***Каменев Александр Юрьевич***
магистр автоматики и автоматизации на транспорте, ассистент кафедры автоматики и компьютерного телеуправления движением поездов
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
г. Харьков, Украина

# Методы испытаний АСУТП на базе выделения виртуальной и реальной интерфейсных линий

***Аннотация:*** *внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами во все сферы производства требует их предварительных испытаний с использованием различных видов моделирования. В статье предложены методы проведения испытаний, основанные на синтезе имитационного и физического моделирования работы объектов управления систем, выполненного путём программно-пространственного разграничения виртуальной и реальной интерфейсных линий обмена данными между информационными подсистемами.*

*Общий принцип синтеза имитационного и физического моделирования*

Методика выполнения синтеза имитационного и физического моделирования автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) заключается в следующих мероприятиях [2 – 5]:

– пространственно-программное разграничение путей доступа прикладного программного обеспечения (ППО) среднего уровня АСУТП к точкам подключения ряда устройств нижнего уровня и точкам подключения к имитационной модели для других устройств;

– настройка ППО среднего уровня на взаимодействие с реальной интерфейсной линией для устройств, подлежащих физическому моделированию, и на взаимодействие с виртуальной интерфейсной линией для устройств, подлежащих имитационному (программному) моделированию;

– штатная настройка программно-аппаратных средств интерфейса взаимодействия среднего и нижнего уровня системы;

– физическое подключение к интерфейсной шине взаимодействия среднего и нижнего уровней необходимых устройств среднего уровня и определённой выборки устройств нижнего уровня;

– подключение необходимых устройств верхнего уровня на узлах компьютерного оборудования либо запуск ППО верхнего уровня на определённом узле (узлах) среднего уровня;

– запуск всех необходимых программных процессов имитационной модели в соответствии с вышеуказанными настройками.

Таким образом, исходя из изложенного, суть синтеза двух видов моделирования при испытаниях АСУТП заключается настройке взаимодействия ППО среднего уровня системы для части объектов управления с реальными контроллерами нижнего уровня, к которым подключены

физические макеты данных объектов, а для другой части – с программными модулями имитационной модели, которая имитирует работу этих контроллеров и подключённых к ним устройств на программном уровне (рис. 1).

