

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Управление эксплуатационной работой»

А. А. ЕРОФЕЕВ, В. Г. КУЗНЕЦОВ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Пособие по выполнению практических работ

*Одобрено методической комиссией факультета
«Управление процессами перевозок»*

Гомель 2003

УДК 658.12.011.56:656
ББК 32.965
Е 78

Р е ц е н з е н т – заместитель начальника службы перевозок
Белорусской железной дороги **П. В. Покатаев**

Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г.

Е 78 Информационные технологии на железнодорожном транспорте:
Пособие по выполнению практических работ / Белорусский
государственный университет транспорта. – Гомель, 2003. – 83 с.

Приведено описание выполняемых практических работ, даны краткие сведения из теории, рассмотрены практические примеры расчета для каждого типа задач.

Предназначено для выполнения практических работ студентами специальности «Организация перевозок и управление на транспорте» по дисциплине «Автоматизированные системы управления на транспорте». Может быть использовано инженерно-техническими работниками железнодорожных станций.

УДК 658.12.011.56:656
ББК 32.965

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений	5
Введение	6
1 Оценка важности свойств аппаратуры АСУ	7
1.1 Составление полного перечня характеристик (свойств, показателей) оцениваемого проектного решения.....	7
1.2 Оценка важности характеристик вариантов сопоставляемых технологий...	8
1.3 Пример оценки важности свойств аппаратуры.....	10
Контрольные вопросы.....	12
2 Выбор решений при проектировании информационных систем	13
2.1 Постановка задачи выбора варианта решения.....	13
2.2 Оценка вариантов решения по каждой характеристике (свойству).....	14
2.3 Оценка коэффициентов предпочтительности (важности) вариантов решения...	14
Контрольные вопросы.....	15
3 Идентификация объектов железнодорожного транспорта	16
3.1 Единая сетевая разметка.....	16
3.2 Идентификация поездов.....	18
3.3 Нумерация подвижного состава.....	19
Контрольные вопросы.....	21
4 Формирование информационных сообщений и методы контроля данных ...	22
4.1 Краткие сведения из теории информации.....	22
4.2 Методы обнаружения ошибок.....	23
4.3 Формирование сообщения 02 и составление корректировочного сообщения...	28
Контрольные вопросы.....	34
5 Расчеты и обеспечение надежности комплекса технических средств АСУ	35
5.1 Основные понятия теории надежности.....	35
5.2 Задачи и методы теории надежности.....	37
5.3 Надежность сложных систем.....	38
5.4 Расчеты показателей надежности комплексов технических средств.....	40
5.5 Пример расчета коэффициента надежности сложной системы.....	41
Контрольные вопросы.....	44
6 Анализ информационных потоков	45
6.1 Характеристики информационных потоков.....	45
6.1.1 Расчет количества информации с помощью статистической меры.....	47
6.1.2 Расчет количества информации с использованием семантической меры.....	48
6.1.3 Расчет количества информации с помощью структурной меры.....	50
6.2 Пример расчета объемов информации.....	51
Контрольные вопросы.....	52

7 Анализ эффективности протоколов канального уровня и расчет среднего времени занятия канала при передаче сообщений.....	53
7.1 Аналитическое исследование эффективности протоколов передачи данных..	54
7.1.1 Описание асинхронного протокола АП-70.....	58
7.1.2 Описание синхронного протокола BSC.....	58
7.1.3 Результаты сравнения эффективности протоколов.....	59
7.2 Методика расчета среднего времени занятия канала при передаче сообщений	61
Контрольные вопросы.....	62
8 Применение логических схем информационных процессов на железнодорожном транспорте.....	63
8.1 Цели и методы анализа информационных процессов.....	63
8.2 Система условных обозначений.....	64
8.3 Расчетные формулы для оценки временных характеристик типовых элементов моделей информационных процессов и область применения логических схем.....	67
8.4 Пример применения логических схем информационных процессов.....	68
Контрольные вопросы.....	70
Список использованной и рекомендуемой литературы.....	71
Приложение А Основные типы грузовых вагонов и их нумерация.....	72
Приложение Б Перечень ошибок структурного и логического контроля входных сообщений.....	76

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АП – абонентский пункт

АПД – аппаратура подготовки данных

АРМ – автоматизированное рабочее место

АСОУП – автоматизированная система оперативного управления перевозками

АСУ – автоматизированная система управления

АСУЖТ – автоматизированная система управления железнодорожным транспортом

АСУСС – автоматизированная система управления сортировочной станцией

ВК – вычислительный комплекс

ГВЦ – Главный вычислительный центр

ДНЦ – поездной диспетчер

ЕСР – единая сетевая разметка

ИВЦ – Информационно-вычислительный центр дороги

СПД – сеть передачи данных

СТЦ – станционный технологический центр

СУБД – система управления базами данных

ТГНЛ – телеграмма-натурный лист поезда

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является важнейшим звеном логистической цепи «производитель – транспорт – потребитель» со сложной инфраструктурой и огромными объемами зарождающейся в ее рамках информации. Информационное обеспечение процесса управления перевозками грузов обеспечивается комплексом АСУЖТ. Центральное место в АСУЖТ занимает информационное взаимодействие с грузовладельцами, построение реальной модели транспортного процесса и оперативное управление перевозочным процессом, основанное на обработке поступившей информации.

Необходимость решения поставленных задач заставляет АСУ железнодорожным транспортом находиться в непрерывном развитии. По мере создания сетей передачи данных появляется возможность обработки в реальном масштабе времени первоисточников информации (оперативные сообщения о погрузке, выгрузке, о дислокации поездов и локомотивов, натурный лист поезда, дорожная ведомость и т. д.). На этой основе формируются разделы оперативного банка данных, который является основой автоматизированного управления железнодорожным транспортом.

Важное место в АСУЖТ занимают вопросы оценки технического обеспечения АСУ и грамотное обоснование решений при проектировании информационных систем. От правильности выбора технических устройств информационных систем зависит надежность АСУЖТ, обеспечение безопасности перевозочного процесса и себестоимость перевозки груза.

При решении вопросов модернизации и развития средств АСУ важную роль играет технологическая постановка задачи. Основой технологии формирования информационных баз данных является система идентификации объектов железнодорожного транспорта. Для обеспечения достоверности сообщений необходим ввод контрольных знаков, позволяющих осуществлять проверку правильности передачи данных. Параллельно важную роль приобретает проблема классификаторов, емкости которых во многих случаях уже недостаточно для однозначной интерпретации перевозочного процесса в рамках поездной модели.

Цель данного пособия – ознакомить студентов с методикой решения основных задач АСУ и помочь им в приобретении навыков инженерных расчетов. Практические работы выполняются по индивидуальному заданию,

выдаваемому преподавателем. Полученные результаты оформляются в виде отчетов по практическим работам.

1 ОЦЕНКА ВАЖНОСТИ СВОЙСТВ АППАРАТУРЫ АСУ

Цель работы. Ознакомиться с методикой составления полного перечня характеристик. Научиться определять важность характеристик вариантов сопоставляемых технологий методом экспертного оценивания.

1.1 Составление полного перечня характеристик (свойств, показателей) оцениваемого проектного решения

Одним из возможных способов составления перечня характеристик является сбор и обработка мнений экспертов. При этом каждому эксперту предлагается составить список характеристик (свойств, показателей), по которым следует осуществлять выбор варианта системы (технологии и т. п.). Списки, представленные разными экспертами, объединяются. Объединенный список подвергается анализу, при котором выявляются отношения между каждой парой элементов списка:

тождественность – обладание первым свойством означает обладание и вторым, и наоборот. Например, свойства «безопасность данных» и «защита данных от несанкционированного доступа» являются тождественными;

подчиненность – второе свойство подчинено первому, если обладание первым свойством означает и обладание вторым, но не наоборот. Например, свойство «достоверность данных» подчинено свойству «качество данных», так как «достоверность» является одной из составляющих понятия «качество данных»;

независимость – обладание одним свойством никак не отражается на степени обладания другим. Например, независимы свойства «наличие доступной документации» и «скорость выполнения операции» и т. д.

Окончательный перечень характеристик определяется исключением одного из каждой пары тождественных свойств; при наличии множества свойств, подчиненных одному (первому), из списка удаляются первое свойство либо множество подчиненных ему свойств. В результате

реализации этой процедуры в списке характеристик остаётся только множество независимых свойств вариантов выбора.

1.2 Оценка важности характеристик вариантов сопоставляемых технологий

Для решения этой проблемы используется метод *экспертного оценивания*. При этом группе, состоящей из m экспертов, предлагается проранжировать по степени важности n характеристик (свойств, показателей) сопоставляемых технологий (вариантов выбора). Каждый эксперт, действуя независимо от других, должен приписать ранг 1 наиболее важному свойству, ранг 2 – следующему и т. д. Допускается приписывание двум или более свойствам одного и того же ранга (*совпадающие ранги*).

По результатам экспертного опроса составляется итоговая таблица. Ее вид представлен в таблице 1.1. Через x_{ij} обозначен ранг (целое число от 1 до n), присвоенный i -м экспертом j -му свойству.

Т а б л и ц а 1.1 – Результаты экспертного опроса

Эксперты	Характеристики и ранги, присваиваемые свойствам			
	1	2	...	n
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...
m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}
$x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}$	x_1	x_2	...	x_n
$d_j^2 = (x_j - \frac{m(n+1)}{2})^2$	d_1^2	d_2^2	...	d_n^2

Дальнейшая обработка результатов опроса с целью получения оценок коэффициентов важности свойств включает в себя:

приведение ранжировок экспертов к нормализованному виду (в случае совпадающих рангов). При этом свойствам, имеющим в ранжировке какого-либо эксперта одинаковые ранги, приписывается ранг, равный среднему значению номеров мест, занимаемых этими свойствами в ранжировке. Например, ранжировка: 2; 1; 2; 3; 4 ($n = 5$) преобразуется в 2,3; 1; 2,3; 4; 5. Сумма рангов j -го свойства после нормализации ранжировки

$$\sum_{j=1}^n j = \frac{1}{2} n(n+1); \tag{1.1}$$

вычисление суммарных рангов (после нормализации):

$$x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}; \tag{1.2}$$

вычисление коэффициента согласия k_0 (конкордации), характеризующего степень согласованности экспертов:

$$k_0 = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - \frac{1}{12}m \sum_{i=1}^m T_i}. \quad (1.3)$$

В выражении (1.3)

$$S = \sum_{j=1}^n d_j^2 = \sum_{j=1}^n \left(x_j - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2. \quad (1.4)$$

S приобретает наибольшее значение, когда ранжировки всех экспертов одинаковы, и значение, близкое к нулю, когда одинаковы суммарные ранги свойств (т. е. эксперты ставят ранги случайно). Знаменатель выражения (1.3) – это максимальное значение S , имеющее место при совпадении ранжировок. Таким образом, коэффициент k_0 принимает значение от 0 до 1.

В знаменателе выражения (1.3) вычитаемое – это поправка к максимальному значению S , введение которой необходимо при наличии совпадающих рангов:

$$T_i = \sum_{\mu=1}^n (t_{\mu i}^3 - t_{\mu i}), \quad (1.5)$$

где $t_{\mu i}$ – число повторений μ -го ранга ранжировки i -го эксперта;

проверка значимости коэффициента конкордации, т. е. гипотезы о том, что эксперты проставляют свои ранги случайным образом и, следовательно, нет никакой согласованности в их мнениях, состоит в том, что при случайном присвоении рангов коэффициент конкордации принимает случайные значения, причем закон распределения (S или какой-либо иной, связанной с этими величинами статистики) может быть найден при всяких n и m в результате перебора всех возможных и равновероятных результатов ранжирования (если не допускать совпадения рангов в ранжировках каждого эксперта, то число равновероятных вариантов результатов опроса составит $(n!)^m$).

При различных сочетаниях m и n существуют способы проверки значимости согласия. В частности, при больших n и m ($n > 20$ и $m \geq 13$) статистика

$$X = m(n-1)k_0 \quad (1.6)$$

имеет распределение, близкое к χ^2 с числом степеней свободы $\nu = n-1$.

Для проверки значимости коэффициента конкордации необходимо:

- рассчитать значение статистики X ;
- задаться уровнем значимости α ;

– в таблице χ^2 -распределения найти квантиль $\chi_{1-\alpha;v}^2$ порядка $1-\alpha$ при $v = n-1$ степенях свободы;

– сопоставить полученное значение статистики X и $\chi_{1-\alpha;v}^2$; если $X > \chi_{1-\alpha;v}^2$, то гипотеза о случайной простановке рангов отклоняется, и коэффициент конкордации считается значимым. Если же коэффициент конкордации оказывается незначимым, то следует вернуться к организации опроса экспертов: изменить их состав, использовать процедуру с заочным обменом мнений (метод ДЕЛЬФЫ) и т. д.

Коэффициенты важности свойств можно вычислить различными способами. Наиболее простые из них основаны на том, что о важности свойств содержится информация в суммарных рангах x_i . Чем выше важность свойства, тем большее число экспертов будут ставить его на первые места в ранжировках, влияя тем самым на суммарный ранг.

Коэффициент важности

$$\beta_j = \frac{m(n+1) - x_j}{0,5mm(n+1)}, \quad (1.7)$$

где $j = 1, 2, \dots, n$; x_j – суммарный ранг j -го свойства [см. формулу (1.2)]; знаменатель – сумма суммарных рангов (сумма всех элементов таблицы ранжировок).

Коэффициент β_j меняется от 0 до 1, большие значения свидетельствуют о большей важности свойства.

1.3 Пример оценки важности свойств аппаратуры

Аппаратура считывания информации с подвижного состава характеризуется следующими шестью свойствами: безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью, помехозащищенностью, габаритными размерами, затратами на разработку и изготовление.

Для определения коэффициентов важности перечисленных шести свойств ($n = 6$) экспертам было предложено проранжировать свойства по их важности при выборе типа аппаратуры считывания. Ранжировки экспертов $m = 13$ приведены в таблице 1.2.

Порядок вычислений соответствует этапам, перечисленным в п. 1.2.

Приведение ранжировок к нормализованному виду в данном случае не требуется, так как совпадающих рангов ни в одной ранжировке нет.

Суммарные ранги [см. формулу (1.2)] приведены в таблице 1.2. На основании данных таблицы 1.2

$$S = \sum_{j=1}^n d_j^2 = 1065,5.$$

Т а б л и ц а 1.2 – Таблица ранжировок свойств аппаратуры

Эксперты i	Свойства аппаратуры j					
	1	2	3	4	5	6
1	1	4	3	2	6	5
2	1	4	3	2	6	5
3	2	1	3	4	5	6
4	2	4	5	1	6	3
5	4	3	5	2	6	1
6	4	2	3	1	6	5
7	5	4	6	1	3	2
8	6	5	3	1	4	2
9	6	5	4	2	3	1
10	1	3	4	2	6	5
11	1	4	3	2	5	6
12	4	1	3	2	6	5
13	4	3	5	1	6	2
$x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}$	41	43	50	23	68	48
$d_j^2 = (x_j - 45,5)^2$	20,25	6,25	20,25	506,25	506,25	6,25

Коэффициент конкордации (все $T_i = 0$ ввиду отсутствия совпадающих рангов)

$$k_0 = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n)} = \frac{1065,5}{\frac{1}{12} \cdot 169 \cdot (6^3 - 6)} \approx 0,36.$$

Значимость коэффициента конкордации проверяют приближенно, пользуясь статистикой X [см. выражение (1.6)]:

$$X = m(n-1)k_0 = 13 \cdot 5 \cdot 0,36 = 23,4.$$

Примем $\alpha = 1$. Из таблицы χ^2 -распределения¹⁾ определяют при $\nu = n - 1 = 5$:

$$\chi_{1-\alpha; \nu}^2 = \chi_{0,95; 5}^2 = 11,07.$$

Так как $X = 23,4 > \chi_{0,95; 5}^2 = 11,07$, то коэффициент конкордации следует считать значимым.

Коэффициенты важности определяются по формуле (1.7):

$$\beta_1 = \frac{m(b+1) - x_1}{0,5mm(n+1)} = \frac{13 \cdot 7 - 41}{0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 7} = 0,184;$$

¹⁾ Математическая статистика: Лабораторный практикум / Г. Ю. Мишин, Е. Л. Сазонова, Т. Т. Снопко, Д. Н. Шевченко; Под ред. В. С. Сергиной. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 55.

$$\beta_2 = \frac{m(b+1) - x_2}{0,5mn(n+1)} = \frac{13 \cdot 7 - 43}{0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 7} = 0,176 ;$$

$$\beta_3 = \frac{m(b+1) - x_3}{0,5mn(n+1)} = \frac{13 \cdot 7 - 50}{0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 7} = 0,15 ;$$

$$\beta_4 = \frac{m(b+1) - x_4}{0,5mn(n+1)} = \frac{13 \cdot 7 - 23}{0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 7} = 0,25 ;$$

$$\beta_5 = \frac{m(b+1) - x_5}{0,5mn(n+1)} = \frac{13 \cdot 7 - 68}{0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 7} = 0,08 ;$$

$$\beta_6 = \frac{m(b+1) - x_1}{0,5mn(n+1)} = \frac{13 \cdot 7 - 48}{0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 7} = 0,16 .$$

На основании полученных коэффициентов можно сделать вывод, что наиболее значимым является четвертое свойство (характеристика) аппаратуры считывания информации. За ним в порядке убывания важности следуют первое, второе, шестое, третье и пятое свойства. Методика выбора проектного решения на основании полученных коэффициентов важности приведена во второй работе.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение понятиям тождественности, подчиненности и независимости.
- 2 В чем заключается метод экспертного оценивания?
- 3 В чем заключается смысл коэффициента конкордации? Каким образом осуществляется проверка значимости коэффициента конкордации?
- 4 Приведите в общем виде таблицу ранжировок.

2 ВЫБОР РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Цель работы. Изучить методику выбора решения при проектировании информационных систем. При помощи коэффициентов предпочтительности научиться выбирать оптимальное решение.

2.1 Постановка задачи выбора варианта решения

Проектирование – это выбор лучшего варианта построения системы: лучшей программно-технической платформы, системы управления базами данных (СУБД), размещения комплекса технических средств, технологии передачи данных, топологии сети и т. д.

Выбор – это почти всегда компромисс между противоречивыми требованиями, стремлением к широким возможностям создаваемой системы и низкой стоимостью.

Классически задача выбора лучшего варианта создаваемой системы (технологии, элемента системы) формулируется следующим образом. Имеется N вариантов решения, каждый из которых может быть оценен по k различным характеристикам. Все варианты приемлемы, т. е. среди них отсутствуют такие, которые могли бы быть исключены из рассмотрения по ограничениям, жестко накладываемым на какие-либо показатели. Например, если имеются ограничения на стоимость, не соответствующие этому условию варианты исключаются из дальнейшего рассмотрения. Из N вариантов надо выбрать лучший по совокупности характеристик.

Для обоснования выбора лучшего варианта может быть использована процедура, основанная на экспертных оценках и включающая следующие действия:

составление полного перечня характеристик (свойств, показателей), по которым следует производить выбор;

оценку важности каждой характеристики на основе процедур экспертного оценивания;

оценку степени обладания каждым вариантом решения, представленным для выбора, каждым из рассматриваемых свойств;

оценку коэффициентов важности (предпочтительности) каждого варианта и выявления варианта с наибольшим значением коэффициента важности.

