

А.А. Косолапов, И.В. Жуковицкий

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В условиях модернизации и интеграции информационных систем (ИС) актуальной является задача выбора перспективной архитектуры ИС (на примере внедряемой системы АСУ ГП УЗ-Е). В статье рассмотрены основные виды архитектур ИС, их преимущества, недостатки и этапы развития. Определены условия эффективности применения мультипроцессорных структур перед кластерными конфигурациями. Обоснована необходимость использования в современных условиях 4-х уровневой архитектуры автоматизированных систем типа SC-AS-WS-DBS, в том числе в АСУ ГП УЗ-Е, которая имеет, как показали исследования, достаточные резервы вычислительных ресурсов для своего развития.

Ключевые слова: информационные системы (ИС), архитектура ИС, типы архитектур, этапы развития, АСУ ГП УЗ-Е

Введение

В настоящее время во всех отраслях экономики, в том числе и на транспорте, происходят кардинальные изменения в области информационных технологий и систем [1]. Решение поставленных перед ИТ-специалистами задачами требует конструктивной оценки состояния и проблем в области информатизации отрасли. В настоящее время можно выделить следующие тенденции, требующие особого внимания: расширение наборов решаемых задач на существующей компьютерной базе; требования формирования сообщений и выдачи управляющих воздействий в реальном масштабе времени; увеличение количества информационных систем различного назначения; развитие «средств и технологий информатизации» [2]; масштабность, комплексный характер, интеграция и усложнение систем и процессов их проектирования и модернизации; интеллектуализация решаемых задач; отсутствие единой системы понятий и определений в области прикладных ИТ-технологий и систем, что приводит к несовместимости

многих решений, к их дублированию и нерациональному использованию финансовых ресурсов; слабая техническая оснащённость систем [2] (сейчас, например, срок службы серверов баз данных и серверов приложений составляет 3 года [3]). К обобщающей проблеме можно отнести отсутствие методики системного проектирования сложных информационных систем. По оценкам специалистов Microsoft 54% ИТ-проектов в США провалились из-за игнорирования проработки архитектурных вопросов. За последние два-три года время на разработку архитектуры информационных систем увеличилось с 10-15 до 50% от общего времени выполнения проекта [4]. Отметим, что разработка архитектуры систем выполняется на ранних стадиях их проектирования – разработка концепции построения системы, ТЗ, эскизный и технический проекты.

Любая архитектура ИС [5] - это множество взаимосвязанных структур, которое описывается следующим выражением:

$$АИС = КТС \cup ПО \cup МО \cup ИО \cup ЛО \cup ОО \cup МетрО \cup Цель$$

где *КТС* или *ТО* (техническое обеспечение) – комплекс технических средств системы; *ПО* – программное обеспечение (общее и специальное *ПО*); *МО* – математическое обеспечение (совокупность математических моделей, методов и алгоритмов); *ИО* – информационное обеспечение (описание сигналов, принципов классификации и кодирования информации, описание массивов, форм, нормативно-справочной и других видов информации); *ЛО* – лингвистическое обеспечение (совокупность языковых средств общения персонала с системой); *ОО* – организационное обеспечение (организационная структура и инструкции оперативному персоналу); *МетрО* – метрологическое обеспечение (средства обеспечения заданных точностных характеристик измерительных функций системы); *Цель* – цель создания системы. Все эти виды обеспечения характеризуются набором взаимосвязанных статических и динамических структур, которые формируются в процессе проектирования системы и объединяются общей концептуальной схемой для достижения целей создания при минимизации суммарных затрат [6, 7].

Цель работы

В настоящее время на железнодорожном транспорте идут процессы модернизации существующих информационных систем и их интеграции в единую автоматизированную систему управления грузо-

выми перевозками Украинских железных дорог – АСУ ГП УЗ-Е. Эти процессы должны основываться на единой архитектуре построения систем, учитывающей особенности современных и перспективных информационных технологий и систем [8].

Для этого необходимо проанализировать основные этапы и тенденции развития архитектур ИС, оценить их преимущества и недостатки, предложить перспективную архитектуру для построения и интеграции АСУ различных уровней управления.

