

# СИНХРОНИЗАЦИЯ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В БОЛЬШИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АСУ ТП АЭС

Бывайков М.Е.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65  
lab31.5@mail.ru*

*Аннотация: Рассматривается задача синхронизации резервированной информации в виде данных, поступающих в систему верхнего уровня АСУ ТП АЭС из систем нижнего уровня. Предлагаются метод решения этой задачи и алгоритм, реализованный в программном обеспечении АСУ ТП АЭС.*

Ключевые слова: атомная электростанция (АЭС), автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), система верхнего уровня (СВУ), программное обеспечение, резервирование информации, синхронизация данных.

## Введение

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомных электростанций (АЭС) представляет собой крупномасштабную промышленную систему. Интегрирующим ядром АСУ ТП АЭС служит система верхнего уровня (СВУ). В данной работе рассматривается программный продукт [1,2], разработанный в Институте проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук. Далее будем называть этот программный продукт программным обеспечением (ПО) СВУ.

Для реализации обмена данными между СВУ и системами нижнего уровня (СНУ) АСУ ТП АЭС используются шлюзы в составе программно-технических комплексов (ПТК) СНУ.

Для обеспечения надежности функционирования АСУ ТП используются резервированные структуры ПТК, включая СВУ, СНУ и шлюзы.

Опыт эксплуатации АСУ ТП энергоблоков АЭС «Бушер-1» (Иран) и «Куданкулам-1,2» (Индия) выявил редко проявляющуюся недоработку в части кратковременной потери синхронизации резервированной информации, поступающей в СВУ из разных (основного и резервного) источников СНУ.

Данная работа содержит краткое описание метода обмена данными между основным и резервным шлюзами в целях обеспечения синхронизации резервированной информации в СВУ. Эти методы внедряются для строящихся энергоблоков «Куданкулам-3,4» (Индия).

## 1 Метод синхронизации резервированной информации в шлюзах

Анализ архивных данных ПО СВУ, записанных во время эксплуатации энергоблоков АЭС, показал, что причиной кратковременной потери синхронизации резервированной информации в базе данных СВУ является кратковременное расхождение информации в базах данных основного и резервного шлюзов.

Для обеспечения синхронности потоков входных сигналов СВУ от двух комплектов программного обеспечения (ПО), установленного на основном и резервном шлюзе, разработчики ПО СВУ предложили:

- выполнять дополнительный обмен данными между ПО основных и резервных шлюзов,
- для реализации такого межшлюзового обмена данными использовать внутренние линии связи Ethernet между основными и резервными шлюзами.

Обмен данными между ПО, установленного на шлюзе локально, и ПО, установленного на смежном (резервном) шлюзе, выполняется с использованием программного модуля, загружаемого в виде отдельного процесса в операционной среде Linux. Этот программный модуль обменивается данными:

- с локальным ПО шлюза посредством общей (разделяемой) памяти в среде Linux;
- со смежным (резервным) ПО шлюза посредством унифицированного сетевого протокола (УСП) [3].

На рис.1 представлена схема резервированного обмена данными между ПО  $M$  приборных стоек СНУ АСУ ТП и ПО, установленном на следующих технических средствах СВУ:

- основном и резервном серверах реакторного отделения (РО);
- основном и резервном серверах турбинного отделения (ТО);

- К рабочим станциям (PC) автоматизированного рабочего места (АРМ) сменных инженеров управления реакторного отделения (СИУР);
- L PC АРМ сменных инженеров управления турбинного отделения (СИУТ).

