий и соответствие порядка их следования расположению этих же мероприятий в модели.

При проверке соответствия порядка следования выявленных мероприятий их расположению в сетевой модели весьма полезным оказывается использование следующих утверждений и следствий из них.

*Утверждение 2.4.1.* Наименьшее значение раннего срока свершения любого события моделируемого комплекса мероприятий определяется по сетевой модели с наименьшими возможными значениями продолжительностей всех мероприятий, входящих в эту модель.

### Доказательство

По определению ранний срок  $t_i^p$  свершения  $i$ -го события в сети равен

$$t_i^p = \max_{\{L_{ij}\}} t(L_{ij}), \quad (2.4.1)$$

где

$t(L_{ij})$  – продолжительность пути, ведущего из начального события  $I$  в событие  $i$ .

Так как

$$t(L_{ij}) = \sum_{\forall r_{kl} \in L_{ij}} t(r_{kl}),$$

где  $t(r_{kl})$  – продолжительность мероприятия  $r_{kl}$ , то наименьшее значение  $t^{\min}(L_{ij})$  продолжительность  $t(L_{ij})$  пути  $L_{ij}$  примет при наименьших значениях  $t^{\min}(r_{kl})$  продолжительностей всех входящих в этот путь мероприятий  $r_{kl}$ .

Обозначим

$$t_i^{p \min} = \max_{\{L_{ij}\}} t^{\min}(L_{ij}). \quad (2.4.2)$$

Очевидно, что увеличение продолжительности хотя бы одного мероприятия, входящего в какой либо путь  $L_{ij}$ , может привести только к увеличению значения  $t_i^p$ .

Поэтому

$$t_i^{p \min} \leq t_i^p,$$

где  $t_i^p$  и  $t_i^{p \min}$  определены по формулам (2.4.1) и (2.4.2) соответственно.

Утверждение 2.4.1 доказано.

*Утверждение 2.4.2.* Наибольшее значение раннего срока свершения любого события определяется по сетевой модели с наибольшими возможными значениями продолжительностей всех мероприятий, входящих в эту модель.

Доказательство данного утверждения аналогично доказательству утверждения 2.4.1. При этом используется тот факт, что значение суммы при уменьшении значения любого слагаемого может только уменьшиться.

Обозначим наибольшее значение раннего срока свершения  $i$ -го события символом  $t_i^{p \max}$ :

$$t_i^{p \max} = \max_{\{L_{ij}\}} t^{\max}(L_{ij}),$$

где  $t^{\max}(L_{ij})$  – наибольшее возможное значение продолжительности  $t(L_{ij})$  пути  $L_{ij}$ .

*Следствие 2.4.1.* Наименьшее и наибольшее значения продолжительности критического пути в сетевой модели с детерминированной структурой равны наименьшему и наибольшему значениям раннего срока свершения завершающего события соответственно.

Данное следствие вытекает из утверждений 2.4.1 и 2.4.2, а также из того факта, что продолжительность критического пути равна раннему сроку свершения завершающего события.

Обозначим наименьшее и наибольшее значения продолжительности критического пути символами  $T_{кр}^{\min}$  и  $T_{кр}^{\max}$  соответственно.

С учетом введенных обозначений следствие 2.4.1 может быть представлено в виде неравенства

$$T_{кр}^{\min} \leq T_{кр} \leq T_{кр}^{\max},$$

где

$T_{кр}$  – продолжительность критического пути в сетевой модели с любыми возможными значениями продолжительностей мероприятий, включенных в данную сеть.

*Утверждение 2.4.3.* Наибольшее значение позднего срока свершения любого события моделируемого комплекса определяется по сетевой модели с наименьшими возможными значениями продолжительностей всех мероприятий, входящих в эту модель, но продолжительность критического пути при этом принимается равной максимально возможной.

