

БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМ ВЕРХНЕГО БЛОЧНОГО УРОВНЯ АСУТП АЭС: ЗАДАЧА ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ

Байбулатов А.А., Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е., Акафьев К.В.
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
ipu31@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена задача внесения изменений в базы данных систем верхнего блочного уровня АСУТП АЭС. Приведена краткая характеристика систем верхнего блочного уровня с указанием роли баз данных. Представлено описание рабочих баз данных, выделены их характерные особенности и раскрыты основные принципы методики внесения в них изменений.

Ключевые слова: система верхнего блочного уровня, база данных, внесение изменений, АСУТП, АЭС.

Введение

В современных промышленных системах управления третий уровень автоматизации согласно классической модели [1], или, следуя общепринятой терминологии, верхний уровень автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП), является интегрирующим: собирает и обрабатывает данные со всех систем нижнего уровня. Поскольку каждая из систем нижнего уровня передает на верхний десятки тысяч сигналов, это значительный объем информации; в результате, базы данных систем управления верхнего уровня, как правило, довольно крупномасштабны.

С базами данных связана другая ключевая характеристика верхнего уровня АСУТП – наличие человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), с помощью которого осуществляется представление информации оператору и выдача оператором управляющих воздействий. Именно ЧМИ верхнего уровня АСУТП обеспечивает непосредственное взаимодействие человека и промышленной системы управления.

Для управления объектами повышенной опасности роль верхнего уровня АСУТП еще более значима, поскольку благодаря «воздушному зазору» прямая связь между АСУТП и автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) в этом случае отсутствует, и верхний уровень АСУТП становится, фактически, верхним уровнем управления, на котором принимаются производственные решения.

В контексте АЭС верхний уровень АСУТП – это система верхнего блочного уровня (СВБУ), а нижний уровень – это системы автоматики нижнего уровня. Поскольку системы нижнего уровня разнородны и выдают на верхний уровень разнородную информацию, базы данных, обрабатываемые СВБУ, обладают высокой сложностью. Обычно, это специализированные базы данных, для работы с которыми используются специализированные средства.

Важно, что на протяжении жизненного цикла СВБУ базы данных не являются неизменными. В результате выявления и устранения ошибок, замены старого оборудования и ввода нового как на нижнем уровне АСУТП, так и на верхнем, базы данных СВБУ подвержены изменениям на всех этапах жизненного цикла. Поэтому задача внесения изменений в базы данных СВБУ весьма актуальна.

Представляемая работа посвящена базам данных СВБУ разработки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) и задаче внесения в них изменений. В Разделе 1 приведена краткая характеристика СВБУ с указанием роли баз данных в работе системы. В Разделе 2 представлено описание рабочих баз данных СВБУ. В Разделе 3 рассмотрена задача внесения изменений в рабочие базы данных. В Разделе 4 приведены краткие сведения о внедрении системы подготовки данных для внесения изменений. В Заключение сделаны основные выводы.

1. Краткая характеристика СВБУ

1.1. Назначение

Система верхнего блочного уровня АСУТП [2] – это интегрирующий уровень автоматизации и для АЭС как объектов повышенной опасности имеет особо важное значение.

Среди основных функций СВБУ можно выделить следующие:

- интеграция информации по энергоблоку от систем нижнего уровня АСУТП;
- передача команд оператора по управлению технологическими процессами и технологическим оборудованием;

- контроль состояния АСУТП;
- контроль и управление энергоблоком при плановых пусках и остановах, в режимах нормальной эксплуатации, в режимах с нарушением нормальной эксплуатации, включая проектные аварийные режимы;
- реализация информационных, управляющих и вспомогательных функций.

1.2. Связь с нижним уровнем

Для выполнения своих функций СВБУ устанавливает связь и собирает данные со всех систем нижнего уровня АСУТП и выдает команды управления в системы нижнего уровня с разрешенным управлением. Перечень систем нижнего уровня АСУТП довольно обширный и насчитывает до 20 и более систем.

За установление связи и взаимодействие с системами нижнего уровня отвечает шлюзовое интерфейсное программное обеспечение (ШИПО) [3], которое включено в состав программного обеспечения шлюзов систем нижнего уровня. Поскольку системы нижнего уровня разрабатываются разными производителями, как правило, на уникальном оборудовании автоматизации, выдаваемые ими на верхний уровень данные весьма разнородны. ШИПО преобразовывает эти данные и формирует базу данных сигналов: аналоговых и дискретных. Аналоговые сигналы используются для вывода значений соответствующих аналоговых параметров. Дискретные сигналы служат для представления сигнализации и состояния оборудования.