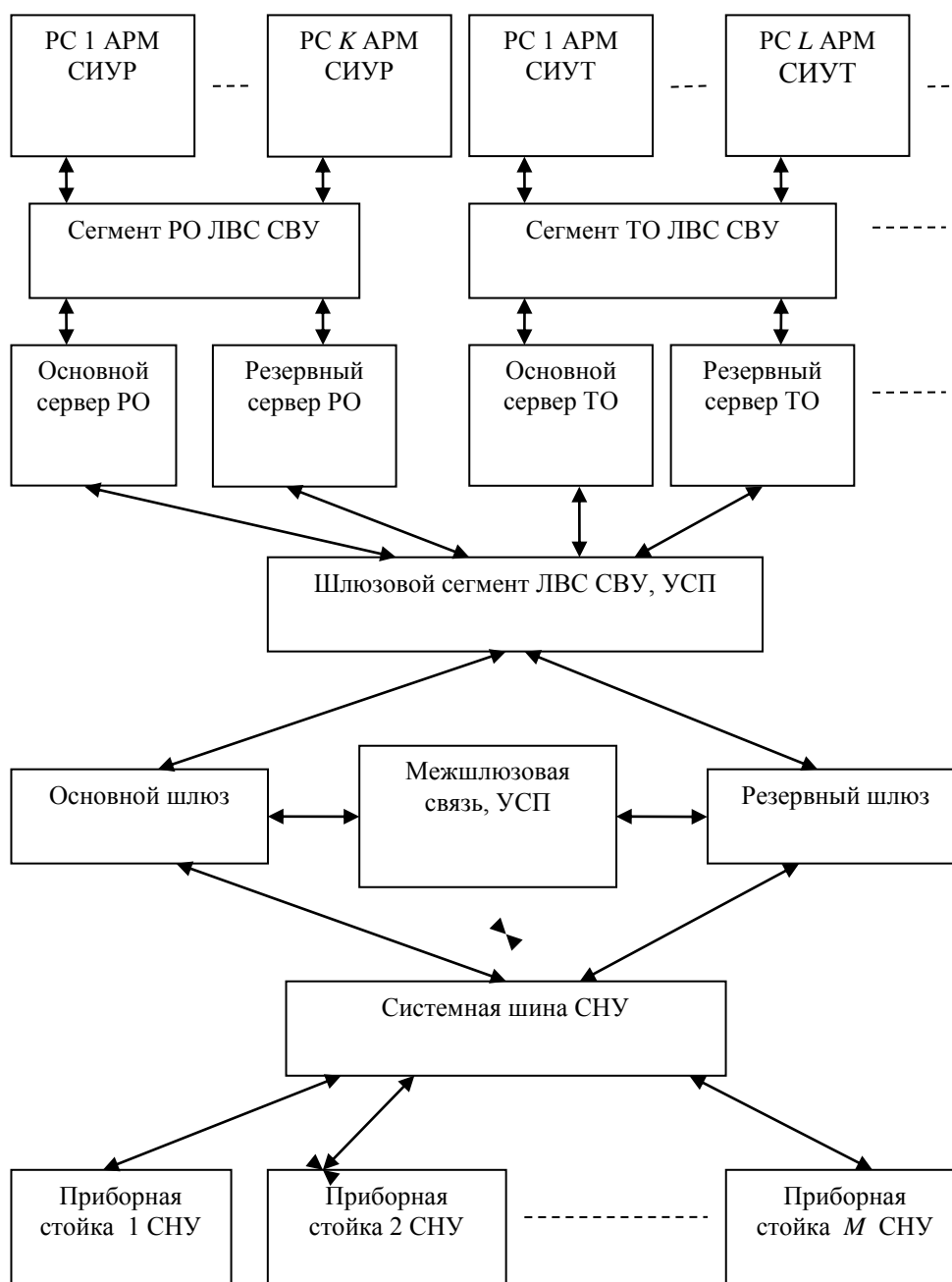


Рис. 1. Схема резервированного обмена данными между ПО СВУ и ПО СНУ АСУ ТП АЭС

Отличительной особенностью резервированного обмена между ПО СВУ и ПО СНУ АСУ ТП АЭС энергоблоков «Куданкулам-3,4» (в отличие от энергоблоков «Куданкулам-1,2») является межшлюзовая связь (между основным и резервным шлюзами).