Основные этапы совершенствования информационных систем

Архитектуру информационной системы автоматизированного управления можно рассматривать как модель, которая определяет информационно-функциональную организацию системы.

Компоненты информационной системы по выполняемым функциям можно разделить на три слоя: слой представления, слой бизнес-логики и слой доступа к данным (рис. 1).

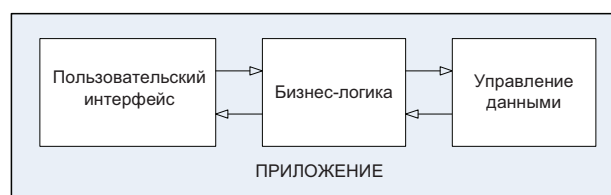


Рисунок 1 - Структура приложений информационных систем

Слой представления – все, что связано со взаимодействием с пользователем: нажатие кнопок, движение мыши, отрисовка изображения, вывод результатов поиска и т.д.

Бизнес-логика – правила, функции, алгоритмы реакции приложения на действия пользователя или на внутренние события, правила и программы обработки данных.

Слой доступа к данным - хранение, выборка, модификация и удаление данных, связанных с решаемой приложением прикладной задачей.

С точки зрения программно-аппаратной реализации компонентов информационной системы можно выделить ряд типовых архитектур ИС, которые совершенствовались с развитием сетевых технологий. Можно выделить пять основных этапов в их развитии (рис. 2).

Вначале использовались многотерминальные системы с разделением времени на базе младших моделей ЕС ЭВМ ЕС 1010, ЕС 1022, а системы реального масштаба времени строились на базе мини-ЭВМ

СМ-2М. С появлением микропроцессорных ЭВМ и локальных сетей вначале строились одноранговые сети для обмена файлами, в которых все компьютеры – равноправны, а затем возникла идея выделения отдельной машины для хранения общедоступных файлов. Это были первые 2-х уровневые системы "толстый клиент – файл-сервер" (НС-FS).

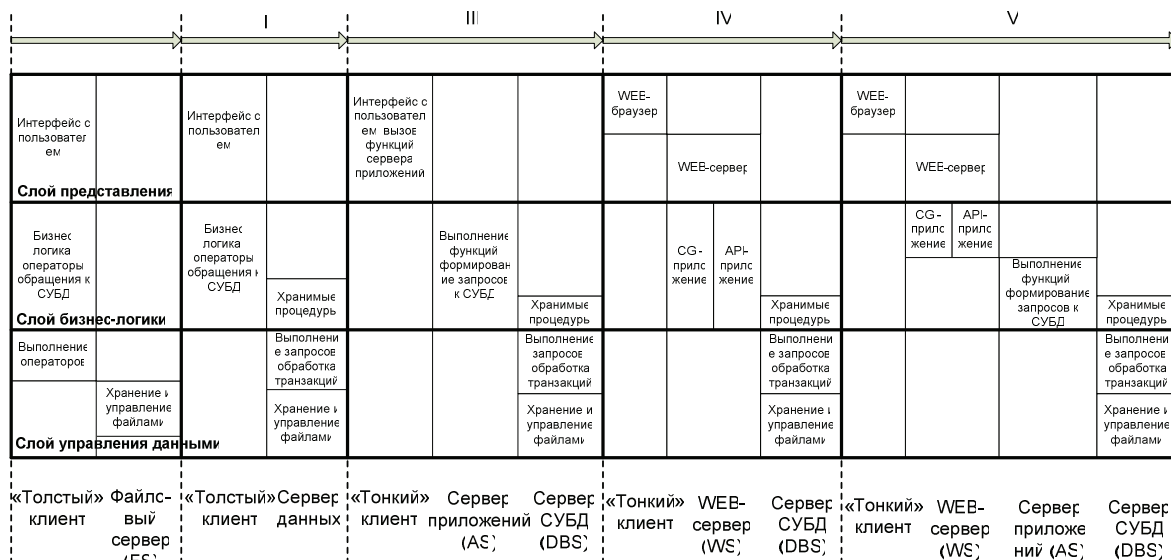


Рисунок 2 - Этапы развития архитектур ИС

Недостатки архитектуры с файловым сервером вытекают главным образом из того, что данные хранятся в одном месте, а обрабатываются в другом. Вторым важным недостатком такой архитектуры является децентрализованное решение проблем целостности и согласованности данных и одновременного доступа к данным. Такое решение снижает надежность приложений.