2.2 Оценка вариантов решения по каждой характеристике (свойству)

Эта задача может быть решена таким же способом, как и оценка важности свойств (работа 1) с применением ранжирования вариантов решения по каждой характеристике, обработки ранжировок экспертов, вычисления коэффициентов важности вариантов. При этом коэффициенты важности находятся по каждой характеристике, т. е. процедура осуществляется столько раз, сколько свойств выбрано для принятого решения.

Иногда для оценки вариантов технологий по каждой характеристике используется следующая шкала оценок: *отлично, очень хорошо, хорошо, приемлемо, слабо, неприемлемо*. Наименованиям этой шкалы для использования в процедуре выбора необходимо ставить в соответствие некоторые значения, например, оценке «отлично» может соответствовать 1, «очень хорошо» – 0,75, «хорошо» – 0,625, «приемлемо» – 0,5, «слабо» – 0,25, «неприемлемо» – 0.

2.3 Оценка коэффициентов предпочтительности (важности) вариантов решения

Пусть имеется n свойств (характеристик) вариантов и значения $\beta_j, j = 1, 2, \dots, n$ коэффициентов важности свойств.

Выбор осуществляется из N вариантов, для каждого μ -го из которых имеется оценка $\gamma_{j\mu}$ степени обладания j -м свойством (важности μ -го варианта по j -му свойству). Тогда можно рассчитать коэффициент предпочтительности γ_μ (важности) μ -го варианта по формуле

$$\gamma_\mu = \sum_{j=1}^n \beta_j \gamma_{j\mu}; \quad \mu = 1, \dots, N. \quad (2.1)$$

Наиболее предпочтителен вариант с наибольшим значением γ_μ .

Рассмотрим пример выбора *системы управления базой данных (СУБД)* при создании информационной системы по совокупности 14 характеристик. Выбор наилучшего варианта представлен в виде таблицы 2.1. В ней указаны

коэффициенты важности характеристик $\beta_j, j = 1, 2, \dots, 14$ и оценки трех ($N = 3$) СУБД по каждой характеристике (отлично – 1, очень хорошо – 0,75, хорошо – 0,625, приемлемо – 0,5, слабо – 0,25). Сумма коэффициентов важности по всем выбранным характеристикам должна составлять 1.

Т а б л и ц а 2.1 – **Выбор типа СУБД**

Характеристика СУБД	Коэффициент важности характеристик	Тип СУБД		
		1	2	3
Скорость: запросы и ответы	0,08	0,625	0,625	1,000
коррекция	0,08	0,625	0,500	0,500
обработка	0,03	0,250	0,625	1,000
Разработка прикладных программ	0,14	1,000	0,750	1,000
Создание интерфейса	0,11	0,625	0,750	0,750
Формирование запросов	0,08	0,750	0,625	1,000
Создание отчетов	0,08	0,500	0,625	0,250
Отладка	0,05	0,625	0,500	0,500
Защита	0,06	0,750	0,500	0,625
Целостность данных	0,06	0,750	0,625	0,500
Документация	0,05	0,625	0,750	0,500
Простота обучения	0,05	0,050	0,625	0,625
Простота использования	0,05	0,050	0,625	0,625
Цена	0,08	0,625	0,750	0,750
Коэффициент предпочтительности (важности)	γ_μ	0,669	0,649	0,755

Проводя расчеты $\gamma_\mu, \mu = 1, 2, 3$, по формуле (2.1), получим

$$\gamma_1 = 0,08 \cdot 0,625 + 0,08 \cdot 0,625 + 0,03 \cdot 0,025 + 0,14 \cdot 1 + 0,11 \cdot 0,625 + 0,08 \cdot 0,75 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,625 + 0,06 \cdot 0,75 + 0,06 \cdot 0,75 + 0,05 \cdot 0,625 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,08 \cdot 0,625 = 0,6688;$$

$$\gamma_2 = 0,08 \cdot 0,625 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,03 \cdot 0,625 + 0,14 \cdot 0,75 + 0,11 \cdot 0,75 + 0,08 \cdot 0,625 + 0,08 \cdot 0,625 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,06 \cdot 0,5 + 0,06 \cdot 0,625 + 0,05 \cdot 0,75 + 0,05 \cdot 0,625 + 0,05 \cdot 0,625 + 0,08 \cdot 0,75 = 0,6448;$$

$$\gamma_3 = 0,08 \cdot 1 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,03 \cdot 1 + 0,14 \cdot 1 + 0,11 \cdot 0,75 + 0,08 \cdot 1 + 0,08 \cdot 0,75 + 0,05 \cdot 1 + 0,06 \cdot 0,25 + 0,06 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,625 + 0,05 \cdot 0,625 + 0,08 \cdot 0,75 = 0,755.$$

Таким образом, лучший вариант в данном случае – СУБД под номером 3.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается задача выбора и какие ограничения при этом накладываются на возможные варианты?
- 2 Какие действия включает в себя обоснование выбора лучшего варианта?
- 3 Приведите в общем виде формулу расчета коэффициента предпочтительности?

3 ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель работы. Ознакомиться с существующей системой идентификации объектов железнодорожного транспорта. Научиться определять контрольные знаки по различным модулям.

Использование ЭВМ в АСУ было бы невозможным без единой системы кодирования (нумерации) подвижного состава, станций, отделений, дорог, грузов, диспетчерских участков, поездов, грузоотправителей и грузополучателей. Система кодирования имеет принципиальное значение для широкого использования ЭВМ на всех уровнях управления перевозочным процессом. Работа по идентификации объектов транспорта (однозначному определению, распознаванию в АСУ) направлена на дальнейшую унификацию, повышение надежности однозначного распознавания и защиту в процессе передачи и переработки машинно-ориентированных кодов от помех документов и реквизитов на эти документы, создание в перспективе бездокументной технологии перевозочного процесса.

3.1 Единая сетевая разметка

Работники транспорта в своей работе пользуются единой сетевой разметкой (ЕСР). Она заключается в шифровке станции назначения цифровыми кодами и предназначена для унификации разметки перевозочных документов на всех станциях сети. Это позволяет существенно ускорить работу, обеспечить более четкую и надежную информацию о подходе и назначении вагонов и грузов, значительно уменьшить загрузку связи при передаче сведений о поездах и вагонах.

Основное достоинство ЕСР – ориентация ее на использование в различных АСУ железнодорожным транспортом.

С 1971 года введена четырехзначная ЕСР. В ней вся сеть железных дорог СНГ и Балтии разделена на 99 сетевых районов, нумерация которых возрастает с запада на восток. Первый район охватывает станции Кольского полуострова и Карелии, а 99-й – о. Сахалин.

В каждый сетевой район включена одна опорная (районная) станция. Всем станциям, входящим в сетевой район, вначале присваивается четырехзначный код, в котором первые две цифры означают номер сетевого района, а вторые две – номер станции внутри района. За каждым участком закреплен ряд номеров. Номера станций на участках возрастают, как правило, в четном направлении. Например, Гомельский сетевой район имеет номер 15. Внутри района присвоены номера станциям: Новобелецкой – 02, Жлобину – 50, на участках Овруч – Калинковичи – от 10 до 18, Калинковичи – Житковичи – от 33 до 37, Калинковичи – Гомель – от 44 до 49 и т. д. Следовательно, ЕСР станций Новобелецкая – 1502, Жлобин – 1550, станций на участке Калинковичи – Гомель – 1544, 1545 и т. д.

Важнейшие станции районов имеют цифры номера района и нули в двух младших разрядах. Поэтому у станции Гомель ЕСР – 1500, Брест – 1300, Минск-Сортировочный – 1400. Для пограничных и некоторых портовых станций кроме основного кода ЕСР выделены дополнительные номера. Например, вагоны назначением для выгрузки на станции Брест-Центральный имеют разметку 1300, а вагоны с экспортными грузами, передаваемые на железные дороги Германии, – 1305, Польши – 1306 и т. д.

Требование совпадения границ ЕСР с границами дорог и отделений целесообразно, но не обязательно. Этим исключаются изменения ЕСР при изменениях границ дорог и отделений.

Для сохранения стабильности ЕСР на перспективу было предусмотрено в каждом районе иметь резервные номера, которые предназначены для идентификации вновь вводимых объектов. Резервные номера выделяются для узлов и участков – по одному-два номера. Кроме того, в целом для района предусматривается резерв номеров при намечающемся строительстве новых.

Однако емкости ЕСР в определенный момент стало не хватать. В качестве выхода было предложено добавить дополнительный знак в сетевой номер станции. Таким образом, в настоящее время первые два разряда, как и ранее, несут информацию о номере сетевого района, а последующие три – о номере станции внутри района.

Еще ранее изменениями ЕСР 1984 года предусмотрено дополнение кода станции пятым защитным знаком, который приписывают справа к номеру станции. Известны статистические данные, характеризующие наиболее общее распределение ошибок: приписывание или потеря цифры – 8,7 %, искажение одной цифры – 76,5 %, перестановка двух соседних цифр – 4,9

%, перестановка двух любых цифр – 0,2 %, прочие ошибки – 9,7 %. Большинство этих ошибок позволяет обнаружить кодовая защита номера станции.

На железных дорогах СНГ и стран Балтии существует ряд методов проверки достоверности информации. Метод контрольных чисел устанавливает защиту кода объекта. Пусть $a_1, a_2, \dots, a_i, a_n$ – некоторая цифровая последовательность. Цифра a_{n+1} является контрольной для этой последовательности, если для нее выполняется условие

$$\sum_{i=1}^{n+1} Z_i a_i = 0 \pmod{K}; i = 1, 2, \dots, n;$$

$$0 < Z_i < K; Z_{n+1} = 1,$$

где $\{Z_i\}$ – весовой ряд; K – модуль.

Вариантов защиты, основанных на этом принципе, может быть сколько угодно. Для защиты кодов станций широко используется метод с модулем $K = 11$. Весовой ряд имеет вид $\{Z_i\} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 1, 2, \dots$. В том случае, если контрольное число получается двузначным, например, $a_{n+1} = 10$, весовой ряд сдвигают на две позиции. Он принимает вид 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 1, 2, 3, 4, ..., и расчеты повторяются. Если контрольное число вновь окажется равным 10, то ему присваивается значение 0. Защитный знак определяется как остаток числа от деления суммы поразрядных произведений весового ряда и цифр номера станции на модуль K .

Пример 3.1 *Контрольная цифра для остановочного пункта, имеющего код 34562, определяется умножением на весовой ряд 1, 2, 3, 4, 5*

$$\begin{array}{r} 34562 \\ \times 12345 \\ \hline 38152410 \end{array}$$

Результат произведений складывается и делится на модуль $K = 11$, т. е. $3 + 8 + 15 + 24 + 10 = 60$; $60 : 11 = 5(5)$. Остаток от деления (5) и есть искомая контрольная цифра. Защитный код станции будет 345625.

С помощью этого метода кодовой защиты можно выявить все случаи неправильного указания цифр и их перестановок, а также ошибки других видов.

3.2 Идентификация поездов

В настоящее время на сети железных дорог действует трехзначная нумерация для скорых, скоростных и пассажирских поездов (с 1 по 998) и четырехзначная – для пригородных (с 6001 по 6998) и грузовых различных категорий. В действующей системе нумерации поездов следует отметить ряд недостатков. Для пассажирских поездов она имеет малую емкость, не соответствующую размерам движения. Из-за этого одинаковые номера

используют для различных поездов, что осложняет управление движением и обслуживание пассажиров на основе использования подсистем АСУЖТ, предполагающих высокую степень централизации управления и конкретизации объектов.

Хотя емкость системы нумерации грузовых поездов значительно больше, она допускает повторное использование номера поезда на одном направлении, а также изменение номера поезда при переходе с одного участка на другой. Для однозначного определения конкретного поезда используется система, в которой кроме номера поезда вводится информация о категории поезда, его признаках, станциях отправления и назначения. Для этого каждому грузовому поезду присваивается неизменяемый индекс, однозначно характеризующий данный состав на всем пути следования – от станции формирования до станции назначения (расформирования). Индекс состоит из десяти цифр, первые четыре из них – код станции в соответствии с ЕСП, три следующие – номер состава, остальные четыре – код станции назначения по ЕСП. Составы нумеруют по каждому направлению или назначению порядковыми номерами от 001 до 999. После присвоения очередному составу номера 999 следующим составам присваиваются номера 001, 002, 003 и т. д. Номера составов фиксируют в специальном журнале.

При составлении натурального листа на составы из порожних вагонов, следующих по регулировочному заданию, вместо кода станции назначения проставляется четырехзначный цифровой код, характеризующий род вагонов в составе: крытые – 0020, платформы – 0040, полувагоны – 0060, цистерны – 0070 и т. д. При наличии в составе поезда порожних вагонов двух родов проставляется комбинированный код, при этом первым ставится меньший код. Например, для составов из крытых вагонов и платформ – 0024, платформ и полувагонов – 0046, цистерн и прочих – 0079.

В сочетании с номером поезда, характеризующим его категорию, индекс обеспечивает достаточно полную характеристику состава поезда.

3.3 Нумерация подвижного состава

С 1963 года на железных дорогах действует семизначная нумерация грузовых вагонов, по которой можно установить род вагона, осность, объем кузова и другие характеристики. В связи с появлением новых типов вагонов (двухъярусных платформ, зерновозов и т. д.) и исключением из парка двухосных вагонов, в 1984 году в систему нумерации вагонов были внесены изменения. Значительно полнее, чем раньше, в номере вагона отражены такие важные его характеристики, как длина, масса тары, грузоподъемность. Всего выделено более 180 типов грузовых вагонов, в том числе более 60 типов транспортеров.

В каждом роде подвижного состава типы вагонов сгруппированы по объединяющим их признакам. Как правило, внутри группы вагоны «расставлены» по длине, т. е. для типов вагонов, имеющих большую длину, установлены большая по значимости нумерация. Внутри групп предусмотрена резервная емкость, которая используется для перспективных вагонов или при увеличении числа вагонов данного типа. Так, первая цифра означает род вагона: 2 – крытые грузовые вагоны; 4 – платформы; 6 – полувагоны; 7 – цистерны; 8 – изотермические; 3 и 9 – прочие вагоны (специальные и другие); 5 – вагоны – собственность других министерств; 0 – пассажирские вагоны; 1 – локомотивы, путевые машины, краны и другие механизмы на железнодорожном ходу.

Вторая цифра для всех видов вагонов, кроме прочих, номер которых начинается с 3, кодирует осьность: цифры 0–8 означают четырехосные, 9 – восьмиосные вагоны. Все шестиосные вагоны и транспортеры отнесены к прочим вагонам (у шестиосных вагонов вторая цифра номера – 6, у транспортеров – 9). Седьмая цифра номера вагона несет информацию о наличии у вагона переходной площадки.

Основные типы грузовых вагонов и их нумерация приведены в приложении А.

С 1984 года введена «защита» номера вагона, которая предусматривает добавление восьмой (контрольной) цифры номера вагона. С ее помощью проверяют правильность передачи и записи номера в документах. Для защиты номеров вагонов с целью стандартизации методов контроля на железных дорогах СНГ и Западной Европы использован способ, предложенный комиссией ОСЖД-МСЖД в 1963 году (модуль $K = 10$). Весовой ряд имеет вид $\{Z_i\} = 2, 1, 2, 1, \dots$, при этом каждая нечетная цифра номера вагона, считая справа, умножается на 2, а четная – на 1. Затем выполняется поразрядное сложение полученных произведений и определяется цифра, дополняющая полученную сумму до ближайшего числа, кратного 10.

Пример 3.2. Для определения контрольной цифры для номера вагона 2467766 производится поразрядное умножение цифр номера на весовой ряд:

$$\begin{array}{r} 24\ 67\ 76\ 6 \\ \times 21\ 21\ 21\ 2 \\ \hline 44\ 127\ 146\ 12. \end{array}$$

Определяется поразрядная сумма: $4 + 4 + 1 + 2 + 7 + 1 + 4 + 6 + 1 + 2 = 32$. Последующим за 32 числом, кратным десяти, является 40. Дополняющим до 40 будет число 8 ($K_{\text{зн}} = 40 - 32 = 8$). Оно и является контрольной восьмой цифрой номера вагона. Номер вагона будет выглядеть так: 24677668.

В 1984 году изменена также система нумерации пассажирских вагонов с четырехзначной на семизначную с восьмым контрольным знаком. Номер

пассажирского вагона, как отмечено выше, начинается с нуля, две следующие цифры несут информацию о дороге приписки, 5–7-й знаки составляют порядковый номер вагона. Четвертый знак означает: 0 – мягкий и мягко-жесткий; 1 – купейный; 2 – жесткий открытый; 3 – с креслами и местами для сидения; 4 – почтовый и банковский; 5 – багажный и почтово-багажный; 6 – ресторан; 7 – служебно-технический; 8 – специальный вагон других министерств и ведомств; 9 – резерв.

Номера локомотивов, электропоездов, дизель-поездов, мотовозов, автомотрис и т. д., а также специальных машин и механизмов на рельсовом ходу начинаются всегда с 1. Второй знак является признаком локомотива или машины; 0 – паровозы; 1 – электровозы односекционные; 2 – электровозы многосекционные; 3 – электропоезда; 4 – метрополитен; 5 – тепловозы односекционные; 6 – тепловозы многосекционные; 7 – дизель-поезда и автомотрисы; 8 – специальный тяговый подвижной состав (мотовозы, автодрезины и т. д.); 9 – путевые машины.

По третьему и четвертому знакам номера локомотива можно установить его основную техническую характеристику: для какого вида движения используются, серия локомотива, тип передачи и т. д. Аналогично для путевых машин эти знаки означают назначение машины и ее серию.

Контрольные вопросы

- 1 Какова основная цель кодирования объектов железнодорожного транспорта? Какие объекты подлежат кодированию?
- 2 С какой целью были введены контрольные знаки для кодов станций и номеров вагонов?
- 3 Какую информацию несет в себе номер подвижного состава?
- 4 Что такое весовой ряд?
- 5 Какие недостатки имеются в существующей системе идентификации поездов?

4 ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СООБЩЕНИЙ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ДАННЫХ

Цель работы. Освоить основные методы обнаружения ошибок. Изучить структуру сообщения о составе поезда. Получить навыки определения форматных и логических ошибок в информационных сообщениях.

4.1 Краткие сведения из теории информации

Совокупность единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных систем документации (УСД), массивов технико-экономической информации, методов их организации, хранения и контроля представляет собой *информационное обеспечение АСУ*. Это одна из важнейших частей АСУ.

Для удобства пользования и создания условий эффективной обработки данных в условиях функционирования АСУ информацию классифицируют и кодируют.

Основой функционирования автоматизированной системы управления является информационный процесс, характеризующийся определенными фазами преобразования информации, основные из которых нашли отражение в подсистемах комплекса технических средств.

Классификация оказывается необходимой в ряде случаев, например, при хранении информации, когда накапливаемые данные должны храниться в форме, удобной для последующего их извлечения. При этом выбираются определенные классификационные признаки, которые вносятся в саму информацию и хранятся вместе с основной информацией. Весьма существенной операцией работы с данными является *синтез*. Эта операция необходима в случае, когда требуется объединить отдельные составляющие данные по одному и тому же вопросу в совокупность данных для получения единой логически связанной информационной фразы. Независимо от фазы преобразования информации каждый вид ее обладает определенными характеристиками.