*Доказательство*

По определению поздний срок  $t_i^n$  свершения  $i$ -го события равен

$$t_i^n = T_{кр} - \max_{\{L_{iC}\}} t(L_{iC}),$$

где

$t(L_{iC})$  – продолжительность пути, ведущего из  $i$ -го события, в завершающее событие  $C$  сетевой модели.

Тогда для любого события справедлива следующая цепочка неравенств:

$$t_i^n = T_{кр} - \max_{\{L_{iC}\}} t(L_{iC}) \leq \max_{\{t(r_{ij})\}} [T_{кр} - \max_{\{L_{iC}\}} t(L_{iC})] \leq T_{кр}^{\max} - \max_{\{L_{iC}\}} \min_{\{t(r_{ij})\}} t(L_{iC}) = T_{кр}^{\max} - \max_{\{L_{iC}\}} t^{\min}(L_{iC}) = t_i^{n \max}.$$

Неравенство

$$t_i^n \leq t_i^{n \max}$$

всегда справедливо, так как в противном случае должно выполняться хотя бы одно из неравенств

$$T_{кр}^{\max} < T_{кр},$$

$$\max_{\{L_{iC}\}} t^{\min}(L_{iC}) > \max_{\{L_{iC}\}} t(L_{iC})$$

для какого-либо набора значений продолжительностей мероприятий, входящих в сетевую модель. А это противоречит следствию 2.4.1 либо известному из математики утверждению, что минимум суммы равен сумме минимумов слагаемых. Следовательно, утверждение 2.4.3 доказано.

*Следствие 2.4.2.* Любое мероприятие, принадлежащее моделируемому комплексу мероприятий, не должно наблюдаться ранее наименьшего раннего срока свершения ее начального события и позднее наибольшего позднего срока свершения ее конечного события.

В следствии 2.4.2 наименьший ранний и наибольший поздний сроки свершения события соответствуют наименьшему и наибольшему значениям раннего и позднего сроков свершения события, взятых в абсолютном (текущем), а не относительном времени.

Для проверки соответствия порядка следования выявленных мероприятий их расположению в сетевой модели определяют наименьшие ранние сроки начала (наименьшие ранние сроки свершения начальных событий) и наибольшие поздние сроки окончания (наибольшие поздние сроки свершения конечных событий) этих мероприятий, а затем проверяют попадание времен наблюдения мероприятий в соответствующие этим срокам временные интервалы. В случае попадания считают, что мероприятия соответствуют порядку их следования в сетевой модели. Мероприятие, моменты наблюдения которого не попадают в соответствующий интервал, считают несоответствующим указанному порядку.

При отсутствии в сети выявленных мероприятий либо несоответствии порядка их следования расположению этих мероприятий в сетевой модели данные о таких мероприятиях уточняются. Если уточненные данные с высокой степенью достоверности подтверждают факт проведения этих мероприятий в наблюдаемом комплексе, то производится коррекция сетевой модели путем включения таких мероприятий в сеть либо изменение их расположения в модели. Если же достоверность вывода о проведении какого-либо мероприятия по данным наблюдения недостаточна, то считают, что это мероприятие противоречит сетевой модели наблюдаемого комплекса. Все противоречащие сетевой модели мероприятия исключают из рассмотрения, и они в последующих этапах обработки результатов наблюдений не участвуют.

Наличие выявленных мероприятий в сетевой модели наблюдаемого комплекса, а также соответствие порядка их следования расположению этих мероприятий в сети дает основание для вывода о непротиворечивости этих мероприятий сетевой модели наблюдаемого комплекса.

Выявленные и не противоречащие сетевой модели мероприятия обозначим символами

$$b_i, \quad i = 1(1) m_2, \quad m_2 \leq m_1,$$

где

$m_2$  – число выявленных и не противоречащих сетевой модели мероприятий.