Следующий этап развития архитектур связан с развитием систем управления базами данных (СУБД) и абстрагированием от внутреннего представления данных (физической схемы данных). Теперь клиентские программы манипулируют данными на уровне логической схемы. Использование архитектуры "толстый клиент – сервер БД" (НС-DBS) позволило создавать надежные (в смысле целостности данных) многопользовательские ИС с централизованной базой данных, независимые от аппаратной (а часто и программной) части сервера БД.

Новая архитектура позволила обеспечить полную поддержку многопользовательской работы и гарантию целостности данных. Одновременно стали очевидны её недостатки: а) бизнес-логика прило-

жений осталась в клиенте, то есть они оставались "толстыми"; при любом изменении алгоритмов, надо обновлять пользовательское ПО на каждом клиенте; в) высокие требования к пропускной способности коммуникационных каналов с сервером, что препятствует использование клиентских станций иначе как в локальной сети; с) слабая защита данных от взлома, в особенности от недобросовестных пользователей системы; d) высокая сложность администрирования и настройки рабочих мест пользователей системы; e) необходимость использовать мощные ПК на клиентских местах ("толстые" клиенты); f) высокая сложность разработки системы из-за необходимости выполнять бизнес-логику и обеспечивать пользовательский интерфейс в одной программе.

Нетрудно заметить, что большинство недостатков классической или 2-х слойной архитектуры клиент-сервер проистекает от использования клиентской станции в качестве исполнителя бизнес-логики ИС. Поэтому очевидным шагом дальнейшей эволюции архитектур ИС явилась идея "тонкого клиента", то есть разбиения алгоритмов обработки данных на части, связанные с отображением информации в удобном для человека представлении, с первичной проверкой данных (клиентская часть) и связанные с выполнением бизнес-функций и функций работы с базами данных (серверная часть). Это так называемая промежуточная 2,5-слойная архитектура. Однако вместе с преимуществами унитарного подхода архитектура 2,5 перенимает и все его недостатки, как-то: ограниченную масштабируемость, зависимость от программной платформы, ограниченное использование сетевых вычислительных ресурсов.

Для решения этих проблем и была предложена так называемая 3-х слойная архитектура клиент-сервер (SC-WS(AS)-DBS). Основным ее отличием от архитектуры 2,5 является физическое разделение программ, отвечающих за хранение данных (СУБД) от программ эти данные обрабатывающих (сервер приложения, application server (AS)). Такое разделение программных компонент позволяет оптимизировать нагрузки, как на сетевое, так и на вычислительное оборудование комплекса.

Преимущества трёхслойной архитектуры: а) тонкий клиент; б) между клиентской программой и сервером приложения передается лишь минимально необходимый поток данных – аргументы вызывае-

мых функций и возвращаемые от них значения; с) сервер приложения ИС может быть запущен в одном или нескольких экземплярах на одном или нескольких компьютерах, что позволяет эффективно и безопасно использовать вычислительные мощности организации; d) дешевый трафик между сервером приложений и СУБД; трафик между сервером приложений и СУБД может быть большим, однако это всегда трафик локальной сети, а их пропускная способность достаточно велика и дешева. В крайнем случае, всегда можно запустить **AS** и **DBS** на одной машине, что автоматически сведет сетевой трафик к нулю; e) снижение нагрузки на **DBS** по сравнению с 2,5-слойной схемой, а значит и повышение скорости работы системы в целом; f) дешевле наращивать функциональность и обновлять ПО.