1.3. Программно-технические средства

Система верхнего блочного уровня – это программно-технический комплекс. База данных установлена на всех технических средствах СВБУ: серверах, рабочих станциях, коммутаторах и принтерах (только в части диагностики), а также частично на шлюзах систем нижнего уровня. Программно-технические средства работают под управлением операционной системы (ОС) LICS (Linux of the Institute of Control Sciences).

Для удобства использования рабочие станции объединены в автоматизированные рабочие места (АРМ). Примерный перечень АРМ следующий:

- АРМ начальника смены блока (НСБ);
- АРМ технической поддержки (ТП);
- АРМ сменного инженера по управлению реактором (СИУР);
- АРМ системы безопасности блочного пункта управления (СБ БПУ);
- АРМ системы безопасности резервного пункта управления (СБ РПУ);
- АРМ системы нормальной эксплуатации резервного пункта управления (СНЭ РПУ);
- АРМ сменного инженера по управлению турбиной (СИУТ);
- АРМ электроцеха (ЭЦ);
- АРМ вспомогательных систем (ВС);
- АРМ спецводоочистки (СВО);
- АРМ системы автоматической противопожарной защиты (САППЗ);
- АРМ системы вентиляции (СВ);
- АРМ системы радиационного контроля (СРК);
- АРМ подсистемы администрирования технических и программных средств (АТПС).

1.4. Человеко-машинный интерфейс

Неотъемлемой составляющей СВБУ, является человеко-машинный интерфейс, который представлен на автоматизированных рабочих местах. С помощью ЧМИ оператор работает с базой данных: фиксирует появление сигнализации и квитирует ее, контролирует значения аналоговых параметров, выдает команды управления оборудованием АСУТП, а также выполняет другие операции, связанные с мониторингом и управлением технологическим процессом. Основные элементы ЧМИ СВБУ для работы с базой данных – это протоколы и видеокadres.

Протоколы – это текстовое представление информации, где сигналы выводятся в виде сообщений-строк. С помощью протоколов осуществляется просмотр значений сигналов, контроль и квитирование сигнализации. Видеокadres – это графическое представление различных частей технологического процесса, где сигналы «привязаны» к пиктограммам, обозначающим соответствующее оборудование. С помощью видеокadres возможен мониторинг состояния оборудования, вызов панелей управления и выдача управляющих воздействий.

2. Основы рабочих баз данных СВБУ

Базы данных верхнего уровня АСУТП АЭС отличаются от баз данных общего назначения – это не просто упорядоченные совокупности структурированной информации о технологическом процессе. Информация, которую содержит база данных СВБУ (значения аналоговых параметров, актуальность сигнализации, состояние оборудования и др.), не только изменяется сама в процессе функционирования АСУТП, но и способна изменять ход технологического процесса, управлять им – база данных СВБУ «работает», поэтому называется рабочей базой данных (РБД).

2.1. Структура

Рабочая база данных СВБУ состоит из отдельных частей, или проектов: исходных и инсталляционных [4]. Исходные проекты соответствуют системам нижнего уровня АСУТП: для каждой системы нижнего уровня имеется, как минимум, два исходных проекта: один для сигналов и один для описания видеокадров. Инсталляционные проекты соответствуют АРМ (см. подраздел 1.3), они создаются из исходных и устанавливаются на программно-технические средства СВБУ.

Каждый из инсталляционных проектов обеспечивает работу одного или нескольких АРМ СВБУ. В Таблице 1 приведено соответствие инсталляционных проектов автоматизированным рабочим местам.