Для обозначения множества всех выявленных и не противоречащих сетевой модели мероприятий наблюдаемого комплекса введем символ

$$\mathbf{B}_{\{m_2\}} = \{b_i\}_1^{m_2}.$$

Это множество может быть упорядочено, например, по моментам первого наблюдения мероприятий. В этом случае получают упорядоченный набор мероприятий, который может быть представлен графически в виде временных диаграмм либо в виде матрицы

$$\mathbf{B}_{[m_2, n]} = \left\| b_{ij} \right\|_{m_2}^n,$$

где

$$b_{ij} = \begin{cases} b(t_{ij}) & \text{— если } i\text{-е выявленное и не противоречащее сетевой модели мероприятие} \\ & \text{наблюдалось в момент } t_{ij} \text{ } j\text{-го сеанса наблюдения, } i = 1(1)m_1, j = 1(1)n; \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Сеансы наблюдений за комплексом мероприятий соответствуют разрезам (сечениям) сетевой модели.

#### 2.4.3. Определение реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий

При определении реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий выполняют следующие операции:

- ◆ определяют все возможные сочетания реализаций входов и выходов исходной, завершающей и вероятностных вершин сетевой модели наблюдаемого комплекса мероприятий;
- ◆ определяют множество всех детерминированных путей между исходной, завершающей и вероятностными вершинами сетевой модели наблюдаемого комплекса мероприятий;
- ◆ определяют детерминированные пути, которым принадлежат выявленные по результатам наблюдений и не противоречащие сетевой модели мероприятия;
- ◆ определяют реализации входов и выходов вероятностных вершин, обеспечивающие реализацию детерминированных путей, на которых лежат выявленные по результатам наблюдений мероприятия;
- ◆ выделяют все сочетания реализаций входов и выходов вероятностных вершин, соответствующие полным путям сетевой модели, в которые входят выявленные при выполнении предыдущей операции реализации входов и выходов вероятностных вершин сетевой модели;
- ◆ выявляют варианты структуры сетевой модели наблюдаемого комплекса мероприятий, соответствующие выделенным сочетаниям реализаций входов и выходов вероятностных вершин;
- ◆ уточняют реализуемые варианты наблюдаемого комплекса мероприятий и вероятности осуществления этих вариантов.

Рассмотрим особенности выполнения этих операций.

Для облегчения определения всех сочетаний входов и выходов исходной, завершающей и вероятностных вершин сетевой модели целесообразно использовать граф вариантов структуры сетевой модели.



Максимально возможное число искомых сочетаний определяется выражением (2.3.1)

$$q = \prod_{n=1}^N s_n t_n,$$

где

$q$  – количество всех возможных вариантов структуры сетевой модели;

$N$  – количество вершин сетевой модели;

$s_n$  – количество входов  $n$ -й вершины сетевой модели,  $n = 1(1)N$ ;

$t_n$  – количество выходов  $n$ -й вершины сетевой модели,  $n = 1(1)N$ .

Множество сочетаний входов и выходов исходной, завершающей и вероятностных вершин сетевой модели обозначим символом

$$Q = \{q_i\}.$$

Очевидно, что это множество конечно, и его мощность не превышает числа  $q$ . Каждый элемент  $q_i$  данного множества имеет ровно  $2K$  символов, где  $K$  – число вероятностных вершин сетевой модели.

Определение всех детерминированных путей, существующих между исходной, завершающей и вероятностными вершинами в сетевой модели можно выполнить по полной матрице путей, построенной, например, с привлечением аппарата алгебры квазиминоров. Множество таких путей обозначим символом  $L^{\text{дет}}$

При определении детерминированных путей, которым принадлежат выявленные по результатам наблюдений и не противоречащие сетевой модели мероприятия, выделяют все пути из множества  $L^{\text{дет}}$ , в которые входят указанные мероприятия. Если какое-либо мероприятие входит в несколько путей, соединяющих различные входы и выходы вероятностных вершин, то среди них определяют путь, в который входит наибольшее число выявленных и не противоречащих сетевой модели мероприятий. Этот путь принимают за искомый, а остальные подлежат исключению.