Переход к 4-уровневой архитектуре **SC-WS-AS-DBS** произошел с развитием ИНТЕРНЕТ-технологий, когда скорости передачи данных в сети стали соизмеримы со скоростями выполнения многих приложений и существенно увеличилась нагрузка на **WEB**-сервер обслуживанием поступающих запросов. В это же время (с 2010 гг.) появляются технологии виртуализации вычислений и первые центры обработки данных (ЦОД) – фабрики, предоставляющие информационные услуги (сервисы) с настраиваемыми вычислительными ресурсами для хранения и обработки данных и необходимым для этого программным обеспечением для удалённых пользователей в сети. Обязательные для исполнения требования предусматривают, в частности, что ИС должны иметь трёхзвенную архитектуру, а прикладные функции реализованы на серверах приложений и доступны через их программный интерфейс. Интеграция систем должна осуществляться путём взаимодействия их серверов приложений, прямой доступ к базам данных не допустим. Необходимо построение общей корпоративной шины взаимодействия на основе протоколов, имеющих статус международных, и сервис-ориентированной архитектуры (SOA) [8].

Такая организация взаимодействия и интеграции систем позволяет говорить об их **интероперабельности**, то есть совместимости на уровне единых протоколов информационного обмена [9].

Исследование проектных характеристик системы АСУ ГП УЗ-Е

Для исследования характеристик системы АСУ ГП УЗ-Е будем использовать полную 4-х уровневую модель системы, представленную на рис. 4.

Комплексирование вычислительных ресурсов на различных уровнях осуществляется либо путём построения многомашинных систем (кластеров), либо путём использования многопроцессорных систем (симметричное мультипроцессирование – SMP). Эффективность этих вариантов определяется количеством используемых процессоров.

