



Основные положения базовых стандартов ГОСТ Р МЭК на устройства и системы телемеханики

Александр Вулис, Виктор Сумительнов

Приведены основные положения серии базовых стандартов на устройства и системы телемеханики, которые разработаны МЭК и введены в нашей стране для того, чтобы российские разработки в этой области соответствовали международным требованиям и имели перспективу унификации технических решений.

Часть 2

При автоматизации пространственно рассредоточенных объектов на базе систем телемеханики (СТМ) системному интегратору необходимо решать задачу организации телемеханического взаимодействия автоматизированного рабочего места диспетчера, входящего в состав телемеханического пункта управления (ПУ), с размещёнными на объектах устройствами телемеханики (УТМ), входящими в состав контролируемых телемеханических пунктов (КП).

Серия стандартов ГОСТ Р МЭК 870, часть 5 «Протоколы передачи» [9-13] предлагает системному интегратору пути стандартизированных решений по организации взаимодействия ПУ и КП, которое рассматривается в рамках структуры повышенной производительности ЕРА (Enhanced Performance Architecture), являющейся упрощённой моделью открытых систем и содержащей три уровня: физический, канальный, пользовательский.

Требования физического уровня определяют интерфейс между УТМ и

АПД — аппаратурой передачи данных (см. табл. 6 в [16]). При этом на АПД возлагается выполнение следующих функций:

- преобразования телемеханического сигнала;
- гальванической развязки УТМ от канала связи;
- контроля качества сигнала;
- обеспечения побитовой синхронизации, добавления или устранения признаков синхронизации кадра (если эта функция не выполняется на канальном уровне);
- определения состояний канала связи (занятости, ожидания, повреждения).

Характеристиками физического уровня являются скорость передачи сигнала, помехоустойчивость, отношение сигнал/помеха, вероятность искажений бита, вероятность стирания бита.

Требования протокольного взаимодействия ПУ и КП на канальном и пользовательском уровнях, а также на уровне пользовательских процессов излагаются в стандартах серии ГОСТ Р МЭК 870-5, представленных в табл. 14.

Классы организации передачи и форматы кадров

Стандарты [9, 10] на канальном уровне определяют требования к реализации следующих телемеханических функций: обеспечения доступа к тракту передачи; задания последовательности кадров сообщений и её расшифровки; добавления или устранения маркеров кадра (если эта функция не выполняется АПД); обнаружения ошибок синхронизации кадра или ошибок размера кадра; определения кадров, адресованных конкретной станции; сообщения об устойчивых ошибках передачи; переключения на резервный канал при необходимости; сообщения о состоянии конфигурации линии связи. На канальный уровень возлагается обеспечение достоверности передачи сообщений в соответствии с требованиями классов I1, I2 и I3 (см. табл. 13 в [16]) путём эффективной защиты от ошибочных битов и ошибочных кадров, от потерь информации и появления непредусмотренной информации (образование сообщений из помех), от разрывов или перестановок в связанных массивах информации. Это достигается выбором эффективных принципов организации передачи и форматов кадров телемеханических сообщений.

В стандарте [9] установлены требования к условиям передачи данных в СТМ и к форматам кадров переменной или фиксированной длины, обеспечивающим необходимые показатели до-

Таблица 14

Перечень стандартов, определяющих протоколы передачи

Уровни взаимодействия	Определяющие стандарты	Предмет стандартизации «Протоколы передачи»
Пользовательские процессы	ГОСТ Р МЭК 870-5-5	Основные прикладные функции
Модель ЕРА: уровень 7 (пользовательский)	ГОСТ Р МЭК 870-5-4	Определение и кодирование элементов пользовательской информации
	ГОСТ Р МЭК 870-5-3	Общая структура данных пользователя
Модель ЕРА: уровень 2 (канальный)	ГОСТ Р МЭК 870-5-2	Процедуры в каналах передачи
	ГОСТ Р МЭК 870-5-1	Форматы передаваемых кадров

стоверности при асинхронной передаче последовательных кадров в полудуплексном и дуплексном режимах.

Организация передачи телемеханических сообщений в канале связи регламентируется тремя классами, представленными в табл. 15.

В зависимости от конфигурации телемеханической сети все три класса относятся к организации передачи информации между одной передающей станцией и либо одной станцией назначения (одиночный адрес), либо группой станций назначения (групповой адрес), либо всеми остальными станциями (общий адрес).

Форматы кадров телемеханических сообщений в вариантах фиксированной и переменной длины в [9] представлены для канальных протоколов FT1.1, FT1.2, FT2, FT3 (табл. 16). Они предназначены для асинхронной передачи телемеханических сообщений в полудуплексном или дуплексном режимах с различными требованиями достоверности.

Следует обратить внимание на то, что форматы кадров FT1.1 и FT1.2 используют асинхронный (старт-стопный) формат байта с обрамлением битом start=0 и битом stop=1, в то время как форматы FT2 и FT3 относительно формата байта являются синхронными. Соответственно для них требуются разные методы побитовой синхронизации на уровне байта. Поэтому ошибкой является реализация форматов FT2 и FT3 на базе старт-стопного оформления байтов, так как при этом нарушается модель «канала без памяти», а фактическое кодовое расстояние (d) для обоих форматов из-за этого оказывается равным 2. Нарушение линейной модели «канала без памяти» относится и к форматам FT1.1 и FT1.2, но в формате FT1.2 специально введён стоп-байт (F-стоп), защищающий от ошибок, связанных с нарушением правильности подсчёта битов вследствие искажения (потери) какого-либо старт-бита.

В форматах FT1.1 и FT1.2 защита каждого байта от искажения осуществляется битом паритета (pt), а в FT1.2 добавляется защита кадра сообщения контрольной суммой. Формат FT1.1 характеризуется низкой достоверностью передачи данных, область его применения ограничивается простейшими системами, и поэтому далее в статье он рассматриваться не будет.

