

А. А. КОСОЛАПОВ, канд. техн. наук, **И. В. ЖУКОВИЦКИЙ**, д-р техн. наук (ДИИТ)

РЕЗЕРВЫ АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ УКРАИНСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Ключевые слова: информационные системы на транспорте, архитектура ИС, типы архитектур, этапы развития, АСУ ГП УЗ-Е, аналитическое моделирование, резервы вычислительных ресурсов

Введение. В настоящее время во всех отраслях экономики, в том числе и на транспорте, происходят кардинальные изменения в области информационных технологий и систем [1]. Так, в соответствии с Транспортной стратегией Украины до 2020 года, основными направлениями её реализации являются обеспечение доступности и качества транспортных услуг за счёт создания «комплексных информационных систем управления, контроля и идентификации грузов и контейнеров...». При этом среди приоритетов развития видов транспорта называется «создание автоматизированной системы управления железнодорожными перевозками через главный и региональные центры управления, централизация управления движением поездов» [2].

Решение поставленных перед ИТ-специалистами отрасли задачами требует конструктивной оценки состояния и проблем в области информатизации отрасли.

Цель работы. В настоящее время на железнодорожном транспорте идут процессы модернизации существующих информационных систем и их интеграции в единую автоматизированную систему управления грузовыми 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 [3].

Для системы АСУ ГП УЗ-Е, успешно прошедшей первый этап эксплуатации, целесообразно оценить резервы её архитектуры по наращиванию решаемых задач, увеличению количества обслуживаемых клиентов и предоставляемых сервисов. В предлагаемой работе такая оценка осуществляется на основе моделирования работы этой системы.

Анализ архитектурных и функциональных решений системы АСУ ГП УЗ-Е. Каждая новая архитектура появляется вследствие 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 сетевый 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 [3, 4].

Отметим только одну основную характеристику сетевых систем, которая важна для информационных систем 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) [4].

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 произошел переход к 4-уровневой архитектуре SC-WS-AS-DBS (SC – Server-Client, WS – Web-Server, AS – Application Server, DBS – DataBase Server).

В настоящее время АСУ ГП УЗ-Е можно представить как сетевую, сервис-ориентированную, 4-х уровневую информационную систему реального времени, модель которой показана на рис. 1. Её можно рассматривать как переходную к "облачным вычислениям" – динамическим ИТ-сервисам на базе WEB [5, 6].