Таблица 1. Соответствие инсталляционных проектов автоматизированным рабочим местам

Инсталляционный проект	Автоматизированные рабочие места
Проект начальника смены блока	АРМ НСБ, АРМ ТП
Проект управления реактором	АРМ СИУР, АРМ СБ БПУ, АРМ СБ РПУ, АРМ СНЭ РПУ
Проект управления турбиной	АРМ СИУТ
Проект электрической части	АРМ СИУТ, АРМ ЭЦ
Проект спецводоочистки	АРМ ВС, СВО
Проект автоматической противопожарной защиты и вентиляции	АРМ САППЗ, СВ
Проект радиационного контроля	АРМ СРК
Проект администрирования технических и программных средств	АРМ АТПС

Структурно каждый проект (инсталляционный или исходный) разбит на разделы, или тома:

- том АВ – информация о видеокадрах;
- том ЕС – статическая, не меняющаяся, информация об оборудовании и аналоговых технологических параметрах (наименования и т.п.);
- том DB – информация в части обмена данными с системами нижнего уровня АСУТП;
- том DAQ – информация в части диагностики программно-технических средств систем нижнего уровня АСУТП;
- том ADM – информация в части диагностики программно-технических средств СВБУ.

Тома ЕС и DB содержат описания массивов входных/выходных сигналов для обмена серверов СВБУ со шлюзами систем нижнего уровня АСУТП. Том АВ содержит описание видеокадров, представленных на рабочих станциях СВБУ. Тома DAQ и ADM содержат как описания массивов входных/выходных сигналов СВБУ, так и описание видеокадров, представленных на рабочих станциях АТПС СВБУ.

2.2. Логическая модель данных

РБД СВБУ использует реляционную модель данных и написана на языке логического программирования ABIS [5]. Язык ABIS разработан в ИПУ РАН на языке программирования Си. В отличие от других реляционных баз данных файлы РБД СВБУ имеют текстовый формат.

Если рассмотреть структурную составляющую реляционной модели данных [6], то можно отметить, что основной элемент РБД СВБУ в каждом томе – это кортеж или, в терминах РБД, факт с определенными значениями атрибутов. Факты объединяются в отношения или наборы фактов. Наборы фактов сохраняются в различных текстовых файлах РБД. Каждому элементу АСУТП АЭС соответствует определенный объект или несколько объектов РБД. Каждый объект определяется фактом с определенными атрибутами или, как правило, несколькими фактами, один из которых является основным. Совокупность объектов функционально связанной части технологического процесса образует подсистему. В томе АВ подсистеме соответствует определенный видеокадр.

Для основных элементов АСУТП АЭС определены следующие объекты РБД СВБУ [7]: датчик аналогового параметра – объект VALUE, сигнализация – объект ALARM, насос – объект PUMP, запорная арматура – объект VALVE, регулирующая арматура – объект VALVE_REG, переключатель – объект SWITCH, регулятор – объект REGULATOR. Для индексации объектов используется кодировка KKS [8].

3. Задача внесения изменений в рабочие базы данных СВБУ

Как было указано выше, ключевой характеристикой РБД СВБУ является необходимость многократных модификаций на всех этапах жизненного цикла СВБУ. Причина заключается в том, что в процессе разработки и ввода в эксплуатацию системы нижнего уровня АСУТП изменяются: вводится новое и изымается старое оборудование, устраняются ошибки, корректируется перечень информации, передаваемой на верхний уровень. После изменений в системах нижнего уровня РБД верхнего уровня должна также изменяться. Кроме того, необходимость модификаций РБД СВБУ связана с аналогичными изменениями технических средств и устранением ошибок на самом верхнем уровне. В результате возникает задача внесения изменений в РБД СВБУ.

3.1. Жизненный цикл

Схематично жизненный цикл РБД СВБУ можно представить в виде повторяющихся этапов [9]: получение задания на внесение изменений, внесение изменений, тестирование, коррекция (в случае, если были выявлены дефекты), поставка. Жизненный цикл РБД СВБУ итеративный, и внесение изменений – это его неотъемлемый этап. Ключевая особенность жизненного цикла РБД СВБУ в том, что он является частью жизненного цикла СВБУ и повторяется на всех его этапах.

Задания, или исходные данные (ИД), на внесение изменений подготавливаются в соответствии со специальными требованиями. До начала эксплуатации СВБУ исходные данные выдают организации-разработчики систем нижнего уровня АСУТП, а на этапе эксплуатации – непосредственно персонал АЭС.

Под поставкой понимается передача подготовленной текущей версии РБД: на этапе эксплуатации СВБУ – для установки на энергоблок АЭС, а до начала эксплуатации СВБУ, на этапе заводских испытаний ПТК систем нижнего уровня, – на цифровой двойник СВБУ [10].