Данные, поступающие в локальное ПО шлюза от смежного (резервного) ПО шлюза, обрабатываются совместно с данными, поступающим непосредственно от ПО СНУ, по следующим правилам (определение основного элемента базы данных ПО шлюза «сигнал» см. в разделе 3):

- если сигнал, поступивший от смежного ПО шлюза совпадает по атрибутам «значение сигнала», «время обновления значения сигнала», «признак недостоверности значения сигнала» с этими же атрибутами сигнала, ранее поступившего от ПО СНУ, то этот сигнал от смежного ПО шлюза игнорируется;

- если от смежного ПО шлюза поступил сигнал с достоверным значением, отличным от достоверного значения сигнала, ранее поступившего от ПО СЧУ, и временем обновления значения сигнала, более поздним, чем время обновления значения сигнала, поступившего от ПО СЧУ, то этот сигнал, поступивший от смежного ПО шлюза, передается в СВУ посредством УСП;
- если последнее значение сигнала, поступившее от ПО СЧУ, недостоверно, то все сигналы с достоверными значениями, поступающие от смежного ПО шлюза, передаются в СВУ посредством УСП (сигналы с недостоверными значениями игнорируются).

Таким образом, результирующее значение сигнала передается в СВУ посредством УСП, если его последнее значение достоверно либо в потоке сигналов, поступающих от ПО СЧУ, либо в потоке сигналов, поступающих от ПО смежного шлюза.

Для резервирования передачи команд управления выходные сигналы СВУ, поступившие в локальное ПО шлюза, передаются посредством общей памяти в среде Linux в модуль обмена данными со смежным ПО шлюза, который посредством УСП дублирует эти команды управления смежному ПО шлюза.

### 3 Алгоритм синхронизации резервированной информации в шлюзах

В терминах языка логического программирования ABIS [4], являющегося базовым в комплексе программ [1,2], алгоритм синхронизации резервированной информации в шлюзах (реализующий метод, описанный в разделе 2) можно описать следующим образом.

Основными понятиями языка ABIS являются база данных и база знаний.

**База данных** состоит из фактов (кортежей реляционной базы данных), сгруппированных по подмножествам (наборам фактов).

Основным элементом базы данных ПО шлюза служит понятие сигнала [3], которое может быть описано отношением языка ABIS (отношением реляционной базы данных) вида:

Signal ( C, V, N, T, S, U )

с атрибутами:

*C* - уникальный проектный технологический символьный код, однозначно идентифицирующий сигнал в базе данных шлюза;

*V* - текущее значение сигнала (соответствующего параметра технологического процесса АЭС) в виде вещественных чисел с плавающей запятой (точкой) для аналоговых сигналов или в виде двоичных чисел, принимающих значения 0 или 1, для дискретных сигналов;

*N* - признак недостоверности текущего значения сигнала (принимающий значения 0 - недостоверно, или 1 - достоверно), обозначающий отсутствие информации о текущем значении сигнала при потере связи ПО СВУ с источником сигнала в ПО СЧУ;

*T* - момент времени последнего обновления значения сигнала или его признака недостоверности (метка времени последнего обновления сигнала);

*S* - признак недостоверности для метки времени сигнала (принимающий значения 0 - недостоверно, или 1 - достоверно), обозначающий отсутствие от ПО СЧУ данных о метке времени (при этом метка времени устанавливается по системному времени ПО шлюза);

*U* - признак обновления сигнала (обновления значения сигнала *V* или признака недостоверности *N*), принимающий значения 0 – обновления нет, 1- обновление было.

Обновление значения аналогового сигнала - это увеличение или уменьшение на величину, которая превышает апертуру, используемую с целью фильтрации случайной составляющей измеряемого параметра технологического процесса. Обновление значения дискретного сигнала – это изменение двоичного числа на противоположное.

Каждый *i*-ый сигнал в списке входных (передаваемых из ПО шлюза в ПО СВУ) сигналов шлюза одного из типов (аналоговых, дискретных, скалярных, векторных) [3] может быть описан фактом (кортежем) языка ABIS (отношением с определенными значениями атрибутов):

Signal ( C[i], V[i], N[i], T[i], S[i], U[i] )

Обозначим:

Signal ( C[i], V0[i], N0[i], T0[i], S0[i], U0[i] )

описание сигнала, передаваемого из ПО шлюза в ПО СВУ с использованием УСП [3]:

Signal ( C[i], V1[i], N1[i], T1[i], S1[i], U1[i] )

описание сигнала, поступившего из ПО СЧУ в ПО шлюза по каналу связи со СЧУ;

Signal ( C[i], V2[i], N2[i], T2[i], S2[i], U2[i] )

- описание сигнала, поступившего из смежного (резервного) ПО шлюза в локальное ПО шлюза с использованием УСП.