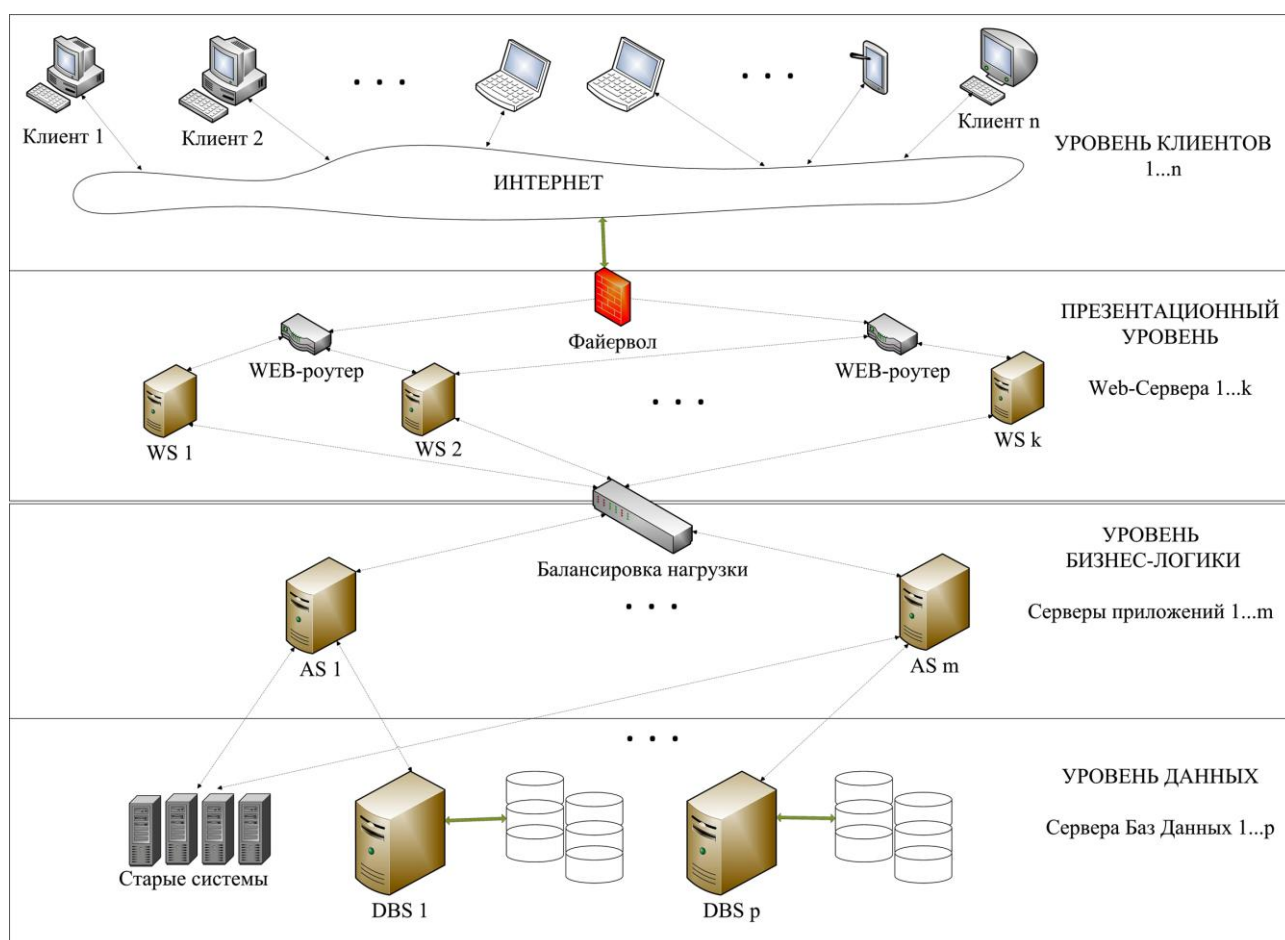


Рис. 1 Четырёхуровневая модель построения АСУ ГП УЗ-Е

Комплексирование вычислительных ресурсов на различных уровнях осуществляется либо путём построения многомашинных систем (кластеров, как это было реализовано в предыдущей версии системы [7]), либо путём использования многопроцессорных систем (симметричное мультипроцессирование –

SMP). Эффективность этих вариантов определяется количеством используемых процессоров. Исследования показывают, что 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).

Разработка основных проектных решений по созданию единой АСУ грузовыми перевозками осуществлялась исходя из двух основных установок [8]:

- сохранение общей методологии (идеологии) АСУ ГП УЗ-Е;
- построение системы с единым централизованным серверным узлом.

Функциональные проектные решения в системе сгруппированы по функциональным комплексам (ФК): ФК организации перевозочного процесса; ФК коммерческой работы; ФК вагонного хозяйства; ФК локомотивного хозяйства.

Исследование характеристик АСУ ГП УЗ-Е. В данной работе рассмотрим только укрупнённую макро модель системы (без структуризации запросов, без оценки сложности приложений и учёта особенностей работы с дисковыми массивами), которая позволяет определить потребные вычислительные ресурсы по уровням WS-AS-DBS с учётом развития АСУ ГП УЗ-Е (увеличения входного потока заявок, усложнения и увеличения количества приложений в системе). Исследования проводились на аналитических моделях М/М/К и Раг/М/К [9].

Рассмотрим исходные данные для моделирования АСУ ГП УЗ-Е.

Вычислительные ресурсы

Система АСУ ГП УЗ-Е реализована на базе модели P780 фирмы IBM [10], которая имеет следующие основные характеристики (максимальная конфигурация): восемь 3.86 GHz POWER7 восьмиядерных процессорных модулей, что составляет 64 ядра 3.86 GHz с трехуровневым кэшем; до 1 TB 1066 MHz DDR3 или до 2 TB 800 MHz DDR3; до 24 дисков SFF или SFF SAS; операционные системы AIX, SLES, RHEL.