Во время подготовки, передачи и обработки информация может искажаться, вследствие чего снижается достоверность выходной информации и эффективность функционирования АСУ. В терминологии

АСУ различают понятия «*верность*» и «*достоверность*» информации. Под *верной* понимают информацию, правильно (точно), адекватно отражающую описываемый процесс, состояние объекта управления. Термин «верность» характеризует информацию о производственно-хозяйственной деятельности предприятия с качественной стороны. *Достоверность* же определяет информацию с точки зрения неискаженности ее формального содержания в процессе преобразования. Термин «достоверность» главным образом применяют для оценки степени точности (неискаженности) информации после очередной фазы ее преобразования, т. е. характеризует информацию с количественной стороны. Достоверность информации в АСУ достигается соответствием информации действительному положению дел на объекте управления и заданным уровнем обеспечения надежности преобразования ее различными техническими средствами на разных фазах переработки.

Основные причины снижения достоверности выходной информации в АСУ: искажение информации из-за сбоев и отказов аппаратуры подготовки данных (АПД), передачи, обработки и отображения ее; воздействие электромагнитных и других помех при передаче, хранении и обработке информации; алгоритмические и программные ошибки; ошибки человека-оператора как звена АСУ.

Чтобы оценить возможность безошибочной подготовки, передачи, обработки информации на всех этапах технологического процесса ее переработки, вводят *коэффициент достоверности преобразования информации*, который равен отношению достоверно принятых знаков к общему числу переданных знаков.

4.2 Методы обнаружения ошибок

Обеспечение необходимого уровня достоверности преобразования информации в АСУ включает методы обнаружения допущенных ошибок и мероприятия по предотвращению их возникновения.

Методы обнаружения ошибок базируются на анализе информации по синтаксическому и семантическому содержанию. В первом случае контролируют элементарные составляющие информации – знаки, во втором – смысловое содержание информации, ее логичность, согласованность данных.

Мероприятия по обнаружению ошибок в первичной информации должны способствовать выявлению максимально возможного числа видов ошибок (в реквизитах, формате сообщения и т. п.); использованию минимальной информационной избыточности; применению наименьшего числа дополнительных технических средств по сравнению с основным оборудованием; обеспечению сквозного контроля информации на всех

фазах ее преобразования; возможности использования для широкого круга задач с различным характером информации и разными схемами технологии преобразования; обеспечению минимальных текущих и капитальных затрат.

Универсального метода контроля, который удовлетворял бы всем перечисленным требованиям, нет. Поэтому обеспечение заданной достоверности итоговых данных достигается только комплексным применением ряда конкретных методов.

Необходимая достоверность подготовки первичной информации и ее дальнейшая переработка обеспечиваются при использовании информационной и аппаратурной избыточности, усложнении алгоритмов и машинных программ для внутримашинного контроля правильности информации, увеличении трудовых затрат на подготовку данных.

К основным методам обнаружения ошибок в информации, которые базируются на информационной и программной избыточности, относят метод контрольных сумм, защиту кодов и реквизитов контрольным разрядом, контроль формата сообщения, программно-логические методы контроля.

Метод контрольных сумм получил широкое распространение при подготовке первичной информации и контроле правильности ввода массивов данных в ЭВМ, контроле правильности считывания и записи информации на внешние накопители. Контрольной суммой при обработке первичных документов с одновременным занесением информации на машинные носители можно охватывать все реквизиты строки, столбца документа или их часть. При использовании контрольной суммы по строке документа вначале пореквизитно суммируют все показатели строки. Итоговую сумму заносят в соответствующую графу документа. В дальнейшем при занесении информации на машинный носитель эту контрольную сумму вводят в счетчик устройства регистрации, регистрируемые данные пореквизитно вычитают из контрольной суммы. Регистрацию считают правильной при нулевом значении счетчика после занесения на машинный носитель последнего реквизита.

Для контроля правильности ввода информации в ЭВМ определяют контрольные суммы по массивам вводимой информации. Программным путем предусматривают суммирование разрядов вводимых массивов информации и сравнение результата с занесенной контрольной суммой в конце массива. При совпадении контрольных сумм информацию считают введенной правильно.

Преимущества метода контрольных сумм – высокая эффективность, возможность выявления ошибок различного характера, реализации аппаратным (в точках регистрации информации) и программным (при вводе информации в ЭВМ) путем.

При *методе защиты реквизитов контрольным разрядом* их кодовое обозначение дополняют рассчитанным по определенному алгоритму контрольным разрядом. Если правильность записи кода контролируется автоматически, то по тому же алгоритму вычисляется значение контрольного разряда и сравнивается с имеющимся в коде. Совпадение их указывает на отсутствие ошибок. Данный метод контроля характеризуется достаточной эффективностью, возможностью реализации автоматически в местах регистрации информации и программным путем при вводе и обработке информации в ЭВМ. Метод обеспечивает контроль информации, защищенной контрольным разрядом, на всех фазах ее преобразования, не требует дополнительных трудовых затрат для контроля регистрируемой информации. Вместе с тем контролем охватываются только реквизиты, защищенные контрольным разрядом.

Метод контроля формата сообщения основан на использовании внутренней избыточности информации и проверяет ее формальное содержание. Внутренняя избыточность информации обусловлена различными связями и закономерностями, существующими внутри макетов сообщений и между отдельными сообщениями. Контроль состоит в проверке структуры сообщения на соответствие ее определенному макету. Число реквизитов в документе (или число входящих в него групп реквизитов)

$$D = d_n + ml, \quad (4.1)$$

где d_n – число информационных слов постоянной части документа; m – число групп; l – число реквизитов в группе.

Разновидностью метода контроля формата сообщения является метод шаблонов. Им проверяют наличие у реквизитов определенных формальных признаков. Например, если известно, что реквизит состоит из трех букв и пяти цифр, проверяют его в сообщении на соответствие данному условию. Могут быть предусмотрены операции контроля числа разрядов в реквизитах постоянной длины, наличие в передаваемом сообщении определенных служебных знаков и др.

Программно-логические методы контроля основаны на использовании внутренней избыточности экономической информации и проверяют ее формальное содержание. Внутренняя избыточность информации обусловлена различными связями и закономерностями, существующими внутри макета сообщения и между отдельными сообщениями. Контроль состоит в проверке структуры сообщения на соответствие ее определенному макету, числа реквизитов в документе (или числа входящих в него групп реквизитов).

К важным мероприятиям по обнаружению и уменьшению ошибок в первичной информации относят *введение аппаратной избыточности* и

увеличение трудовых затрат на контроль правильности занесения данных на машинные носители. Введение, например, блока индикации набираемой информации в устройствах ввода позволяет обеспечить визуальный контроль регистрируемой информации. Большой эффект дает введение в устройства ввода данных блока отображения вводимой информации. Блок позволяет получить электронную копию вводимой информации (данную информацию можно позже вывести на печать), которая является документом и может участвовать в документообороте. Подобная аппаратурная избыточность также обнаруживает ошибки, допущенные оператором.

Методы обнаружения ошибок и повышения достоверности при передаче информации по каналам связи можно разделить на три группы:

- основанные на повторении передачи символа или сообщения с последующим сравнением принятых текстов;
- предусматривающие использование избыточного кодирования;
- основанные на передаче данных с применением обратной связи.

В первой группе методов сообщение или отдельные символы информации передаются по каналу связи трижды. Приемная аппаратура запоминает и сопоставляет все три комбинации и принимает решение по «большинству», т. е. если два сообщения из трех совпали, то их и считают истинными. Вероятность того, что все три комбинации окажутся различными, очень мала. Вторую группу методов применяют для проверки правильности передачи кодированной информации, защищенной контрольным разрядом. В месте приема контрольный разряд кода реквизита автоматически вычисляется повторно по тому же алгоритму, что и был использован при кодировании информации, и сравнивается с принятым по каналу связи. Третью группу используют для посылки по обратному каналу от приемника к отправителю переспроса обнаруженной ошибки в месте приема, после чего переданное сообщение в исправленном виде передается повторно. Разновидностью этой группы методов является передача сообщений с информационной обратной связью. Сущность ее состоит в следующем. Каждый символ (или сообщение), прежде чем быть окончательно принятым в пункте приема, передается по обратному каналу в пункт передачи для сравнения. Только после получения из пункта передачи подтверждающего сигнала о правильности комбинации сообщение принимается окончательно. При таком методе одновременно используются прямой и обратный каналы, что увеличивает стоимость передачи данных. Однако при этом обеспечивается довольно высокая достоверность (до $1 \cdot 10^{-8}$). Методы контроля с обратной связью можно использовать при оснащении каналов связи специальной аппаратурой.

Мероприятия по предотвращению ошибок могут дать значительно больший эффект в сравнении с мероприятиями по обнаружению ошибок,

поскольку исправление допущенных ошибок при машинной обработке информации обходится дороже исправления ошибок, допущенных при ручной обработке. Источниками ошибок в первичной информации являются технические средства и оператор. В связи с этим большое значение для уменьшения ошибок из-за технических средств имеет улучшение параметров средств регистрации, сбора и подготовки информации путем высокого уровня их конструирования и изготовления, соблюдения требований по режиму эксплуатации и технического обслуживания.

Таким образом, повышение достоверности информации в АСУ, как правило, связано с введением информационной, структурной и алгоритмической (программной) избыточностей. *Информационная избыточность*

$$r_n = \left(1 - \frac{n_0}{n}\right), \quad (4.2)$$

где n_0 – число всех символов в кодовой комбинации, включая контрольные; n – число чисто информационных символов в кодовой комбинации.

Структурная избыточность

$$r_Q = \left(1 - \frac{Q_0}{Q}\right), \quad (4.3)$$

где Q_0 – число всех элементов в системе, включая введенные для контроля, резервные и т. д.; Q – число минимально необходимых элементов в системе.

Алгоритмическая избыточность

$$r_A = \left(1 - \frac{A_0}{A}\right), \quad (4.4)$$

где A_0 – число машинных команд в алгоритме без специально введенных для повышения достоверности; A – число используемых в алгоритме команд, включая команды, обеспечивающие повышение достоверности.

При обосновании методов повышения достоверности передачи и переработки информации в АСУ необходимо использовать комплексный подход, который базируется на принципах системности, экономичности и равнокомпонентности. *Принцип системности* состоит в том, что для существенного повышения достоверности необходимо учитывать все основные причины ошибок в информации, выдаваемой системой, независимо от причин их возникновения и этапов процесса переработки информации. Методы повышения достоверности, применяемые в системе, согласно *принципу экономичности* должны сравниваться и отбираться не только по их эффективности для повышения показателя достоверности информации, но и по затратам на реализацию. В соответствии с *принципом*

равнопрочности затраты на повышение достоверности в системе нужно распределять так, чтобы максимально улучшить общий показатель достоверности выходной информации, не допуская при этом завышения одних характеристик системы по сравнению с другими. Комплексный подход позволяет выявить наиболее эффективные и экономически выгодные методы повышения достоверности результативной информации в АСУ.

4.3 Формирование сообщения 02 и составление корректировочного сообщения

Формат наиболее массового сообщения в АСУЖТ – телеграммы-натурного листа грузового поезда (сообщения 02) приведен в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 – Структура служебной фразы сообщения 02

П1	П2	П3	П4	Индекс поезда	П8	Дата	Время	П13	П14	П15	П16				
				П5	П6	П7	»прав: ения поезда	П9	П10	П11	П12				
00	00	00000	0000	00000	000	00000	0	00	00	00	000	0000	...	00	
(:	02	15000	2102	15000	001	18006	1	10	11	12	05	060	3200	...	ВК

В таблице нулями показана шкала, определяющая обязательное количество знаков в каждом поле.

Поле – совокупность символов, которая для определенных целей рассматривается как целое.

Фраза – минимальная, логически законченная порция информации, объединенная общим смыслом (строка документа). В сообщении 02 различают три типа фраз: служебную, информационную и итоговую.

Правила формирования структуры сообщения сводятся к следующему:

- сообщение образует совокупность символов информации, заключенных между кодами начала – (: , и конца – :) сообщения ;
- сообщение содержит одну фразу, первым словом которой является цифровой код номера сообщения N_s ;
- сообщение может содержать одну или несколько информационных фраз, размещаемых последовательно за заглавной фразой;
- структуру заглавной и информационной фраз для условий последовательного списка определяет N_s ;
- разделителем фраз является символ «Ввод»;
- разделителем слов выступает код «Пробел»;
- кроме отдельных, строго определенных полей, вся информация передается на цифровом регистре;

– после строго определенных слов допустимо применение служебного символа, устанавливающего пропуск некоторых полей в информационной фразе;

– определяются комбинации исправления: слова в фразе (=), фразы (??), всей ранее переданной части информации (:).

Структура телеграммы натурального листа состоит из трех основных частей:

- служебной фразы (первая строка сообщения);
- информационной фразы (все последующие строки);
- итоговой.

Служебная фраза состоит из 19 показателей (без учета позиций начала и окончания сообщения) и имеет следующую структуру.

Позиция 1 – признак начала сообщения.

Позиция 2 – код сообщения 02.

Позиция 3 – код станции передачи информации, кодируется пятью знаками по единой разметке (ЕСР).

Позиция 4 – номер поезда (4 знака). При вводе ТГНЛ в АСУ до отправления поезда разрешается указывать фиктивный номер – 2222.

Позиция 5 – код станции формирования поезда, кодируется пятью знаками по ЕСР.

Позиция 6 – порядковый номер состава, кодируется тремя знаками от 001 до 999; нулевого номера состава не должно быть.

Позиция 7 – код станции назначения поезда, кодируется пятью знаками до ЕСР. Для поездов из порожних вагонов проставляется условный код станции назначения (0020, 0040, 0060 и т. п.).

Совокупность позиций 5–7 образует индекс поезда, который не должен меняться на всем пути следования поезда до станции расформирования. Не допускается повторение индексов поездов, находящихся в пределах дороги. Если со станции, являющейся станцией формирования поезда, поступает ТГНЛ с индексом, уже имеющимся по другому поезду, то АСУ присваивает третий знак порядковому номеру этого состава (слева относительно двух основных) и информирует об этом абонента. При запросе документов на такой поезд в индексе надо указывать трехзначный порядковый номер состава. В натурном листе, следующем с документами, надо добавить третий знак в порядковом номере состава.

Позиция 8 – признак списывания состава: 1 – с головы, 2 – с хвоста.

Позиции 9, 10 – дата отправления поезда. В позиции 9 с двумя знаками проставляется число и через пробел в позиции 10 двумя знаками – месяц.

Позиции 11, 12 – время окончания формирования состава. В позиции 11 двумя знаками проставляются часы и через пробел в позиции 12 двумя знаками – минуты окончания формирования состава на станции формирования.

Позиция 13 – условная длина поезда, указывается трехзначным числом. При длине меньше 100 впереди добавляются нули до трех знаков.

Позиция 14 – масса брутто поезда, указывается 4- или 5-значным числом. При массе меньше 1000 впереди добавляются нули до четырех знаков.

Позиция 15 – код прикрытия поезда, одним знаком проставляется код прикрытия наиболее опасного груза в составе поезда. Приоритеты кодов прикрытия определяются такой последовательностью: 9, 3, 5, 6, 4, 8, 1, 2. В случае отсутствия прикрытия у поезда в этой позиции ставится нуль.

Позиции 16, 17 – код верхней негабаритности (позиция 16) и код боковой негабаритности (позиция 17). Одним знаком проставляется код наибольшей степени негабаритности груза из имеющихся в сведениях о вагонах в графе «Примечания».

Позиция 18 – отметка о живности, при наличии в составе поезда вагонов с живностью указывается код 1, в противном случае ставится 0.

Позиция 19 – отметка о маршруте:

0 – поезд не является маршрутом;

1 – отправительский или ступенчатый маршрут прямой;

2 – отправительский или ступенчатый маршрут в распыление;

3 – отправительский или ступенчатый маршрут с переломом массы;

4 – маршрут кольцевой.

Условную длину, массу брутто, особые отметки в служебной фразе ТГНЛ, кроме отметки о маршруте, ЭВМ вычисляет на основе особых отметок у вагонов. Поэтому у всех поездов, кроме маршрутов, разрешается передавать только 11 показателей.

Информационная фраза состоит из 15 показателей, обязательным является наличие первых трех (по ролики включительно). Общий вид информационной фразы приведен в таблице 4.2. У первого вагона обязательными являются первые четыре показателя. Количество информационных фраз соответствует количеству вагонов в составе поезда.

Т а б л и ц а 4.2 – Структура информационной фразы сообщения 02

П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12	П13	П14	П15
00	00000000	0	000	00000	00000	0000	0	0	0	0	00/00	00000	000	000000
01	28543460	1	040	82003	16124	2965	0	0	0	0	00/00	00000	000	ПРВ
...

Позиция 1 – номер вагона по порядку (2–3 знака), начинается с 01 и непрерывно увеличивается на единицу.

Позиция 2 – инвентарный номер вагона (8 знаков).

Позиция 3 – отметка о роликовых подшипниках (1 знак): 0 – подшипники скольжения; 1 – роликовые подшипники.

Позиция 4 – масса груза в тоннах, указывается трехзначным числом. При массе меньше 100 тонн впереди добавляются нули до трех знаков.

Позиция 5 – код станции назначения по единой сетевой разметке (5 знака), находится в пределах от 01000 до 99999.

Позиция 6 – код груза (5 знаков) в соответствии с единой тарифно-статистической номенклатурой грузов. Условные коды грузов:

00100 – мелкие отправки;

00200 – среднетоннажные контейнеры;

00300 – крупнотоннажные контейнеры.

Позиция 7 – код получателя (4 знака). Код проставляется для всех груженых вагонов на основании вагонного листа. В этой позиции проставляются также условные коды:

0011 – мелкие отправки под выгрузку;

0021 – мелкие отправки под сортировку;

0031 – мелкие отправки под выгрузку и сортировку;

0012 – контейнеры под выгрузку;

0022 – контейнеры под сортировку;

0032 – контейнеры под выгрузку и сортировку;

0013 – вагоны в речной порт под перевалку во внутреннем сообщении;

0023 – вагоны в речной порт под перевалку в международном сообщении;

0033 – вагоны в морской порт под перевалку в международном сообщении;

0043 – вагоны в морской порт под перевалку в третьи страны;

0053 – под перегрузку на узкую колею;

0004 – под переадресовку.

Позиция 8 – маршрут, нерабочий парк. В этой позиции для маршрутов должен быть проставлен код 2, для групп вагонов, следующих по одной накладной, – код от 3 до 6, для вагонов сцепы – коды 7, 8, для вагонов нерабочего парка – код 9, для категорий перевозки «груз на своих осях» (вагоны, начинающиеся с цифры 3) – код 1.

Позиция 9 – код прикрытия, проставляется одним знаком и принимает значения от 1 до 9. Признаки схем прикрытия приведены в пункте 3.9.2 [6]. Для вагонов, не требующих прикрытия, в этой позиции указывается нуль.

Позиция 10 – негабаритность, живность, длиннобазные вагоны, вагоны, не подлежащие роспуску с горки. Эта графа заполняется в соответствии с таблицей 4.3.

Т а б л и ц а 4.3 – Коды заполнения позиции 10 информационной фразы сообщения 02

Признак вагона (груза)	Код
------------------------	-----

Живность	1
Вагоны с негабаритным грузом	3
Длиннобазные вагоны	5
Вагоны, требующие осторожности при роспуске с горки	6
Вагоны с грузом, не подлежащие роспуску с горки	7
Вагоны с грузом, а также подвижной состав, не подлежащие пропуску через горку	9

Если вагон (груз) обладает несколькими признаками, то проставляется код с большим значением.