Форматы FT1.2 и FT2 рекомендуются для СТМ с классом достоверности I2, но FT2 обеспечивает более высокую

Классы организации передачи телемеханических сообщений

Классы	Функции	Назначение класса организации передачи сообщений на уровне канала
S1	Посылка/без ответа	Переданное сообщение не требует ни подтверждения, ни ответа. Используется в циклических системах или в симплексных системах без обратного канала (системы с низкими требованиями к достоверности информации).
S2	Посылка/подтверждение	Канальный уровень обеспечивает передачу сообщений и контроль подтверждения приёма каждого сообщения (положительная квитанция).
S3	Запрос/ответ	Первичная станция передаёт запрос, на который должен формироваться ответ, содержащий запрошенные данные или отказ (отрицательная квитанция). Обеспечивает возможность опроса в многоточечной конфигурации.

Таблица 15

Форматы кадров телемеханических сообщений

Формат	Кодовое расстояние	Класс достоверности	Структура байта										
			b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10
FT1.1	$d = 2$	I1	start	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	pt	stop 1
FT1.2	$d = 4$	I2	0	8 бит, начиная с младшего									
FT2	$d = 4$	I2		b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8		
FT3	$d = 6$	I2, I3		8 бит, начиная со старшего									

Таблица 16

Структуры форматов телемеханических сообщений

Формат FT1.2		Формат FT2		Формат FT3	
Переменная длина	Фиксированная длина	Переменная длина	Фиксированная длина	Переменная длина	Фиксированная длина
F-старт = 68h					
Длина L				F1-старт = 05h	F1-старт = 05h
Повтор байта L		F-старт = 27h	F-старт = 27h	F2-старт = 64h	F2-старт = 64h
F-старт = 68h	F-старт = 10h	Длина L	Длина $L=0$	Длина L	Длина $L=0$
1	1	1	1	1	1
255	255	15	15	16	16
CS	CS	CRC	CRC	CRC1	CRC1
F-стоп = 16h	F-стоп = 16h			CRC2	CRC2

* БПД — блок пользовательских данных.

эффективность передачи кадров. Формат FT3 предназначен для использования в тех случаях, когда требуется особая высокая достоверность передачи телемеханических сообщений.

Структуры форматов FT1.2, FT2 и FT3 представлены в табл. 17.

Как видно из табл. 17, кадр любого формата начинается со стартового байта (байтов) F-старт. Кадр FT1.2 заканчивается конечным байтом F-стоп. Байты начала и конца кадра используются для кадровой синхронизации. Форматы с переменной длиной информационной части содержат байт L , в котором указывается количество передаваемых пользовательских байтов. Информационная часть кадра передаётся блоками пользовательских данных (БПД), которые содержат байты

пользовательских данных. Необходимо предупредить, что аббревиатура БПД относится именно к блокам. Следует также отметить, что в русском тексте стандартов имеется терминологическая путаница: термин «блок» употреблён в сочетаниях и «блок пользовательских данных» [9, 10] (в оригинале «block of user data»), и «блок данных» [11] (в оригинале «data unit»). Кадр формата FT1.2 содержит один БПД, защищаемый контрольной суммой CS. Поскольку в структуре сообщений принят 8-битовый формат (табл. 16), то определяемое количество байтов в БПД (L) может задаваться в диапазоне от 1 до 255.

Кадр формата FT2 содержит стартовый байт F-старт и до 16 БПД, каждый из которых содержит 15 пользовательских байтов, дополненных контроль-

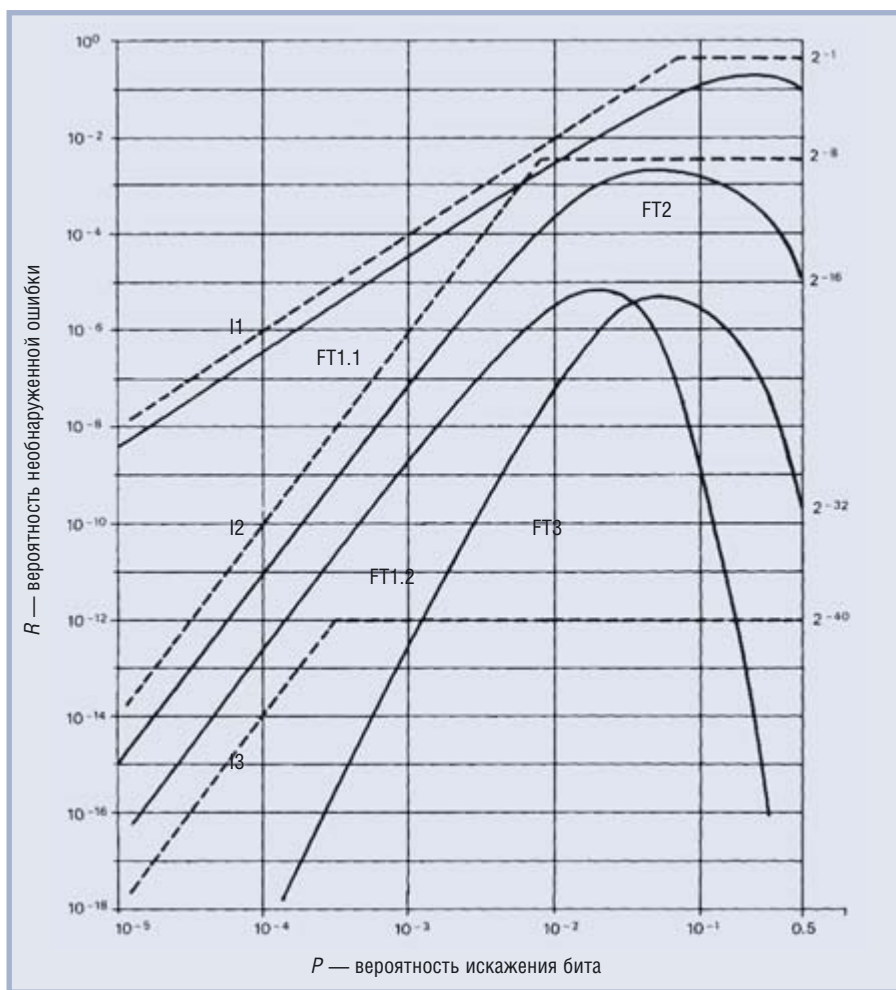


Рис. 4. Классы достоверности и вероятность появления необнаруженных ошибок для форматов FT1.1, FT1.2, FT2, FT3