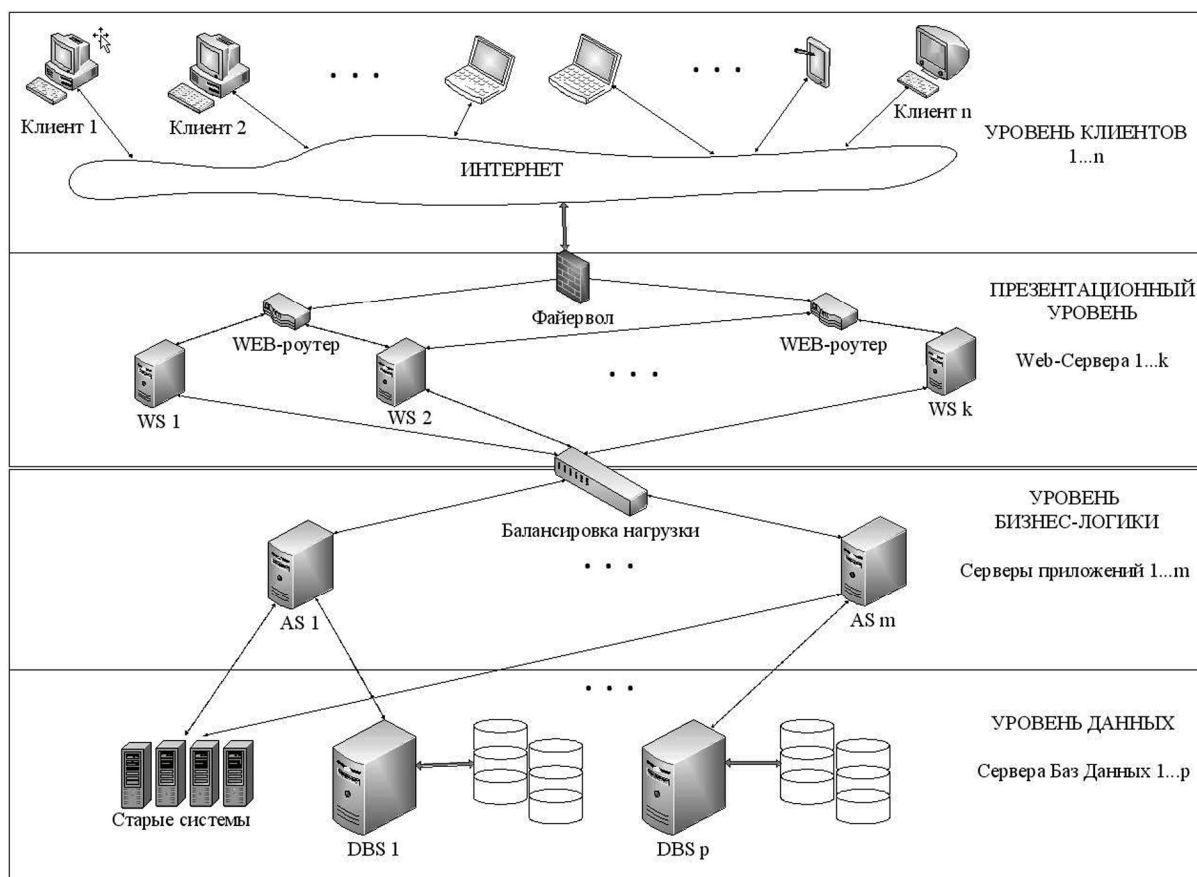


Рисунок 3 - Четырёхуровневая модель построения АСУ ГП УЗ-Е

На рис. 5 (по данным www.tpc.org) показана производительность систем на смеси (бэнчмарке) TPC-C (в количестве транзакций в минуту – $tpmC$), приходящаяся на один процессор [10]. TPC-C предполагает, что >90% транзакций имеют ограничение на время ответа (в среднем 5 секунд).

Мультипроцессорная SMP
и кластерная масштабируемость

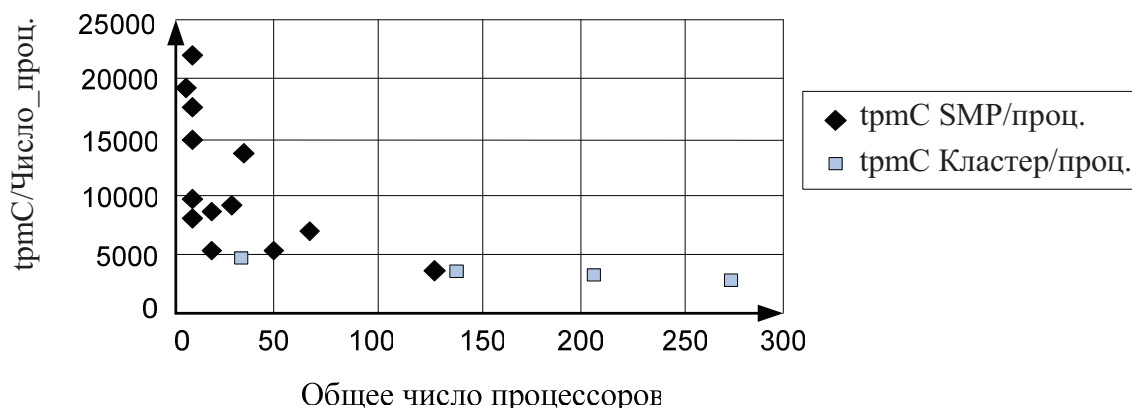


Рисунок 4 - SMP и кластерная масштабируемость

Таким образом, для системы АСУ ГП УЗ-Е можно рекомендовать при большом количестве серверов использовать кластеризацию (например, на уровнях **WS**, **AS**) и технологию SMP при количестве до 15 серверов (уровень **DBS**).

В короткой истории развития компьютерных систем можно четко выделить ряд основных этапов, которые характеризуются преобладающей архитектурой построения таких систем (см. рис. 2):

- 1 – **HC-FS**
- 2 – **HC-DBS**
- 3 – **SC-AS-DBS**
- 4 – **SC-WS-DBS**
- 5 – архитектура с четырьмя и более уровнями (**SC-AS-WS-DBS**)

Этот перечень архитектур можно дополнить еще двумя архитектурами

- 6 – одноранговая (пиринговая, p2p) архитектура
- 7 – сервис-ориентированная архитектура
- 8 – сетцентрическая сервис-ориентированная архитектура.

Каждая новая архитектура появляется в следствие повышения сложности информационных систем: размер хранимой информации каждый год удваивается, число пользователей систем увеличивается в геометрической прогрессии, появляются различные сервисы, работающие на различных платформах и т.д. Современным решением этой проблемы явился сетцентрический подход к проектированию

информационных систем, в основе которого лежит сервис-ориентированная архитектура.