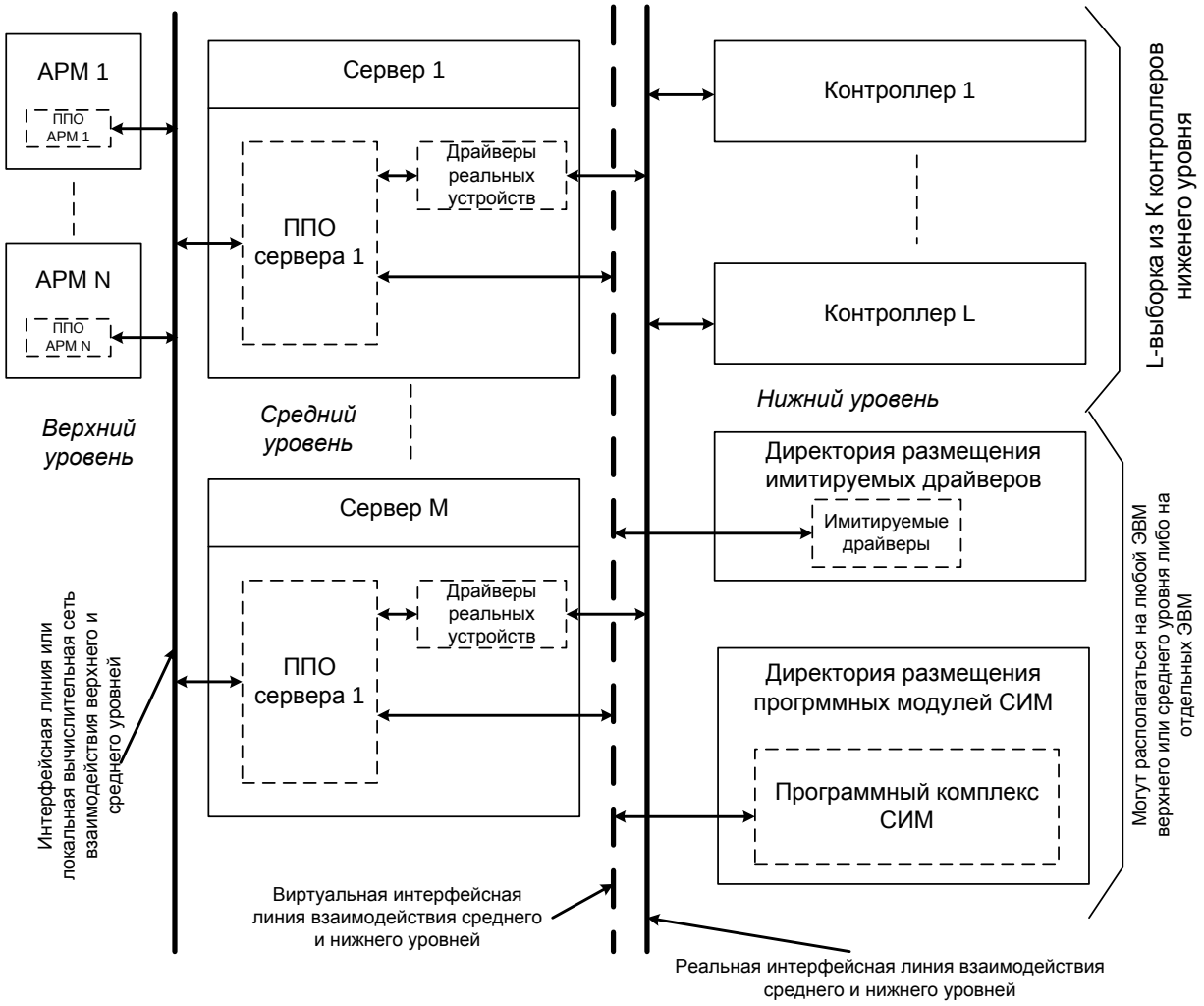


Рис. 1. Обобщённая схема синтеза имитационного и физического моделирования АСУТП

Взаимодействие ППО среднего уровня с программно-аппаратными средствами нижнего уровня осуществляется посредством специализированного программного обеспечения – драйверов соответствующего интерфейса [3, 5]. Данные драйверы при своём функционировании формируют темповые (временные) файлы, размещаемые в соответствующих директориях (папках, каталогах и т.д.). Аналогичные темповые файлы, подобные темповым файлам реальных драйверов, формирует при своём функционировании специализированная имитационная модель (СИМ) АСУТП [3, 5]. Данные темповые файлы (имитируемых драйверов) размещаются в отдельных директориях в рамках одной или разных физических ЭВМ. По реальной интерфейсной линии взаимодействия среднего и нижнего уровней посредством темповых файлов реальных драйверов оборудования нижнего уровня осуществляется взаимодействие с физически подключёнными к

испытательному комплексу контроллерами, а по виртуальной, посредством темповых файлов виртуальных драйверов, с соответствующими модулями имитационной модели, которые выполняют имитацию работы оставшейся части контроллеров нижнего уровня [6].

Таким образом, метод испытаний АСУТП заключается в выполнении тестовых воздействий, предписанных программой и методикой испытаний, на устройства испытательного комплекса системы, работа части устройств которой моделируется физически с использованием реальных контроллеров, а части – программно, с помощью модулей СИМ. Учитывая, что объекты управления системы жёстко связаны логическими зависимостями, новый метод позволяет обеспечить все необходимые логические зависимости для устройств, подключённых к реальной интерфейсной линии за счёт модулей СИМ, и, таким образом, обеспечить проверку функционирования систем в комплексе при необходимой выборке устройств нижнего уровня с воссозданием всего множества технологических ситуаций [1].

Исходя из изложенного, разработанные методы могут быть применимы также для любых АСУТП, с учётом следующих ограничений [1, 2, 5, 6]:

– клиент-серверная архитектура АСУТП;

– базовое аппаратное и программное обеспечение АСУТП разработано и прошло предварительную экспертизу;

– ядро программного обеспечения АСУТП является унифицированным для различных объектов определённого типа, а адаптация ППО к конкретному объекту (заключается в разработке и корректировке вспомогательных подпрограмм и файлов (файлов конфигурации);

– специализированная имитационная модель выполняет программную имитацию работы только нижнего уровня системы;

– имеется принципиальная техническая возможность взаимодействия программного обеспечения как с физическими контроллерами объектов управления и контроля, так и программными имитаторами однотипных объектов (например, для части объектов станции создаются физические макеты, подключенные к контроллерам напольных устройств, а для другой части – осуществляется программная имитация их работы с помощью специализированной имитационной модели).