Множество всех выделенных таким образом детерминированных путей обозначим символом  $L^{\text{выд}}$ . Данное множество позволяет определить реализованные входы и выходы вероятностных вершин сетевой модели. Символы этих входов и выходов составляют вполне определенный набор  $w$ , который должен входить хотя бы в одно из сочетаний  $q_i \in Q$  всех входов и выходов вероятностных вершин сети.

Путем сравнения набора  $w$  с сочетаниями из множества  $Q$  определяют все сочетания, в которые входит набор  $w$ . Множество таких сочетаний обозначим  $Q_1$ .

Очевидно, что

$$Q_1 \subset Q.$$

Затем с помощью графа вариантов определяют все варианты структуры сетевой модели, которые соответствуют сочетаниям из множества  $Q_1$ , т.е. сочетаниям реализаций входов и выходов вероятностных вершин, в которые входят все реализованные входы и выходы этих вершин.

Учитывая временные параметры выявленных по результатам наблюдений и не противоречащих сетевой модели мероприятий, а также временные соотношения между этими мероприятиями, уточняют варианты структуры сетевой модели, которые по данным наблюдений могут быть реализованы при выполнении наблюдаемого комплекса.

Для уточненных вариантов определяют вероятности их осуществления, которые представляют собой уточненные по результатам наблюдений апостериорные вероятности осуществления вариантов наблюдаемого комплекса. Эти вероятности могут быть вычислены по формуле Байеса.

Введем следующие обозначения:

$I$  – число вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;

$H_i$  – событие, заключающееся в осуществлении  $i$ -го варианта наблюдаемого комплекса мероприятий,  $i=1(1)I$ ;

$A$  – событие, заключающееся в получении результатов наблюдений комплекса мероприятий.

Тогда формула Байеса для рассматриваемого случая примет вид:

$$P(H_i / A) = \frac{P(H_i)P(A / H_i)}{\sum_{i=1}^I P(H_i)P(A / H_i)}, \quad i = 1(1)I, \quad (2.4.3)$$

где

$P(H_i / A)$  – вероятность осуществления варианта  $H_i$  наблюдаемого комплекса при условии, что получен результат наблюдений  $A$  (апостериорная вероятность),  $i = 1(1)I$ ;

$P(H_i)$  – априорная вероятность осуществления варианта наблюдаемого комплекса;

$P(A / H_i)$  – вероятность получения результатов наблюдений  $A$  при условии, что реализован вариант  $H_i$  наблюдаемого комплекса.

В рассматриваемом случае каждому варианту комплекса мероприятий сопоставлено определенное сочетание реализаций входов и выходов вероятностных вершин, принадлежащее множеству  $Q$ , а результатам наблюдений – набор символов  $W$ .

Поэтому

$$P(A / H_i) = \begin{cases} 1 - & \text{если набор } W \text{ входит в сочетание, сопоставленное} \\ & \text{варианту } H_i; \\ 0 - & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Обозначив символом  $I_1$  множество индексов вариантов, для которых сопоставленные им сочетания содержат набор  $W$ , формулу (2.4.3) можно записать в виде

$$P(H_i / A) = \begin{cases} \frac{P(H_i)}{\sum_{i \in I_1} P(H_i)}, & i \in I_1, \\ 0, & i \in I \setminus I_1. \end{cases} \quad (2.4.4)$$

Формулу (2.4.4) следует использовать при расчете апостериорных вероятностей вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий.

#### 2.4.4. Вычисление оценок сетевых параметров реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий

Так как каждый реализуемый вариант наблюдаемого комплекса мероприятий имеет детерминированную структуру, то оценки сетевых параметров этих вариантов вычисляются известными методами, разработанными для сетевых моделей с детерминированной структурой, например, методом PERT. Распределения параметров, характеризующих наблюдаемый комплекс мероприятий в целом, представляют собой вероятностную смесь распределений соответствующих параметров реализуемых вариантов комплекса. Поэтому расчет оценок таких параметров должен производиться по соответствующим формулам.