Сервис-ориентированная архитектура (service-oriented architecture, **SOA**) – модульный подход к разработке информационных систем, в основе которого лежит разработка сервисов со стандартизированными интерфейсами [8, 11].

Отметим только одну основную характеристику сетевых систем, которая важна для ИС реального времени. Это скорость принятия решений (speed of command) – время, необходимое для прохождения полного цикла Бойда "Наблюдение – Ориентация – Решение – Действие (Observe – Orient – Decide – Act, **OODA**) [11]. Такой цикл включает в себя: сбор информации с внутренних и внешних источников – наблюдение; формирование множества возможных вариантов и оценка каждого из них по совокупности критериев – ориентация; выбор наилучшего плана действий для практической реализации – решение; практическая реализация избранного плана действий – действие. Очевидно, что количество уровней иерархии или этапов в принятии решения по **OODA** не должно превышать четыре. Основу таких систем составляют Центры обработки данных (ЦОД) [12, 13].

В настоящее время АСУ ГП УЗ-Е можно представить как сетевую, сервис-ориентированную, 4-х уровневую информационную систему реального времени

Выводы

В исследовании систематизированы этапы развития архитектур информационных систем: **HC-FS**, **HC-DBS**, **SC-AS-DBS**, **SC-WS-DBS**, **SC-AS-WS-DBS**, p2p-архитектура, сервис-ориентированная архитектура, сетевая сервис-ориентированная архитектура.

В работе впервые исследованы проектные характеристики новой системы управления грузовыми перевозками Украинских железных дорог – АСУ ГП УЗ-Е, даны рекомендации по использованию кластерных и мультипроцессорных структур в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюшин Ю.М. Информатизация железнодорожного транспорта Украины / Ю.М. Федюшин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – №4. – С.3 – 5.
3. Бочаров А.П. Разработка и внедрение корпоративной информационной системы: основные положения и проблемы / А. П. Бочаров, П. П. Науменко, Ф. А. Карбинский Ф.А., В.А. Шиш В.А. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – № 5. – 2012. – С. 3 – 8.
4. Dave Peter. System Design Strategies / Peter Dave // An ESRI White Paper. – 2003, February
5. Всероссийская практическая конференция «Стандарты в проектах современных информационных систем» // Computerworld Россия, №20, 2003. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL: <http://www.osp.ru/cw/2003/20/64757/>.
6. Ключевая роль транспорта в современном мире / Косолапов А. А. [и др.]; – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – 125 с.
7. Косолапов А.А. Методология автоматизированного системного анализа и проектирования как основа создания информационно-управляющих вычислительных систем и сетей / А. А. Косолапов // Информационные технологии на железнодорожном транспорте “ИНФОТРАНС-96”. – СПб.: Академия транспорта РФ, ПГУПС, 1996. – С. 332–341.
8. Трутнев Д. Р. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: Учебное пособие / Д. Р. Трутнев – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 66 с.
9. Кинаш С.А. Унификация архитектурных решений для АСУ РЖД / С. А. Кинаш // Автоматика, связь, информатика. – №7. – 2007. – С. 20–21.
11. Кузнецов С. Переносимость и интероперабельность информационных систем и международные стандарты / С. Кузнецов // Computer World. – № 4. – 1996. – С. 10–11.
13. Ren J. Cheavance Server Architectures. Multiprocessors, Clusters, Parallel Systems, Web Servers, and Storage Solutions / J. Ren // Elsevier Digital Press USA. – 2005. – 709 p.
14. Душкин Д.Н. Сетецентрические технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований / Д. Н. Душкин, М. П. Фархадов // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 21–29.
15. Туманова Т. Единый Центр обработки данных заработал в Укрзалізнице / Т. Туманова /// УНН. – 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL: <http://www.unn.com.ua/>.
16. Плотникова А. АСК ВП УЗ-Е — 20 дней спустя // А. Плотникова / Всеукраинская транспортная газета "Магистраль", 01.08.2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:URL: www.magistral-uz.com.ua/.