Последнее условие является важнейшим для осуществления синтеза методов испытаний на имитационных и физических моделях. При этом подготовка испытательного комплекса не должна предполагать изменения ядра программного обеспечения, а настройка различных объектов управления и контроля на взаимодействие с физическими и имитационными моделями должна осуществляться только редактированием вспомогательных программных средств [6]. В рамках синтеза имитационного и физического моделирования разработаны следующие методы испытаний: метод обособленных групп; метод обособленных объектов; метод обособленных каналов. В отдельных случаях возможны также взаимные комбинации указанных методов.

*Метод обособленных групп*

Метод обособленных групп заключается в организации взаимодействия ППО среднего уровня систем АСУТП с контроллерами нижнего уровня для отдельных групп объектов без их дробления на отдельные объекты и их составляющие (каналы) с одной стороны и с модулями имитации работы отдельных групп объектов со стороны имитационной модели без дробления групп с другой (рис. 2).

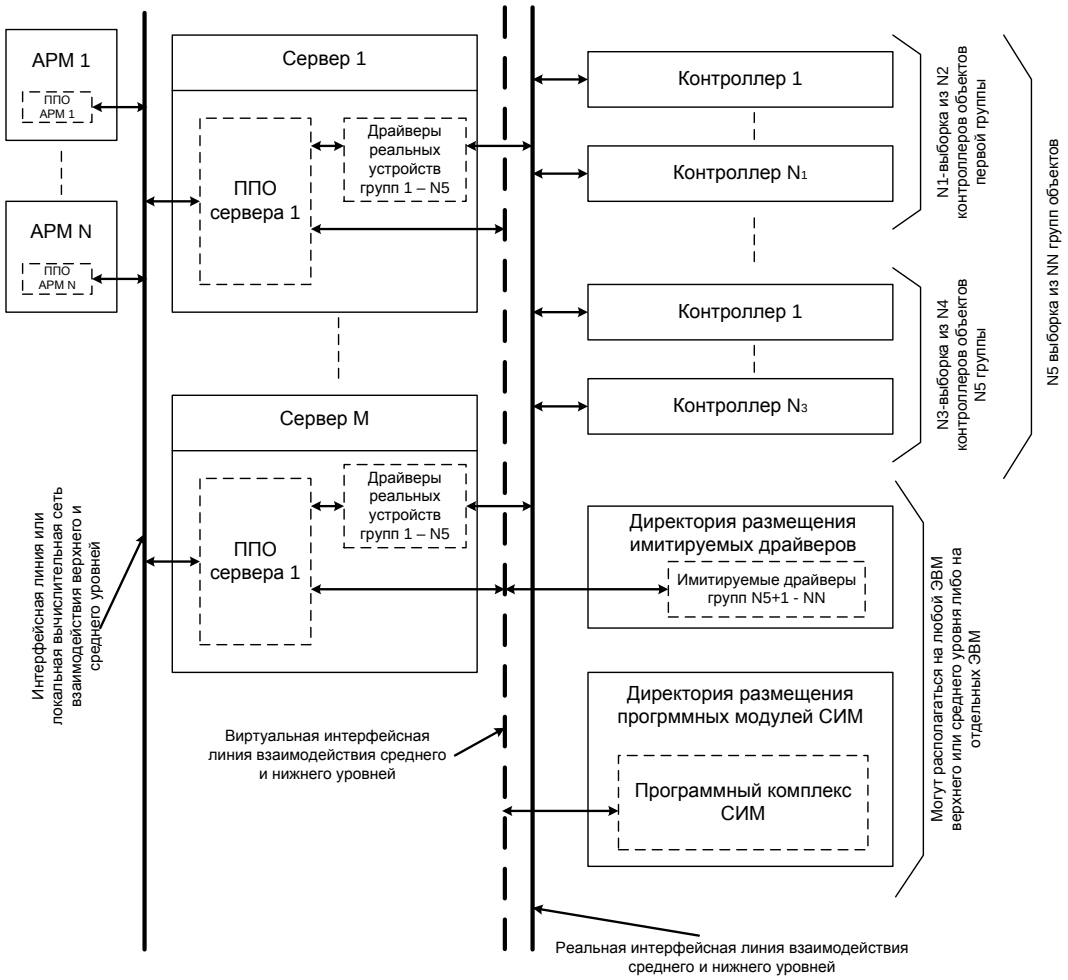


Рис. 2. Структура испытательного комплекса при использовании метода обособленных групп