В моделях вычислительный ресурс будем представлять в виде 64 (128) процессоров и 24 (48) обычных SATA или SAS-дисков (Serial Attached SCSI).

Коммуникации

Скорости внутренних локальных сетей в пределах верхних уровней AS-DBS: 10/100 Мбит/с, 1 Гбит/с, 2 Гбит/с.

В настоящее время на железных дорогах Украины используются 2-х уровневые волоконно-оптические линии связи (ВОЛС): магистральный уровень (STM-16) с максимальной пропускной способностью до 2,5 Гбит/с; дорожный уровень (STM-4) с максимальной пропускной способностью до 622 Мбит/с. Для системы АСУ ГП УЗ (предыдущая версия системы) выделялась пропускная способность 10 Мбит/с [11]. Кроме того, в узлах МПД, где нет ВОЛС, используются выделенные и коммутируемые каналы тональной частоты, каналы мобильной и спутниковой связи (GRPS, EDGE). Средняя пропускная способность этих каналов составляет от 19,2 до 56 Кбит/с, чего явно недостаточно для работы в АСУ ГП УЗ-Е.

Внешние каналы передачи данных в АСУ ГП УЗ-Е – 50 Мбит/с, на уровне дорог каналы закольцованы [12]. Приведенные выше данные говорят, что существуют достаточные резервы повышения пропускной способности внешних каналов. Поэтому в дальнейшем остановимся только на потребных вычислительных ресурсах.

Все проектные решения разрабатывались исходя из следующих оценок (по данным [12, 13, 14, 15]) размерностей системы, которые можно использовать для оценки "предельных" характеристик системы:

- количество железнодорожных абонентов, участвующих в формировании БД – до 20 тысяч; они обеспечивают среднесуточное обновление базы данных до 500 тысяч (нагрузка на AS-DBS: 5,79 транзакций/с; принимаем $t_{\text{обр}}^{\text{AS}} = 0,2\text{с}$, $t_{\text{обр}}^{\text{DBS}} = 0,6\text{с}$);

- количество железнодорожных абонентов, пользующихся информационно-справочной системой – до 25 тысяч; среднесуточное количество выдаваемых отчётных документов (справок) – до 1 миллиона (нагрузка на AS-DBS: 11,58 транзакций/с; будем предполагать, что $t_{\text{обр}}^{\text{AS}} = 0,1\text{с}$, $t_{\text{обр}}^{\text{DBS}} = 0,3\text{с}$);

- количество взаимодействующих АСУ клиентов – до 10 тысяч; среднесуточное число транзакций – 60 тысяч (нагрузка на AS: 0,69 транзакций/с; принимаем $t_{\text{обр}}^{\text{AS}} = 0,2\text{с}$).

Определим предельные характеристики системы АСУ ГП УЗ-Е на основе введенных оценок.

В качестве начального уровня входных потоков примем те, что использовались в проекте (на рис. 2, 3, 4, 5 это соответствует значению коэффициента увеличения входных потоков относительно базового уровня равному 1). При этом 6 серверов в кластере AS обеспечивают 50% запас по средней загрузке (рис. 2), а вот в кластере DBS 12 серверов обеспечивают всего 5% запас до уровня $\rho = 0,6$ (рис. 3).



