

УДК 621.311.001.57

Д.А. Попов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ СБОРА И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБ ИСПЫТАНИЯХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

В данной статье описана архитектура автоматизированного проведения испытаний и сбора данных газотурбинных установок. Выявлены недостатки существующих решений по сбору данных об испытаниях. В соответствии с современными требованиями постэкспериментального анализа данных рассмотрены промышленные решения по сбору и хранению данных, а также специфика собственных разработок промышленных предприятий. После проведения анализа предложено решение разработки единого хранилища данных о жизненном цикле испытаний. Показана целесообразность предлагаемого решения на примере интеграции с системами поддержки жизненного цикла (ЖЦ) установок, создания научно-исследовательских и конструкторских систем, систем визуализации данных и повышения производительности систем обработки данных в процессе анализа. Предложено выделение глобального и локального уровней на верхнем уровне трехуровневой архитектуры. Локальный уровень выполняет задачи оперативного сбора данных, глобальный уровень обеспечивает хранение и обработку всей необходимой информации о проведении испытания: конфигурационную, служебную и оперативную.

Ключевые слова: база данных, оперативная база данных, сбор данных, хранение данных, Citadel, National Instruments

D.A. Popov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

DEVELOPMENT OF COLLECTING AND STORING GAS TURBINE TESTING INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE

This paper describes about automated testing and data collection architecture. Shortcomings of the existing solutions for the collection of test data has been identified. In accordance with modern post experimental requirements industrial solutions for the data collection and data storage and specifics of their own development of industrial enterprises has been considered. After analysis of the proposed decision to develop a single data warehouse life cycle tests. The expediency of the proposed solutions on the example of integration with the support life cycle facilities, the establishment of research and design systems, data visualization, and improve performance of data processing systems in the analysis. Proposed allocation of global and local levels on the upper level of the three-tier architecture. Local level performs tasks of operational data collection, the global level provides storage and handling of all necessary information about the test: configuration, service and operational.

Keywords: data logging, data storage, database, Citadel, National Instruments, operational database.

Введение. Современные стенды испытания энергетических установок позволяют производить высокочастотный сбор данных об объекте испытания. В соответствии с требованиями качества исходные данные должны быть сохранены на жестких носителях на период не менее 10 лет. Существующие решения выполняют данное требование, сохраняя параметры проведения испытаний на магнитных лентах [1]. Однако этот подход не обеспечивает быстрого и эффективного способа получения данных и, соответственно, не позволяет производить прогнозирование состояния изделия, оценку качества проведения испытаний и другие научно-исследовательские работы.

Цель данной статьи – разработка архитектуры системы сбора данных для испытаний сложных технических изделий на примере газотурбинных установок (ГТУ).

Научная новизна заключается в разработке архитектуры системы автоматизированного проведения испытаний и сбора данных с учетом специфики испытаний сложных технических изделий.

Существуют два основных подхода к проведению испытаний сложных изделий, в частности энергоустановок, – использование собственного ПО, а также использование промышленных SCADA-систем [2]. Как правило, в первом случае сбор данных осуществляется за счет передачи информации в буфер в виде бинарного файла. При этом возможности работы с данными сильно ограничены в связи с жесткой структурой документа и отсутствием открытого протокола взаимодействия с документами. В то же время, что касается второго подхода, то производители SCADA-систем заявляют о собственных БД реального времени как средств для сбора и хранения. Использование комплексных интегрированных SCADA-систем является на данный момент наиболее обоснованным подходом, обеспечивающим автоматизированное исполнение испытаний и снижение издержек по разработке и сопровождению программно-аппаратного обеспечения [3].

Как правило, для проведения комплексных испытаний сложных технических изделий требуются получение, обработка и регистрация большого количества параметров различных типов и размерностей. Кроме того, может различаться программа испытаний в зависимости от состояния изделия и его модификации, что определяет необходимость применения хранилища данных с возможностью изменения структуры хранящихся данных.

Таким образом, выделим особенности испытаний сложных технических изделий:

- необходимость хранения большого объема информации;
- отсутствие строгой структуры собираемых данных;
- срок хранения данных должен превышать время жизненного цикла изделия;
- необходимость интеграции с системами обработки и визуализации данных;
- необходимость хранения метаданных и событий испытаний.

В основе современных технологий автоматизации производств лежит применение промышленных *IBM*-совместимых компьютеров, рабочих станций, панелей управления, компактных, модульных, встраиваемых систем сбора и обработки данных, а также технологичных и универсальных пакетов для создания программ сбора данных, управления технологическим процессом и визуализации необходимых параметров в режиме реального времени (*TRACE MODE*, *GENESYS32*, *GeniDAQ*, *UltraLogik*, *WinCC*, *WAGO I/O PRO* и др.). В числе крупнейших производителей микропроцессорных средств автоматизации технологических процессов и производств можно назвать корпорации «*Siemens*», «*Control Techniques*», «*Octagon Systems*», «*Analog Devices*», «*Advantech*», «*Fastwe*», «*Omron*», «*On Time Informatic*», «*ABB*», «*National Instruments*» и др.