ным байтом циклического кода CRC. Кадр формата FT3 содержит стартовое слово F(1, 2)-старт и до 15 БПД, каждый из которых содержит 16 пользовательских байтов, дополненных двухбайтовым контрольным словом циклического кода CRC(1, 2). Первый БПД в форматах FT2 и FT3 имеет фиксированную длину и содержит байт длины кадра L , указывающий суммарное число пользовательских байтов во всех БПД кадра (не считая самого байта L). Последний БПД может быть укороченным. В кадрах фиксированной длины $L=0$.

Кадр фиксированной длины любого из форматов может иметь любой заранее фиксированный размер.

Поскольку стартовые комбинации во всех форматах могут встречаться и в теле кадра, надёжное детектирование начала кадра требует, кроме обнаружения стартовой комбинации, также фиксации определённого интервала молчания, то есть пассивного состояния канала.

Количественные требования к достоверности передачи данных, как было указано ранее, определяются классами I1, I2 и I3. Нормирование вероятност-

ных характеристик основывается на модели нормального флуктуационного шума в аналоговом канале, что для дискретного канала соответствует модели «двоичного симметричного канала без памяти», то есть канала с независимой вероятностью ошибок битов (без влияния искажения бита на правильность приёма следующих битов).

Допустимая вероятность R необнаруженных искажений передаваемой информации определяется как функция вероятности P искажения бита сигнала, изображённая на рис. 4 в двойном логарифмическом масштабе для каждого класса достоверности ломаными линиями, состоящими из наклонного и горизонтального пунктирных отрезков. Наклон кривых при $P < 10^{-4}$ соответствует кодовому расстоянию d для применяемого метода кодирования. Для класса I1 требуется минимальное кодовое расстояние $d=2$, в то время как для классов I2 и I3 требуются коды с минимальным кодовым расстоянием $d=4$ или больше. Вероятность необнаруженных искажений R ограничивается не только в нормирующей точке $P=10^{-4}$

[16], но и задаётся её предельно допустимое значение при любой вероятности искажения бита вплоть до 0,5 (приём случайной последовательности битов). В [9] смысл трёх классов достоверности проиллюстрирован примером передачи блоков сообщений по 120 бит со скоростью 1200 бит/с по каналу с белым шумом. При частоте появления искажений бита $P=10^{-4}$ средняя вероятность между необнаруженными ошибками составляет для класса I1 — 1 день, для I2 — 26 лет, для I3 — 260000 лет.

Важным достоинством использования стандартных протоколов является то, что в обязательном Приложении Б в [9] дана количественная оценка эффективности передачи сообщений с использованием каждого формата, а также достоверности передачи данных. На рис. 4 сплошными линиями показаны зависимости вероятности появления необнаруженных ошибок для форматов FT1.1, FT1.2, FT2, FT3 при длине БПД, равной 15 байтам. Эти кривые позволяют системным интеграторам выбирать формат передачи на основе справочных данных нормативного документа с учётом требований к достоверности передачи телемеханических сообщений.

Процедуры в каналах передачи

В стандарте [10] рассмотрены процедуры взаимодействия ПУ и КП при передаче последовательности телемеханических сообщений с окном, равным единице. Это означает, что уровень канала на первичной станции (станции, которая инициирует передачу сообщения) принимает от прикладного уровня запрос на новую передачу сообщения в линию связи только после того, как предыдущий принятый запрос выполнен удовлетворительно или с уведомлением об ошибке.

Для описания информационных процессов, сопровождающих передачу данных, в [10] в соответствии с рис. 5 используются понятия сервисных примитивов, которые охватывают интерфейс между уровнем пользователя и уровнем канала, и процедур передачи (без ошибок) кадров по линии связи между станциями.

Имеются 4 типа процедур обмена между канальным и прикладным уровнями (примитивов), которые могут содержать пользовательские данные и ряд параметров: REQ — запрос, инициируемый пользователем и обеспечивающий активизацию ряда процедур на уровне