Так оценки математического ожидания и дисперсии продолжительности критического пути наблюдаемого комплекса мероприятий с учетом результатов наблюдений вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{M}[T_{\text{кр}}(A)] &= \sum_{i \in I_1} P(H_i / A) \tilde{M}[T_{\text{кр}}(H_i; A)]; \\ \tilde{D}[T_{\text{кр}}(A)] &= \sum_{i \in I_1} P(H_i / A) \tilde{D}[T_{\text{кр}}(H_i; A)]; \end{aligned}$$

где

$\tilde{M}[T_{\text{кр}}(A)]$  – оценка математического ожидания продолжительности критического пути наблюдаемого комплекса мероприятий, уточненная по результатам наблюдений  $A$ ;

$\tilde{M}[T_{\text{кр}}(H_i; A)]$  – оценка математического ожидания продолжительности критического пути варианта  $H_i$  наблюдаемого комплекса мероприятий, уточненная по результатам наблюдений  $A$ ;

$P(H_i / A)$  – вероятность реализации варианта  $H_i$  наблюдаемого комплекса мероприятий, уточненная по результатам наблюдений  $A$ ;

$\tilde{D}[T_{кр}(A)]$  – оценка дисперсии продолжительности критического  $T_{кр}$  пути наблюдаемого комплекса мероприятий, уточненная по результатам наблюдений  $A$ ;

$\tilde{D}[T_{кр}(H_i; A)]$  – оценка дисперсии продолжительности критического  $T_{кр}$  пути реализуемого варианта  $H_i$  наблюдаемого комплекса мероприятий, уточненная по результатам наблюдений  $A$ .

#### 2.4.5. Определение текущего состояния и хода выполнения наблюдаемого комплекса мероприятий

Определение по данным наблюдения текущего состояния наблюдаемого комплекса мероприятий осуществляется следующим образом. Для всех полных путей вариантов структуры сетевой модели, соответствующих реализуемым вариантам наблюдаемого комплекса мероприятий и содержащих выявленные по результатам наблюдений и не противоречащие сетевой модели мероприятия, определяются наиболее поздние моменты проведения наблюдений и мероприятия, наблюдавшиеся в эти моменты. Совокупность определенных таким образом мероприятий определяет разрез сетевой модели, который характеризует состояние наблюдаемого комплекса в интервале  $[t_3, t_4] \subseteq [t_0, t_1]$ , где  $t_3$  и  $t_4$  – соответственно наименьший и наибольший самые поздние моменты наблюдений из всех соответствующих выявленному разрезу наиболее поздних моментов наблюдений в интервале наблюдений  $[t_0, t_1]$ .

Знание состояния наблюдаемого комплекса мероприятий в интервале  $[t_3, t_4]$ , наличие сетевой модели комплекса и оценок сетевых параметров реализуемых вариантов и самого наблюдаемого комплекса позволяет определить текущее состояние, спрогнозировать ход дальнейшего развития наблюдаемого комплекса и провести анализ его реализованной части.

Таким образом, рассмотренный метод обработки результатов наблюдений комплекса мероприятий с применением сетевой модели наблюдаемого комплекса позволяет за счет учета структуры комплекса повысить полноту использования информации, содержащейся в результатах наблюдений, и степень достоверности выводов, получаемых при обработке результатов наблюдений.

Анализ материалов, представленных в данной главе позволяет сделать следующее заключение.

В главе изложены методология, математические методы и модели прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации.

1. Предложен подход к прогнозированию информатизации, в котором информатизация отнесена к классу стохастических (случайных) процессов со стохастической (вероятностной) структурой. Данные об информатизации, на основании которых составляются оценки и прогнозы ее состояния, хода и результатов, независимо от их природы и способов получения рассматриваются как результаты прямых или косвенных наблюдений за данным процессом,

получение указанных выше оценок и прогнозов – как обработка результатов наблюдений за сложным комплексом мероприятий с вероятностной структурой, а задача оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации – как частный случай решения более общей задачи – обработки результатов наблюдений сложного процесса с вероятностной структурой.