**База знаний** языка ABIS состоит из правил дедуктивного логического вывода.

Далее при описании правил базы знаний используются следующие обозначения:

- в условной части правила (после ключевого слова “Если”):

“==” – условие “равно”,

“!=” – условие “не равно”,

“>”, “>=” – условия “больше”, “больше или равно”,

“<”, “<=” – условия “меньше”, “меньше или равно”;

- в исполняемой части правила (после ключевого слова “То”):

“=” – операция присвоения переменной, записанной в левой части, значения выражения, записанного в правой части.

При загрузке ПО шлюза устанавливаются  $T0[i] = 0$ ,  $U1[i] = 0$ ,  $U2[i] = 0$  для всех  $i$ .

Алгоритм синхронизации резервированной информации в шлюзах включает следующие правила:

*Правило 1*

(передача в ПО СВУ достоверного значения сигнала, поступившего от ПО СЧУ):

Если  $U1[i] == 1$  и  $T1[i] >= T0[i]$  и  $N1[i] == 0$

То  $V0[i] = V1[i]$ ,  $N0[i] = N1[i]$ ,  $T0[i] = T1[i]$ ,  $S0[i] = S1[i]$ ,  $U1[i] = 0$ .

*Правило 2*

(передача в ПО СВУ достоверного значения сигнала, поступившего от смежного ПО шлюза):

Если  $U2[i] == 1$  и  $T2[i] > T0[i]$  и  $N2[i] == 0$

То  $V0[i] = V2[i]$ ,  $N0[i] = N2[i]$ ,  $T0[i] = T2[i]$ ,  $S0[i] = S2[i]$ ,  $U2[i] = 0$ .

*Правило 3*

(передача в ПО СВУ признака недостоверности значения сигнала, поступившего от ПО СЧУ):

Если  $U1[i] == 1$  и  $T1[i] >= T0[i]$  и  $N1[i] == 1$  и  $N2[i] == 1$

То  $V0[i] = V1[i]$ ,  $N0[i] = N1[i]$ ,  $T0[i] = T1[i]$ ,  $S0[i] = S1[i]$ ,  $U1[i] = 0$ .

*Правило 4*

(передача в ПО СВУ признака недостоверности значения сигнала, поступившего от смежного ПО шлюза):

Если  $U2[i] == 1$  и  $T2[i] > T0[i]$  и  $N2[i] == 1$  и  $N1[i] == 1$

То  $V0[i] = V2[i]$ ,  $N0[i] = N2[i]$ ,  $T0[i] = T2[i]$ ,  $S0[i] = S2[i]$ ,  $U2[i] = 0$ .

*Правило 5:*

Если  $U2[i] == 1$  и  $T2[i] >= T0[i]$  и  $N2[i] == 0$  и  $N0[i] == 1$

То  $V0[i] = V2[i]$ ,  $N0[i] = N2[i]$ ,  $T0[i] = T2[i]$ ,  $S0[i] = S2[i]$ ,  $U2[i] = 0$ .

После выполнения правила 2 условие  $T2[i] >= T0[i]$  в правиле 5 может быть выполнено только при  $T2[i] == T0[i]$ . Вероятность выполнения правила 5 после правила 2 очень мала, но больше нуля.

Дальнейшие правила предназначены для случаев, когда от ПО СЧУ и от смежного ПО шлюза поступают два разных достоверных значения сигнала с одинаковыми моментами времени обновлений (причиной таких случаев могут быть кратковременные неисправности в функционировании СЧУ). Далее используются следующие обозначения:

$TD[i]$  - моменты времени обнаружения таких случаев;

(1) Signal ( CD1[i], VD1[i], ND1[i], TD1[i], SD1[i] )

описание сигнала, поступившего из ПО СЧУ в ПО шлюза в момент обнаружения такого случая;

(2) Signal ( CD2[i], VD2[i], ND2[i], TD2[i], SD2[i] ) – описание сигнала, поступившего из смежного ПО шлюза в момент обнаружения такого случая;

*systime* – текущее системное время локального ПО шлюза,

*timeout* – интервал времени ожидания автоматического устранения таких случаев в результате нормализации функционирования СЧУ.