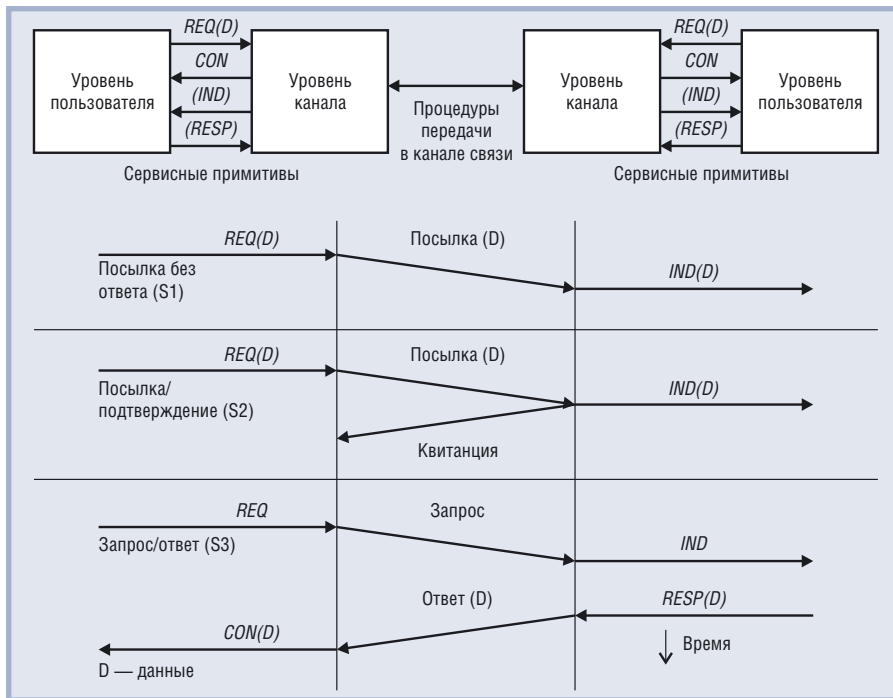


Рис. 5. Взаимодействие между сервисными примитивами и основными процедурами передачи по каналу связи

b7, MSB	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0, LSB	Направление
Небалансная передача								
Резерв RES	PRM	1	FCB	FCV	Функциональный код FC			От первичной станции
		0	ACD	DFC				От вторичной станции
Балансная передача								
DIR	PRM	1	FCB	FCV	Функциональный код FC			От первичной станции
		0	RES	DFC				От вторичной станции

Рис. 6. Состав и назначение битов поля управления

канала; CON — подтверждение, инициируемое на уровне канала для окончания процедуры, активизированной запросом; IND — оповещение, выставленное на уровне канала как требование передачи пользователю данных или активизации той или иной процедуры на уровне пользователя; RESP — ответ, инициируемый пользователем для извещения об окончании процедуры, предварительно активизированной оповещением. Подтверждения (квитанции) или ответы могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от обстоятельств.

Типичным содержанием сервисных примитивов являются параметры, условия и пользовательские данные, например: пользовательские данные, класс передачи (S1, S2, S3), положительная/отрицательная квитанция или ответы, контроль потока данных, запрос данных, число повторений, состояние ошибки, состояние уровня (например, состояние рестарта). Содержание сервисных примитивов в стандарте не рассматривается.

Элементы процедур передачи показаны на рис. 5: посылка, подтверждение (квитанция), запрос, ответ.

Предметом стандарта [10] являются два типа процедур передачи канально-го уровня: небалансная, балансная.

● **Небалансная процедура передачи** используется в СТМ, в которых ПУ контролирует трафик данных последовательным опросом КП. В этом случае ПУ всегда является первичной станцией, инициирующей передачу всех сообщений, а КП — вторичной станцией, передающей сообщения только по вызову (следует обратить внимание на то, что это относится только к канальному уровню — на прикладном уровне могут быть реализованы любые схемы приоритетов, в частности первоочередная спорадическая передача информации об изменении состояния). Областью использования данной процедуры являются конфигурации СТМ всех типов.

● **Балансная процедура передачи** используется в СТМ, в которых каждая станция может быть как первичной,

инициирующей передачу сообщений, так и вторичной. Область использования такой процедуры передачи ограничивается конфигурациями типа «точка-точка» и радиальной многоточечной структуры.

Здесь важно отметить, что вторичная станция, хоть часто и именуется принимающей, по сути своей является отвечающей (в оригинале — responding); причём она отвечает на запрос данными (S3), а на данные — квитанцией (S2).

В стандарте [10] рассмотрены режимы небалансной и балансной процедур передачи при возможных отказах (искажениях) различных элементов процедур передачи. Процедуры передачи рассматриваются применительно к классам S1, S2, S3 организации передачи сообщений и предусматривают защиту сообщений от остаточных (необнаруженных) ошибок в классе достоверности I2 при использовании форматов передаваемых кадров FT1.2, FT2 или FT3. При этом в любом физическом канале связи может использоваться единственный выбранный формат кадров.

Стандарт [10] определяет состав полей информационной части кадра (исключая старт-байты, указатель длины и защиту): С — поле управления, А — поле адреса, байты пользовательских данных.

Байт С	Байт(ы) А	Байты пользовательских данных
--------	-----------	-------------------------------

Поле управления С представлено на рис. 6 байтом, отличающимся для небалансной и балансной процедур передачи телемеханических сообщений.

На рис. 6 приняты обозначения: RES — резерв; DIR — определитель физического направления передачи («0» — от ведомой станции В к ведущей станции А, «1» — от ведущей станции А к ведомой станции В); PRM — первичное сообщение («0» — сообщение передаётся от вторичной, то есть принимающей станции, «1» — сообщение передаётся от первичной, то есть инициирующей станции); FCB — бит счёта кадров; FCV — бит, определяющий режим счёта кадров (при FCV=1 изменение бита FCB должно учитываться, а при FCV=0 игнорироваться); ACD — бит запроса данных («0» — нет запроса на передачу данных с высоким приоритетом, то есть данных класса 1, «1» — запрос на передачу данных с высоким приоритетом); DFC — контроль потока данных («0» — приём сообщений возможен, «1» — вторичная, то есть принимающая

Таблица 18

FC в сообщениях от первичной станции (PRM=1)

FC	Тип кадра	Функция	FCV	
			U*	B**
0	Посылка с ожиданием	Начальная установка канала	0	0
1	Посылка с ожиданием	Начальная установка процесса	0	0
2	Посылка с ожиданием	Тестирование канала	—	1
3	Посылка с ожиданием	Пользовательские данные	1	1
4	Посылка без ожидания	Пользовательские данные	0	0
5, 6, 7		Резерв	—	—
8	Общий запрос с ожиданием ([13], п. 6.5)	Общий запрос о наличии данных класса 1 при магистральной структуре	0	—
9	Запрос с ожиданием	Запрос статуса канального уровня	0	0
10	Запрос с ожиданием	Запрос данных класса 1	1	—
11	Запрос с ожиданием	Запрос данных класса 2	1	—
12, 13		Резерв	—	—
14, 15		Использование по соглашению	—	—

* U — небалансная передача.