2. Предложен метод обработки результатов наблюдений сложного стохастического процесса с применением сетевой модели наблюдаемого процесса для решения задачи прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации, который позволяет за счет учета структуры наблюдаемых процессов более полно извлекать из результатов наблюдений содержащуюся в них информацию, отбраковывать недостоверные и выявлять наиболее информативные результаты наблюдений, а также определять те недостающие результаты наблюдения, которые могут нести информацию, необходимую для решения задач обработки с требуемым уровнем качества.

Сущность предложенного метода состоит в том, что с помощью сетевой модели по результатам наблюдений сначала выявляют осуществляемый вариант комплекса мероприятий, а затем для выявленного варианта определяют состояние и ход осуществления комплекса, оценки временных параметров мероприятий, входящих в комплекс, и самого комплекса в целом. При этом производят сопоставление мероприятий, выявленных непосредственно по данным наблюдения, с мероприятиями, включенными в сетевую модель. Если возникает необходимость, то полученные данные либо модель уточняются. Данные, противоречащие модели и не получившие подтверждения, отбраковываются. По расположению в сетевой модели мероприятий, выявленных по результатам наблюдений и прошедших проверку на непротиворечивость, судят об осуществляемом варианте комплекса и для него получают искомые оценки параметров.

3. В качестве основных математических моделей при прогнозировании процессов информатизации предложено использовать сетевые модели с вероятностной структурой, для которых рассмотрен способ их представления и расчета соответствующих параметров с использованием графа вариантов, определяющего множество всех вариантов структуры рассматриваемой сетевой модели и вероятности их реализации.

4. Предложен метод построения графа вариантов и расчета его параметров. Сформулированы основные допущения, обеспечивающие корректность применения рассматриваемого метода.

5. Рассмотрены основные этапы предложенного метода обработки с применением сетевой модели результатов наблюдений комплекса мероприятий, имеющего вероятностную структуру.

К этим этапам относятся:

- ♦ выявление проводимых мероприятий комплекса по результатам наблюдений;

- ◆ проверка непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели;
- ◆ определение реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;
- ◆ вычисление оценок сетевых параметров реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;

- ◆ определение текущего состояния и оценивание хода выполнения наблюдаемого комплекса мероприятий.

6. Сформулированы и доказаны утверждения и следствия, обеспечивающие корректность проверки непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели.

Изложенные в главе методология, математические методы и модели положены в основу разработки методики и алгоритмов прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации, которые представлены в следующей главе.

## Заключение

В отчете изложены методология, математические методы и модели оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации. По результатам выполненных исследований получены следующие выводы.

1. Предложена методология оценивания состояния, хода и результатов информатизации, в основу которой положено представление информатизации как целенаправленного процесса. Это позволило при выборе и формировании соответствующих показателей и критериев оценивания применить методы и подходы, используемые в квалиметрии и теории эффективности. Сформирована система определений понятий, послужившая базой для разработки показателей оценивания состояния, хода и результатов информатизации.

2. Предложены три основных подхода к решению задачи выбора и обоснования системы показателей, позволяющей с требуемой точностью оценить состояние, ход и результаты информатизации. Сущность предлагаемых подходов заключается в выборе для каждого сектора информационной сферы такой системы показателей, которая позволяет не только оценить уровень развития соответствующего сектора, но и с достаточной степенью достоверности – состояние информатизации. В общем случае в такую систему показателей предложено включать показатели развития всех трех секторов.

3. Первый подход к решению задачи выбора и обоснования системы показателей заключается в оценке уровня развития инфосферы, и, следовательно, состояния информатизации по уровню развития сектора потребления информации. Развитость сектора потребления определяет степень удовлетворения информационных потребностей человека, которая непосредственно связана с его информированностью. Поэтому уровень информированности населения был использован для оценки результатов и состояния информатизации. Подобный подход сближает проблему оценки результатов и состояния информатизации с проблемой оценки результатов обучения, а это позволяет использовать результаты, полученные в теории и практике обучения, для решения поставленной проблемы.