Позиция 11 – количество пломб. Одним знаком указывается количество пломб на вагоне.

Позиция 12 – сведения о контейнерах. Указывается количество перевозимых контейнеров в физических единицах. Числителем показываются груженные, а знаменателем – порожние контейнеры. В одном вагоне не могут быть и среднетоннажные, и крупнотоннажные контейнеры.

Позиция 13 – входная пограничная станция. Указывается код входной пограничной станции согласно ЕСР (пять знаков). Во внутривнутриреспубликанском сообщении данная графа не заполняется.

Позиция 14 – тара вагона. В этой позиции проставляется трехзначный код массы тары вагонов, локомотивов в недействующем состоянии (для 7-значной нумерации), путевых машин и механизмов (для 7-значной нумерации) в соответствии с приложением 2 [11].

Позиция 15 – примечание (дополнительные сведения, характеризующие вагон). Указывается не более чем шестью алфавитно-цифровыми символами без пробелов:

ОХР – сопровождение военизированной охраны;

СКР60 – требование ограничения скорости (например, до 60 км);

ПАСС – пассажирские вагоны всех типов для перевозки пассажиров;

ПЧТ – почтовые и почтово-багажные вагоны;

БАГ – багажные вагоны;

ПР – остальные пассажирские вагоны;

ПРВ – вагон с проводником;

ПЕРЕСЛ – вагон, пересылаемый в ремонт по сопроводительным листам формы ВУ-26;

МЕТАНЛ – вагон загружен метанолом;

СЦЕП – отметка о сцепе;

АРЕНДА – арендованные вагоны;

ПРГ – прикрытие опасного груза;

ПЗ – повышенная загрузка вагона;

ПРЧ – прицепная часть к маршруту с переломом массы;

ПОР – порожний вагон в составе грузеного маршрута или в составе группы вагонов, идущих по одной накладной.

Для рефрижераторных секций и поездов указываются тип и номер секций, например:

210051 – рефрижераторный поезд номер 51 из 21 вагона;

050536 – рефрижераторная секция номер 536 из 5 вагонов.

Для вагонов, начинающихся с цифры 3, указываются род вагона (первый знак) и осьность (второй знак), например:

24 – крытый 4-осный;

66 – полувагон 6-осный;

94 – прочий 4-осный.

Для маршрутов указывается номер маршрута – от 010001 до 999999, для кольцевых маршрутов – от 010010 до 997109.

НХХХХ – вагоны с негабаритным грузом, например Н3528.

Пятизначный индекс негабаритности обозначает:

1-й знак – всегда буква «Н»;

2-й знак – степень нижней негабаритности (от 1 до 6);

3-й знак – степень боковой негабаритности (от 1 до 6);

4-й знак – степень верхней негабаритности (от 1 до 3);

5-й знак – вертикальная сверхнегабаритность (8). Отсутствие негабаритности в любой зоне отмечается знаком «0» в соответствующем значении индекса негабаритности.

Первичная программная обработка сообщения включает следующие процедуры: поиск начала и конца текста сообщения в массиве введенных данных по кодовым комбинациям начала (: и конца :) сообщения; анализ размещенных вслед за комбинацией (: цифрового кода типа сообщения и выбор по коду соответствующего предписания (паспорта) порядка обработки сообщения; перекодировка сообщения к виду машинного макета для последующего использования; логический контроль сообщения; корректировка (с участием операторов) обнаруженных ошибок.

На этапе обработки АСУ предоставляют широкие возможности для контроля информации, включающего не только такие простые проверки, как контроль формата реквизитов сообщения и сопоставление их значений с возможными (граничными) значениями, но и более сложные проверки, выявляющие логическую противоречивость элементов внутри сообщения, а также информационных моделей и вновь поступивших сообщений. Например, при контроле телеграмм-натурных листов АСУ делает несколько десятков типов проверок. Каждый выявленный случай нарушения формата или обнаружения логической ошибки сообщается оператору, который должен передать корректировочное сообщение 09. В результате обработки программой этого сообщения в ТГНЛ могут быть проведены замена

ошибочной фразы или поля, вставка пропущенной фразы, дополнение натурального листа в случае прицепки вагонов к поезду и т. д.

В результате форматного и логичного контроля сообщения 02 могут быть выявлены ошибки. Перечень ошибок структурного и логического контроля приведен в приложении Б.

Пример 4.1. Выявить ошибки в служебной и информационной фразе ТГНЛ.

Выполняем форматный и логический контроль телеграммы-натурного листа (сообщение 02).

1 Служебная фраза (приведена с сокращениями):

(: 02 17 2800 1221 11 86004 77 17 2221 2 16 71 10 01 16 76

Описание обнаруженных ошибок приведено в таблице 4.4.

Т а б л и ц а 4.4 – Перечень ошибок, обнаруженных в служебной фразе

Номер ошибки	Характер ошибки
11	Несоответствие пункта передачи информации пункту свершения операции
16	Недопустимое значение показателя (число месяца не может быть > 31, величина минут не может быть > 60)
17	Количество знаков в коде пункта передачи информации и станции назначения меньше допустимого (должны иметь пять знаков)

2 Информационная фраза:

05 16, 17 16 17 17 004823 4 32 7010 01048 2243 ВКПС

Описание обнаруженных ошибок приведено в таблице 4.5.

Т а б л и ц а 4.5 – Перечень ошибок, обнаруженных в информационной фразе

Номер ошибки	Характер ошибки
16	Указан несуществующий номер вагона
17	Количество знаков в номере вагона < 8
16	Неверно указаны сведения о роликовых подшипниках (должны быть "1" или "2")
17	Код массы груза должен иметь 3 знака
17	Код станции назначения должен иметь 5 знаков

Контрольные вопросы

1 Как Вы понимаете определения «верность информации» и «достоверность информации»?

2 Какие методы обнаружения ошибок Вы знаете?

3 Каким образом рассчитываются информационная, структурная и алгоритмическая избыточности?

4 Какая информация содержится в служебной фразе сообщения 02? Что такое индекс поезда?

5 РАСЧЕТЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АСУ

Цель работы. Изучить основные понятия теории надежности АСУ. Ознакомиться с методами расчета показателей надежности сложных систем. Получить навыки расчетов коэффициентов надежности.

5.1 Основные понятия теории надежности

Научную основу анализа и обеспечения надежности технических средств составляет теория надежности, предметами исследования которой являются критерии и количественные характеристики надежности, а также методы анализа и повышения надежности, синтеза систем по критериям надежности, испытания аппаратуры на надежность, эксплуатации аппаратуры с учетом ее надежности.

По ГОСТ 27.002–89 **надежность** есть «свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования».

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа технического устройства (изделия). Под **отказом** изделия понимается наступление события, заключающегося в нарушении его работоспособности. Из определения следует, что отказ может наступать не только из-за механических или электрических повреждений, когда для устройства характерно лишь два состояния – исправно или неисправно, но и из-за ухода параметров (нарушение точности и т. д.) за допустимые пределы.

Различают *независимые* и *зависимые* отказы. К первым относятся отказы, не обусловленные отказами других элементов устройства, ко вторым – отказы, явившиеся следствиями отказов других элементов устройства.

Бывают также *мгновенные* (внезапные или катастрофические) отказы и *постепенные*. Последние вызываются постепенным изменением параметров устройств вследствие износа или старения материалов, из которых они изготовлены. Следует различать *устойчивый* и *самоустраняющийся* отказы.

Устойчивый отказ может быть устранен лишь с помощью специальных мер, предпринимаемых для восстановления работоспособности устройства. К самоустраниющимся отказам относятся такие, которые устраняются сами через некоторое время.

Кратковременные самоустраниющиеся отказы носят название *сбоев*.

Перечисленные выше определения дают, конечно, только некоторое качественное представление о явлениях. В теории и практике рассматриваются и другие типы отказов.

Важнейшим этапом в исследовании надежности технических устройств является установление критериев надежности, т. е. признаков, по которым оценивается надежность аппаратуры. Достаточно полно оценить такое сложное свойство, как надежность, можно только с помощью нескольких критериев.

Количественное значение критерия называют количественной характеристикой, или просто характеристикой надежности. Так как факторы, определяющие надежность аппаратуры, случайны, оценки характеристик надежности имеют статистический (вероятностный) характер.

Основным показателем безотказности устройств является *вероятность безотказной работы*, представляющая собой вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает. Основной показатель ремонтпригодности – *вероятность восстановления в заданное время* или вероятность того, что время восстановления работоспособности объекта не превысит заданного. При этом подразумевается, что время восстановления включает время на обнаружение, поиск причин отказа и устранение его последствий.

Важными количественными характеристиками надежности являются *среднее время между соседними отказами* (наработка на отказ) и *среднее время восстановления*.

Процесс эксплуатации технических средств представляет собой смену работоспособного и неработоспособного состояний. Перечисленные выше характеристики дают представление о каждом состоянии, но не позволяют судить о распределении всего времени эксплуатации между состояниями. Поэтому часто дополнительно используют специальные коэффициенты (комплексные показатели) надежности и, в частности, коэффициент готовности, коэффициент технического использования, коэффициент оперативной готовности и др. *Коэффициентом готовности* называется вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается. Коэффициент готовности является показателем надежности изделия, не подвергающегося профилактическому обслуживанию в процессе выполнения задачи. Если же изделие подвергается профилактике, то для оценки надежности при-

меняется *коэффициент технического использования* – отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации.

Коэффициент готовности устройства является функцией времени и с течением времени стремится к постоянному значению, которое носит название «стационарный коэффициент готовности». Время установления стационарного значения этого коэффициента обычно пренебрежимо мало по сравнению с временем эксплуатации аппаратуры длительного использования. Поэтому практически всегда, за исключением специальных случаев, говоря об этом коэффициенте, имеют в виду именно стационарное значение.

Важное понятие – *элемент расчета надежности*. Это элемент, блок и вообще некоторая часть системы, которая в исследуемой конкретной задаче имеет характеристики надежности, рассматриваемые вне зависимости от характеристик надежности более мелких деталей, составляющих эту часть системы.

5.2 Задачи и методы теории надежности

Основная **задача** анализа надежности технических средств формулируется следующим образом: имеется система элементов расчета с их характеристиками надежности, требуется определить некоторые характеристики надежности всей системы. Следует отметить, что в практических задачах необходимо прогнозировать характеристики, выбор которых определяется использованием системы и ролью характеристик надежности в расчетах, связанных с выбором. В задачах анализа надежности используются методы теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории восстановления, статистического моделирования.

Методы обеспечения надежности технических средств можно разбить на следующие основные группы: уменьшение интенсивности отказов устройства; внесение избыточности в устройство; уменьшение (в среднем) времени восстановления; сокращение времени непрерывной работы. *Уменьшение интенсивности отказов* устройства может быть достигнуто за счет упрощения системы, применения более надежных элементов, облегчения условий и режимов работы, проведения профилактических мероприятий и т. д.

Введение избыточности, и прежде всего *резервирование*, является важным и широко применяемым способом обеспечения надежности. Смысл резервирования заключается в том, что устройство (система) наряду с

«основными элементами», которые в соответствующем соединении, в принципе, выполняют все необходимые функции, снабжаются дополнительными «резервными» элементами, берущими на себя функции соответствующих «основных» элементов при отказе последних.

Известны различные методы резервирования. В частности, используют «горячий» резерв (резервный элемент работает под нагрузкой одновременно с основным), «холодный» резерв (резервный элемент подключается только после отказа «основного»), резервирование со скользящим резервом (резервные элементы одного типа не закреплены за определенными основными элементами, а могут заменять любой отказавший из группы основных элементов этого типа) и т. д.

Уменьшение (в среднем) времени восстановления аппаратуры улучшает ее использование и приводит к увеличению (в среднем) продолжительности исправной работы систем с резервированием (достигается, например, за счет повышения эффективности программных тестов (для АРМов) и контрольной аппаратуры, построения устройств на типовых унифицированных блоках, повышения квалификации обслуживающего персонала и т. д.).

Как метод повышения надежности возможно *отключение аппаратуры на время*, когда она не должна выполнять свою задачу. Именно так эксплуатируются многие терминальные устройства (АРМы, печатающие устройства и т. д.). Естественно, что когда устройство выключено, вероятность возникновения неисправностей в нем меньше, чем когда оно включено. Однако следует учитывать частоту включения и выключения устройств. Опыт эксплуатации электронных и электромеханических устройств показывает, что в момент переключения в результате переходных процессов в аппаратуре могут возникать неисправности, высокая частота включения-выключения может привести к снижению надежности.

5.3 Надежность сложных систем

Особое место в теории надежности отводится исследованию поведения так называемых «сложных» систем, для которых характерно большое количество взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, обеспечивающих выполнение системой некоторой достаточно сложной функции. В качестве элементов сложная система может включать вычислительные машины, каналы связи, датчики, исполнительные органы, устройства контроля и сигнализации, устройства ввода и вывода, работающих с различными носителями информации людей и т. д.

Отличительной особенностью сложной системы является то, что выход из строя ее отдельного элемента, в общем случае, не приводит к потере всей

системой работоспособности, а вызывает лишь некоторое ухудшение качества ее функционирования.

Для оценки надежности такой сложной системы, как АСУ линейными предприятиями, целесообразно ввести минимум два критерия: экономическую эффективность и вероятность выполнения задач, решаемых системой, имея в виду установленные технические нормы. Кроме того, для подсистем, влияющих на безопасность движения, критерием должна являться степень обеспечения безопасности управления.

Для пояснения подхода к оценке надежности сложной системы рассмотрим пример. Пусть некоторая «простая» система управления может находиться в одном из двух состояний: работоспособном S_p и неработоспособном S_n , при этом качество работы системы описывается функцией $W(S)$. Функция $W(S)$ может принимать два значения: W_p – для состояния S_p и W_n – для состояния S_n , причем можно считать, что W_n соответствует качеству работы при традиционных (ручных) методах управления.

Очевидно, что среднее качество работы Q системы за длительное время ее эксплуатации может быть рассчитано по формуле

$$Q = (W_p - W_n)k_r + W_n, \quad (5.1)$$

где k_r – коэффициент готовности системы.

Следовательно, при постоянных значениях W_p и W_n коэффициент готовности полностью определяет качество работы «простой» системы и может быть использован как объективный показатель ее надежности.

Рассмотрим теперь «сложную» систему. В такой системе отказ какого-либо элемента ведет к некоторому изменению качества работы системы (в общем случае – различному для отказов различных элементов). Например, отказ одного из АРМов в СТС ведет к задержкам в выдаче документов на отправляемые поезда, при отказе всех АРМов эти задержки резко возрастают, но, тем не менее, документы могут быть получены другим путем. Отказ терминалов на постах списывания не останавливает всю АСУ, но также ведет к задержкам в обработке документов. А вот отказ обоих вычислительных комплексов АСУСС ведет к необходимости полного перехода на традиционные методы управления.

Если в сложной системе выделяется n элементов, и каждый из них может находиться в одном из двух состояний – работоспособен или неработоспособен, – то общее число возможных состояний системы равно 2^n , причем каждому состоянию соответствует свое качество работы и, кроме того, могут иметь место переходные процессы, вызванные сменой состояний.

В практических случаях, если нет взаимного влияния последствий отказов, что, в частности, может иметь место при низкой интенсивности суммарного потока отказов всех элементов расчета, можно применить *критерий средних потерь*, позволяющий оценивать надежность системы суммой потерь из-за отказов отдельных элементов расчета.

Расчет эффективности функционирования системы и средних потерь предусматривает следующие этапы.

1 Выбор количественной меры, позволяющей судить о качестве управления, представляемой в виде функции качества.

2 Разработка вариантов физической конфигурации системы (с указанием конкретных технических средств). При комплексном исследовании системы рассматриваются варианты, отобранные по производительности.

3 Разбиение сложной системы на отдельные элементы расчета. Составление перечня возможных состояний системы (режимов работы) и исследование их связи с состояниями элементов расчета.

4 Исследование характеристик надежности элементов расчета.

5 Определение вероятностных характеристик состояний системы.

6 Определение функций качества для возможных состояний системы.

7 Определение среднего значения функции качества (эффективности функционирования системы) или средних потерь.

При определении технико-экономической эффективности системы проводятся необходимые дополнительные расчеты. Если показатели качества работы не удовлетворяют предъявленным требованиям (например, срок окупаемости выше нормативного) из-за значительных потерь, связанных с отказами, необходимо принять меры по повышению надежности разрабатываемой системы.

5.4 Расчеты показателей надежности комплексов технических средств

Пусть некоторая техническая система состоит из n последовательно соединенных элементов расчета (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Последовательная схема соединения элементов

Последовательность соединения означает, что отказ системы наступает при отказе любого из элементов расчета. Если для элемента с номером i интенсивность потока отказов равна λ_i , а интенсивность восстановления – μ_i (здесь и далее можно считать, что потоки отказов являются простейшими, а время восстановления распределено по экспоненциальному

закону), то интенсивность потока отказов системы Λ , наработка на отказ T_c и коэффициент готовности k_r соответственно равны:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad (5.2)$$

$$T_c = \Lambda^{-1}; \quad (5.3)$$

$$k_r = \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{-1}. \quad (5.4)$$

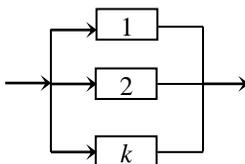
Для системы с *параллельным соединением* элементов, отказ которой наступает при отказе всех элементов расчета (рисунок 5.2), наработка на отказ

$$T_c = \frac{1}{k\mu} \left[\left(1 + \frac{\mu}{\lambda} \right)^k - 1 \right], \quad (5.5)$$

а коэффициент готовности

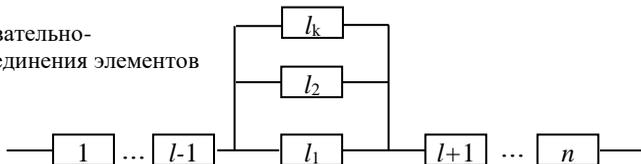
$$k_r = 1 - \prod_{i=1}^k \left(1 - \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \right). \quad (5.6)$$

Рисунок 5.2 – Параллельная схема соединения элементов



Отказ системы с *параллельно-последовательным* соединением элементов (рисунок 5.3) наступает в случае отказа одного из элементов расчета с номерами 1 ... (l - 1) или (l + 1) ... n или всех (k) элементов. При расчете показателей такой системы последние элементы заменяются одним эквивалентным элементом с показателями, вычисляемыми по формулам (5.5), (5.6), а затем системные показатели рассчитываются по формулам (5.2)–(5.4). Таким образом, схема расчета надежности составляется с учетом влияния отказов элементов расчета на работу системы.

Рисунок 5.3 – Последовательно-параллельная схема соединения элементов



5.5 Пример расчета коэффициента надежности сложной системы

Информационный вычислительный центр содержит пять устройств переработки информации (рисунок 5.4).

