

ПРЕИМУЩЕСТВА ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ SCADA-СИСТЕМ

1. Технологичность процесса проектирования

Наиболее важной характеристикой SCADA-систем является обеспечение *технологичности* процесса конструирования (проектирования) конечной АСУ ТП. Под технологичностью разработки понимается обеспечение таких свойств, как масштабируемость, адаптивность, наследование свойств.

Существующие SCADA-системы по технологии реализации можно разделить на два класса:

- параметрические
- объектно-ориентированные

В зависимости от класса SCADA-системы порядок и технологичность разработки проекта сильно отличается.

В параметрической SCADA-системе в качестве учетной единицы используется *контролируемый параметр* (канал доступа к контрольной точке), а в объектно-ориентированной системе в качестве учетной единицы используется *объект автоматизации (ОА)*. Это принципиальное отличие и влияет на уровень технологичности процессов проектирования в обоих классах SCADA-систем.

Отсутствие привязки контролируемых параметров к объектам автоматизации в *параметрических SCADA-системах*,

предопределяет построение единого проекта с общими документами, что ухудшает наглядность проекта, усложняет освоение такого проекта и не позволяет реализовать принцип масштабируемости, т.е. вести разработку от простого к сложному.

Полнофункциональный объект, представляющий проект в миниатюре в *объектно-ориентированных SCADA-системах*, позволяет сохранять любой объект в архиве типовых описаний и в последствии использовать это описание в проектах более высокого уровня. Это хорошо согласуется с требованиями *масштабируемости и адаптивности* при построении системы:

- В начале создаются отдельные проекты на объекты автоматизации нижнего уровня
- Созданные проекты запоминаются
- После этого типовые объекты могут быть выбраны и оттиражированы в структурах более высокого уровня
- В свою очередь эти структуры могут быть также сохранены и затем использованы.

Таким образом, для проектирования АСУ ТП предпочтительнее использовать объектно-ориентированные SCADA-системы.

Наиболее удачной отечественной разработкой данного класса является технологический комплекс MasterSCADA, разработанный компанией ИНСАТ (г.Москва).

Важной особенностью комплекса MasterSCADA, с точки зрения технологичности, является разделение средств и

объектов автоматизации с возможностью их соединения на любом этапе проектирования конечного АСУ.

Оформление описания структур средств и объектов автоматизации в виде иерархических деревьев создает предпосылки для единства идентификации параметров автоматизации в виде иерархических имен, состоящих из иерархии имен объектов (средств) автоматизации и позволяющих использовать их в качестве уникальных ключевых слов (адресов) в базе данных проекта.

Очень важным, с точки зрения технологичности SCADA-системы, является выбранный набор технологических языков, с помощью которых описываются основные документы проекта (алгоритмы, схемы и т.д.).

В новом продукте фирмы ИнСАР MasterPLC Designer реализованы четыре варианта технологических языков:

- Язык структурированного текста (ST).
- Язык функциональных блоков (FBD);
- Язык релейно-контактных схем (LD);
- Язык шаговых последовательностей (SFC).

Каждый из перечисленных технологических языков может использоваться в любом месте проекта, в зависимости от удобства изображения и требуемых свойств:

ST – вставка фрагмента текста программы;

FBD – вставка функционального блока, оформляемого в виде структурной схемы;

LD – вставка фрагмента в виде последовательности релейных схем;

SFC – вставка последовательности шагов выполнения алгоритма контроля и управления параметрами объектов автоматизации в виде блок схемы.

По моему мнению технологичность этой системы значительно возрастет, если добавить в качестве технологического языка описания алгоритмов управления и контроля параметрами объектов автоматизации с помощью технологических карт, оформленных по методу таблиц решений.

2. Метод таблиц решений и Технологические карты

Таблица решений в классическом виде (см.Рис.1) достаточно проста и удобна для работы с ней технологом, далеким от программирования, и, при этом, хорошо формализована для реализации программными средствами, задавая высокую степень стандартизации программы.