Для реализации первого подхода разработана система показателей, обеспечивающая оценивание состояния информатизации по уровню информированности населения с требуемой точностью и достоверностью. При этом информированность оценивается по способности субъектов решать тестовые задачи, а сама способность измеряется в баллах.

Разработанная система включает три группы показателей:

- показатели информированности конкретного человека (личности);
- показатели информированности конкретной группы людей (общественной группы);
- показатели информированности населения в целом (общества).

Разработаны модели и методика расчета и оценивания точности расчетов значений показателей, входящих в систему при различных вариантах задания исходных данных.

4. Второй подход к решению задачи состоит в оценивании состояния информатизации по степени развитости сектора информационных услуг. В этом случае инфосфера рассматривается как система массового обслуживания (СМО), а ее состояние и уровень развития описывается с помощью набора показателей, состав которого определяется в каждом конкретном случае типом СМО. Предложены показатели оценивания уровня информационного обслуживания, а также методы и математические выражения для их расчета.

5. При использовании третьего подхода уровень развития информационной сферы оценивается по состоянию и степени развития сектора информационного производства. При этом учитывают насыщенность всех сфер деятельности человека информационными средствами, массовость применения новейших информационных технологий, развитость коммуникационных сетей и информационной экономики.

Третий подход к формированию системы показателей информатизации был реализован при оценке современного состояния информатизации в мире и России, а также при характеристике этапов перехода Санкт-Петербурга к информационному обществу.

6. Предложен подход к прогнозированию информатизации, в котором информатизация отнесена к классу стохастических (случайных) процессов со стохастической (вероятностной) структурой. Данные об информатизации, на основании которых составляются оценки и прогнозы ее состояния, хода и результатов, независимо от их природы и способов получения рассматриваются как результаты прямых или косвенных наблюдений за данным процессом, получение указанных выше оценок и прогнозов – как обработка результатов наблюдений за сложным комплексом мероприятий с вероятностной структурой, а задача оценивания и прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации – как частный случай решения более общей задачи – обработки результатов наблюдений сложного процесса с вероятностной структурой.

7. Предложен метод обработки результатов наблюдений сложного стохастического процесса с применением сетевой модели наблюдаемого процесса для решения задачи прогнозирования состояния, хода и результатов информатизации, который позволяет за счет учета структуры наблюдаемых процессов более полно извлекать из результатов наблюдений содержащуюся в них информацию, отбраковывать недостоверные и выявлять наиболее информативные результаты наблюдений, а также определять те недостающие результаты наблюдения, которые могут нести информацию, необходимую для решения задач обработки с требуемым уровнем качества.



8. В качестве основных математических моделей при прогнозировании процессов информатизации предложено использовать сетевые модели с вероятностной структурой, для которых разработан способ их представления и расчета соответствующих параметров с использованием графа вариантов, определяющего множество всех вариантов структуры рассматриваемой сетевой модели и вероятности их реализации.

9. Предложен метод построения графа вариантов и расчета его параметров. Сформулированы основные допущения, обеспечивающие корректность применения рассматриваемого метода.

10. Рассмотрены основные этапы предложенного метода обработки с применением сетевой модели результатов наблюдений комплекса мероприятий, имеющего вероятностную структуру. К этим этапам относятся:

- ◆ выявление проводимых мероприятий комплекса по результатам наблюдений;
- ◆ проверка непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели;
- ◆ определение реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;
- ◆ вычисление оценок сетевых параметров реализуемых вариантов наблюдаемого комплекса мероприятий;
- ◆ определение текущего состояния и оценивание хода выполнения наблюдаемого комплекса мероприятий.

Сформулированы и доказаны утверждения и следствия, обеспечивающие корректность проверки непротиворечивости выявленных мероприятий комплекса и его сетевой модели.