При загрузке ПО шлюза устанавливаются  $TD[i] = 0$  для всех  $i$ .

*Правило 6:*

Если  $TD[i] == 0$  и  $V1[i] != V2[i]$  и  $T1[i] == T2[i]$  и  $N1[i] == 0$  и  $N2[i] == 0$

То  $TD[i] = systime$ ,  $MD1[i] = M1[i]$ ,  $MD2[i] = M2[i]$ ,

$VD1[i] = V1[i]$ ,  $ND1[i] = N1[i]$ ,  $TD1[i] = T1[i]$ ,  $SD1[i] = S1[i]$ ,

$VD2[i] = V2[i]$ ,  $ND2[i] = N2[i]$ ,  $TD2[i] = T2[i]$ ,  $SD2[i] = S2[i]$ .

#### Правило 7

(ожидание автоматического устранения случая из правила 6):

Если  $(TD[i] > 0$  и

$(VI[i] \neq VD1[i]$  или  $V2[i] \neq VD2[i]$  или  $TI[i] \neq TDI[i]$  или  $T2[i] \neq TD2[i]$  или

$NI[i] \neq 0$  или  $N2[i] \neq 0)$

То  $TD[i] = 0$ .

#### Правило 8

(установка признака недостоверности значения сигнала по истечении времени ожидания *timeout* после выполнения правила 6):

Если  $TD[i] > 0$  и  $(systime - TD[i]) \geq timeout$

То  $NO[i] = 1, TD[i] = 0$ .

### 4 Анализ алгоритма

Для анализа предложенного в разделе 3 алгоритма, рассмотрим его работу при различных комбинациях условий.

#### Комбинация 1:

Если  $U1[i] == 1$  и  $U2[i] == 0$  и  $TI[i] \geq T2[i]$  и  $NI[i] == 1$  и  $N2[i] == 0$

То: От ПО СЧУ в локальное ПО шлюза поступил сигнал с признаком недостоверности, но по текущим данным от смежного ПО шлюза этот сигнал пока остается достоверным. В ПО СБУ обновление данных не будет передано. Обновление признака недостоверности значения сигнала будет передано в ПО СБУ после поступления признака недостоверности сигнала от смежного ПО шлюза.

#### Комбинация 2:

Если  $U1[i] == 0$  и  $U2[i] == 1$  и  $T2[i] > TI[i]$  и  $NI[i] == 0$  и  $N2[i] == 1$

То: От смежного ПО шлюза поступил сигнал с признаком недостоверности, но по текущим данным от ПО СЧУ сигнал пока остается достоверным. В ПО СБУ обновление данных не будет передано. Обновление признака недостоверности значения сигнала будет передано в ПО СБУ после поступления признака недостоверности сигнала от ПО СЧУ.

#### Комбинация 3:

Если  $U1[i] == 1$  и  $U2[i] == 0$  и  $TI[i] == T2[i]$  и  $NI[i] == 0$  и  $N2[i] == 0$

То: От ПО СЧУ поступил достоверный сигнал с меткой времени, которая совпадает с меткой времени сигнала, поступившего от смежного ПО шлюза. Локальное ПО шлюза получит сигнал

$VO[i] = VI[i], NO[i] = NI[i], TO[i] = TI[i], SO[i] = SI[i]$ .

Далее, согласно УСП, обновление данных будет передано в ПО СБУ при условии обновления значения сигнала  $VO[i]$  или его признака недостоверности  $NO[i]$ .

#### Комбинация 4:

Если  $U1[i] == 1$  и  $U2[i] == 0$  и  $TI[i] == T2[i]$  и  $NI[i] == 1$  и  $N2[i] == 1$

То: От ПО СЧУ поступил сигнал с признаком недостоверности значения сигнала, с меткой времени, которая совпадает с меткой времени недостоверного значения сигнала, поступившего от смежного ПО шлюза. Локальное ПО шлюза получит сигнал

$VO[i] = VI[i], NO[i] = NI[i], TO[i] = TI[i], SO[i] = SI[i]$ .

Далее, согласно УСП, обновление данных будет передано в ПО СБУ при условии обновления значения сигнала  $VO[i]$  или его признака недостоверности  $NO[i]$ .