Конкретная форма, предлагаемая для представления алгоритмов контроля и управления объектами автоматизации по методу таблиц решений, в дальнейшем описании будет именоваться **Технологической Картой** (ТК), а

Рис.1 Пример классической формы технологической карты, оформленной по методу таблиц решений

Условия	Примечание	вс1	вс2	вс3	вс4	вс5	вс6	вс7	вс8	вс9	вс10	вс11	вс12	вс13
Режим_ФУ	Текущий режим ФУ	0	0	0	0	0	0	2-РежП	2-режП	2-режП	3-режА	2-режП	3-режА	1-Раб
ИнтегрСост	Интегральное состояние ТС	0	0	0	0	0	0	0	1 2	3-Неиспр	3	0	0	1 2
ДопСост	Дополнительное состояние ТС	0 2-откл	0 2-откл	0 2-откл	0 2-откл	0 2-откл	1-вкл	1-вкл	1-вкл	1-вкл	1	1 2	0	1
СостПортСеть1	Состояние порта подключения ТС к сети 1	0-неопр	1-разбл	2-забл	1-разбл	2	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 2	0	1 1
СостПортСеть2	Состояние порта подключения ТС к сети 2	0-неопр	2-забл	1-разбл	1-разбл	2	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 2	0	1 1
Этап	Этап работы	0	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4
МД	Примечание	Дв1	Дв2	Дв3	Дв4	Дв5	Дв6	Дв7	Дв8	Дв9	Дв10	Дв11	Дв12	Дв13
Возврат	Нормальное завершение КАУ или возвр. упр. в В										3	2		3
Выход	Аварийное завершение КАУ или возвр. упр. в ВЗЦ					2							3	
РазблПорт	Разблокировать порт по обеим сетям, куда подк	3												
ПортЗабл1	СРС: Порт по сети 1 не разблокировался			1										
ПортЗабл2	СРС: Порт по сети 2 не разблокировался		1											
ВКЛ_ЭП	Включить ЭП ТС по разблокированному порту		2	2	1									
Этап+1	+1 к номеру этапа работы после 3-х повторов с о	4	3	3	2			1	1				2	2
Режим_П	Установить режим ТС 'Проверка'						1							
ОшСетСоед	Сетевое соединение с ТС не установлено					1								
ЛФК	Запустить ЛФК с формированием интегрального							3						
Сост_ТС	Отобразить состояние ТС	1							2	1	2			
Режим_Р	Установить режим ТС 'Работа'								3					
Режим_А	Установить режим ТС 'Автономный'									2				
Режим_ТС	Отобразить режим ТС	2						2			1	1	1	1
ОжСоб	Ожидание изменения состояния ТС	5	4	4	3		2	4	4	3				

исполнительные процедуры, указываемые в ТК, будут именоваться **Модулями Действия** (МД). Совокупность текущих состояний, режимов и т.п., требующая выполнения определенной цепочки МД, называется **Вектором Состояний** (ВС).

Будем различать два типа ТК:

- Контроль состояния объекта автоматизации через формирование интегрального состояния (ИСО) по текущему состоянию контролируемых параметров этого объекта автоматизации;
- Управление функционированием объектов автоматизации.

Формирование интегрального состояния ОА является основным способом осуществления мониторинга состояния объектов автоматизации с целью сигнализации оператору об изменении состояния ОА или возникновении аварийной ситуации.

Управление функционированием подразумевает автоматическое дистанционное включение или отключение электропитания, изменение режимов работы ОА, выдачу управляющих воздействий и т.п..

В системах мониторинга состояний объектов автоматизации решение об изменении конфигурации контролируемых ОА и других операций управления принимает оператор на основании изменений ИСО объектов автоматизации. Используя механизм *команд оператора* он может интерактивно влиять на конфигурацию ОА. Поэтому мы в основном будем рассматривать

ТК для формирования ИСО. ТК для управления функционированием объектов автоматизации рассмотрим для полноты картины.

На Рис.2 приведен пример оформления ТК для формирования ИСО объекта автоматизации .

Исходя из принципа единства идентификации имя ТК совпадает с иерархическим именем соответствующего ОА в дереве проекта (дерево ОА). Имена контролируемых параметров объекта автоматизации или ИСО входящих ОА, указанные в левой колонке ТК, также выбираются из дерева проекта. Имена входящих параметров ОА идентифицируют соответствующие окна состояний, отображающих текущее состояние контролируемых параметров на мнемосхеме.

В правой части ТК по вертикали описаны возможные вектора состояний данного ОА, каждая ячейка которых заполняется шифром соответствующего состояния, указанного окна состояния.

В нижней строке указаны обозначения интегральных состояний для каждого вектора состояний (BCi).

В колонке *Окно* указывается шифр соответствующего окна состояния.