## Список использованных источников

1. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М.: Издательство стандартов, 1972. 172 с.
2. Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). М.: Экономика, 1982. 256 с.
3. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1. Методология, методы, модели. МО СССР, 1989. 660 с.
4. Юсупов Р.М., Заболотский В.П. Научно-методологические проблемы информационной безопасности // Материалы V Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные исследования в технических университетах». 8–9 июня 2001 г. СПб.: 2001. С.232–243.
5. Заболотский В.П. Точность прогноза затрат на военно-технические системы по математическим моделям: Учебное пособие // Теоретические основы прикладной кибернетики. Вып.9 / Под общ. ред. Юсупова Р.М. МО СССР, 1985. 152 с.
6. Общая теория статистики /Ф.Г. Долгушевский, В.С. Козлов. П.И. Полушин, Я.М. Эрлих. Изд-е 2-е, М., “Статистика”, 1967. С. 329 – 331.
7. Козлов Т.И., Овсиенко В.Е., В.И. Смирнский В.И. Курс общей теории статистики. Изд-е 2-е, М., “Статистика”, 1965. С. 262.
8. Статистика / Под ред. С.Г. Струмилина // изд-е 2-е, М., “Статистика”, 1969. С. 207.
9. Суслов И. П. Общая теория статистики. М.: Статистика, 1978. 391 с.
10. Хованов Н.В. Анализ и Синтез Показателей при Информационном Дефиците. СПб. Издательство Санкт-Петербургского университета. 1996. 196 с.
11. Опросы "Интернет в России". Выпуск 22. Зима 2007/08. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://bd.fom.ru/report/map/projects/internet/internet0801/int0801>
12. Ежегодные отчеты. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fom.ru/projects/23.html>
13. Описание проекта в целом. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fom.ru/projects/23.htm>
14. Концепция развития рынка телекоммуникационных услуг Российской Федерации // Вестник связи. 2001. №1. С.12
15. Варганова Е.Л. Универсальная общественная служба в информационном обществе: новое прочтение проблемы доступа. // Вестник РФФИ. 1999. №3 (17), сентябрь.
16. Проблема информационного неравенства и пути ее решения: Материалы депутатских слушаний, Москва, 12 апреля 2001 г. / Под ред. О.Н.Вершинской. – М.: Институт развития информационного общества, 2001 г. «Москва и информационное общество». Вып. 11. С.33.

17. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/industry>
18. Концепция «Стратегия перехода Санкт-Петербурга к информационному обществу» / Заболотский В.П., Юсупов Р.М., Лопота В.А. и др. // Информационное общество. 2000. №5. С.39–53.
19. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: Пер. с англ. И.И.Грушко; Ред. В.И.Нейман. М.: Машиностроение, 1979. 432с.
20. Юсупов Р.М., Заболотский В.П. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации. СПб, Наука, 2009. 542 с.

**Статьи, опубликованные за 2015 год по теме № 0240-2014-0001  
«Разработка научно-методологических основ квалиметрии  
информатизации общества».**

1. Заболотский В.П., Блюм В.С. Классификация программных агентов для раннего обнаружения дефектов оказания медицинской помощи по данным интегрированной электронной медицинской карты. // «Управление экономическими системами: электронный журнал», ноябрь 2015; <http://www.uecs.ru>
2. Заболотский В.П., Харинов М.В. Сегментация цифрового изображения. // «Управление экономическими системами: электронный журнал», ноябрь 2015; <http://www.uecs.ru>
3. Заболотский В.П., Харинов М.В. Технология квазиоптимального машинного зрения. // «Управление экономическими системами: электронный журнал», ноябрь 2015; <http://www.uecs.ru>
4. Заболотский В.П., Переварюха А.Ю. Экономическая значимость нелинейных моделей рациональной эксплуатации биоресурсов. // «Управление экономическими системами: электронный журнал», ноябрь 2015; <http://www.uecs.ru>