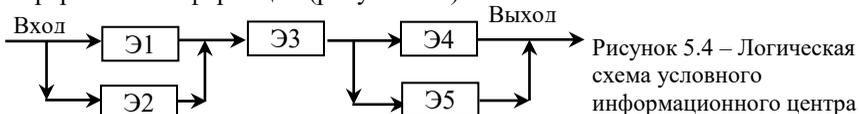


Рисунок 5.4 – Логическая схема условного информационного центра

Определить вероятность того, что информация со входа будет передана на выход (на другие вычислительные центры), если вероятности безотказной работы устройств имеют следующие значения:

Т а б л и ц а 5.1 – Коэффициенты надежности устройств информационного центра

Параметр	Элемент расчетной схемы				
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5
Вероятность безотказной работы элемента k_n	0,78	0,78	0,98	0,89	0,89

Элементы Э1, Э2 и Э4, Э5 являются функционально равнозначными.

Задачу можно решить двумя способами: методом прямого перебора вариантов и аналитически.

Метод прямого перебора вариантов предполагает, что существуют два подмножества, которым может принадлежать подсистема:

- 1) F – система находится в работоспособном состоянии;
- 2) G – система находится в неработоспособном состоянии.

Соответственно p и q – вероятности нахождения элемента системы в работоспособном и неработоспособном состояниях. Для решения задачи строится вспомогательная таблица 5.2, в которой фиксируются все возможные работоспособные и неработоспособные состояния системы, а также производится расчет вероятности наступления данного состояния.

В результате расчетов получаем:

вероятность работоспособности системы

$$P = \sum F; P = 0,9039;$$

вероятность неработоспособности системы:

$$Q = \sum G = 1 - \sum F; Q = 1 - 0,9039 = 0,0961.$$

Необходимо отметить, что при расчете существует некоторая погрешность (например, за счет округления), в результате чего значение суммы вероятностей наступления события лишь приблизительно равно единице.

Метод аналитического расчета в своей основе содержит предположение, что вероятность наступления работоспособного состояния системы равна произведению вероятностей работоспособности ее элементов.

Вероятность работоспособности системы с параллельным включением элементов

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \cdot \quad (5.7)$$

Вероятность работоспособности системы с последовательным соединением элементов определяется произведением вероятностей отказа каждого из элементов системы:

$$P = p_1 p_2 \dots p_k \cdot \quad (5.8)$$

Т а б л и ц а 5.2 – Расчет вероятности отказов системы при различных состояниях элементов

№	Индекс состояния	Состояние элемента					Вид подмножества	Вероятность состояния					Результат
		1	1	1	1	1		p1	p2	p3	p4	p5	
1	0	1	1	1	1	1	F	p1	p2	p3	p4	p5	0,36320
2	1	0	1	1	1	1	F	q1	p2	p3	p4	p5	0,12761
3	2	1	0	1	1	1	F	p1	q2	p3	p4	p5	0,12761
4	3	1	1	0	1	1	G	p1	p2	q3	p4	p5	0,02318
5	4	1	1	1	0	1	F	p1	p2	p3	q4	p5	0,06918
6	5	1	1	1	1	0	F	p1	p2	p3	p4	q5	0,06918
7	1, 2	0	0	1	1	1	G	q1	q2	p3	p4	p5	0,04484
8	1, 3	0	1	0	1	1	G	q1	p2	q3	p4	p5	0,00815
9	1, 4	0	1	1	0	1	F	q1	p2	p3	q4	p5	0,02431
10	1, 5	0	1	1	1	0	F	q1	p2	p3	p4	q5	0,02431
11	2, 3	1	0	0	1	1	G	p1	q2	q3	p4	p5	0,00815
12	2, 4	1	0	1	0	1	F	p1	q2	p3	q4	p5	0,02431
13	2, 5	1	0	1	1	0	F	p1	q2	p3	p4	q5	0,02431
14	3, 4	1	1	0	0	1	G	p1	p2	q3	q4	p5	0,00442
15	3, 5	1	1	0	1	0	G	p1	p2	q3	p4	q5	0,00442
16	4, 5	1	1	1	0	0	G	p1	p2	p3	q4	q5	0,01318
17	1, 2, 3	0	0	0	1	1	G	q1	q2	q3	p4	p5	0,00286
18	1, 2, 4	0	0	1	0	1	G	q1	q2	p3	q4	p5	0,00854
19	1, 2, 5	0	0	1	1	0	G	q1	q2	p3	p4	q5	0,00854
20	1, 3, 4	0	1	0	0	1	G	q1	p2	q3	q4	p5	0,00155
21	1, 3, 5	0	1	0	1	0	G	q1	p2	q3	p4	q5	0,00155
22	1, 4, 5	0	1	1	0	0	G	q1	p2	p3	q4	q5	0,00463
23	2, 3, 4	1	0	0	0	1	G	p1	q2	q3	q4	p5	0,00155
24	2, 3, 5	1	0	0	1	0	G	p1	q2	q3	p4	q5	0,00155
25	2, 4, 5	1	0	1	0	0	G	p1	q2	p3	q4	q5	0,00463
26	3, 4, 5	1	1	0	0	0	G	p1	p2	q3	q4	q5	0,00084
27	1, 2, 3, 4	0	0	0	0	1	G	q1	q2	q3	q4	p5	0,00055
28	1, 2, 3, 5	0	0	0	1	0	G	q1	q2	q3	p4	q5	0,00055

29	1, 2, 4, 5	0	0	1	0	0	G	q_1	q_2	p_3	q_4	q_5	0,00163
30	1, 3, 4, 5	0	1	0	0	0	G	q_1	p_2	q_3	q_4	q_5	0,00030
31	2, 3, 4, 5	1	0	0	0	0	G	p_1	q_2	q_3	q_4	q_5	0,00030
32	1, 2, 3, 4, 5	0	0	0	0	0	G	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	0,00010
Итого													1,0...

Рассмотрим работу заданной системы элементов. Схема соединения элементов приведена на рисунке 5.5.

Вероятности работоспособности элементов системы

$$P_1 = 1 - (1 - 0,78) \cdot (1 - 0,78) = 0,9516 ;$$

$$P_2 = 0,98 ;$$

$$P_3 = 1 - (1 - 0,88) \cdot (1 - 0,88) = 0,9856 .$$

Тогда

$$P = 0,9516 \cdot 0,98 \cdot 0,9856 = 0,9186 .$$

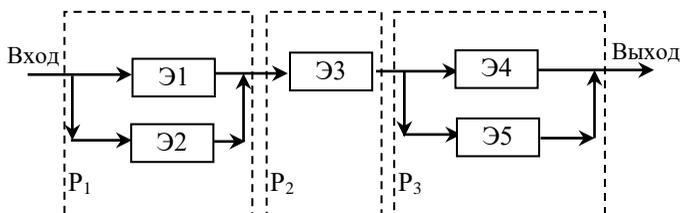


Рисунок 5.5 – Схема соединения элементов системы

Таким образом, вероятность работоспособности системы при расчете двумя способами практически равна и составляет 0,9039 и 0,9186. При этом следует отметить, что второй способ является более точным. Однако сфера его применения ограничена в связи с тем, что разбиение сложных систем на простые подсистемы трудно поддается алгоритмизации. Поэтому в АСУ применяют, как правило, метод прямого перебора вариантов.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое отказ? Какие виды отказов можно установить для АСУ на транспорте?
- 2 Что мы понимаем под коэффициентом готовности и коэффициентом технического использования?
- 3 Какие методы повышения надежности технических средств используют в АСУ?
- 4 Какие этапы предусматривает расчет эффективности функционирования системы?
- 5 В чем отличие расчета параметров надежности систем с последовательным и параллельным соединением элементов.

6 АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Цель работы. Изучить методологию исследования информационных потоков и используемый математический аппарат. Усвоить необходимые практические навыки инженерных расчетов.

6.1 Характеристики информационных потоков

Информационный поток – это последовательность однородных сообщений, документов, запросов. Поток можно характеризовать следующими показателями:

интенсивностью потока – средним числом сообщений, поступающих в единицу времени, например в течение одного часа. Если интенсивность потока не изменяется во времени, то поток является стационарным;

средним объемом информации (числом символов), поступающих в единицу времени, например в течение одного часа;

коэффициентом концентрации потока – показателем неравномерности в течение заданного периода, характеризующимся отношением среднего числа сообщений (или объема информации), поступающих в определенный период (например, в течение часа) наибольшей нагрузки, к среднему числу сообщений в течение заданного периода (например, суток).

Перечисленные характеристики потока могут быть определены на основе данных наблюдений (экспериментальных данных).

При аналитических расчетах характеристик информационных систем, проводимых на этапе проектирования, необходимо использовать ту или иную модель потока сообщений. Модель потока определяется следующей совокупностью свойств:

ординарностью – события появляются поодиночке, вероятность того, что на интервале длиной Δt появится два и более события, стремится к нулю при уменьшении Δt ;

отсутствием последействия – поток событий называется потоком без последействия, если для любых непересекающихся интервалов времени числа событий, попадающих на эти интервалы, являются независимыми случайными величинами;

стационарностью – вероятностные характеристики не меняются во времени. Если поток ординарный и без последействия и, следовательно,

числа событий на непересекающихся интервалах одной и той же длины являются независимыми случайными величинами, то в случае стационарного потока все эти величины будут иметь один и тот же пуассоновский закон распределения, т. е. интенсивность потока будет постоянной.

Стационарный ординарный поток без последствия называется *стационарным пуассоновским или простейшим* потоком события.

На железнодорожном транспорте потоки сообщений часто можно рассматривать как периодически нестационарные. Это означает, что количественные характеристики потока (интенсивность) меняются в течение периода заданной длины (например, в течение суток), а затем эта закономерность периодически повторяется. Суточную периодичность имеют потоки сообщений о прибытии поездов, потоки запросов в информационно-справочные системы вокзалов, потоки заявок на приобретение или резервирование билетов и т. д. При этом в течение суток часто можно выделить интервал времени, где поток имеет наибольшую и неизменную интенсивность.

Периодическое (суточное) повторение закономерностей изменения характеристик потока позволяет рассматривать реализацию, полученную в течение n суток, как n реализаций суточного процесса.

В АСУ железнодорожного транспорта имеются вполне установившиеся потоки информации, которые циркулируют по каналам связи. Информация в системах передается, принимается и перерабатывается. Следовательно, система может иметь количественные характеристики информационных сообщений. Такими характеристиками являются производительность системы в целом, ее уровней и элементов, их пропускная способность, скорость передачи данных и другие параметры.

При оценке количества информации, прежде всего, возникает вопрос о виде исходной информации, поэтому измерение ее количества в значительной степени зависит от подхода к самому понятию информации, т. е. к ее содержанию. В настоящее время существуют три основные теории, в которых к понятию содержательного характера информации подходят с разных позиций.

Статистическая теория оценивает информацию в системе управления с позиции меры неопределенности, снимаемой при получении информации. Как правило, она не затрагивает смысла передаваемой информации, т. е. семантического содержания. В статистической теории основное внимание обращается на распределение вероятностей отдельных квантов слов, фраз, сообщений информации и построение на его основе некоторых обобщенных характеристик, позволяющих оценить качество информации о каком-то кванте.

Семантическая теория учитывает в основном ценность информации, полезность ее и, тем самым, помогает связать ценность информации и количество ее с эффективностью управления в системе.

Структурная теория рассматривает структуру построения отдельных информационных массивов, при этом за единицу информации принимают элементарные структурные единицы – кванты, и количество информации оценивается простейшим подсчетом квантов в информационном массиве.

В теории информации за единицу количества информации принято число сведений, которое передается двумя равновероятными символами или сообщениями. Она называется *двоичной системой информации*.

6.1.1 Расчет количества информации с помощью статистической меры

Статистическая мера информации связывает вероятность появления каждого информационного сообщения и количество информации. Для расчета среднего количества информации в информационном сообщении при равновероятностных появлениях событий используется формула, предложенная американским ученым Клодом Шенноном,

$$I = -\sum_{i=1}^k [P(x_i) \log_2 P(x_i)], \quad (6.1)$$

где $P(x_i)$ – вероятность наступления события i ; k – число всех возможных исходов.

Из формулы (6.1) видно, что количество информации зависит от вероятности появления всех возможных событий, которая может быть установлена статистическим методом. Количество информации и появление каждого события определяется по формуле

$$I = -\log_2 I(x_{0i}). \quad (6.2)$$

Общее количество информации, обращающееся в АСУ, согласно статистической теории оценки информации может быть определено из условия

$$H_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^m f_{1i}(m_i) f_{2i}(t), \quad (6.3)$$

где $f_{1i}(m_i)$ – функция из числа контролируемых объектов; $f_{2i}(t)$ – функция времени, характеризующая частоту получения сведений о контролируемых объектах.

Общее количество информации $H_{\text{общ}}$ характеризует энтропию источника сообщений (парков станции, станций, узла, участка дороги) за определенный отрезок времени, функция $f_{1i}(m_i)$ – энтропию на один символ, а функция $f_{2i}(t)$ – число символов, выдаваемых i -м источником сообщений в единицу времени. Для получения аналитического вида функции необходимо иметь перечень контролируемых объектов и установить

возможные их состояния. Источником этих данных являются статистические выборки. Для определения f_{2i} (функции времени устанавливается частота поступления информации о ходе эксплуатационной работы на контролируемых объектах. Эта информация также может быть получена на основе обработки статистических данных наблюдений на АРМ работников.

6.1.2 Расчет количества информации с использованием семантической меры

Использование для расчетов количества информации, циркулирующей в автоматизированной системе управления, семантической теории базируется на таком свойстве информационного обеспечения оперативного руководства эксплуатационной работой, как ценность представляемой информации. Это свойство достаточно хорошо определяется энтропией. Энтропия – мера неопределенности состояния. Например, в информационной системе диспетчерского управления эксплуатационной работой неопределенность снимается за счет принятой диспетчером информации. Численно энтропия равна количеству информации, т. е. *энтропия является количественной мерой информации*. Понятие энтропии позволяет характеризовать функционирование системы с позиции целевой неупорядоченности в системе.

Целевую энтропию, т. е. неупорядоченность в управляющей информации, можно определить в следующем виде. Например, в системе диспетчерского управления эксплуатационной работой на дороге имеется три этапа преобразования информации: станционный, отделенческий, дорожный. Если возникает рассогласование выходного вектора системы относительно вектора цели на i -м этапе в виде q_i , то энтропия состояния объекта

$$H_y = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{1}{q_i + 1}, \quad (6.4)$$

где p_i – вероятность появления рассогласования данных величиной q_i , равная 1. Информация, используемая в системе оперативного планирования, эквивалентна энтропии, так как на начало планового периода она несет сведения, полностью или частично выясняющие состояние каждой подсистемы, расположение поездов и вагонов, а также поездных локомотивов на полигоне дороги. Количество информации, получаемое при поступлении сведений о состоянии объектов планирования и дающее полное выяснение этого состояния, равно энтропии состояния объекта или может быть приравнено к ней, т. е.

$$I(X) = H(X). \quad (6.5)$$

Так как энтропия объекта планирования

$$H(X) = -\sum (p_i \log_2 p_i), \quad (6.6)$$

то

$$I(X) = -\sum (p_i \log_2 p_i), \quad (6.7)$$

где последняя запись означает, что в суммарном количестве информации, получаемой с объекта управления и планирования и из отдельных сообщений, имеются сведения о том, что объект планирования x находится в состоянии $X(t_{об})$ на момент сбора информации $t_{об}$.

В процессе разработки оперативного плана и управленческих решений наблюдения за объектами железнодорожного транспорта и сбор информации о состоянии этих объектов проводятся по отдельным периодам времени, когда это состояние выяснено в достаточной степени. В таких случаях собирается полная информация об объекте планирования, но при этом имеет место непосредственное использование для планирования работы подразделений вторичной информации, дополнительно доработанной на нижних уровнях управления и приведенной в соответствие с целями и задачами станционного и регионального уровней управления и планирования. Количество же информации, передаваемой на вышестоящий уровень управления, может быть либо меньше, либо больше количества информации, действительно получаемой при отражении перевозочного процесса в нижестоящих подсистемах.

Для железнодорожных систем характерно, что состояние установленной совокупности подсистем нижестоящего уровня управления определяет общее состояние системы вышестоящего уровня управления (Z) (совокупное состояние станций определяет положение на отделении, а состояние отделений является определяющим для дорожной оперативной ситуации). При этом подсистемы не могут однозначно определять состояние системы (Z). Это в конечном итоге приводит к тому, что энтропия подсистемы

$\sum X_i$ меньше, чем системы (Z).

Полная взаимная информация I_z , имеющаяся в подсистемах управления различных уровней, будет равна энтропии подсистемы нижестоящего уровня, т. е.

$$I_{(z)} = H\{X\} + \Delta H(Z). \quad (6.8)$$

В большинстве случаев неопределенность информации возникает при информационном обмене:

– между станциями, когда имеет место искажение информации для достижения ранее поставленных целей;

– между станциями и диспетчерским центром управления, когда станции ставят себя в более выгодное положение по отношению к планируемым общерегиональным задачам;

– между диспетчерским центром управления и верхним уровнем управления на дороге, когда работники диспетчерского центра могут исказить передаваемую на верхний уровень информацию.

В этом случае энтропия информации определяет то ее количество, которое приходит к потребителю от источника. Это количество информации представляет собой разность между входной (начальной) и полученной потребителем информацией.

6.1.3 Расчет количества информации с помощью структурной меры

С помощью структурной теории в АСУ можно определить объемы потоков информации, циркулирующих между работниками оперативного персонала в виде макетов информационных сообщений, специальных отчетов, справок, характеристик, а также письменных указаний, распоряжений, приказов. Для определения числовых значений количества информации, содержащейся в этих документах, в каждом из них выделяется *элементарная единица*, на базе которой строится информационный массив документа. Такая элементарная единица несет постоянный объем информации, характеризующий конкретный показатель эксплуатационной работы участка или состояние одного из контролируемых объектов.

Простейшим подсчетом числа элементарных единиц в информационном массиве определяется объем информации в документе. Например, объем информации по используемым в работе поездного диспетчера показателям

$$I_{\text{вх}}^{\text{ДПЦ}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{ji} k_{ji}, \quad (6.9)$$

где I_{ji} – объем информации о j -м показателе, поступающем к диспетчеру от i -го работника; k – периодичность поступления информации о m -м показателе за смену; m – количество показателей, поступающих от i -го работника; n – число оперативных работников, источников АСУ диспетчерского центра станции и других подразделений, передающих документы с показателями работы.

Как видно из формулы, в данном случае информационный массив о m -м показателе формируется за счет периодического поступления информации о нем в течение смены от соответствующих оперативных работников. По подобным формулам определяется объем информации в документах, характеризующих состояние контролируемых объектов (например, положение путей в парках технических станций) или их характеристики

(например, характеристики состава поездов). При представлении в документах информации в виде десятичных знаков и текста производится перерасчет по принятой единице измерения информации.

Исходя из анализа функциональной деятельности оперативных работников и экспертных оценок информационных потоков сообщений устанавливается номенклатура необходимой информации для формирования и реализации оптимальных управленческих решений. Перечень необходимой информации устанавливается как для дорожного, так и для линейного уровней информации по согласованию с верхними и нижними уровнями управления. В соответствии с номенклатурой рассчитываются объемы информации. Расчеты производятся с использованием структурной теории, учитывающей объем информации на одну структурную единицу информационного сообщения.