Рис. 2. Пример ТК формирования **интегрального состояния** объекта автоматизации КТС.ПСФ.УМКСА-1.СЕРВЕР

ТК: КТС.ПСФ.УМКСА-1.СЕРВЕР

БД "Технологические карты" (исходный вид)

Входящие параметры		Окно	Сi	вс1	вс2	вс3	вс4	вс5	вс6	вс7	вс8
1	КТС.ПСФ.УМКСА-1.УДЦ-СЗ.исо	исо	1	И							
2	КТС.ПСФ.УМКСА-1.сф	сф-оа	2	ВКЛ	ВЫК						
3	КТС.ПСФ.УМКСА-1.СПД.исо	исо	3	И		Н					
4	КТС.ПСФ.УМКСА-1.СЕРВЕР.исо	исо	4	И			Н				
5	КТС.ПСФ.УМКСА-1.КОД.исо	исо	6	И					Н		
6	КТС.ПСФ.УМКСА-1.КММ.исо	исо	5	И				Н			
7	КТС.ПСФ.УМКСА-1.АРМ_3.исо	исо	7	И						Н	
8	КТС.ПСФ.УМКСА-1.АРМ_2.исо	исо	8	И						Н	
9	КТС.ПСФ.УМКСА-1.АРМ_1.исо	исо	9	И						Н	
10	----- И С О -----	исо	99	И	ВЫК	АВАР	АВАР	АВАР	АВАР	АВАР	Р

В случае ТК **управления функционированием** объектов автоматизации формат верхней части ТК полностью совпадает с форматом ТК для формирования ИСО.

В левой-нижней части ТК, в этом случае, перечислены все модули действия (МД), которые могут быть автоматически активизированы для любого вектора состояний.

В правой-нижней части ТК в каждой колонке против соответствующего ВС проставляются порядковые номера МД, образующих цепочку МД, которую надо выполнить, если в текущий момент времени данный ВС является релевантным, т.е. заданные состояния совпадают с реальными.

- *Логическое значение* – мнемоническая привязка выделенных диапазонов значений физических состояний к функциональной принадлежности

Наиболее часто в векторах состояний указывается не непосредственное значение состояния, а шифры, обозначающие привязку выделенных диапазонов значений физических состояний к функциональной принадлежности.

Например, если значение физического состояния не превышает некоторого верхнего порога значения, то это состояние *Исправно*, а если оно меньше заданного нижнего порога значения, то это состояние *Неисправно*. Если же физическое значение находится между значениями нижнего и верхнего порогов, то это состояние *Работоспособно*.

Эти функционально-ориентированные значения состояний называются *логическими* состояниями. При приеме новых физических состояний ОА им назначаются соответствующие значения логических состояний.

В исходной форме используется мнемоническое представление логических состояний в виде символьных имен (шифров), а в откомпилированной форме ТК используются числовые эквиваленты логических состояний (например: 1 – **Исправно**, 2 – **Работоспособно**, 3 – **Неисправно**).

Логическое состояние может формироваться с помощью встроенного арифметического выражения.

В векторах состояний ТК указывается заданное значение состояния параметра ОА, которое на этапе выполнения должно

сравниваться с текущим значением состояния параметра на равенство обоих значений состояний.

Физическому или логическому состоянию в векторе состояний могут предшествовать символы "<" ">", указывающие на определение того факта, что текущее значение состояния должно быть меньше заданного состояния (<), или, соответственно, больше заданного состояния (>).

2.2. Статус входящих компонент ТК

Заполнение технологической карты начинается с заполнения левой-верхней части технологической карты, где перечисляются все иерархические имена контролируемых параметров ОА и входящих ОА. Эта информация может автоматически выбираться из схемы дерева проекта.