Под группой объектов подразумевается совокупность объектов определённой категории, имеющих общий тип интерфейсного драйвера взаимодействия с контроллерами нижнего уровня, общий тип контроллера нижнего уровня и осуществляющих обмен с серверами среднего уровня по единой отдельной интерфейсной линии по каждому каналу управления (или информационному каналу контроля). Дробления группы объектов при использовании данного метода не происходит – каждая группа взаимодействует с единым набором драйверов (имитируемых или реальных) по каждому каналу.

Таким образом, в рамках реализации данного метода при испытаниях одна или несколько групп объектов управления и контроля взаимодействует с имитационной моделью, а остальные группы – с аппаратным обеспечением.

Для технической реализации данного метода в технологических файлах ППО серверов среднего уровня для каждой группы объектов прописываются соответствующие адреса доступа к различным точкам подключения интерфейсных драйверов (соответственно – имитируемых и реальных). Указание адресов доступа проводится по следующей примерной схеме (интерфейсные линии и группы объектов пронумерованы условно, штриховой линией указаны адреса и драйвера других групп) [3, 5, 6]:

ЛИНИЯ 1 [адрес подключения драйвера 1-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 2 [адрес подключения драйвера 1-й группы 2го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 3 ----------
ЛИНИЯ 4 [адрес подключения драйвера 1-й группы M1го канала] >> {реальный драйвер}
---
---
ЛИНИЯ N1 [адрес подключения драйвера N1-й группы 1го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ N2[адрес подключения драйвера N1-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ N3 ----------
ЛИНИЯ N4 [адрес подключения драйвера N1-й группы MN1го канала] >> {имитируемый драйвер}

В процессе испытаний с использованием метода обособленных групп выполняется имитация средствами СИМ необходимых логических состояний для объектов тех групп, которые взаимодействуют с модулями имитационной модели, которые влияют на состояние и поведение объектов, взаимодействующих с реальными устройствами нижнего уровня.

Основными преимуществами данного метода испытаний по сравнению с другими методами в рамках приведённого синтеза являются:

– простота настройки испытательного комплекса;

– необходимость наличия и настройки ограниченного числа интерфейсных линий (только тех, по которым выполняется взаимодействие реально подключённых контроллеров);

– минимальная степень корректировки технологических файлов ППО среднего уровня.

Основным недостатком метода обособленных групп является возможность воссоздания всего набора технологических ситуаций для определённой группы объектов только в ограниченном районе зоны, обслуживаемой АСУТП, для систем большой размерности при ограниченном количестве контроллеров определённой группы.

*Метод обособленных объектов*

Реализация метода обособленных объектов заключается в дроблении групп при испытаниях и выделении из них отдельных объектов управления и контроля. При этом организовывается взаимодействие части объектов внутри одной группы с имитационной моделью, а другой части – с реальным аппаратным обеспечением нижнего уровня (из всех M + N объектов одной группы M объектов взаимодействует с реальными драйверами, а N с имитируемыми). Указанное дробление и выделение объектов может осуществляться в рамках одной или нескольких групп (рис. 3).