6.2 Пример расчета объемов информации

Рассмотрим пример расчета объемов информации. Для расчета принимаем следующие данные. На АРМ оперативного работника поступает информация двух видов: о поездах (β_i^1) и о грузовой работе (β_i^2). Длина сообщения о поезде составляет 200 символов, а о грузовой работе – 40. В таблице 6.1 приведена интенсивность поступления информации в течение суток по часовым периодам.

Т а б л и ц а 6.1 – Интенсивность поступления информации

Час суток	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
β_i^1	2	1	2	3	2	4	2	3	3	2	1	3	3	4	3	4	7	6	3	2	3	1	1	2
β_i^2	0	1	4	2	3	2	5	6	12	10	14	12	13	12	10	13	16	7	5	3	4	2	1	1

По формуле (6.9) определяется объем информации, поступающей на АРМ в течение каждого часа, символов в час:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 2 \cdot 200 + 0 \cdot 240 = 400; & V_2 &= 1 \cdot 200 + 1 \cdot 240 = 240; & V_3 &= 2 \cdot 200 + 4 \cdot 240 = 560; \\
 V_4 &= 3 \cdot 200 + 2 \cdot 240 = 680; & V_5 &= 2 \cdot 200 + 3 \cdot 240 = 520; & V_6 &= 4 \cdot 200 + 2 \cdot 240 = 880; \\
 V_7 &= 2 \cdot 200 + 5 \cdot 240 = 600; & V_8 &= 3 \cdot 200 + 6 \cdot 240 = 840; & V_9 &= 3 \cdot 200 + 12 \cdot 240 = 1080; \\
 V_{10} &= 2 \cdot 200 + 10 \cdot 240 = 800; & V_{11} &= 1 \cdot 200 + 14 \cdot 240 = 760; & V_{12} &= 3 \cdot 200 + 12 \cdot 240 = 1080; \\
 V_{13} &= 3 \cdot 200 + 13 \cdot 240 = 1120; & V_{14} &= 4 \cdot 200 + 12 \cdot 240 = 1280; & V_{15} &= 3 \cdot 200 + 10 \cdot 240 = 1000; \\
 V_{16} &= 4 \cdot 200 + 13 \cdot 240 = 1320; & V_{17} &= 7 \cdot 200 + 16 \cdot 240 = 2040; & V_{18} &= 6 \cdot 200 + 7 \cdot 240 = 1480; \\
 V_{19} &= 3 \cdot 200 + 5 \cdot 240 = 800; & V_{20} &= 2 \cdot 200 + 3 \cdot 240 = 520; & V_{21} &= 3 \cdot 200 + 4 \cdot 240 = 760; \\
 V_{22} &= 1 \cdot 200 + 2 \cdot 240 = 280; & V_{23} &= 1 \cdot 200 + 1 \cdot 240 = 240; & V_{24} &= 2 \cdot 200 + 1 \cdot 240 = 440.
 \end{aligned}$$

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что часом наибольшей нагрузки является 17-й (т. е. период времени с 16 до 17 часов). Именно его, в случае необходимости, нужно применять при расчетах необходимого количества устройств передачи и обработки данных, оценки загрузки оперативных работников и решении других задач.

Суммарный среднесуточный объем информации, поступающей на выбранный АРМ

$$V = \sum_{i=1}^{24} V_i = 19720 \text{ символов/сут.}$$

Кроме того, во многих случаях полезно знать *коэффициент концентрации информационного потока*, который показывает, какая доля от суммарной среднесуточной информации приходится на час наибольшей нагрузки.

Коэффициент концентрации рассчитывается по формуле

$$S_k = \frac{V_{\max}}{V} \cdot 100 \% . \quad (6.10)$$

В нашем случае

$$S_k = \frac{2040}{19720} \cdot 100 \% = 10,34 \% .$$

Контрольные вопросы

- 1 Что такое информационный поток? Какие показатели его характеризуют?
- 2 Какие теории оценки количества информации Вы знаете? Какова их суть?
- 3 Что Вы понимаете под неопределенностью информации? В каких случаях она возникает?
- 4 Что такое коэффициент концентрации информационного потока?

7 АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОКОЛОВ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ И РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ЗАНЯТИЯ КАНАЛА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СООБЩЕНИЙ

Цель работы. Ознакомиться с применяемыми на железной дороге протоколами канального уровня. Изучить их основные характеристики. Научиться рассчитывать среднее время занятия канала при передаче сообщений.

В существующих сетях передачи данных при обмене информацией между абонентами и узлами коммутации сети, а также между узлами сети используются **протоколы канального уровня**. Известно, что основной функцией протокола канального уровня (2-й уровень сетевой иерархии протоколов) является обеспечение защиты от ошибок, возникающих в потоке данных под действием помех в канале связи. Для обнаружения этих ошибок в протоколе канального уровня производится блочное помехоустойчивое кодирование сообщений с защитой каждого передаваемого блока проверочными символами, а ошибки исправляются путем повторной передачи искаженных блоков.

В сети передачи данных АСУ железнодорожного транспорта применяются наиболее распространенные протоколы передачи, в которых при обнаружении ошибок в блоке приемник посылает передающей стороне отрицательное подтверждение, после чего происходит повторная передача искаженного блока. Добавление служебных символов к блокам полезной информации, а также повторение искаженных блоков приводит к потере *эффективной скорости передачи данных* по каналу.

Очевидно, что степень этой потери зависит от вероятности искажения закодированного блока при передаче (что определяется первичными характеристиками канала связи) и от выбранной при передаче длины блока, поскольку выбор как слишком малой, так и слишком большой длины блока резко снижает эффективную скорость передачи. В первом случае это объясняется соотношением между количеством информационных (полезных) и служебных символов, во втором – частыми повторениями блоков большой длины из-за высокой вероятности их искажения при передаче.

Таким образом, эффективная скорость передачи данных зависит от соотношения полезной и служебной информации при использовании того или иного протокола передачи, а также от вероятностей искажения блока в канале связи. Эта скорость зависит также от используемого при передаче способа синхронизации (асинхронный или синхронный) и, соответственно, от количества бит для кодирования отдельного служебного или полезного символа.

7.1 Аналитическое исследование эффективности протоколов передачи данных

Рассмотрим методику анализа эффективности протоколов канального уровня, которая применяется для сравнения эффективности широко используемых в АСУЖТ асинхронного протокола АП-70 и синхронного протокола BSC в режиме передачи «точка – точка». Оба эти протокола относятся к *байт-ориентированным* протоколам, где служебные символы кодируются при передаче в виде одного или нескольких байтов.

В качестве критерия эффективности протокола используем *коэффициент эффективной скорости передачи данных*, который определяется отношением времени передачи полезной информации к времени передачи полной [полезной и дополнительной (служебной)] информации, обеспечивающей реализацию используемого протокола передачи. Кроме того, время передачи полной информации должно учитывать потери времени на повторение искаженных блоков.

Для общего анализа эффективной скорости передачи данных введем следующие обозначения:

- b – длина передаваемого блока полезной информации (символов);
- n_d – количество дополнительных (служебных) символов в передаваемом блоке;
- n_n – длина блока подтверждения от принимающей стороны (символов);
- n_3 – количество символов защиты информации в передаваемом блоке;
- r – количество двоичных разрядов, используемых для кодирования полезных и служебных символов, бит;
- p – вероятность ошибки (искажения) двоичного разряда (бита) при передаче по каналу связи;
- v – скорость передачи данных по каналу, бит/с;
- t_1 – время передачи полезной информации в блоке, с;
- t_2 – среднее время передачи всего блока с учетом добавления служебных символов, передачи подтверждения, а также повторения искаженных блоков, с;

– η – коэффициент эффективной скорости передачи данных, равный отношению t_1 к t_2 .

Требуется найти аналитическую зависимость $\eta = f(b, n_d, n_n, r, p)$ и экстремум этой функции, определяющий максимальное значение эффективной скорости передачи данных. Учитывая, что величины n_d, n_n, r однозначно определяются используемым протоколом передачи, величина практически зависит от единственного варьируемого параметра протокола – длины блока полезной информации b и вероятности p .

Для получения аналитической зависимости

$$\eta = \frac{t_1}{t_2}$$

найдем предварительно значение величин t_1 и t_2 .

По определению

$$t_1 = \frac{rb}{v}. \quad (7.1)$$

Время передачи закодированного помехоустойчивым кодом блока является случайной величиной вследствие случайного числа повторении искаженных блоков. Процесс передачи блоков информации в система передачи с решающей обратной связью показан на рисунке 7.1.

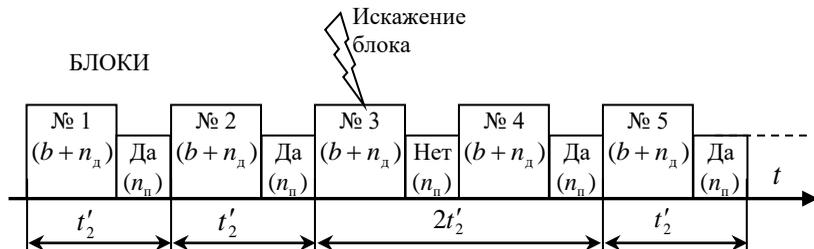


Рисунок 7.1 – Процесс передачи блоков данных

Время передачи t'_2 , с, закодированного блока данных $(b + n_d)$ с учетом потерь времени на передачу блока подтверждения (n_n) , но без учета возможных повторений при искажении (см. рисунок 7.1), будет

$$t'_2 = \frac{r(b + n_d + n_n)}{v}. \quad (7.2)$$

Для нахождения среднего значения времени передачи блока t_2 с учетом возможных повторений определим вероятность $P_{6н}$ как вероятность

безошибочной передачи полного блока данных. Обозначим через n_n число защищаемых помехоустойчивым кодом служебных символов.

Тогда в предположении о независимом характере искажения битов в канале связи

$$P_{\text{бит}} = (1-p)^{r(b+n_n)}. \quad (7.3)$$

Соответственно, вероятность искажения (и повторения) блока данных при передаче

$$P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{бит}} = 1 - (1-p)^{r(b+n_n)}. \quad (7.4)$$

Случайная величина ξ , равная времени передачи блока данных с учетом добавления служебных символов, передачи блока подтверждения, а также повторной передачи искаженных блоков, будет иметь следующее дискретное распределение:

Значение случайной величины ξ	Вероятность данного события
t'_2	$P_{\text{бит}}$
$2t'_2$	$P_{\text{ош}} P_{\text{бит}}$
$3t'_2$	$P_{\text{ош}}^2 P_{\text{бит}}$
\dots	\dots
kt'_2	$P_{\text{ош}}^{k-1} P_{\text{бит}}$

Отсюда среднее время передачи блока t_2 равно математическому ожиданию случайной величины ξ составит

$$t_2 = P_{\text{бит}} t'_2 \sum_{k=0}^{\infty} k P_{\text{ош}}^{k-1}. \quad (7.5)$$

Поскольку

$$\sum_{k=0}^{\infty} k P_{\text{ош}}^{k-1} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{dP_{\text{ош}}^k}{dP_{\text{ош}}} = \frac{1}{(1-P_{\text{ош}})^2} = \frac{1}{P_{\text{бит}}^2},$$

то из формулы (7.5) можно получить

$$t_2 = P_{\text{бит}} t'_2 \frac{1}{P_{\text{бит}}^2} = \frac{t'_2}{P_{\text{бит}}}. \quad (7.6)$$

В окончательном виде [см. выражение (7.2)] среднее время передачи блока с учетом повторений

$$t_2 = \frac{r(b+n_n+n_n)}{v(1-p)^{r(b+n_n)}}. \quad (7.7)$$

Следовательно, коэффициент эффективной скорости передачи данных

$$\eta = \frac{t_1}{t_2} = \frac{b(1-p)^{r(b+n_n)}}{(b+n_n+n_n)}. \quad (7.8)$$

Коэффициент η показывает, как уменьшается эффективная скорость передачи информации за счет добавления служебных символов в каждый блок, а также за счет передачи блоков подтверждения и повторных передач искаженных блоков.

Обозначив через n_c объем служебной информации на каждый передаваемый блок, т. е.

$$n_c = n_d + n_n,$$

можно записать коэффициент эффективной скорости передачи в виде

$$\eta = \frac{b(1-p)^{r(b+n_c)}}{b+n_c}. \quad (7.9)$$

Поскольку n_d, n_n, r являются фиксированными величинами и зависят только от вида выбранного протокола передачи, а величина p определяется характеристиками используемого канала связи, можно рассматривать η как функцию одной переменной b (длина блока полезной информации). Вычисление коэффициента η по формуле (7.9) для каналов связи различного качества производится для набора параметров p (например $p = 10^{-4}$ или $p = 10^{-5}$), определяющих вероятность искажения бита при передаче по данному каналу связи.

Из формулы (7.9) видно, что $\eta \rightarrow 0$ как при $b \rightarrow 0$ (т. е. для малых значений длины блока полезной информации), так и при $b \rightarrow \infty$ (для очень больших значений длины блока).

Таким образом, можно найти максимум выражения (7.9), который достигается при оптимальном значении длины блока $b_{\text{опт}}$.

Путем дифференцирования выражения (7.9) по переменной b и приравнивания результата к 0 можно найти оптимальное значение длины блока $b_{\text{опт}}$, при которой достигается максимум коэффициента эффективной скорости передачи:

$$b_{\text{опт}} = -\frac{n_c}{2} + \sqrt{\frac{n_c^2}{4} - \frac{n_c}{r \ln(1-p)}}. \quad (7.10)$$

Соответственно максимальное значение коэффициента эффективной скорости передачи, которого можно добиться в канале связи с вероятностью искажения бита p ,

$$\eta_{\text{max}} = \frac{b_{\text{опт}}(1-p)^{r(b_{\text{опт}}+n_c)}}{b_{\text{опт}}+n_c}. \quad (7.11)$$

Применим полученные выше результаты для сравнения эффективности широко применяемых в сети передачи данных АСУЖТ асинхронного протокола АП-70 и синхронного протокола BSC.

7.1.1 Описание асинхронного протокола АП-70

Этот протокол применяется в сетях передачи данных АСУЖТ дорожного уровня при обмене информацией, например, между абонентами и концентраторами информации, между концентраторами и системой АСОУП дорожного уровня, а также при подключении АРМ на базе ПЭВМ к АСОУП по выделенным или коммутируемым телефонным каналам связи.

В этом протоколе каждый передаваемый блок полезной информации дополняется служебными символами «Номер блока» (1 символ), «Конец блока» (1 символ) и «Контрольная последовательность блока» (1 символ защиты на четность одноименных двоичных разрядов всех символов блока, включая «Конец блока»). Отсюда $n_1 = 3$, $n_3 = 3$.

Блок подтверждения в протоколе АП-70 состоит из одного символа (положительный или отрицательный ответ принимающей стороны на каждый принятый блок). Следовательно, $n_1 = 1$. Поскольку в асинхронном протоколе каждый символ (байт) дополняется одним стартовым и двумя стоповыми битами, то $r = 11$.

Таким образом, для протокола АП-70 среднее время t_2 передачи блока длиной b символов полезной информации с учетом повторений [см. формулу (7.7)] составит

$$t_2(\text{АП-70}) = \frac{11(b+4)}{V(1-p)^{11(b+3)}}. \quad (7.12)$$

Из формулы (7.9) коэффициент эффективной скорости для протокола АП-70

$$\eta = \frac{b(1-p)^{11(b+3)}}{b+4}, \quad (7.13)$$

а оптимальную длину блока, обеспечивающую максимум эффективной скорости протокола АП-70, можно определить из (7.10):

$$b_{\text{опт}}(\text{АП-70}) = -2 + \sqrt{4 - \frac{4}{11 \ln(1-p)}}. \quad (7.14)$$

7.1.2 Описание синхронного протокола BSC

Этот протокол применяется в сети передачи данных АСУЖТ при межмашинном обмене между ВЦ дорожного и сетевого уровней, а также при

обмене между терминалами и центром системы «Экспресс-2» и между отдельными центрами вычислительной сети «Экспресс-2».

В этом протоколе каждый передаваемый блок дополняется следующими служебными символами: «Заполнитель» (1 символ), «Синхронизация» (2 символа), «Начало текста» (1 символ), «Конец блока» (1 символ), «Контрольная последовательность блока» (2 символа циклического кода с образующим полиномом 16-й степени) и «Заполнитель» (1 символ). Отсюда $n_d = 8$.

Циклическим кодом при передаче защищается полезная информация, а также «Конец блока» и два символа «Контрольной последовательности блока», поэтому $n_s = 3$.

Блок подтверждения в протоколе BSC состоит из 6 символов (1 символ-заполнитель, 2 символа синхронизации, 2 символа положительного или отрицательного подтверждения, 1 символ-заполнитель). Следовательно, $n_n = 6$, $n_c = n_d + n_s = 14$.

Каждый символ при передаче протоколом BSC кодируется восемью битами, $r = 8$.

Тогда для протокола BSC среднее время t_2 передачи блока длиной b символов полезной информации с учетом повторений (см. формулу 7.7) составит

$$t_2(\text{BSC}) = \frac{8(b+14)}{V(1-p)^{8(b+3)}}. \quad (7.15)$$

Из (7.9) коэффициент эффективной скорости для протокола BSC

$$\eta(\text{BSC}) = \frac{b(1-p)^{8(b+3)}}{b+4}, \quad (7.16)$$

а оптимальную длину блока можно определить из (9.10):

$$b_{\text{опт}}(\text{BSC}) = -7 + \sqrt{49 - \frac{49}{8 \ln(1-p)}}. \quad (7.17).$$

7.1.3 Результаты сравнения эффективности протоколов

Сравнение эффективности протоколов производится по среднему времени t_2 передачи блока длиной b символов для протоколов АП-70 и BSC по формулам (7.12) и (7.15), а также по коэффициенту эффективной скорости по формулам (7.13) и (7.16).

Кроме того, для каждого протокола вычисляется оптимальная длина блока и максимум коэффициента эффективной скорости передачи для каналов связи с вероятностью искажения бита p от 10^{-3} до 10^{-5} .

Результаты расчета среднего времени передачи блока длиной b символов полезной информации приведены в таблице 7.1. Расчеты произведены для наиболее типичных значений вероятности искажений бита в каналах связи ($p = 10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-5}$).

Т а б л и ц а 7.1 – Среднее время передачи блока длиной b для протоколов АП-70 и BSC и каналов различного качества на скорости 1200 бит/с

В секундах

Длина блока b (символов)	Значения среднего времени передачи для различных значений вероятности появления ошибок					
	$p = 10^{-3}$		$p = 10^{-4}$		$p = 10^{-5}$	
	t_2 (АП-70)	t_2 (BSC)	t_2 (АП-70)	t_2 (BSC)	t_2 (АП-70)	t_2 (BSC)
10	0,15	0,18	0,13	0,16	0,13	0,16
20	0,28	0,27	0,23	0,23	0,22	0,23
30	0,45	0,38	0,32	0,30	0,31	0,29
50	0,89	0,65	0,52	0,44	0,50	0,43
100	2,96	1,73	1,07	0,82	0,96	0,77
200	17,46	7,24	2,34	1,68	1,91	1,45
300	78,23	23,67	3,89	2,67	2,88	2,14
400	312,51	69,48	5,77	3,81	3,87	2,85

Из таблицы 7.1 видно, что асинхронный протокол АП-70 несколько эффективнее протокола BSC только при передаче данных блоками длиной до 10–15 символов. Такие длины, как будет показано ниже, не соответствуют оптимальным значениям длин блоков, при которых достигается максимум эффективной скорости для реальных каналов связи со значениями p от 10^{-3} до 10^{-6} .