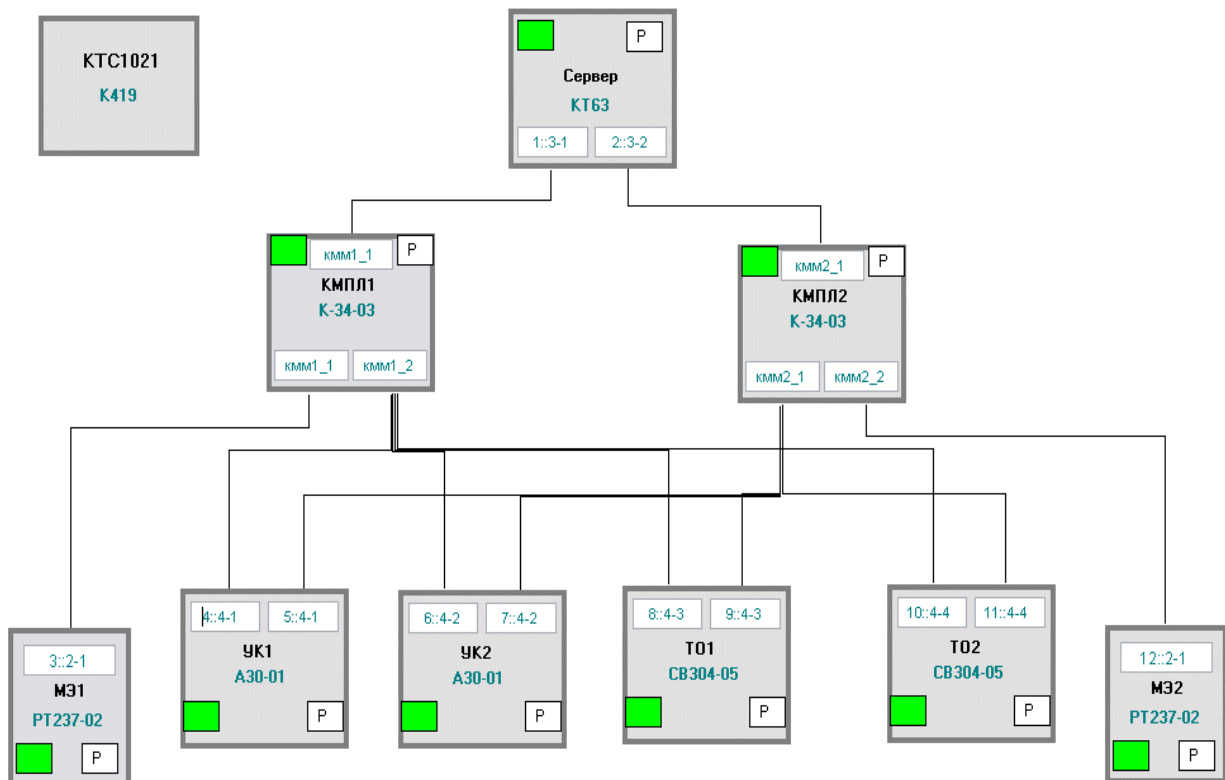
Для понимания важности входящих элементов ТК (ВХЩ – контролируемые параметры исходного ОА и ИСО входящих ОА) при определении работоспособности функционально законченного комплекса объектов автоматизации - каждому входящему контролируемому параметру или входящему ОА присваивается статус:

Статус	Примечание
И	Критичный ВХЩ , т.е. обязательно состояние Исправно
^N	Конъюнкция ВХЩ , относящихся к группе N (все параметры группы должны быть Исправны)
 N	Дизъюнкция ВХЩ , относящихся к группе N (хотя бы один параметр группы должен быть Исправен)
*	Не критичный ВХЩ , т.е. не влияет на Работоспособность ТС верхнего уровня

Статус носит чисто справочный характер и предназначен для облегчения составления векторов состояний.

Рассмотрим статусы входящих ОА для формирования ИСО абстрактной схемы контролируемого комплекса технических средств (КТС1021), приведенной на Рис.3.

Рис. 3 Схема контролируемого КТС (КТС1021)



В рассматриваемой схеме статусы входящих в КТС1021 объектов автоматизации проставлены исходя из следующих соображений:

- Без СЕРВЕРА работоспособность КТС невозможна
- В КТС выделены две цепочки технических средств (основных и резервных):
 - КМПЛ1, МЭ1, УК1, ТО1

- КМПЛ2, МЭ2, УК2, ТО2
- Выход из строя однотипных технических средств основной и резервной цепочки ОА приводит к неисправности КТС:
 - КМПЛ1 и КМПЛ2
 - МЭ1 и МЭ2
 - УК1 и УК2
 - ТО1 и ТО2

Таким образом, назначаем следующие статусы работоспособности КТС1021, входящим объекта автоматизации:

ОА	Статус	Пояснение
Сервер	И	Критичное состояние, т.е. обязательно состояние Исправен
КМПЛ1	1	Дизъюнкция ТС 1-й группы
КМПЛ2	1	
МЭ1	2	Дизъюнкция ТС 2-й группы
МЭ2	2	
УК1	3	Дизъюнкция ТС 3-й группы
УК2	3	
ТО1	4	Дизъюнкция ТС 4-й группы
ТО2	4	

2.3. Описание векторов состояний ТК

После определения состава КТС1021 можно приступить к описанию векторов состояний, учитывая заданные статусы работоспособности входящих ОА. Совокупность или отдельные вектора состояний можно описать в виде булевой формулы.

При этом, будем использовать следующие обозначения:

И = *формула описывает интегральное состояния Исправно;*

Н= формула описывает интегральное состояния *Неисправно*;

Р= формула описывает интегральное состояния *Работоспособно*;

Исправно | **Неисправно** - используемые состояние *ОА*;

^ - логическое условие типа конъюнкция (И);

| - логическое условие типа дизъюнкция (ИЛИ).