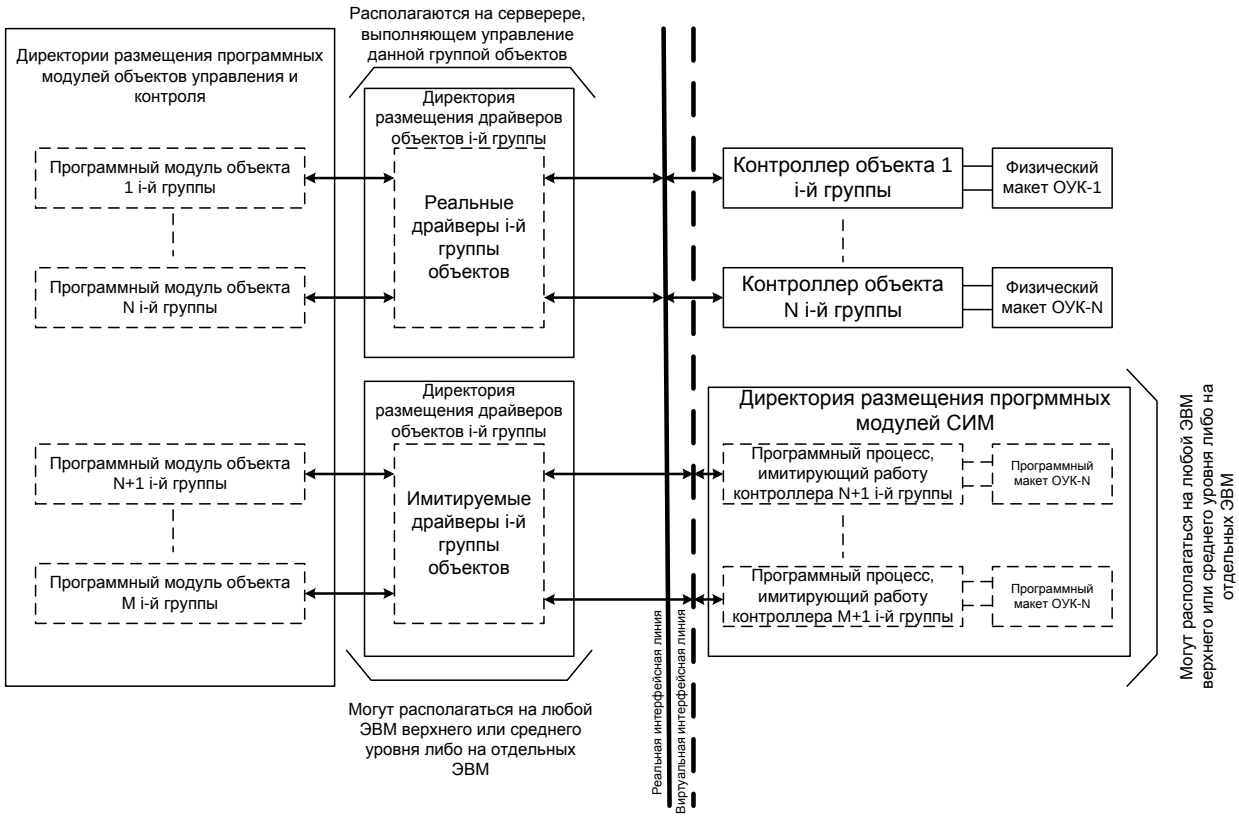


Рис. 3. Принцип реализации метода обособленных объектов на примере дробления одной группы

Программный модуль каждого объекта управления и контроля (ОУК) посредством драйверов интерфейса взаимодействия с нижним уровнем формирует команды управления, задаваемыми программными процессами ППО соответствующего сервера, на соответствующие контроллеры нижнего уровня или программные модули имитационной модели, а также получает сигналы контроля от них. При этом в рамках одной группы объектов та часть ОУК, которая взаимодействует с реальными контроллерами, обеспечивает комплексную проверку функций и условий системы (при взаимодействии компонентов), а часть ОУК, работа которых имитируется с помощью СИМ, обеспечивает необходимый набор технологических ситуаций для комплексной проверки функционирования АСУТП.

Для полноты покрытия функций и условий АСУТП, а также воспроизведения всех возможных технологических ситуаций при испытаниях с использованием данного метода рекомендуется производить определённую минимальную выборку объектов из каждой группы, которые будут взаимодействовать с аппаратным обеспечением, а для всех остальных (большинства) объектов организовывать взаимодействие с имитационной моделью. В частности, может быть организовано подключение к испытательному комплексу по одному контроллеру нижнего уровня каждого типа, с которыми будут взаимодействовать по одному ОУК из каждой группы.

Организация доступа к точкам подключения реальных и имитируемых интерфейсных драйверов при реализации данного метода для примера одной i-й группы объектов, управляемыми (контролируемыми) двухканальными контроллерами нижнего уровня, соответствует следующей схеме:

ЛИНИЯ 1 [адрес подключения драйвера i-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 2 [адрес подключения драйвера i-й группы 2го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 3 [адрес подключения драйвера i-й группы 1го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 4 [адрес подключения драйвера i-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}

Аналогично выполняется организация доступа к точкам подключения драйверов взаимодействия с реальными контроллерами и программными модулями СИМ для любого числа групп ОУК при любом количестве каналов контроллеров нижнего уровня с произвольным способом резервирования.