** B — балансная передача.

Таблица 19

FC в сообщениях от вторичной станции (PRM=0)

FC	Тип кадра	Функция	U*	B**
0	Подтверждение	Положительная квитанция	+	+
1	Подтверждение	Отрицательная квитанция	+	+
2-5		Резерв	—	—
6		Использование по соглашению	—	—
7	Ответ	Конец последовательности блоков	+	+
8	Ответ	Пользовательские данные	+	—
9	Ответ	Запрошенные данные недоступны	+	—
10		Резерв	—	—
11	Ответ	Статус канального уровня	+	+
12		Резерв	—	—
13		Использование по соглашению	—	—
14	—	Канальный сервис не работает	+	+
15	—	Канальный сервис отсутствует	+	+

* U — небалансная передача.

** B — балансная передача.

Таблица 20

Допустимые сочетания FC в сообщениях между первичной и вторичной станциями

FC от первичной станции – ПУ	FC от вторичной станции – КП	U*	B**
0 — установить удалённый канальный уровень в начальное состояние	0 — ACK 1 — NACK	+	+
1 — установить пользовательский процесс в исходное состояние	0 — ACK 1 — NACK	+	+
2 — тест канала	0 — ACK 1 — NACK	—	+
3 — передача пользовательских данных (запрос/ответ)	0 — ACK 1 — NACK	+	+
4 — передача пользовательских данных (запрос/без ответа)	Нет ответа	+	+
8 — запрос о наличии данных класса 1	11 — статус канального уровня	+	
9 — запрос статуса канала	11 — статус канального уровня	+	+
10 — запрос данных класса 1	8 — передача пользовательских данных 9 — данные недоступны	+	—
11 — запрос данных класса 2	8 — передача пользовательских данных 9 — данные недоступны	+	—

* U — небалансная передача.

** B — балансная передача.

станция показывает, что приём сообщений невозможен из-за переполнения буфера); FC — функциональный код.

Бит DIR в поле управления указывает физическое направление передачи именно в терминах «ведущая/ведомая», которые соответственно совпадают с терминами, «первичная/вторичная» только в небалансном режиме. В балансном режиме каждая станция в одних процедурах является первичной, а в других — вторичной. Роль «ведущая» или «ведомая» назначается станции при проектировании и не меняется в процессе работы системы.

Для конкретной станции бит FCB принимает чередующиеся значения «0» и «1» при последовательных передачах посылка/подтверждение или запрос/ответ. Бит счёта кадров предназначен для защиты от потерь или дублирования посылок. При команде сброса FCB=0, так что после этого ожидается приём команды с FCB=1. При передаче нового сообщения тому же адресату (вторичной станции) по классу S2 или S3 значение бита FCB должно изменяться на обратное (кадры нумеруются по модулю 2). Повторная передача кадра с тем же значением FCB производится в двух случаях: когда ответный кадр от вторичной станции бракуется или когда ответ отсутствует в течение установленного времени. Для процедур передачи по классу S1 при циркулярных сообщениях и для аналогичных процедур, в которых не контролируются потери и дублирование сообщений, FCB не меняется, а FCV=0.

Функциональные коды FC поля C в сообщениях при балансной и небалансной передачах определяются в соответствии с табл. 18 и 19 (в этих таблицах, а также в последующей табл. 20 прочерки в правых колонках означают, что данный FC в соответствующем режиме не используется).

Очевидно, что на посылку первичной станции с тем или иным функциональным кодом FC вторичная станция может отвечать только посылками с определёнными функциональными кодами. В табл. 20 приведены допустимые сочетания FC, передаваемых первичной и вторичной станциями в балансном и небалансном режимах.

В режиме запрос/ответ положительная квитанция не требуется — ответом на запрос являются пользовательские данные.

Отрицательная квитанция передаётся от КП в следующих случаях:

Пользовательские данные (ASDU)												
Идентификатор блока данных (ИБД)					Объекты информации (ОИ)							ОВП
					ОИ ₁				ОИ ₂	...	ОИ _n	
ИТ	Дл. ASDU	КПС	ПП	ОА ASDU	ТОИ	АОИ	НЭИ	ВМ				

Рис. 7. Основная структура пользовательских данных

- прикладной уровень не передаёт канальному данные для передачи в ответ на запрос, и выставляется функциональный код FC9 «запрошенные данные недоступны» в ответ на FC10/11;
- кадр с данными от ПУ принят канальным уровнем КП без ошибок, но данные не могут быть переданы прикладному уровню, например из-за занятости буфера, и выставляется функциональный код FC1 в ответ на FC3.

Поле адреса А определяет адрес станции. Адрес передаётся от инициирующей станции (первичная станция) к приёмной станции (вторичная станция) и определяет место назначения информации. Поле адреса А, передаваемого в кадре от вторичной станции, определяет адрес источника информации. Число байтов адресного поля зависит от конкретных условий применения. В стандарте указывается только то, что в поле А первым должен переда-

ваться байт, содержащий наименее значащие биты адреса (это относится ко всем случаям передачи многобайтовых чисел, в том числе пользовательских данных, например двухбайтовых или четырёхбайтовых переменных).

Поле адреса А не является обязательным. Например, это поле не используется в структуре СТМ с конфигурацией «точка-точка».