При рассмотрении жизненного цикла РБД СВБУ важно отметить, что после каждой его итерации создается некоторая текущая версия РБД. Данная версия не является окончательной, но актуальна, работоспособна и, действительно, необходима. На этапе эксплуатации СВБУ текущая версия РБД выполняет свою основную функцию по поддержанию технологического процесса АСУТП АЭС. До начала эксплуатации СВБУ текущая версия РБД необходима для заводских и интеграционных испытаний ПТК систем нижнего уровня.

3.2. Методика внесения изменений

Для решения задачи внесения изменений в РБД СВБУ разработана специализированная методика, в основе которой лежат следующие принципы [11]:

- 1) процедуры внесения изменений определяются системами нижнего уровня;
- 2) изменения вносятся строго в соответствии с заданиями (исходными данными);
- 3) задания (исходные данные) на внесение изменений должны удовлетворять специальным требованиям;
- 4) после внесения изменений производится тестирование;
- 5) при внесении изменений не затрагивается структура РБД.

Согласно первому принципу, методика внесения изменений в РБД СВБУ имеет небольшие отличия для разных систем нижнего уровня, что определяется отличиями в структуре исходных данных. При этом для удобства идеологически близкие и схожие по выдаваемой на верхний уровень информации системы нижнего уровня, а также получаемые от них ИД и соответствующие им исходные проекты объединены в отдельные группы. В частности, все ИД и исходные проекты в части программно-технических комплексов (ПТК) на основе типовых программно-технических средств (ТПТС) составляют одну группу. Объединены в одну группу ИД и исходные проекты в части спецсистем. Исходные проекты с видеокдрами также составляют одну группу. Для каждой группы ИД разработаны отдельные процедуры внесения изменений, а методика внесения изменений для каждой группы индивидуальна. Остальные ИД и исходные проекты, не вошедшие в перечисленные группы, имеют индивидуальные процедуры внесения изменений.

Как следствие первого принципа, изменения в РБД вносятся по частям, по исходным проектам, с последующим объединением их в инсталляционные проекты. На рис. 1 приведена обобщенная схема внесения изменений в РБД СВБУ. Для каждой группы исходных проектов, а также проектов, не вошедших в группы, имеется отдельная ветвь внесения изменений: для исходных проектов в части ТПТС, для исходных проектов в части управляющей системы безопасности по технологическим параметрам (УСБТ), для исходных проектов в части спецсистем, для исходных проектов в части системы контроля и управления электрической частью (СКУ ЭЧ), а также для исходных проектов в части видеоканалов. Далее, результаты всех ветвей объединяются с созданием инсталляционных проектов.



Рис. 1. Обобщенная схема внесения изменений в РБД СВБУ

Для внесения изменений разработаны специализированные процедуры, которые функционируют в автоматизированном режиме. «Ручное» редактирование проектов РБД исключено. Процедуры внесения изменений работают под операционными системами LICS (Linux of the Institute of Control Sciences) и Windows 10. Под ОС LICS процедуры написаны на языке программирования ABIS. Под ОС Windows 10 процедуры работают в среде MS Access.

Текстовый формат файлов РБД позволил реализовать внесение изменений, прозрачное для контроля: просмотр и проверка РБД возможны в текстовом режиме.

В соответствии со вторым принципом, основанием внесения изменений является выдача новой ревизии ИД. Как подтверждение первого принципа, ИД выдаются отдельно по каждой из систем нижнего уровня АСУТП и до начала эксплуатации СВБУ поступают от разных организаций – разработчиков систем нижнего уровня.

Третий принцип требует, чтобы ИД были представлены в заданном формате и удовлетворяли специальным требованиям [12]. Для каждой группы ИД, а также ИД, не вошедших в группы, разработаны отдельные требования. На основании требований осуществляется верификация и валидация ИД [13].

Согласно четвертому принципу, после внесения изменений и получения текущей версии РБД производится тестирование. Для этого разработаны имитаторы шлюзов систем нижнего уровня. Обеспечена возможность протестировать каждый инсталляционный проект.

В соответствии с пятым принципом при внесении изменений в РБД не затрагивается структура РБД, логическое описание технических средств и оборудования. Процедуры внесения изменений в РБД не способны изменить программное обеспечение, ответственное за выполнение основных функций СВБУ – рабочее программное обеспечение (РПО). Такая ограниченность методики внесения изменений в РБД обеспечивает дополнительную безопасность.