Рис. 2. Средняя загрузка кластера AS

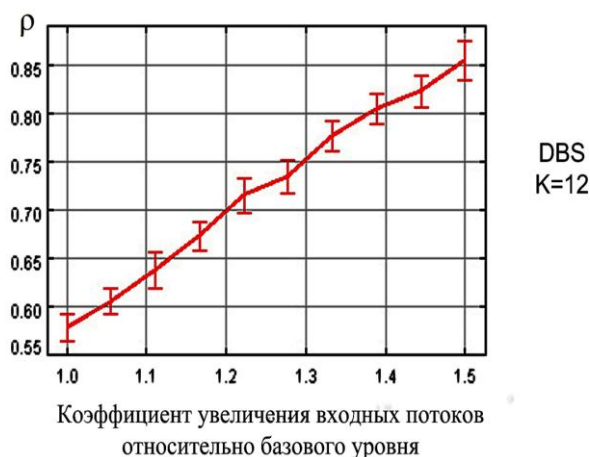
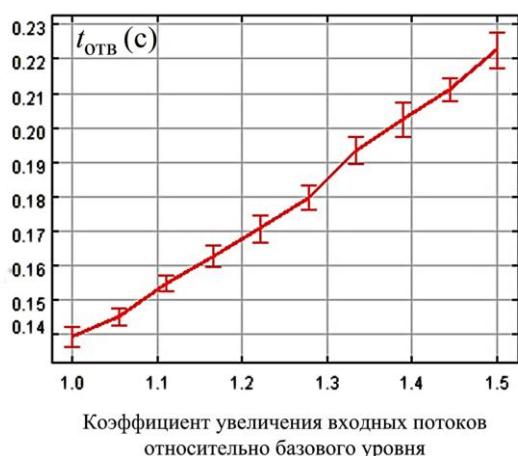


Рис. 3. Средняя загрузка кластера DBS

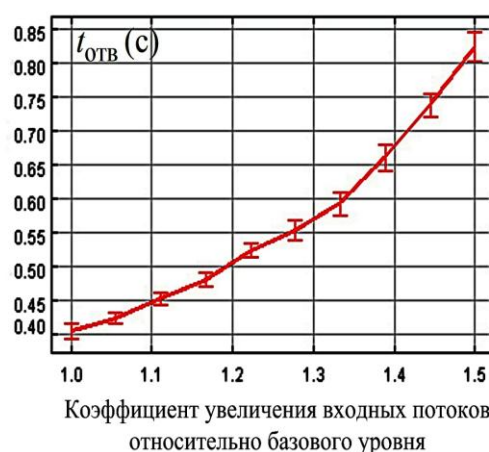
Поскольку АСУ ГП УЗ-Е рассматривается как система реального масштаба времени, то достаточно важным параметром является время отклика системы. На рис. 4 и 5 показана зависимость времени реакции от входных потоков. Если для серверов приложений она имеет практически линейный вид и есть достаточный запас в приемлемом диапазоне времён (см. рис. 4), то для серверов баз данных кривая имеет экспоненциальный вид и при 50% перегрузке (относительно базового уровня) достигает критических значений (рис. 5).

Отметим, что эти данные получены для случаев увеличения проектных "предельных" характеристик [8] размерности системы до 50%. Таким образом,

ресурса вычислительной системы P780 достаточно для реализации структуры с 24 процессорами.



AS
K=6



DBS
K=12

Рис. 4. Среднее время ответа кластера AS

Рис. 5. Среднее время ответа кластера DBS

Система АСУ ГП УЗ-Е введена в промышленную эксплуатацию 7 июля 2012 года, уже известны первые результаты её эксплуатации, которые можно использовать для моделирования и исследования системы [12, 13, 14, 15]. При этом входные потоки несколько отличаются от их проектных оценок.

В настоящее время с системой работают 25 тысяч пользователей из 12 хозяйств железных дорог Украины, которые формируют входной поток запросов от 650 тысяч до 1 млн. в сутки, что соответствует интенсивности 7,5 – 11,6 запросов/с. Запросы к системе распределяются следующим образом: на WS – 0,3, на AS-DBS – 0,7; на AS – 0,45, на DBS – 0,55.

Среднее время обработки заявок на процессорах AS-DBS распределим пропорционально сложности операций в соответствующих серверах.

Средний размер передаваемого сообщения примем 21 Кбайт, распределение размеров сообщений – по закону Парето [16].

При моделировании предполагались следующие базовые времена обработки запросов: $t_{\text{обр}}^{\text{WS}} = 10$ мс; $t_{\text{обр}}^{\text{AS}} = 200$ мс; $t_{\text{обр}}^{\text{DBS}} = 600$ мс. При этом количество процессоров в кластерах по уровням: $K^{\text{WS}} = 1$; $K^{\text{AS}} = 5$; $K^{\text{DBS}} = 5$.