В стандарте [10] рассмотрены небалансные и балансные процедуры передачи по классам S1, S2 и S3, в том числе с учётом возможных отказов.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Стандарт [11] определяет правила структурирования блоков пользовательских данных в кадрах, передаваемых в СТМ. Эти правила представлены в виде общих требований, которые разработаны с целью ограничения до необходимого минимума числа стандар-

тов для задач сбора данных и телемеханики с возможным расширением его для специальных задач. С этой точки зрения стандартом допускается для конкретных применений осуществлять выбор представления, структур адресов и расположения объектов информации в кадре.

Стандарт описывает основную структуру пользовательских данных без деталей информационных полей и их содержания. Описываются основные правила составления БПД. Используемая при этом модель данных соответствует общим требованиям взаимодействия открытых систем, но, поскольку СТМ в силу своей специфики требуют сравнительно малого времени реагирования в сетях с ограниченной шириной полосы пропускания, то стандарт ориентирован на упрощённую (трёхуровневую) модель ЕРА.

Правилами структурирования в составе БПД определяется *блок данных прикладного уровня* — ASDU, который в соответствии с рис. 7 представляется идентификатором блока данных (ИБД), объектами информации (ОИ) и общим временным признаком (ОВП), который определяет общее время для всех объектов. При этом обязательны-

	Тип данных	Размер данных	Начало и конец	Значения и код
Наименование ЭИ :=	ТИП	i	$[p_1 \dots p_1+i-1]$	$\langle v_1 \dots v_n \text{ код} \rangle$

Рис. 8. Описание ЭИ

Таблица 21

Описание типов данных

№ типа	Тип данных	Символ	Значение
1	Целое число без знака	UI	Положительные целые числа
2	Целое число	I	Положительные или отрицательные целые числа
3	Число с фиксированной запятой без знака	UF	Положительные числа с фиксированной запятой
4	Число с фиксированной запятой	F	Положительные и отрицательные числа с фиксированной запятой
5	Действительное число	R	Положительные и отрицательные числа с плавающей запятой
6	Строка битов	BS	Совокупность независимых битов*
7	Строка байтов	OS	Совокупность байтов

* Битовые данные — это строка битов размера 1.

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	Биты
F 2 ⁻¹⁶	F 2 ⁻¹⁷	F 2 ⁻¹⁸	F 2 ⁻¹⁹	F 2 ⁻²⁰	F 2 ⁻²¹	F 2 ⁻²²	F 2 ⁻²³	Байт 1
F 2 ⁻⁸	F 2 ⁻⁹	F 2 ⁻¹⁰	F 2 ⁻¹¹	F 2 ⁻¹²	F 2 ⁻¹³	F 2 ⁻¹⁴	F 2 ⁻¹⁵	Байт 2
E 2 ⁰	F 2 ⁻¹	F 2 ⁻²	F 2 ⁻³	F 2 ⁻⁴	F 2 ⁻⁵	F 2 ⁻⁶	F 2 ⁻⁷	Байт 3
S — знак	E 2 ⁷	E 2 ⁶	E 2 ⁵	E 2 ⁴	E 2 ³	E 2 ²	E 2 ¹	Байт 4

Рис. 9. Структура информационных байтов действительного числа

ми полями в структуре ASDU являются только ИБД и как минимум один ОИ.

Идентификатор блока данных должен включать в себя одно обязательное поле — идентификатор типа (ИТ) данных и может включать необязательные поля длины данных (Дл. ASDU), классификатора переменной структуры (КПС), причины передачи (ПП), общего адреса (ОА ASDU).

- ИТ — это идентификатор, который однозначно определяет тип ASDU. Он даёт возможность приёмному устройству пользователя посылать каждый ASDU нужному пользовательскому процессу, а также позволяет приёмному пользовательскому процессу определить, какой тип данных содержится в ASDU, и определить их структуру из местной таблицы.
- Дл. ASDU, как правило, не используется, поскольку число байтов в кадре определяется на канальном уровне, а число элементов информации (ЭИ) указывает КПС.
- КПС позволяет определять число ОИ в ASDU, число ЭИ в наборе элементов информации (НЭИ), а также тип ОИ.
- ПП может определяться как периодическая передача, спорадическая передача, общий опрос, рестарт, инициализация станции, тесты и т.п.
- ОА указывает общий адрес всех ОИ данного ASDU и может конкретизировать источник информации. ОА

является адресом именно прикладного уровня и не обязан совпадать с адресом, передаваемым в поле адреса А в заголовке канального уровня.

Объект информации (каждый ОИ) может включать в себя поля:

- ТОИ — тип объекта информации (необходимо только в случае, если не определён ИТ);
- АОИ — адрес объекта информации;
- НЭИ — набор элементов информации;
- ВМ — временная метка.

Адресные схемы ОИ могут быть неструктурированного и структурированного типов. В первом случае адреса могут использоваться для числового опознавания ОИ_г из общего множества номеров; во втором случае адреса могут идентифицировать ОИ_г с учётом технологических, физических, топологических и территориальных признаков. Адреса закрепляются за ОИ_г при разработке СТМ или при изменении её конфигурации.

Различают три типа НЭИ:

- одиночный ЭИ (команды, события, состояния, результаты измерения);
- последовательность однотипных ЭИ, в которой АОИ или ОА ASDU определяет адрес первого ЭИ в последовательности, а адрес каждого следующего ЭИ определяется по установленной схеме;
- комбинация ЭИ, содержащая разнотипные элементы (например, со-

стояние какого-то агрегата характеризуется комбинацией аналоговых и дискретных величин).