Реализация метода обособленных объектов позволяет обеспечить полное покрытие всех технологических ситуаций для объекта испытаний, а также применить средства автоматизированного тестирования. При этом обеспечивается полная проверка безопасности, надёжности и работоспособности системы в комплексе при максимально возможном покрытии функций и условий.

Методы обособленных групп и объектов могут применяться в комбинации – когда часть групп дробится на объекты, взаимодействующие с разными драйверами; а часть групп не подлежит дроблению.

Основное преимущества метода обособленных объектов заключается в соответствии всем положительным свойствам (характеристикам) методов испытаний на имитационных моделях и стендовых испытаний при минимальной комплектации испытательного комплекса программно-аппаратными средствами нижнего уровня исследуемой АСУТП и физическими макетами ОУК. Таким образом, практически устраняются все недостатки имитационных и стендовых испытаний, в результате чего возрастает достоверность результатов экспериментов и сокращаются временные и материальные затраты для их проведения.

Главный недостаток метода обособленных объектов заключается в относительной сложности настройки испытательного комплекса и необходимости более существенной корректировки технологических приложений ППО среднего уровня.

*Метод обособленных каналов*

Метод обособленных каналов применим в отношении АСУТП, в составе нижнего уровня которого имеют место многоканальные (резервированные) устройства управления и контроля датчиками и исполнительными механизмами. Способ резервирования в этом случае может быть произвольным, который определяется целями резервирования. В связи с применением резервирования различной типизации устройств всех уровней по безопасности и безотказности для большинства АСУТП потенциальная распространённость данного метода может быть весьма широкой [2, 5].

Метод обособленных каналов предполагает разделение взаимодействия для части каналов отдельных объектов или групп объектов нижнего уровня таким образом, чтобы часть каналов взаимодействовало с имитационной моделью, а другой – с реальными контроллерами нижнего уровня. Таким образом, при реализации данного метода выбранные объекты взаимодействуют по одному информационному (управляющему) каналу с имитируемыми драйверами, а по-другому – с реальными (рис. 4).

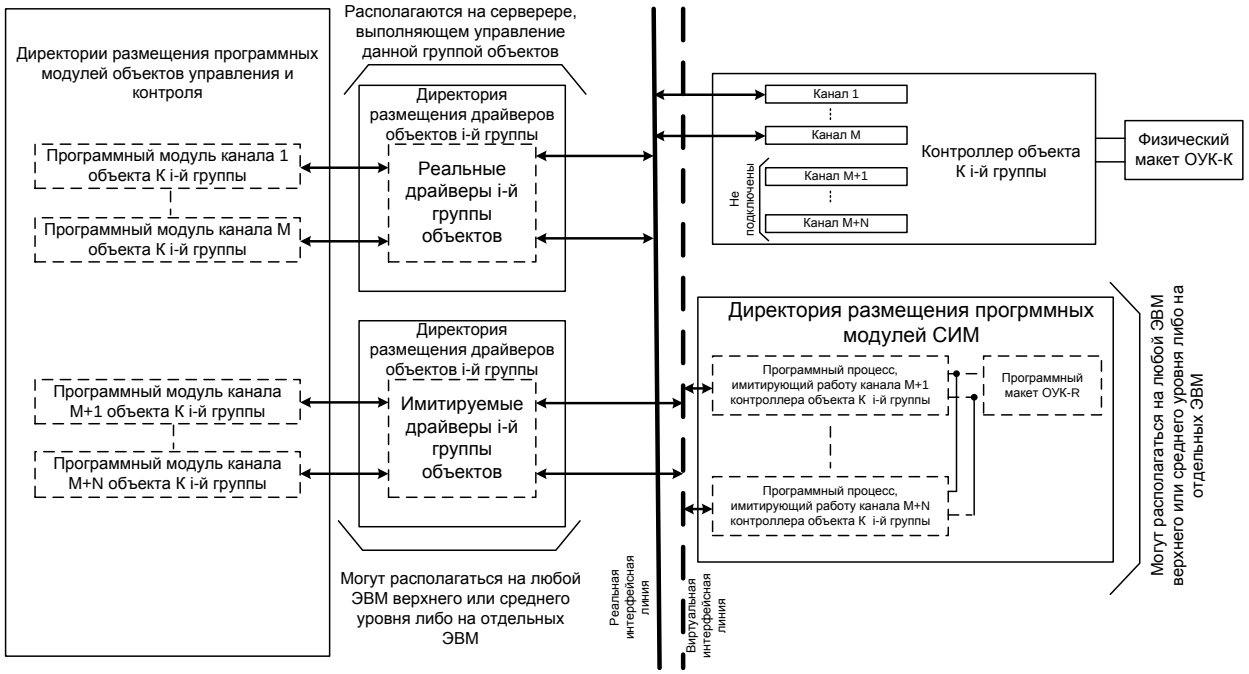


Рис. 4. Принцип реализации метода обособленных каналов на примере дробления каналов контроллера одного объекта