На графиках (рис. 6, 7), полученных в результате моделирования, показаны резервы по усложнению задач обработки запросов до уровня, когда загрузка достигает 0,6. В этом случае следует расширять кластеры, для чего имеются все необходимые резервы в системе P780.

Для системы реального времени среднее время ответа может быть одной из главных характеристик, для которой устанавливаются определённые требования заказчика. В этом случае можно воспользоваться зависимостью, вид которой показан на рис. 8.

Исследования показывают, что применение распределения Парето для внешних заявок не влияет на характеристики уровней AS-DBS, так как сглаживается на уровне WS. Поэтому в дальнейших исследованиях можно пользоваться экспоненциальным распределением и моделями M/M/K.

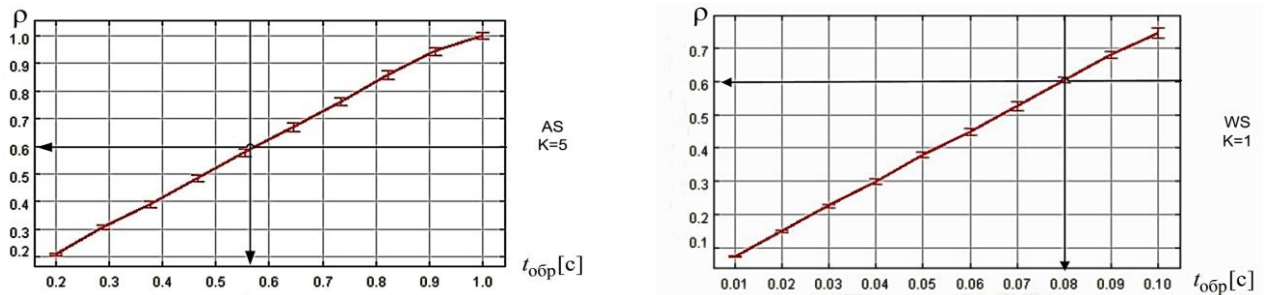


Рис. 6. Средняя загрузка процессоров по кластерам AS и WS системы в зависимости от времени обработки запросов

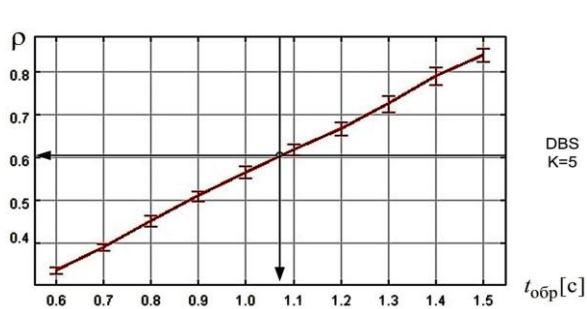


Рис. 7. Средняя загрузка процессоров по кластеру DBS системы в зависимости от времени обработки запросов



Рис. 8. Зависимость среднего времени ответа системы от входного потока запросов

Выводы

Анализ показал, что АСУ ГП УЗ-Е можно представить как сетевую, сервис-ориентированную, 4-х уровневую информационную систему реального времени. Её можно рассматривать как переходную к "облачным вычислениям" – динамическим ИТ-сервисам на базе WEB. Исследования показывают, что 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).

Определение предельных характеристики системы АСУ ГП УЗ-Е на основе математического моделирования показал, что 6 серверов в кластере AS обеспечивают 50% запас по средней загрузке, а вот в кластере DBS 12 серверов обеспечивают всего 5% запас до уровня $\rho = 0,6$.

Определение на модели времени реакции системы от входных потоков показал, что для серверов приложений эта зависимость имеет практически линейный вид и есть достаточный запас в приемлемом диапазоне времён, а для серверов баз данных кривая этой зависимости имеет экспоненциальный вид и при 50% перегрузке (относительно базового уровня) достигает критических значений. И это в том случае, если будут увеличены проектные "предельные" характеристики размерности системы, что обеспечивает ресурс вычислительной системы Р780 с 24 процессорами.