Приведённые в стандарте [11] правила, определяющие общую структуру данных пользователя, резюмируются в виде «Руководства по конструированию блоков пользовательских сервисных данных».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КОДИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Стандарт [12] определяет правила описания ЭИ в соответствии с рис. 8. Размер данных i указывает здесь размер ЭИ в битах. Начало и конец ЭИ задаётся в квадратных скобках в виде номеров первого (p_1) и последнего (p_n) битов, занятых данным ЭИ в каком-то множестве битов (числе); соответственно, $p_n = p_1 + i - 1$. Отсчёт битов ведётся с младшего бита, его номер равен 1. Для многобайтовых чисел используется сквозная нумерация битов, причём первым считается младший байт. В угловых скобках указывается диапазон значений, которые может принимать данный ЭИ. Например, если ЭИ — это секунды, то диапазон значений составляет $\langle 0 \dots 59 \rangle$. При необходимости указывается код значений ЭИ: BIN, BCD, ASCII и т.п.

Стандарт [12] определяет типы данных, представленные в табл. 21.

Если ЭИ составлен из разнотипных полей данных, он обозначается CP (compound) и в фигурных скобках приводится перечень обозначений отдельных полей, а затем приводится описание каждого поля, входящего в составной ЭИ.

Далее приведены примеры рекомендованных типов ЭИ. Символ «:=» используется для сопоставления наименования ЭИ с описанием поля информации.

Положительным целым числом может быть представлен, например, ЭИ «двухэлементная информация» DPI := UI 2 [1...2] $\langle 0 \dots 3 \rangle$; $\langle 1 \rangle$:= состояние «выключено», $\langle 2 \rangle$:= состояние «включено», $\langle 0 \rangle$ и $\langle 3 \rangle$:= неопределённые состояния.

Целое число со знаком может представлять масштабированное значение измеряемой величины SVA := I 16 [1...16] $\langle -2^{15} \dots +2^{15} - 1 \rangle$. Бит знака располагается в старшем двоичном разряде.

Число с фиксированной запятой без знака представляет, например, 8-бито-

вое нормализованное значение величины := UF 8 [1...8] <0...1-2⁻⁸>.

Число с фиксированной запятой со знаком представляет, например, 16-битовое нормализованное значение величины NVA := F 16 [1...16] <-1...+1-2⁻¹⁵>. Бит знака располагается в старшем двоичном разряде.

Действительное число (число с плавающей запятой, рис. 9) короткого формата в соответствии со стандартом IEEE STD 754 представляется следующим образом:

```
R32IEEESTD754 := R32.23 {Fraktion,
Exponent, Sign}
Fraktion = F := UF 23 [1...23] <0...1-2-23>
Exponent = E := UI 8 [24...31] <0...255>
Sign = S := BS 1 [32] S <0> := плюс,
S <1> := минус
```

Значение числа с плавающей запятой составляет $R = (-1)^S \cdot 2^{E-127} \cdot (1, F)$.

На рис. 9 цветом выделены однотипные биты, которые в форматированной структуре разнесены по разным байтам.

Строка независимых битов может представлять ЭИ типа «8-битовый регистр состояния» BS8Status.

```
BS8Status := BS 8 [1...8]
BS8 [n] := Sn Sn <0> := OFF, Sn <1> := ON
```

Строка (набор) байтов может быть представлена, например, ЭИ, являющимся строкой из i 8-битовых символов из расширенного набора символов ASCII: OS 8i [1...8i] <ASCII 8-битовый код>. Рекомендуемое применение — текстовая информация.

Примером **составного элемента информации** является семибайтовый ЭИ для передачи астрономического времени CP56Время2а (рис. 10).

```
CP56Время2а := CP56{миллисекунды,
минуты, резерв1, IV (недействительно),
часы, резерв2, SU (летнее время),
день месяца, день недели, месяцы,
резерв3, годы, резерв4}
миллисекунды := UI 16 [1...16] <0...59999>
минуты := UI 6 [17...22] <0...59>
резерв1 := BS 1 [23]
IV := BS 1 [24] <0...1> IV <1> := время
недействительно
часы := UI 5 [25...29] <0...23>
резерв2 := BS 2 [30...31]
SU := BS 1 [32] <0...1> SU <1> := летнее
время
день месяца := UI 5 [33...37] <1...31>
день недели := UI 3 [38...40] <1...7>
месяцы := UI 4 [41...44] <1...12>
```

2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	Биты
Биты 1-16 — миллисекунды (младший байт)								Байт 1
Миллисекунды (старший байт)								Байт 2
IV	Резерв1	Минуты						Байт 3
SU	Резерв2		Часы					Байт 4
Дни недели			Дни месяца					Байт 5
Резерв3				Месяцы				Байт 6
Резерв4	7-й байт (старший) – годы							Байт 7

Рис. 10. Пример составного ЭИ для передачи астрономического времени

Пользовательские процессы					
Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	...	Функция n
Модель ЕРА (сервисы связи). Прикладной уровень (уровень 7)					
Модель ЕРА (сервисы связи). Канальный уровень (уровень 2)					
Модель ЕРА (сервисы связи). Физический уровень (уровень 1)					

Рис. 11. Расположение сервисов связи и прикладных функций в модели ЕРА

```
резерв3 := BS 4 [45...48]
годы := UI 7 [49...55] <0...99>
резерв4 := BS 1 [56]
```

Возможно использование укороченных форматов времени: трёхбайтовый формат времени CP24Время2а предусматривает передачу трёх первых (младших) байтов (миллисекунды, минуты), а двухбайтовый формат времени CP16Время2а — только двух первых байтов (миллисекунды).

ОСНОВНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ФУНКЦИИ

В стандарте [13] определены основные прикладные телемеханические функции, которые реализуют стандартные процедуры передачи, используемые в СТМ. Основные прикладные функции являются пользовательскими процедурами, которые находятся вне

пользовательского уровня модели ЕРА. Определения данного стандарта служат базовыми для различных сопутствующих (вспомогательных) стандартов, которые, как предполагается, должны быть детально разработаны для отдельных телемеханических задач.