Таким образом, при реализации данного метода из всех М+N каналов резервированного контроллера определённого объекта нижнего уровня АСУТП программные модули М каналов взаимодействуют посредством реальных интерфейсных драйверов с физическими каналами (количество – М) данного контроллера, а остальные программные модули N каналов – с

соответствующими модулями (процессами) имитационной модели, имитирующими работу этих каналов (посредством имитируемых драйверов).

Данный метод не применяется как самостоятельное средство, а используется в комбинации с методом обособленных групп или методом обособленных объектов (либо с обоими этими методами).

При использовании метода обособленных каналов в комбинации с методом обособленных групп один канал группы объектов в целом взаимодействует с имитационной моделью, а другой канал группы с объектными контроллерами нижнего уровня (без дробления групп и выделения из них отдельных объектов). В этом случае схема доступа к точкам подключения интерфейсных драйверов для различных каналов групп объектов, на примере АСУТП с четырьмя группами объектов, управляемых двухканальными контроллерами с произвольным способом резервирования, имеет следующий вид:

ЛИНИЯ 1 [адрес подключения драйвера 1-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 2 [адрес подключения драйвера 1-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 3 ----------
ЛИНИЯ 4 ----------
ЛИНИЯ 5 [адрес подключения драйвера m-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 6 [адрес подключения драйвера m-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 7 ----------
ЛИНИЯ 8 ----------

Аналогичным образом организовывается взаимодействие с реальными и имитируемыми драйверами для контроллеров с произвольным количеством каналов и для произвольного количества групп объектов. Метод может применяться в этом случае в отношении одной и более групп объектов.

При использовании метода обособленных каналов в комбинации с методом обособленных объектов в общем случае производится дробление каждой группы объектов по следующему принципу – для всех N+M+K объектов группы:

– для N объектов организовывается взаимодействие только с имитационной моделью по обоим каналам;

– для M объектов организовывается взаимодействие только с соответствующими контроллерами нижнего уровня по обоим каналам;

– для K объектов организовывается взаимодействие с имитационной моделью по одному каналу и с контроллерами нижнего уровня по-другому.

В этом случае схема доступа к драйверам реальной и виртуальной интерфейсной лини на примере объектов с двухканальными контроллерами при наличии четырёх групп ОУК в системе имеет следующий вид:

ЛИНИЯ 1 [адрес подключения драйвера 1-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 2 [адрес подключения драйвера 1-й группы 2го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 3 [адрес подключения драйвера 1-й группы 1го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 4 [адрес подключения драйвера 1-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 5 [адрес подключения драйвера 1-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 6 [адрес подключения драйвера 1-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 7 [адрес подключения драйвера 2-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 8 [адрес подключения драйвера 2-й группы 2го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 9 [адрес подключения драйвера 2-й группы 1го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 10 [адрес подключения драйвера 2-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 11 [адрес подключения драйвера 2-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 12 [адрес подключения драйвера 2-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 13 [адрес подключения драйвера 3-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 14 [адрес подключения драйвера 3-й группы 2го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 15 [адрес подключения драйвера 3-й группы 1го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 16 [адрес подключения драйвера 3-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 17 [адрес подключения драйвера 3-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 18 [адрес подключения драйвера 3-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 19 [адрес подключения драйвера 4-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 20 [адрес подключения драйвера 4-й группы 2го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 21 [адрес подключения драйвера 4-й группы 1го канала] >> {имитируемый драйвер}
ЛИНИЯ 22 [адрес подключения драйвера 4-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}

ЛИНИЯ 23 [адрес подключения драйвера 4-й группы 1го канала] >> {реальный драйвер}
ЛИНИЯ 24 [адрес подключения драйвера 4-й группы 2го канала] >> {имитируемый драйвер}

Аналогично организовывается взаимодействие с произвольным количеством групп для контроллеров с произвольным числом каналов.