Состояние **Исправно** для КТС предполагает исправность всех входящих технических средств:

$$\mathbf{И=СЕРВЕР(И)^{КМПЛ1(И)^{КМПЛ2(И)^{МЭ1(И)^{МЭ2(И)^{УК1(И)^{УК2(И)^{ТО1(И)^{ТО2(И)}}}}}}}$$

Состояние **Неисправно** соответствуют зеркально-противоположному описанию статусов работоспособности входящих ТС:

Н = СЕРВЕР(Н) 	<i>критичное состояние</i>
(КМПЛ1(Н) ^ КМПЛ2(Н)) 	<i>конъюнкция группы 1</i>
(МЭ1(Н) ^ МЭ2(Н)) 	<i>конъюнкция группы 2</i>
(УК1(Н) ^ УК2(Н)) 	<i>конъюнкция группы 3</i>
(ТО1(Н) ^ ТО2(Н))	<i>конъюнкция группы 4</i>

Состояние **Работоспособно** соответствует заданному статусу работоспособности входящих технических средств:

Р = СЕРВЕР(И)^	<i>критичное состояние</i>
(КМПЛ1(И) КМПЛ2(И)) ^	<i>дизъюнкция группы 1</i>
(МЭ1(И) МЭ2(И)) ^	<i>дизъюнкция группы 2</i>
(УК1(И) УК2(И)) ^	<i>дизъюнкция группы 3</i>
(ТО1(И) ТО2(И))	<i>дизъюнкция группы 4</i>

Поскольку просмотр векторов состояний при поиске релевантного ВС производится слева-направо - целесообразно разместить векторы состояний, определяющие интегральное состояние *Исправно* и *Неисправно* вначале, т.е. левее векторов состояний интегрального состояния *Работоспособно*. При этом, описывать полностью булеву формулу интегрального состояния *Работоспособно* не имеет смысла, т.к. методом исключения исходный ОА будет *Работоспособен*, если все входящие устройства не соответствуют предыдущим векторам состояний.

В зависимости от заданных статусов работоспособности входящих параметров и ОА, соответственно и булевых формул, отображающих интегральное состояние, возможно изменение взаимного расположения и степени раскрытия векторов состояний для определения интегральных состояний *Неисправно* и *Работоспособно*.

В начале надо размещать вектора состояний, в которых меньшее количество логических связей типа дизъюнкция ИЛИ (\vee), и/или такие логические связи, которые охватывают более крупные конструкции входящих параметров, связанных логическим условием конъюнкция И (\wedge). В этом случае количество возможных сочетаний состояний и, соответственно, векторов состояний для более левых ВС будет значительно меньше, чем у второго интегрального состояния, для которого методом исключения можно отобразить только ВС с состоянием *исправно* для критичных входящих ОА.

Хотя, в рассматриваемом примере, количество логических связей типа ИЛИ для булевых формул формирования интегральных состояний *Неисправно* и *Работоспособно* одинаково (4), в первой булевой формуле эти связи объединяют группы входящих ОА, а не отдельные ОА как в булевой формуле формирования интегрального состояния *Работоспособно*. Поэтому количество векторов состояний, для интегрального состояния *Неисправно*, всего 4, что значительно меньше сочетаний состояний, заданных в булевой формуле *Работоспособно*, которые должны учитывать все сочетания состояний по каждому входящему ОА.

3. Пример работы с технологическими картами

3.1. Настройка на входящие параметры ТК

Как уже говорилось по методу таблиц решений формируется интегральное состояние (ИСО) объекта на основании текущего состояния совокупности входящих параметров.

Этим же методом может формироваться состояние любого контролируемого параметра ОА, если оно зависит от состояний нижестоящих по иерархии подчинения объектов автоматизации или их параметров.

Описание технологической карты включает следующие этапы:

- Выбор параметра объекта, для которого формируется таблица решений (идентификация технологической карты)

- Выбор входящих параметров
- Описание векторов состояний
- Компиляция (выполняется автоматически при сохранении ТК).