4. Внедрение

Представленное решение по внесению изменений в рабочие базы данных СВБУ реализовано в системах подготовки данных для АЭС «Куданкулам» блоки-1,2 и АЭС «Куданкулам» блоки-3,4 (Индия), а также, с некоторыми ограничениями, для АЭС «Бушер» (Иран).

Системы подготовки данных для АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам» блоки-1,2 сданы и в настоящее время успешно эксплуатируются. Система подготовки данных для АЭС «Куданкулам» блоки-3,4 разработана и в настоящее время готовится к сдаче заказчику.

5. Заключение

Для систем управления объектами повышенной опасности третий уровень автоматизации, или верхний уровень АСУТП, ввиду воздушного зазора является особенно важным. В контексте АЭС, это система верхнего блочного уровня.

Базы данных СВБУ играют ключевую роль в мониторинге и управлении технологическими процессами на АЭС и называются рабочими базами данных.

Ввиду многократных изменений в системах нижнего уровня АСУТП АЭС рабочие базы данных СВБУ подвержены многочисленным модификациям на протяжении всего жизненного цикла СВБУ. Текущие рабочие версии РБД СВБУ необходимы на всех этапах жизненного цикла СВБУ.

Для внесения изменений в РБД СВБУ разработана уникальная методика, один из основных принципов которой – внесение изменений по системам нижнего уровня. Внесение изменений полностью автоматизировано.

Методика внесения изменений в РБД СВБУ реализована в системах подготовки данных.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014. Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология. – Переиздание. – М.: Стандартинформ, 2020. – 74 с.
2. Менгазетдинов Н.Э. Комплекс работ по созданию первой управляющей системы верхнего блочного уровня АСУ ТП для АЭС «Бушер» на основе отечественных информационных технологий / Н.Э. Менгазетдинов, А.Г. Полетыкин, В.Г. Промыслов, И.Н. Зуенкова, М.Е. Бывайков, В.Н. Прокофьев, И.Р. Коган, А.С. Коршунов, М.Е. Фельдман, В.А. Кольцов. – М.: ИПУ РАН, 2013. – 95 с.
3. Бывайков М.Е. Программный интерфейс между верхним и нижним уровнями автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомной электростанции (АЭС) / М.Е. Бывайков, А.Г. Полетыкин, В.Н. Степанов, И.У. Сахабетдинов. – М.: ИПУ РАН, 2021. – 113 с.
4. Бывайков М.Е., Акафьев К.В., Байбулатов А.А., Зуенкова И.Н. База данных системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС: структура и методика разработки // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2014. N 4. – С. 24–31.
5. Бывайков М.Е. Язык ABIS. Описание языка: монография. – Электронный ресурс. – М.: ИПУ РАН, 2013. – ISBN 978-5-91450-128-7.
6. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. – М.: «Вильямс», 2006. – 1328 с.
7. Бывайков М.Е. Методы и средства разработки баз данных для систем верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013): труды Седьмой междунар. конф: в 2 т. – М.: ИПУ РАН, 2013. – Т. 2. – С. 220–231.
8. R01.KK36.0.0.OO.KKS.P002. Система кодирования для АЭС. Соглашение по применению системы кодирования KKS в Проекте АЭС «Куданкулам» в Индии. – М.: АО «Атомэнергопроект», 2016. – 150 с.
9. Байбулатов А.А. Метод расчета гарантированного времени модификации программного обеспечения // Проблемы управления. 2016. N 1. – С. 58–64.
10. Бывайков М.Е. Применение цифровых двойников систем АСУ ТП на этапе заводских испытаний // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды 16-й междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2023. – С. 1184–1190.
11. Байбулатов А.А. Автоматизация внесения изменений в базы данных АСУТП АЭС на этапе эксплуатации // Автоматизация в промышленности. 2015. N 6. – С. 48–50.
12. Будыноква Е.Р., Байбулатов А.А. О верификации заданий на разработку рабочих баз данных АСУТП АЭС // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды 14-й междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2021. – С. 1312–1316.
13. Голубев П.А., Жарко Е.Ф. Особенности верификации и валидации заданий на прикладное программное обеспечение систем верхнего уровня АСУТП АЭС // Автоматизация в промышленности. 2022. N 11. – С. 25–27.