#### Комбинация 5:

Если  $U1[i] == 0$  и  $U2[i] == 1$  и  $T2[i] == TI[i]$  и  $NI[i] == 0$  и  $N2[i] == 0$

То: От смежного ПО шлюза поступил достоверный сигнал с меткой времени, которая совпадает с меткой времени достоверного значения сигнала, поступившего от ПО СЧУ. Согласно правилу 5, если  $NO[i] == 0$ , то обновление данных не будет передано в локальное ПО шлюза. Если  $NO[i] == 1$ , то локальное ПО шлюза получит сигнал

$VO[i] = V2[i], NO[i] = N2[i], TO[i] = T2[i], SO[i] = S2[i]$ .

#### Комбинация 6:

Если  $U1[i] == 0$  и  $U2[i] == 1$  и  $T2[i] == TI[i]$  и  $NI[i] == 1$  и  $N2[i] == 1$

То: От смежного ПО шлюза поступил сигнал с признаком недостоверности значения, с меткой времени, которая совпадает с меткой времени недостоверного значения сигнала, поступившего от ПО

СНУ. Это - продолжение комбинации 1, после которой сохранилось условие  $TO[i] < TI[i]$ . В ПО СВУ будет передано обновление данных с признаком недостоверности значения сигнала.

Для анализа предложенного в разделе 3 алгоритма, с учетом обновлений сигналов во времени обозначим:

$$(3) \quad \text{Signal} ( C[i], V[i](t), N[i](t), T[i](t), S[i](t), U[i](t) )$$

- описание  $i$ -го сигнала в момент системного времени шлюза  $t$  (синхронизированного от единого времени СВУ);

$VP1[i](t)$  и  $VSI[i](t)$  – значения  $i$ -го сигнала для основного и резервного ПО шлюзов в момент системного времени  $t$ ;

$NP1[i](t)$  и  $NSI[i](t)$  – признаки недостоверности значения  $i$ -го сигнала для основного и резервного ПО шлюзов в момент системного времени  $t$ ;

$TP1[i](t)$  и  $TSI[i](t)$  – метки времени обновления  $i$ -го сигнала для основного и резервного ПО шлюзов в момент системного времени  $t$ ;

$SP1[i](t)$  и  $SSI[i](t)$  – признаки недостоверности метки времени  $i$ -го сигнала для основного и резервного ПО шлюзов в момент системного времени  $t$ ;

$UPI[i](t)$  и  $USI[i](t)$  – признаки обновления  $i$ -го сигнала для основного и резервного ПО шлюзов в момент системного времени  $t$ .

Обозначим моменты системного времени шлюзов, связанные с прохождением обновления сигнала:

$tp1, ts1$  – моменты поступления обновлений сигнала в основной и резервный шлюзы;

$t0$  – момент времени, предшествующий поступлению обновлений,  $t0 < tp1, t0 < ts1$ ;

$t2$  – момент времени, последующий обмену данными между основным и резервным шлюзами,

$t2 > tp1 + dt, t2 > ts1 + dt$ ,

где  $dt$  – оценка сверху для интервала времени обмена данными между основным и резервным шлюзами.

*Комбинация 7 (динамическая во времени):*

До поступления обновления сигнал был достоверен в ПО основного и резервного шлюзов. Обновление поступило в момент времени  $ts1$  только в резервный шлюз.

Состояние в момент системного времени  $t0$ :

$$VP1[i](t0) == VSI[i](t0) == VP2[i](t0) == VS2[i](t0) == VP0[i](t0) == VS0[i](t0) == value0,$$

$$TP1[i](t0) == TSI[i](t0) == TP2[i](t0) == TS2[i](t0) == TP0[i](t0) == TS0[i](t0) = time0,$$

где  $value0$  и  $time0$  – значение сигнала и его метка времени его к моменту системного времени  $t0$ .