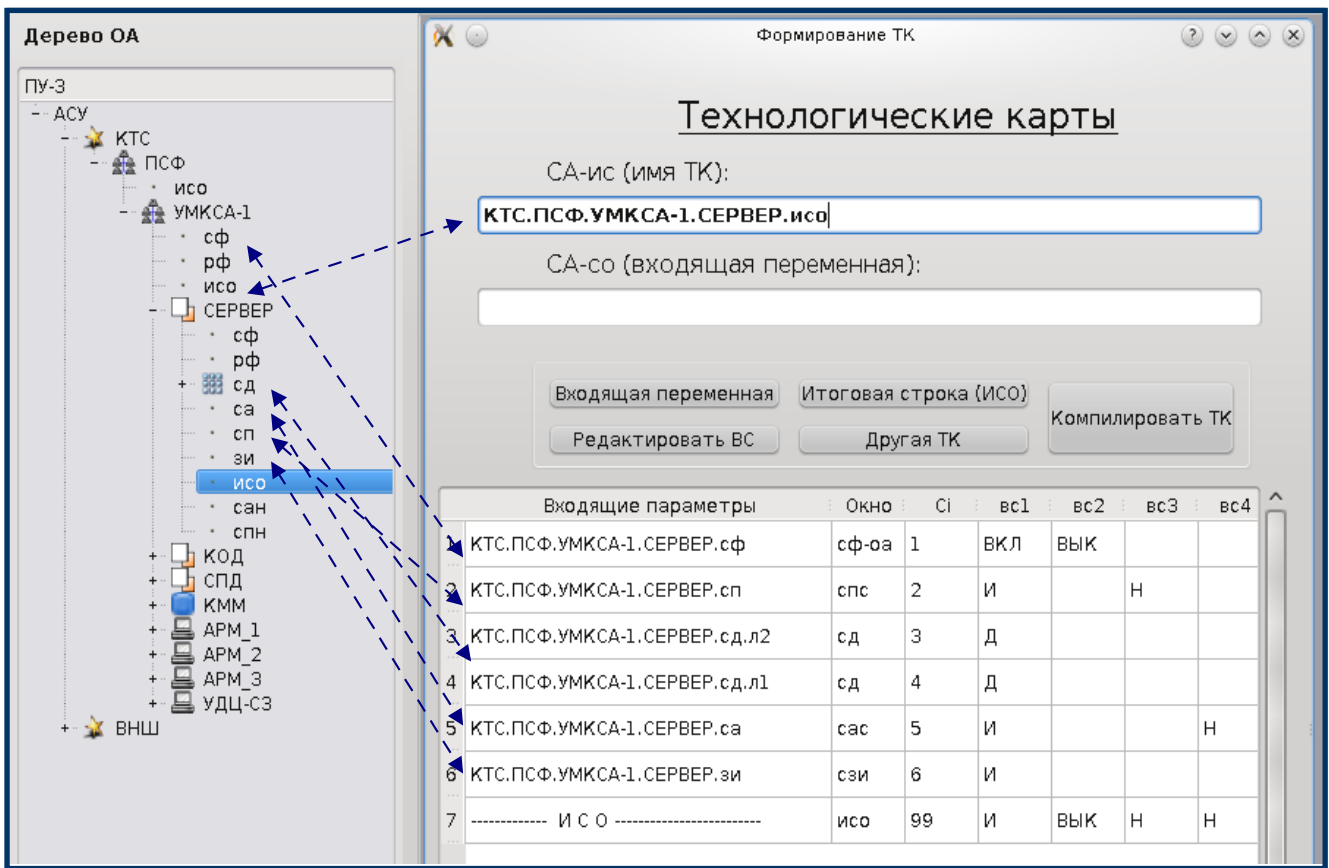
На Рис.4 показан этап идентификации ТК и выбора адресов входящих параметров.

На Рис.5 показан этап формирования векторов состояний.

Для выбора параметра объекта, для которого надо создать ТК, надо кликнуть на соответствующем узле дерева объектов и выбрать пункт меню **Технологические карты**.

На экране появится окно **Технологические карты** и в окне ввода **СА-ис (имя ТК)** отобразится адрес выбранного параметра объекта, который станет идентификатором новой технологической карты.

Теперь надо по очереди кликнуть на узлах дерева объектов, которые выбираются в качестве входящих параметров. После каждого клика надо активизировать кнопку **Входящая переменная**. Выбираемые входящие переменные будут отображаться в отдельной строке формируемой.