В частных случаях указанная схема может упрощаться путём дробления не всех, а только части групп объектов на подгруппы M, N, K.

Использование метода обособленных каналов в комбинации с обоими методами обособленных групп и объектов предполагает для части групп дробление на подгруппы M, N, K; для части групп организацию взаимодействия одного канала группы в целом с имитируемыми драйверами, а другого с реальными драйверами. Часть групп при этом может взаимодействовать в целом либо с имитационной моделью, либо с реальным аппаратным обеспечением нижнего уровня.

Основная цель испытаний с использованием метода обособленных каналов заключается в проверке выполнения условий резервирования обработки контрольной информации в комплексе взаимодействия всех компонентов АСУТП. Применение метода предполагает имитацию расхождения данных в канале, взаимодействующим с модулями имитационной модели, с каналом, взаимодействующим с компонентами аппаратного обеспечения (соответствующим каналом контроллера объекта нижнего уровня). При этом устанавливаются все возможные комбинации состояний по обоим каналам в пределах возможностей установки состояний каналов реальных контроллеров нижнего уровня и имитационной модели. В этом случае имитационная модель позволяет выполнить имитацию таких состояний подконтрольного канала, установить которые для реального контроллера с помощью физических макетов не представляется возможным либо представляет принципиальную сложность (например, имитация посылки кода несанкционированного включения более разрешающего показания на светофоре, самохода стрелочного электродвигателя, различия состояний стрелки в крайних положениях и т.д.).

Применение метода обособленных каналов в комбинации с методом обособленных объектов, обеспечивает выполнения наиболее полного комплекса проверок АСУТП в комплексе взаимодействия составных компонентов с покрытием не только всех технологических ситуаций, но и максимального количества технических состояний объектов. В этом заключается основное преимущество данного метода.

Наиболее рациональным применением метода обособленных каналов в комбинации с методом обособленных объектов является формирование испытательного комплекса, в котором:

– для каждой группы объектов к испытательному комплексу подключён один объект соответствующей категории (подгруппы), для которого выполняется дробление на каналы, взаимодействующие с разными драйверами (реальными и имитируемыми), а для другого объекта – нет;

– для многоканальных объектов (более двух каналов) последовательно во времени выполняются вся комбинации физических и программных имитаций работы каналов соответствующего устройства.

Основными недостатками метода обособленных каналов являются:

– сложность настройки испытательного комплекса;

– наибольшая степень корректировки технологических приложений ППО среднего уровня, которые необходимо возвращать в исходное состояние при штатной работе системы.

Однако при строгом соблюдении регламента настройки и изменений, который должен быть прописан в программах и методиках испытаний, данные недостатки минимизируются. По результатам исследования установлено, что временной ресурс восстановления технологических приложений после проведения испытаний при наиболее сложной комбинации методов обособленных объектов и каналов, с учётом контрольной проверки, установленный автором на примере системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов железнодорожных станций МПЦ-С [3, 5], составляет не более четырёх человеко-часов.

***Список литературы***

1. Глинков, Г.М. АСУ ТП в чёрной металлургии [Текст] / Г.М. Глинков, В.А. Маковский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1999. – 310 с.

2. Духанов, А.В. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций / А.В. Духанов, О.Н. Медведева. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 115 с.

3. Кустов, В.Ф. Усовершенствование методов испытаний микропроцессорной централизации на безопасность применения / В.Ф. Кустов, А.Ю. Каменев // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики: сборник научных трудов. – СПб.: ПГУПС, 2013. – С. 103 – 118.

4. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара; пер. с англ.; под ред. И. Ф. Шахнова; предисл. чл.-кор. АН СССР Г. С. Поспелова. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

5. Патент № 77047. Украина МПК G05B 23/00. Комбинированный испытательный комплекс микропроцессорной централизации стрелок и сигналов / А.Ю. Каменев, В.Ф. Кустов; заявитель и правообладатель Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. – № U201208749; заявл. 16.07.2012; опубл. 25.01.2013, Бюл. № 2. – 6 с.

6. Estublier, J. Impact of Software Engineering Research on the Practice of Software Configuration Management / J. Estublier, D. Leblang, A. Hoek and other // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. – 2005. – Vol. 14, No. 4. – Pages 1-48.