Для больших значений длин блоков протокол BSC в 1,3–1,5 раза более эффективен, чем протокол АП-70 (см. таблицу 7.1), причем эффективность протокола BSC по сравнению с АП-70 резко возрастает при передаче данных по каналам связи с низким качеством (столбец таблицы 7.1 для $p = 10^{-3}$).

Оптимальные значения длин блоков и максимумы коэффициента эффективной скорости для протоколов АП-70 и BSC и каналов связи различного качества приведены в таблице 7.2.

Т а б л и ц а 7.2 – Оптимальные значения длин блоков b для протокола АП-70 и BSC и каналов связи с p от 10^{-2} до 10^{-6} и соответствующие значения максимального коэффициента эффективной скорости передачи данных

	АП-70	BSC
--	-------	-----

Вероятность появления ошибки p	Оптимальная длина блока $b_{\text{опт}}$	Коэффициент эффективной скорости η_{max}	Оптимальная длина блока $b_{\text{опт}}$	Коэффициент эффективной скорости η_{max}
10^{-3}	17	0,47	36	0,51
10^{-4}	58	0,64	126	0,81
10^{-5}	188	0,70	410	0,94

По таблице 7.2 можно определить, что на реальных каналах связи СПД АСУЖТ ($p = 10^{-4}$; 10^{-5}) оптимальная длина блока для протокола АП-70 составит 58; 188 символов, а для протокола BSC – 126; 410 символов. При этом соответствующие значения максимального коэффициента эффективной скорости передачи равны 0,64; 0,70 и 0,81; 0,94.

Приведенные выше численные результаты показывают, что эффективность синхронного протокола BSC на реальных каналах связи СПД АСУЖТ значительно превосходит эффективность асинхронного протокола АП-70. В связи с этим в СПД АСУЖТ, а также и в других сетях необходимо переходить на использование синхронных протоколов, что позволит уменьшить время занятия каналов, загрузку узлов коммутации и повысить общую эффективность сети передачи данных.

Одновременно следует заметить, что и при использовании синхронных протоколов для обеспечения максимальной эффективной скорости передачи необходимо для каналов определенного качества выбирать соответствующие значения оптимальной длины блока полезной информации.

7.2 Методика расчета среднего времени занятия канала при передаче сообщений

Среднее время занятия канала при передаче сообщений необходимо знать для проведения системотехнических расчетов в процессе проектирования АСУ и определения таких характеристик системы, как время реакции, общее время доставки сообщений, потери на ожидание, требуемое число каналов связи, скорость передачи и т. п.

Пусть требуется определить среднее время T занятия канала при передаче сообщения, содержащего M символов (байтов) полезной информации. Расчет производится в такой последовательности:

– с учетом используемого протокола передачи данных определяются величины n_d , n_n , r , n_s , n_c ;

– на основании измерения характеристик используемого канала связи определяется вероятность p искажения бита в канале связи и по формуле (7.10) рассчитывается оптимальная длина блока, обеспечивающая

максимальное значение эффективной скорости передачи данных для используемого протокола и канала связи;

– на основании формулы (7.7) рассчитывается среднее время передачи блока оптимальной длины при заданной (или выбранной на основе характеристик используемых модемов) скорости передачи данных v , бит/с, в канале связи

$$t_2 = \frac{r(b_{\text{опт}} + n_{\text{д}} + n_{\text{п}})}{v(1-p)^{r(b_{\text{опт}} + n_{\text{з}})}}; \quad (7.18)$$

– производится расчет среднего времени занятия канала при передаче сообщения длиной M символов по формуле

$$T = \left\lceil \frac{M}{b_{\text{опт}}} \right\rceil t_2, \quad (7.19)$$

где символ $\lceil \cdot \rceil$ означает взятие ближайшего большего целого числа при делении M на $b_{\text{опт}}$.

Пример 7.1. Рассчитать среднее время T занятия канала при передаче сообщений длиной 1000 символов по протоколу BSC между терминалами и центром системы «Экспресс-2» по телефонному каналу связи с вероятностью искажения бита $p = 10^{-5}$ и скоростью передачи 1200 бит/с.

Имеются следующие расчетные значения: $M = 1000$ символов; $p = 10^{-5}$; $v = 1200$ бит/с.

Для протокола BSC: $n_{\text{д}} = 8$; $n_{\text{п}} = 6$; $r = 8$; $n_{\text{з}} = 3$; $n_{\text{с}} = 14$.

По формуле (7.17) для протокола BSC определяется $b_{\text{опт}} = 410$ символов.

По формуле (7.15) для протокола BSC находится $t_2 = 2,9$ с.

По формуле (7.19)

$$T = \left\lceil \frac{1000}{410} \right\rceil \cdot 2,9 = 3 \cdot 2,9 = 8,7 \text{ с.}$$

Таким образом, время передачи сообщения длиной 1000 символов составит 8,7 с.

Контрольные вопросы

- 1 Какой показатель используется в качестве критерия эффективности протокола канального уровня и как он определяется?
- 2 Какую основную функцию выполняют протоколы канального уровня?
- 3 Какие протоколы канального уровня Вы знаете? Какова область применения каждого из них?
- 4 Назовите показатели, характеризующие протоколы канального уровня.
- 5 С какой целью производится расчет среднего времени занятия канала при передаче сообщения?

8 ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Цель работы. Ознакомиться с основными методами анализа информационных потоков. Научиться разрабатывать логические схемы и с их помощью рассчитывать временные характеристики информационных процессов на железнодорожном транспорте.

8.1 Цели и методы анализа информационных процессов

Анализ информационных процессов осуществляется с целью выявления свойств и получения количественных оценок показателей, характеризующих свойства процесса. Для систем управления наибольший интерес представляют временные параметры процесса: среднее время завершения информационного процесса; дисперсия длительности процесса; среднее время получения ответа на запрос, направляемый в информационную систему. Знание временных характеристик информационных процессов позволяет определить соответствие параметров информационной системы требованиям, сформулированным в техническом задании.

Существуют два способа получения оценок временных характеристик: путем построения и анализа математической модели информационного процесса и с помощью эксперимента, проводимого с информационной системой. Последний способ предполагает, что информационная система либо уже существует, либо в ходе проектирования создается макет системы (в этом случае макет системы является объектом экспериментальных исследований).

Математическая модель описывает информационный процесс на языке математических и логических отношений (в виде алгебраических или дифференциальных уравнений, систем уравнений, логических операторов и т. д.). Один и тот же информационный процесс может иметь много различных моделей. Вид модели определяется задачами моделирования (какие характеристики процесса необходимо оценить). Различный вид будут иметь модели, например, процесса расчета заработной платы для работников некоторой организации в случаях, когда модель предполагается использовать для оценки времени решения задачи или вероятности ошибки

при начислении заработной платы (достоверности информации). В каждом из этих случаев в модели присутствуют только те показатели процесса расчета заработной платы, которые важны именно для данного использования. Для оценки времени решения задачи надо знать порядок выполнения операций и длительность каждой операции, для оценки достоверности – вероятность появления ошибок при осуществлении каждой операции, используемые методы контроля и показатели их эффективности (вероятности пропуска ошибок).

Обычно процедура анализа информационного процесса начинается с его словесного описания (описательной модели). Далее переходят к модели графической, а от графической – к математической.

Важнейшая проблема использования для анализа информационных процессов их математических моделей – это проблема правильности (или адекватности) выбранной модели. Проверить адекватность модели можно, сопоставляя результаты расчетов по модели (результаты моделирования) с результатами эксперимента (наблюдений) над реальной (действующей) системой.

Рассмотрим основные понятия описания модели.

Логическая схема информационного процесса – это графическая модель, предназначенная для оценки временных характеристик. Сочетание логической схемы с правилами представления информационного процесса набором типовых элементов и моделями расчета временных характеристик типовых элементов представляет собой модель математическую (аналитического типа).

Граф состояний информационной системы – графическая модель, описывающая процессы изменения состояний информационной системы. Правила перехода к системе дифференциальных уравнений для вероятностей состояний позволяют построить математическую аналитическую модель информационного процесса.

Сеть Петри – графическая модель, описывающая системы, в которых одновременно реализуется множество параллельных информационных процессов. Эта графическая модель в сочетании с логическими правилами изменения состояний (маркировки) сети Петри, позволяющими воспроизвести динамику функционирования информационной системы, представляет собой математическую модель имитационного типа.

8.2 Система условных обозначений

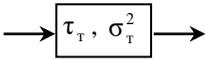
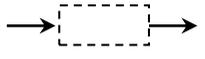
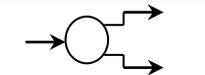
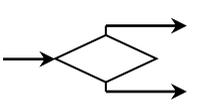
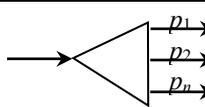
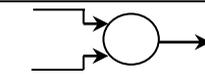
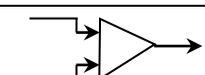
Рассмотренные ниже модели предназначены для оценки временных характеристик информационных процессов: времени завершения (при детерминированной модели), среднего времени и дисперсии времени завер-

шения процесса (при вероятностных моделях, содержащих элементы неопределенности).

При оценке временных характеристик несущественны сведения о том, где, когда и с помощью каких средств реализуется та или иная операция. Зато необходимо знать характеристики длительности выполнения операции и правила, определяющие характер их следования.

Для оценки временных характеристик информационных процессов удобно использовать модели с символикой, показанной в таблице 8.1.

Т а б л и ц а 8.1 – Условные обозначения на логических схемах

№ п/п	Графическое изображение	Название элемента	Примечания
1		Операция	τ_T – среднее время выполнения операции; σ_T^2 – дисперсия времени выполнения операции. Допускается вместо τ_T, σ_T^2 указывать функцию плотности распределения времени выполнения операции $f_T(t)$ или, в случае детерминированной операции, ее длительность T
2		Фиктивная операция	Операция, не требующая затрат времени на выполнение (допускается не изображать прямоугольник вообще)
3		Разветвитель И	Все выходящие связи инициируются одновременно
4		Разветвитель ИЛИ (по условию)	Внутри ромба записывается условие ветвления. В схемах, подготовленных для расчетов, этот символ заменяется символом 5
5		Разветвитель ИЛИ (по вероятности)	$\sum_{i=1}^n p_i = 1$
6		Объединитель И	Выходная связь инициируется после инициализации всех входных связей
7		Объединитель ИЛИ	Выходная связь инициируется любой входной

В позиции 1 таблицы 8.1 в прямоугольнике, обозначающем операцию, указываются ее характеристики. Как правило, это средняя длительность τ_t и дисперсия длительности σ_t^2 . При детерминированных операциях указывается ее длительность T ; при случайной длительности допускается вместо τ_t и σ_t^2 приводить плотность распределения вероятностей длительности операции.

Для получения для τ_t и σ_t^2 какой-либо операции требуется детально описать ее в терминах логических схем.

Аналогичные пояснения даны и ко всем остальным символам таблицы 8.1.

На основе символики таблицы 8.1 могут быть описаны типовые элементы логических схем информационных процессов (таблица 8.2). Основное требование к перечню типовых элементов – это требование полноты: совокупность вводимых элементов должна быть достаточной для представления выбранного класса информационных процессов.

Т а б л и ц а 8.2 – Типовые элементы моделей процессов обработки данных

№ п/п	Графическое изображение	Наименование	Примечания
1		Последовательное соединение	–
2		Параллельные операции	–
3		Схема ветвления	$\sum_{i=1}^n p_i = 1$
4		Цикл	Если число повторений цикла фиксировано (например, всегда равно N), то следует элемент 1 с N прямоугольниками
5		Цикл с ограниченным числом k повторений	–

В таблице 8.3 приведены выражения для длительностей T , средних длительностей τ_t и дисперсий длительностей σ_t^2 выполнения действий, представленных в виде типовых элементов 1–4 таблицы 8.2 для случая,

когда время выполнения каждой элементарной операции типовой схемы детерминированное (не случайное).

Т а б л и ц а 8.3 – Расчет временных характеристик для типовых элементов логических схем при детерминированных длительностях операций

№ п/п	Наименование	Графическое изображение	T, τ_T	$D(T) = \sigma_T^2$
1	Последовательное соединение		$T = \sum_{i=1}^n T_i$	–
2	Параллельные операции		$T = \max[T_1, T_2]$	–
3	Схема ветвления		$m_T = \sum_{i=1}^n p_i T_i$	$D(T) = \sum_{i=1}^n p_i (T_i - m_T)^2$
4	Цикл		$m_T = \frac{T_1 + p_2 T_2}{p_1}$	$D(T) = (T_1 + T_2)^2 \frac{1 + p_2}{p_1^2} - 2T_2(T_1 + T_2) \frac{1}{p_1} + T_2^2 - \left(\frac{T_1 + p_2 T_2}{p_1} \right)^2$

8.3 Расчетные формулы для оценки временных характеристик типовых элементов моделей информационных процессов и область применения логических схем

Расчет временных характеристик для последовательного соединения элементов логических схем при случайных длительностях операций производится по формулам

$$\tau_T = \sum_{i=1}^n \tau_i ; \quad \sigma_T^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{T_i}^2 .$$

Пользуясь таблицей 8.3, любой типовой элемент логической схемы можно заменить символом *операция* с характеристиками τ_T и σ_T^2 , определяемыми расчетным путем. Если при этом модель информационного процесса представлена в виде множества типовых элементов, связанных между собой по входам и выходам (вход одного является выходом другого и т. д.), то расчет временных характеристик сводится к последовательности преобразований исходной логической схемы, при которых типовые

элементы заменяются символом *операция*. При таких преобразованиях могут возникнуть трудности, требующие реконфигурации исходной логической схемы. При этом допустимыми являются любые преобразования исходной схемы, при которых не изменяются результирующие оценки временных характеристик.

Рассмотренные модели предназначены для оценки только временных характеристик: длительности информационного процесса, средней длительности и дисперсии длительности. При этом речь идет о ситуации, когда все ресурсы информационной системы используются для решения одной задачи. Иными словами, область применения этих моделей – оценка временных затрат на реализацию информационного процесса в условиях, когда не возникают конфликты между задачами (заявками) из-за ресурсов системы. Если на вход системы поступает поток заявок или в системе одновременно обрабатывается несколько заявок, требующих одних и тех же ресурсов, то следует использовать другие модели (модели систем и сетей массового обслуживания).

8.4 Пример применения логических схем информационных процессов

При прохождении поезда с одной дороги на другую в стыковом пункте готовится сообщение объемом k_1 алфавитно-цифровых символов. Это сообщение передается по каналам связи в ИВЦ дороги, сдающей поезд. В ИВЦ формируется телеграмма-натурный лист (ТГНЛ) объемом k_2 алфавитно-цифровых символов, который по каналам связи передается в ИВЦ принимающей дороги. Требуется оценить математическое ожидание и дисперсию времени T между моментом прохода поездом стыкового пункта и получением ТГНЛ ИВЦ принимающей дороги при следующих условиях:

- время подготовки сообщения о прохождении поездом стыкового пункта – случайная величина со средним значением 2 мин и дисперсией 1 мин²;
- объем сообщения $k_1 = 250$ алфавитно-цифровых символов, объем ТГНЛ $k_2 = 2500$ алфавитно-цифровых символов, каждый символ кодируется 8 двоичными разрядами;
- передача сообщений осуществляется блоками по 250 алфавитно-цифровых символов ($N = 250 \cdot 8 = 2000$ двоичных разрядов);
- при передаче возможно искажение передаваемых данных; вероятность искажения одного двоичного символа $q = 10^{-3}$;
- скорость передачи $v = 1200$ бит/с;
- при обнаружении ошибки в принятой информации (полагается, что метод контроля достоверности принятой информации не допускает пропуска ошибок) передача блока, содержащего ошибочные данные, повторяется до тех пор, пока блок не будет принят без ошибок;
- среднее время подготовки ТГНЛ составляет 8 мин, дисперсия – 2 мин².

На рисунке 8.1 приведена логическая схема описанного информационного процесса. Штриховыми линиями обозначены контуры типовых схем, соответствующих таблицам 8.2 и 8.3.

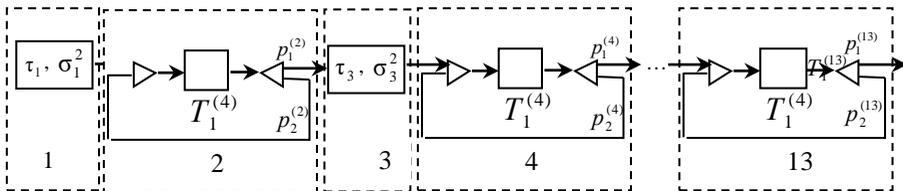


Рисунок 8.1 – Логическая схема информационного процесса

Схема 1 отображает операцию подготовки сообщения: $\tau_1 = 2$ мин; $\sigma_1^2 = 1$ мин².

Схема 2 – *цикл*, описывающий передачу сообщения в ИВЦ сдающей дороги. Объем сообщения совпадает с объемом блока. Время передачи блока

$$T_1^{(2)} = \frac{2000}{1200} \cong 1,67 \text{ с.}$$

Время повторной обработки блока из-за неправильной передачи $T_2^{(2)}$ принимается равным нулю.

Вероятность $p_1^{(2)}$ правильной передачи блока из 2000 двоичных символов при вероятности $q = 10^{-3}$ искажения каждого символа

$$p_1^{(2)} = (1 - q)^{2000} = 0,999^{2000} = 0,14.$$

Схема 3 отражает операцию подготовки ТГНЛ: $\tau_3 = 8$ мин; $\sigma_3^2 = 2$ мин².