Рис. 4 Настройка на входящие параметры ТК

3.2. Формирование векторов состояний ТК

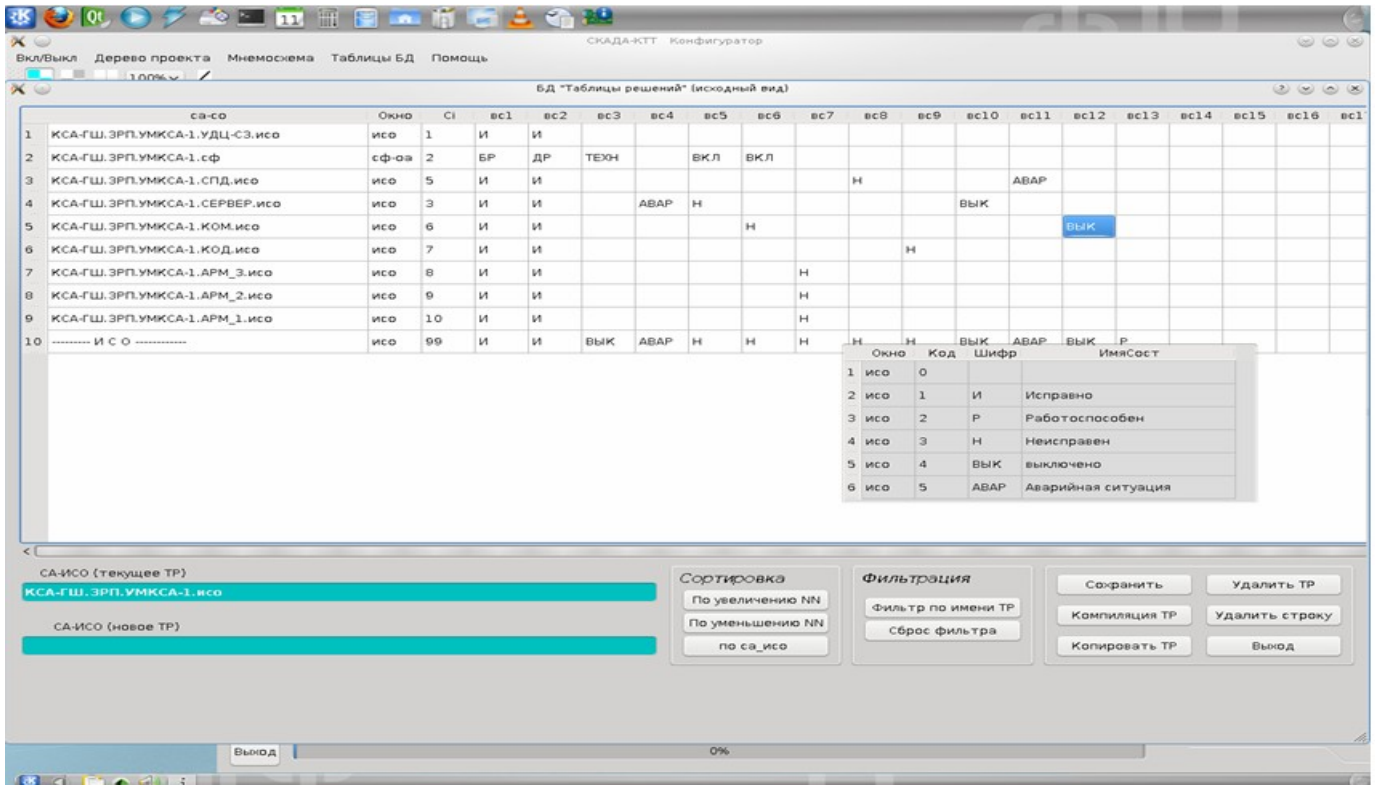
Колонка вектора состояния в ТК задает совокупность состояний входящих параметров, для которой в итоговой строке указывается результирующее состояние. Весь набор векторов состояний ТК определяет совокупность всех комбинаций состояний, которые необходимо контролировать.

Состояния входящих параметров в одном векторе состояний связаны по логическому условию "И" (конъюнкция), а вектора состояний связаны между собой по условию "ИЛИ" (дизъюнкция).

Для перехода в режим ввода (редактирования) векторов состояний необходимо кликнуть кнопку "Редактировать ВС" в окне **Формирование ТК** (см. Рис.4.). В результате чего на

экране появится окно **БД "Технологические карты"** (исходная форма) (см. Рис.5), позволяющее заполнять ячейки векторов состояний, без промежуточной формы ввода. Это удобно, т.к. оператор видит все колонки векторов состояний, адреса входящих переменных и итоговую строку.

Рис. 5 Формирование векторов состояния ТК



Для удобства заполнения отдельных ячеек векторов состояний при клике на соответствующей ячейке на экран вызывается список допустимых состояний для соответствующего типа окна состояния, указанного в колонке "Окно" ТК.

Оператору необходимо только выбрать нужное состояние и кликнуть на выбранной строке списка допустимых состояний. При этом, шифр выбранного состояния автоматически занесется в текущую ячейку вектора состояний.

При активизации кнопки СОХРАНИТЬ осуществляется сохранение исходной формы ТК и компиляция её в формат, удобный для исполнительной программы.