При поступлении в резервное ПО шлюза из ПО СНУ обновления значения сигнала  $value1$  с меткой времени  $time1$  ( $time1 > time0$ ) в момент системного времени  $ts1$ :

$$VS1[i](ts1) = value1, TS1[i](ts1) = time1.$$

В основном ПО шлюза в момент системного времени  $ts1$ :

$$VP0[i](ts1) == VP1[i](ts1) == value0, TP0[i](ts1) == time0, UPI[i](ts1) == 0,$$

В резервном ПО шлюза в момент системного времени  $ts1$  выполняется:

$$USI[i](ts1) = 1,$$

затем

$$VS0[i](ts1) = value1, TS0[i](ts1) = time1, US1[i](ts1) = 0.$$

В основном ПО шлюза в момент системного времени  $t2$  выполняется:

$$VP2[i](t2) = value1, TP2[i](t2) = time1, UP2[i](t2) = 1,$$

затем

$$VP0[i](t2) = value1, TP0[i](t2) = time1, UP2[i](t2) = 0.$$

В резервном ПО шлюза в момент системного времени  $t2$  обновлений нет и выполняется  $US2[i](t2) = 0$ .

*Комбинация 8 (динамическая во времени):*

В основное и резервное ПО шлюзов поступают достоверные обновления сигналов с одинаковыми метками времени, но разными значениями.

При поступлении в момент системного времени  $tp1$  в основное ПО шлюза от ПО СНУ обновления сигнала (со значением  $valueP$  и меткой времени  $time1$ ):

$$VP1[i](tp1) = valueP, TP1[i](tp1) = time1.$$

При поступлении в момент системного времени  $ts1$  в резервное ПО шлюза от ПО СНУ обновления сигнала

(со значением  $valueS$  с меткой времени  $time1$ ):

$VS1[i](ts1) = valueS, TS1[i](ts1) = time1$   
( $valueP \neq valueS$  при одинаковом  $time1$ ).

Состояние в момент системного времени  $t0$  ( $t0 < tp1, t0 < ts1$ ) при всех достоверных значениях сигнала:

$VP1[i](t0) \neq valueP, VS1[i](t0) \neq valueS.$

Состояние в момент системного времени  $t2$  ( $t2 > tp1 + dt, t2 > ts1 + dt$ ):

$VP0[i](t2) = valueP, TPO[i](t2) = time1, NPO[i](t2) = 0,$

$VS0[i](t2) = valueS, TSO[i](t2) = time1, NSO[i](t2) = 0.$

Согласно правилам 6-8, если это состояние (в момент системного времени  $t2$ ) автоматически не устранится по истечении интервала времени ожидания  $timeout$ , то в основном и резервном ПО шлюза в момент системного времени  $t3$  ( $t3 > t2 + timeout$ ) установятся признаки недостоверности значений сигналов:

$VP0[i](t3) = valueP, TPO[i](t3) = time1, NPO[i](t3) = 1,$

$VS0[i](t3) = valueS, TSO[i](t3) = time1, NSO[i](t3) = 1.$

## Заключение

В данной работе рассмотрен метод синхронизации резервированной информации, поступающей в ПО СВУ и от ПО СЧУ, входящих в АСУ ТП АЭС. Предложен алгоритм реализации этого метода, описанный в терминах языка логического программирования ABIS.

Рассмотренный метод и алгоритм можно рекомендовать разработчикам не только АСУ ТП АЭС, но также автоматизированных систем контроля и управления другими сложными техническими объектами.

## Литература

1. Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Прангшвили И.В., Промыслов В.Г. Опыт проектирования и внедрения системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС // Автоматика и Телемеханика, 2006, № 5, с. 65-79.
2. Менгазетдинов Н.Э., Бывайков М.Е., Зуенков М.А., Промыслов В.Г., Полетыкин А.Г. и др. Комплекс работ по созданию первой управляющей системы верхнего блочного уровня АСУ ТП для АЭС "Бушер" на основе отечественных информационных технологий [Электронный ресурс]: монография. М.: ИПУ РАН, 2013. – ISBN 978-5-91450-130-0.
3. Бывайков М.Е. Методы унификации шлюзового программного интерфейса для систем верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС // Труды Восьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD 2015. Москва 29 сентября – 1 октября 2015 г. , под общей редакцией С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна, М.: ИПУ РАН. Том 2. С. 88-93.
4. Бывайков М.Е. Язык ABIS. Описание языка [Электронный ресурс]: монография. М.: ИПУ РАН, 2013. – ISBN 978-5-91450-128-7.