Исследование на модели процесса загрузки серверов разных кластеров показало, что при усложнению задач обработки запросов до уровня, когда загрузка достигает 0,6, следует расширять кластеры, для чего имеются все необходимые резервы в системе Р780.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюшин Ю.М. Информатизация железнодорожного транспорта Украины / Ю.М. Федюшин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - №4. - 1997. - С.3 - 5.
2. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року // Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р, Київ, 2010.
3. Кинаш С.А. Унификация архитектурных решений для АСУ РЖД // С.А. Кинаш / Автоматика, связь, информатика. - №7. - 2007. - С. 20-21.
4. Душкин Д.Н. Сетевые технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований // Д.Н. Душкин, М.П. Фархадов / Автоматизация и современные технологии. - М.: Машиностроение. - № 1. - 2012. - С. 21-29.
5. Baun C. Cloud Computing. Web-Based Dynamic IT Services // С. Baun / Springer-Verlag, Berlin. - 2011. - 108 p.
6. Ишков П.В. Виртуализация: основа построения эффективных ИТ // П.В. Ишков / Автоматика, связь, информатика. - № 2. - 2012. - С. 11 - 13.
7. Великодний В.В. Задачи по эксплуатации вагонных парков на основе автоматизированной системы управления грузовыми перевозками Укрзалізничці // В.В. Великодний, В.Б. Землянов, В.В. Скалозуб, И.В. Жуковицкий, С.Ю. Цейтлин / Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - № 3. - 2005. - С. 31-35.
8. Цейтлин С.Ю. Типовые проектные решения для создания АСУ ВП УЗ-Е // С.Ю. Цейтлин, В.К. Башлаев / Тезисы Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании" (15.05.2008-16.05.2008), Днепропетровск. - 2008. - С. 31-32.
9. Косолапов А.А. Аналітичні моделі масового обслуговування в задачах аналізу і проектування комп'ютерних систем і мереж (на залізничному транспорті): навчальний посібник / А.А. Косолапов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – 184 с.
10. Интерфакс-Украина // 26.07.2012.
11. Івченко Ю.М. Інтеграція мережевого обладнання АСК ВП УЗ та АСК ПП УЗ, підключення його до ЄМПД // Ю.М. Івченко, В.Г. Івченко, О.М. Гондар / Вісник ДНУЗТ ім. ак. В. Лазаряна. - вип. №29. - 2009. - С.143-146.
12. Науково-дослідна та дослідно-конструкторська робота // [Електронний ресурс]. - Режим доступа:URL: <http://www.youtube.com/watch?v=3gJr1Bp9rvc&feature=relmfu/>
13. Туманова Т. Единый Центр обработки данных заработал в Укрзалізничці // Т. Туманова / УНН. - 2012. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа:URL: <http://www.unn.com.ua/>.
14. 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/.
15. Мішечкін В. Історія автоматизації перевізних процесів // В. Мішечкін / [Электронный ресурс]. - Режим доступа:URL: <http://www.youtube.com/watch?v=FzBG7-Pkx4M&feature=relmfu/>

16. René J. Chevance Server Architectures. Multiprocessors, Clusters, Parallel Systems, Web Servers, and Storage Solutions // J. René / Elsevier Digital Press USA. - 2005. - 709 p.

РЕЗЕРВИ АРХІТЕКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ УКРАЇНСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

А.А. Косолапов, І.В. Жуковицький

У роботі вперше досліджені проектні й реальні характеристики нової системи керування вантажними перевезеннями Українських залізниць АСК ВП УЗ-Е, показані її граничні можливості, дані рекомендації з використання кластерних і мультипроцесорних структур у системі.

РЕЗЕРВЫ АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ УКРАИНСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

А.А. Косолапов, И.В. Жуковицкий

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

RESERVES ARCHITECTURE OF AUTOMATED SYSTEMS FREIGHT TRANSPORTATION
UKRAINIAN RAILWAYS

Anatoly Kosolapov, Igor Zhukovitsky

In first study design and the actual characteristics of the new management system of trucking Ukrainian Railways АСК ВП УЗ-Е and shows its ultimate capabilities, offers advice on the use of cluster and multi-structures in the system.