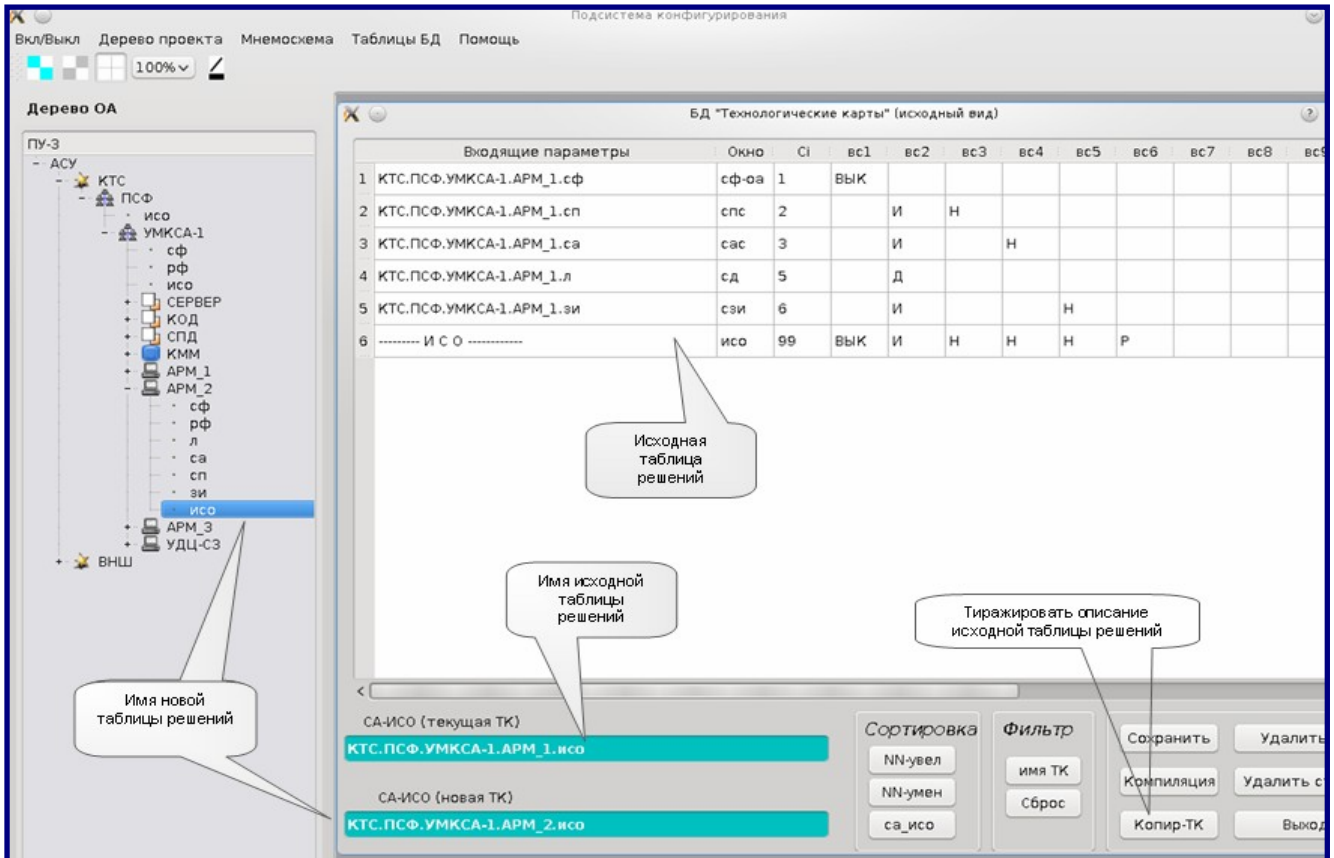
3.3. Тиражирование описаний ТК

При построении проекта часто приходится описывать одинаковые ТК для однотипных объектов автоматизации. Различаются эти описания только привязкой к адресам входящих параметров.

Для повышения эффективности конфигурирования и сокращения трудозатрат необходимо заложить механизм *тиражирования* существующей (исходной) ТК в новую ТК с привязкой к новым адресам входящих параметров.

Этапы процесса тиражирования ТК (см. Рис.6):

- Вызовите на экран исходную ТК
- Кликните на дереве объектов по узлу, идентифицирующего соответствующий параметр объекта автоматизации, для которого формируется новая ТК
- Для переноса адреса выбранного параметра в окно ввода **СА-исо (новая ТК)** кликните по заголовку этого окна ввода.
- Для запуска процесса тиражирования кликните по кнопке *Копир-ТК*.

Рис. 6 Тиражирование описания ТК

3.4. Алгоритм формирования ИСО при изменении состояния параметра ОА

Поскольку предполагается иерархическая зависимость состояний объектов автоматизации от состояний параметров всех входящих ОА, то при изменении состояния любого параметра ОА необходимо отобразить изменение состояний всех вышестоящих ОА.

На Рис.7 приведен алгоритм формирования интегральных состояний всех взаимосвязанных объектов автоматизации при изменении состояния параметра некоторого ОА.

Рис.7 Формирование ИСО для каждого из взаимосвязанных ОА