Схемы 4–13 соответствуют *циклам*, отражающим процессы передачи 10 блоков данных, содержащих сведения из ТГНЛ (2500 алфавитно-цифровых символов ТГНЛ при объеме блока 250 символов). Очевидно, что

$$p_1^{(4)} = p_1^{(5)} = \dots = p_1^{(13)} = p_1^{(2)} = 0,999^{2000} = 0,14,$$

$$T_1^{(4)} = T_1^{(5)} = \dots = T_1^{(13)} = T_1^{(2)} = 1,67 \text{ с.}$$

Расчет проводят в такой последовательности:

1) находят характеристики времени выполнения циклов, пользуясь формулами таблицы 8.3:

$$m_2 = m_4 = m_5 = \dots = m_{13} = \frac{T_1^{(2)}}{p_1^{(2)}} = \frac{1,67}{0,14} = 11,92 \text{ с.},$$

$$\sigma_2^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \dots = \sigma_2^2 = (T_1^{(2)})^2 \frac{1 + p_2^{(2)}}{(p_1^{(2)})^2} - \frac{(T_1^{(2)})^2}{(p_1^{(2)})^2} = \frac{(T_1^{(2)})^2}{(p_1^{(2)})^2} (1 - p_1^{(2)}) = 122,2 \text{ с}^2.$$

2) преобразовывают логическую схему (см. рисунок 8.1) в схему последовательного соединения операций (рисунок 8.2);

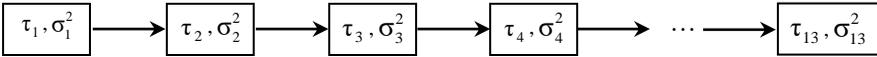


Рисунок 8.2 – Преобразованная схема информационного процесса

3) находят характеристики (τ_t и σ_t^2) случайного периода времени между моментами прохода поездом стыкового пункта и получения ТГНЛ ИВЦ принимающей дороги:

$$\tau_t = \sum_{i=1}^{13} \tau_i = 120 + 11,92 + 480 + 10 \cdot 11,92 = 731,12 \text{ с} = 12,12 \text{ мин.},$$

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{13} \sigma_i^2 = 3600 + 122,2 + 7200 + 10 \cdot 122,2 = 12144,2 \text{ с}^2 = 3,37 \text{ мин}^2.$$

В данном случае можно принять, что случайная величина T распределена по нормальному (гауссовскому) закону, поскольку T образуется в результате суммирования большого числа (13) независимых случайных величин. При этом оказывается возможным определить, например, такие характеристики информационного процесса, как вероятность его завершения в течение заданного времени T^* (например, в течение 10 мин) или период, в течение которого с заданной вероятностью p^* (например, $p^* = 0,95$) процесс будет завершен.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое логическая схема информационного процесса?
- 2 Перечислите типовые элементы моделей информационных процессов.
- 3 Какова область применения логических схем?
- 4 Какие временные характеристики информационных процессов можно рассчитать с помощью логических схем и какие исходные данные для этого требуются?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог / П. С. Грунтов, С. А. Бабченко, В. Г. Кузнецов и др. Под ред. П. С. Грунова. – М.: Транспорт, 1990. – 228 с.
- 2 Буянов В. А., Ратин Г. С. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1984. – 239 с.
- 3 Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте / П. С. Грунтов, С. И. Шкапич, В. Г. Кузнецов, А. А. Михальченко: Учеб. пособие. Ч. IV. – Гомель: БелИИЖТ, 1993. – 52 с.
- 4 Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. – М: Мир, 1980. – 610 с.
- 5 Дружинин Г. В., Сергеева И. В. Качество информации – М.: Радио и связь, 1990. – 172 с.
- 6 Инструкция по составлению натурального листа поезда формы ДУ-1: Приказ № 32Н от 20.03.2000 г.
- 7 Информационные технологии на железнодорожном транспорте / Под ред. Э. К. Лецкого, Э. С. Поддавашкина, В. В. Яковлева. – М.: УМК МПС России, 2001. – 668 с.
- 8 Математическая статистика: Лабораторный практикум / Г. Ю. Мишин, Е. Л. Сазонова, Т. Т. Снопок, Д. Н. Шевченко; Под ред. В. С. Сергиной. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 60 с.
- 9 Расчеты автоматизированных систем управления (на примере автоматизированных систем управления железнодорожным транспортом) / Под ред. Г. В. Дружинина. – М.: Транспорт, 1985. – 223 с.
- 10 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов / Под ред. П. С. Грунова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
- 11 Хаусли Т. Системы передачи и телеобработки данных. – М.: Радио и связь, 1994. – 453 с.
- 12 Е. П. Юшкевич, З. Н. Рогачева. Основные принципы разработки АСУ перевозочным процессом на железной дороге: Учеб. пособие. – Гомель: БелИИЖТ, 1990. – 67 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(информационное)

Основные типы грузовых вагонов и их нумерация

1-й знак – род вагона		2-й знак – осьность и основная характеристика вагона		3-й знак – дополнительная характеристика вагона	
2	Крытый	0	4-осн. с объемом кузова менее 120 м ³	0-9	Характеристики не содержит
		1-3	4-осн. с объемом кузова 120 м ³ и более		
		4-7	4-осн. с объемом кузова 120 м ³ и более уширенный		
4	Платформа	0	4-осн. с длиной рамы до 13,4 м	0-9	Характеристики не содержит
		2-6	4-осн. с длиной рамы 13,4 м и более		
6	Полувагон	0-2	4-осн. с люками в полу и торцевыми дверями	0-9	Характеристики не содержит
		4-7	4-осн. с люками в полу без торцевых дверей		
		8	4-осн. с глухим кузовом		
		9	8-осн.	0	С люками в полу и торцовыми дверями
				2-6	С люками в полу без торцовых дверей
				8	С глухим кузовом
7	Цистерна	0	Для нефтебитума и вязких нефтепродуктов	0	Для нефтебитума (бункерный с облегченной рамой)
				1-3	Для нефтебитума (бункерный полувагон)
				5-6	Для вязких нефтепродуктов
		1	4-осн. для нефти и темных нефтепродуктов	0-9	Характеристики не содержит
		2	4-осн для нефти, темных и светлых нефтепродуктов		
		3-4	4-осн. для светлых нефтепродуктов	0-6	С объемом котла 73,1 м ³
				9	С объемом котла 88,6 м ³
		6	4-осн. для химических грузов	0	Для серной кислоты
1	Для улучшенной серной кислоты				
3	Для меланжа				
			4	Для метанола	

Продолжение приложения А

1-й знак – род вагона		2-й знак – оснсть и основная характеристика вагона		3-й знак – дополнительная характеристика вагона	
7	Цистерна	6	4-осн. для химических грузов	5-8	Для остальных химических грузов
		7	4-осн. для пищевых продуктов	0	Для спирта
				1	Для молока
				2	Для растительного масла
				3-4	Для виноматериалов
				5	Для патоки
		9	8-осн. нефтебензиновая	8	Для остальных пищевых продуктов
				0-1	Для нефти и нефтепродуктов
8	Изотермический	0	4-осн. вагон-термос	0-1	Характеристики не содержит
		1	4-осн. вагон-ледник	0	С пристенными карманами
				4	С потолочными баками
				7	Для вина
		3	4-осн. автономный рефрижераторный вагон (АРВ)	0	Со служебным отделением для бригады
				1	Без служебного отделения для бригады, 19 м
				3-4	Без служебного отделения для бригады, 21 м
		4	4-осн. грузовой вагон в составе рефрижераторных	0	21-вагонный поезд
				1	12-вагонный поезд
		7	4-осн. грузовой вагон в составе 5-вагонных		0
1	Для секции ЗА-5 постройки ГДР с дизельным отделением со служебным техническим отделением				
2-6	Грузовой вагон секции постройки БМЗ с одним служебно-техническим отделением				

				7-9	Грузовой вагон секции ЗБ-5 постройки ГДР с одним служебно- техническим отделением
--	--	--	--	-----	--

Продолжение приложения А

1-й знак – род вагона		2-й знак – осьность и основная характеристика вагона		3-й знак – дополнительная характеристика вагона	
8	Изотермический	9	8-осный вагон в составе рефрижераторной секции	0-9	Характеристики не содержит
9	Прочие	0	4-осн. для перевозки грузов	0	Для апатитового концентрата с поднимающимся кузовом
				1	Для сырья минеральных удобрений
				3-6	Для минеральных удобрений
		1	4-осн. для перевозки грузов	0	Для агломерата и окатышей длиной 10 м
				2-4	Для агломерата и окатышей длиной 12 м
				6	Для технологической щепы
				8	Сборно-раздаточный
		2	4-осн. для перевозки грузов	0-4	Для среднетоннажных контейнеров на базе крытого полувагона
				5	Крытый для легковесных грузов (ЦМГВ)
				7	Крытый для автомобилей
		8	2-ярусная платформа для автомобилей	8	2-ярусная платформа для автомобилей
		3	4-осн. для перевозки грузов	0-6	Хоппер для цемента
				7-9	Цистерна для цемента
4	4-осн. (платформа) для перевозки грузов	0-2	Для большегрузных контейнеров длиной рамы менее 13,4 м		
		3	Для большегрузных контейнеров длиной рамы 13,4 м		
4	4-осн. (платформа) для перевозки грузов	4-9	Для большегрузных контейнеров длиной рамы 18,4 м		
5	4-осн. для перевозки грузов	0-8	Для зерна (хоппер)		
6	4-осн. для перевозки грузов	9	Для зерна на базе цементовоза (временно под зерно)		

				0	Для живой рыбы грузовой вагон 2-вагонной секции
--	--	--	--	---	---

Окончание приложения А

1-й знак – род вагона		2-й знак – осность и основная характеристика вагона		3-й знак – дополнительная характеристика вагона		
9	Прочие	6	4-осн. для перевозки грузов	1	Для живой рыбы одиначный вагон	
				3	Для скота с верхним расположением люков	
				4	Для скота 2-ярусный	
				5	Для скота с нижним расположением люков	
				6	Платформа для рулонной стали	
		7	4-осн. для перевозки грузов	0	Цистерна для кальцинированной соды	
5	Собственные					
3	Прочие	0-1	4-осн. хоппер-дозатор	0-4	ЦНИИ-2; ЦНИИ-3	
				5-8	ЦНИИ-ДВЗМ	
				2	4 осн. думпка	
				3	4 осн. думпка	
				4-5	4 осн. думпка	
		6	6-осн. вагон для перевозки грузов	4	Платформа	
				6	Полувагон	
				7	Цистерна	
				8	3-вагонная рефрижераторная секция	
		7	4-осн. служебно- технические вагоны рефрижераторных поездов и секции не для перевозки грузов	9	9	Остальные вагоны
					1	Вагон-машинное отделение 12-вагонной секции
2	Вагон-машинное отделение 21-вагонной секции или вагон- служебное помещение					
4	5-вагонная секция ЗБ-5 постройки ГДР					
3	Прочие	7	4-осн. служебно- технические вагоны рефрижераторных поездов и секции не для перевозки грузов	5	5-вагонная секция постройки БМЗ	
				6	Служебный вагон 2-ва- гонной секции для живой рыбы	
				7	Служебный вагон 3-ва- гонной секции, отдельный дизель- служебный вагон	

		9	Транспортеры		
--	--	---	--------------	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(информационное)

Перечень ошибок структурного и логического контроля входных сообщений

Номер ошибки	Номер исходного сообщения	Текст ошибки	Характер ошибки	Краткая аннотация ошибки
01	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 249, 555	Ю2 000.01	Несуществующий номер исходного сообщения	Исправить номер сообщения и ввести его заново в ЭВМ
02	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.02 NC	Количество показателей в фразе больше или меньше допустимого	<p>Для сообщения 02: служебная фраза может содержать минимум 11 показателей («дата и время» включительно) и максимум 15 показателей («Маршрут» включительно). Информационная фраза – минимум 3 показателя («Ролики» включительно), максимум 15 показателей («Примечание» включительно)</p> <p>Для сообщения 09: а) служебная фраза – min 11 показателей («Минуты» включительно) и max 12 показателей («Номер парка / номер пути» включительно). Информационная фраза – min 2 показателя («Номер вагона» включительно), max 15 показателей («Примечание» включительно); б) по операции прицепки (код 14): после информационной фразы с кодом корректировки 14 должна следовать информационная фраза с кодом корректировки 00, которая включает номер вагона и необходимые сведения о нем</p>

02	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.02 NC	Количество показателей в фразе больше или меньше допустимого	<p>Для сообщения 241: служебная фраза должна содержать 8 показателей («Код операции» включительно). Информационная фраза – минимум 4 показателя («Масса груза» включительно), максимум 13 показателей («Примечание» включительно).</p> <p>Для сообщения 242: служебная фраза должна содержать 8 показателей («Код операции» включительно). Информационная фраза – минимум 2 показателя («Номер вагона» включительно), для первой фразы – минимум 4 показателя («Код грузополучателя» включительно) и максимум 7 показателей («Примечание» включительно).</p> <p>Для сообщений 200, 201, 204: служебная фраза может содержать минимум 11 показателей («Дата и время» включительно) и максимум 13 показателей (для 200 «Номер пути перегона»; 201, 204 «Признак работы с локомотивом» включительно).</p> <p>Для сообщений 202, 203, 205: может содержать минимум 11 показателей («Минута» включительно) и максимум 15 показателей («Номер парка / номер пути» включительно).</p> <p>Для сообщений 200, 201: информационная фраза может содержать минимум 7 показателей («Табельный номер машиниста» включительно) и максимум 8 показателей («Фамилия машиниста» включительно)</p>
----	--	--------	---	--

Продолжение приложения Б

Номер ошибки	Номер исходного сообщения	Текст ошибки	Характер ошибки	Краткая аннотация ошибки
03	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.03	Отсутствуют информационные фразы или все информационные фразы ошибочны	
04	02, 09 241, 555	.04	Неверно оформлен маршрут, группа вагонов, следующих по одной накладной, сцеп, рефрижераторные секции и поезда	Маршрут, группа вагонов, следующих по одной накладной, сцеп, рефрижераторные секции и поезда оформляются согласно инструкции по ДУ-1
05	02, 09, 241, 242, 248, 249, 555	.05	Не возрастают номера информационных фраз исходного сообщения	Для сообщений 02, 241, 242 : если в сообщении нет других ошибок, то сообщение принимается к расчету, при этом ЭВМ нумерует информационные фразы в порядке возрастания фраз (ошибка является предупреждающей) Для сообщений 09, 248, 249 : а) после информационной фразы с кодами корректировки 02, 04, 14, 33, 81, 83, 86, 88, 91 должна следовать информационная фраза с кодом корректировки 00, содержащая номер вагона и необходимые сведения о нем; б) в первой информационной фразе код корректировки не может быть равен 00
07	02, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.07 NC	Отсутствует значение требуемого показателя исходного сообщения	Необходимо дополнить фразу требуемыми показателями (NC – номер показателя)
08	02, 200–205, 333,	.08 NC1-NC2	Значение показателей	К фразе исходного сообщения показатель NC1

09	241, 242, 244, 248, 249, 555	.09 18	во фразе не соответствует другу Неверно оформлен маршрут	должен соответствовать показателю NC2 Если в служебной фразе сообщения 02 признак маршрута проставлен от 1 до 4, то в информационной фразе принадлежность вагона к маршруту указывается цифрой 2. Общая масса маршрута против первого вагона разрешается проставлять только при перевозке грузов прямыми и кольцевыми маршрутами. При формировании маршрутной групповой отправки с признаком от 3 до 6 масса груза должна быть указана против каждого вагона
09	200–205, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.09 NC1-NC2	Значение показателей служебной и информационной фраз не соответствуют друг другу	Показатель NC1 служебной фразы должен соответствовать показателю NC2 информационной фразы
10	02, 09, 241, 242, 248, 249, 555	.10	Одинаковые инвентарные номера вагонов	
11	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.11	Код пункта передачи из автоответа не соответствует станции совершения операций из сообщения	
12	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.12	Сбой ЭВМ	

13	02, 09, 200-205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.13	Нет начала «(:» или конца «:»)» исходного сообщения	
----	--	-----	---	--

Продолжение приложения Б

Номер ошибки	Номер исходного сообщения	Текст ошибки	Характер ошибки	Краткая аннотация ошибки
14	02	.14	В ЭВМ для сообщения 02 есть информация о поезде с подробным индексом	Если при поступлении сообщения 02 установлено, что в ЭВМ есть сведения о поезде с таким же индексом (на который не передавались другие сообщения) и совпадают инвентарные номера хотя бы у трех вагонов, то сообщение принимается к расчету, заменяя предыдущее; в противном случае сообщение принимается к обработке, присваивая третий знак порядковому номеру этого состава (слева относительно двух основных) и информирует об этом абонента
14	09, 200–205, 244, 333, 555	.14	Информации о данном поезде нет в ЭВМ или в ней имеются ошибки. В ЭВМ нет информации о вагонах, на которые пришло информационное сообщение	
15	02, 09, 241, 555	.15 NC	Недопустимое значение служебных символов Щ1, Щ2, апостроф	NC – номер показателя, который принимает недопустимое значение. Символ Щ1 используется для пропуска показателей с 4 по 8 включительно; Щ2 – для пропуска нулевых показателей с 9 по 14 включительно; ‘(апостроф) – для разделения (начиная с 4-го показателя включительно) буквенного и буквенно-цифрового примечания от остальной информации в случае, когда нужно опустить незначимые реквизиты строки до графы «Примечание»

16	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.16 NC	Недопустимое значение показателя исходного сообщения	NC – номер показателя, который принимает недопустимое значение. Для сообщений 09 : а) код корректировки может принимать только значения 01, 02, 03, 04, 06, 08, 11, 14, 33, 81, 83, 86; б) нельзя удалять группу вагонов из маршрута с одной массой в голове, если масса груза после удаления группы больше, чем суммарная масса вагонов в маршруте
17	02, 09, 200–205, 333, 241, 242, 244, 248, 249, 555	.17 NC	Количество знаков в показателе больше или меньше допустимого или недопустимый (нецифровой) символ	
19	09, 248, 249, 555	.19	Корректируемых фраз нет в исходном сообщении	Для сообщения 09 ошибка возникает, когда в составе поезда нет отцепляемого, перецепляемого вагона, вагона, у которого корректируются данные, или вагона, за которым (перед которым) вставляются или прицепляются вагоны. Для сообщений 248, 249 ошибка возникает, когда в ЭВМ нет удаляемого вагона или вагона, за которым должны вставляться вагон или группа вагонов
20	241, 242, 244, 248, 249	.20	Нарушена порядковая нумерация сообщений	
21	200, 201, 202	.21	Локомотив отсутствует в числе контролируемых	
22	02, 09, 248, 249	.22	Недопустимый интервал времени между текущей и предыдущими операциями	Дата и время в сообщении, переданном со станции, не могут быть меньше текущих более чем на 12 часов

Окончание приложения Б

Номер ошибки	Номер исходного сообщения	Текст ошибки	Характер ошибки	Краткая аннотация ошибки
23	200-205	.23	Нарушена логическая операция с поездом	Текущая операция, указанная в сообщении, не может следовать непосредственно за предыдущей операцией с поездом
25	02, 09, 200–205	.25	Время совершения операций дольше текущего	Для сообщений 02, 09 время, указанное в служебной фразе, не должно превышать времени ЭВМ больше чем на 10 мин. Для сообщений 200–205 время, указанное в служебной фразе, не должно превышать времени ЭВМ
26	09, 200–205	.26	Дата и время совершения операций меньше времени предыдущего сообщения	Дата и время совершения операций меньше или равны дате и времени предыдущего сообщения
33	02, 09, 200, 201, 202, 241, 242, 248, 249, 555	.33 02	Неверно указан контрольный знак в инвентарном номере вагона (локомотива)	
34	02	.34	Количество фраз в сообщении больше допустимого предела	
90	02, 09	.90	Нарушение плана формирования поездов	

		или вагонов	
--	--	-------------	--

92	02, 09	.92 XXX	Поезд недогружен (указывается масса недогруза в тоннах – XXX)	Ошибка является предупреждающей и исправлений не требует
93	02, 09	.93 XX	Поезд следует с нарушением нормы длины (указывается количество недогруженных вагонов)	Ошибка является предупреждающей и исправлений не требует
P1	200–205	.P1	Повторный ввод	В ЭВМ вводится сообщение, которое уже принято

Учебное издание

Александр Александрович ЕРОФЕЕВ
Владимир Гаврилович КУЗНЕЦОВ

Информационные технологии на железнодорожном транспорте
Пособие по выполнению практических работ

Редактор *И. И. Эвентов*
Корректор *М. П. Дежко*
Компьютерный набор и верстка – *А. А. Ерофеев*

Подписано в печать 04.08.03 Формат 60 × 84 ^{1/16}.
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 4,96. Тираж 300 экз.
Изд. № 3932. Зак. №

Редакционно-издательский отдел БелГУТа, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лицензия ЛВ № 57 от 22.10.02 г.

Типография БелГУТа, 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лицензия ЛП № 360 от 26.07.99 г.