Общую концепцию прикладных функций, которые являются частью процессов пользователя, поясняет рис. 11.

В стандарте [13] основные прикладные функции представлены с помощью диаграмм, показывающих последовательность блоков данных ASDU, которыми обмениваются КП и ПУ, и путём описания блоков данных, выполняющих эти функции.

Описание различных ASDU осуществляется с использованием меток трёхуровневой структуры, которая принципиально может наращиваться. На верх-

нем уровне указанной структуры выделяются 4 вида информации, обозначенных метками: М — контрольная, С — управляющая, Р — параметр, F — передача файла. Уровнем ниже осуществляется конкретизация меток верхнего уровня в соответствии с табл. 22. Ещё уровнем ниже используются две уточняющие буквы: первая буква определяет наличие метки времени (N — нет меток времени, T — метка времени), а вторая определяет тип (формат), начиная с А, в алфавитном порядке в соответствии с обобщающими стандартами.

Определение М_ME_TA, например, описывает следующую функцию: контрольная, измерение, с меткой времени, ASDU определяется типом А. Другой пример: определение С_SC_NA описывает команду однопозиционного управления без метки времени, тип А.

Процедуры прикладного уровня, с помощью которых реализуются основные пользовательские функции, представлены далее в соответствии со стандартом [13].

- **Инициализация работы станций на уровнях** ПУ и КП для установки станций в правильное рабочее состояние до того, как начнутся телемеханические операции.
- **Сбор данных при помощи опроса** для получения на ПУ действительного состояния переменных процесса на КП.
- **Циклическая передача данных** для выполнения непрерывного низкоприоритетного опроса текущих значений переменных величин процесса в СТМ, работающих с балансными и небалансными процедурами передач.
- **Сбор данных о событиях**, возникающих спонтанно, в том числе и с таким периодом, который может быть значительно меньше времени передачи сообщения. На прикладном уровне процедура передачи событий из КП с заданным приоритетом прерывает исполнение всех низкоприоритетных передач, например циклической. (На канальном уровне принудительное прерывание передачи кадра никогда не производится.) В небалансных системах процесс передачи на КП должен ждать запроса из ПУ. Для ускорения сбора информации в этом случае применяется *процедура сбора данных о событиях с помощью процедуры быстрой проверки*.
- **Общий опрос и опрос КП**, применяемые для обновления данных ПУ после процедуры инициализации или в случае, если ПУ обнаруживает поте-

Описание типов данных

Вид информации	Метка
Контрольная	М
Одноэлементная	M_SP
Двухэлементная	M_DP
Измерения	M_ME
События	M_EP
Интегральные суммы	M_IT
Ступенчатые перемещения	M_ST
Строки битов и байтов	M_BO
Конец инициализации	M_EI
Прикладной уровень доступен	M_AA
Передача файла	F
Каталог (структура данных)	F_DR
Вызов файла	F_SC
Последняя секция (сегмент)	F_LC
Подтверждение приёма ACK	F_AF
Готовность файла	F_FR
Готовность секции	F_SR
Сегмент	F_SG

рю информации. Функция общего опроса из ПУ требует передачи из КП действительных значений величин всех переменных процесса.

- **Синхронизация времени на ПУ и КП** для получения хронологической последовательности событий на объекте с целью регистрации событий на месте и контроля процессов приёма-передачи сообщений.
- **Передача команд** для изменения состояния оперативного оборудования. Команды могут инициироваться оператором или управляющими процедурами на ПУ, а выполняться непосредственно или двумя этапами: команда выбора, команда исполнения.
- **Передача интегральных сумм (телесчёт)** с получением информации от счётчиков по методу чтения интегрального значения без сброса счётчика в исходное состояние или чтения интегрального значения на определённом временном интервале с последующим обнулением счётчика.
- **Загрузка параметров** при изменениях на КП заранее определённых параметров (например, значений пределов измерений, порогов или постоянных времени фильтрации).
- **Тестовая процедура**, используемая для проверки полной петли от ПУ до КП и затем обратно к ПУ, включая соответствующие функции пользователя.
- **Пересылка файлов**, необходимая в тех случаях, когда размер индивидуального объекта информации ОИ превышает заданную максимальную

Вид информации	Метка
Управляющая	С
Команда однопозиционная	C_SC
Команда двухпозиционная	C_DC
Команда уставки	C_SE
Команда пошагового регулирования	C_RC
Команда опроса	C_IC
Команда считывания	C_RD
Команда опроса показаний счётчиков	C_CI
Конец инициализации	C_EI
Команда установки процесса в исходное состояние	C_RP
Команда тестовая	C_TS
Команда синхронизации по времени	C_CS
Команда определения запаздывания	C_CD
Параметр	P
Параметр для измерений	P_ME
Активация параметров	P_AC

длину ASDU. В этом случае ОИ передаётся к месту назначения в форме сегментов.

- **Определение запаздывания передачи** суммой задержки передачи и внутренней задержки в аппаратуре. Эта функция основывается на использовании процедуры синхронизации работы ПУ и КП.

Каждая из указанных процедур в стандарте представлена в виде последовательности обмена между прикладными уровнями ПУ и КП служебными и информационными блоками данных ASDU.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время успешное решение задач автоматизации пространственно распределённых объектов определяется эффективной системной интеграцией, максимально использующей передовые технологии и коллективный опыт, оформленные стандартами и другими нормативными документами. Одной из форм продвижения современных достижений в область системной интеграции является рекомендация активного использования вводимых в нашей стране международных стандартов. Решению этой задачи и посвящена данная статья. ●

ЛИТЕРАТУРА

16. Вулис А., Сумительнов В. Основные положения базовых стандартов ГОСТ Р МЭК на устройства и системы телемеханики. Часть 1 // Современные технологии автоматизации. 2007. № 4.