Анализ внедрений современных автоматизированных систем управления и измерения (контроля) технологических координат показал, что подавляющее число мировых компаний, таких как *General Electric*, *Lokhid*, *Boeing*, *Martin Marietta*, *Pratt Uitm* и др., выпускающих сложную наукоемкую продукцию, стремится подтвердить качество испытаний своей продукции с помощью открытых информационных технологий и стандартных средств автоматизации. Несмотря на имеющиеся различия проектируемых автоматизированных систем, включая САИ, для них характерны общие тенденции развития, принципы построения и подходы к проектированию. Архитектура систем обработки регистрации параметров производителя *National Instruments* является показательным примером тенденций развития архитектур сбора данных. Формализуем структуру автоматизированного испытания энергоустановки на базе оборудования *National Instruments* (рис. 1) [4].

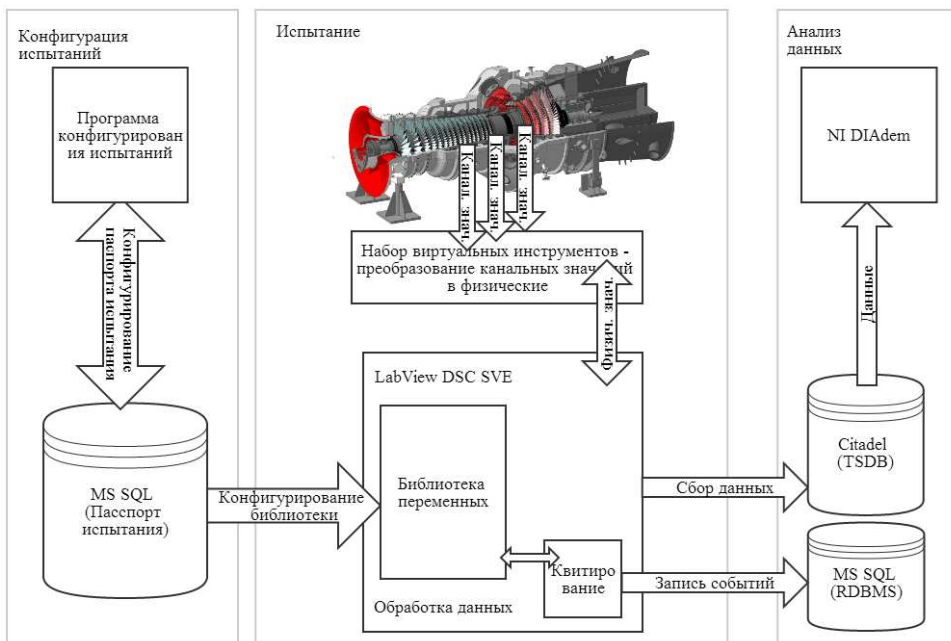


Рис. 1. Функциональная структура проведения испытаний энергоустановок

Для реализации функционала SCADA-систем в среде *LabView* применяется модуль *NI DSC*. Для автоматизированного проведения испытаний и сбора данных используют механизм распределенных переменных (*SVE*) и метаинформацию испытаний [5]. Система *NI DSC*, как и подобные системы SCADA-пакетов, использует две разные БД для хранения событий и значений параметров – базу данных *MSSQL* [6] и *Citadel* [7] соответственно [8]. Данный подход подразумевает множество однотипных баз данных, соответствующих испытательным стендам (рис. 2), выделим его недостатки:

- сложность разработки системы сопоставления рядов из разных баз данных;
- нарушение целостности данных при выходе за границы стенда;
- затрудненность получения всех критических значений;
- невозможность производить сложные запросы, связывающие информацию нескольких стендов без дополнительных надстроек;
- низкая скорость обработки взаимозависящей информации разных баз данных.

Создание же центральной базы данных *Citadel*, как и других систем оперативного сбора данных, невозможно, поскольку каждый ряд состоит из набора тэгов с уникальным названием. Пересечение рядов приводит к потере уникальности тэгов (рис. 2).

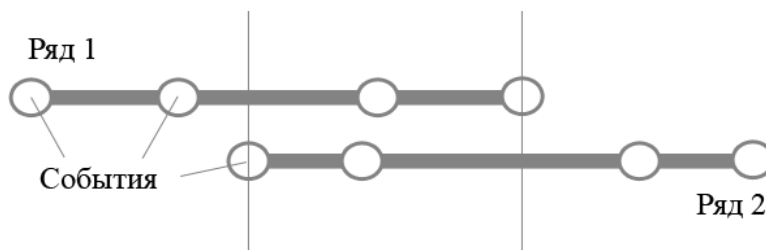


Рис. 2. Иллюстрация наложения временных рядов при совмещении хронологических данных испытаний (ряд 1 и ряд 2 относятся к разным базам данных)

В то же время основной алгоритм компрессии (1) использует значение разрешения записи (*logging resolution*) и аппроксимирует значения [8].

$$\Delta_{n \geq 1} = \left\lfloor \frac{y_n - k_{n-1}}{\text{resolution}} \right\rfloor, \quad (1)$$

где y – полученные значения, k – записанные значения, $k_{n=0} = y_{n=0}$.

При *resolution* = 0, что справедливо для рассматриваемых систем, коэффициент компрессии значительно снижается – необходимо применение различных алгоритмов компрессии для наиболее качественного и быстрого сжатия данных. Системы оперативного сбора данных не предоставляют возможности динамического определения алгоритма сжатия данных на основании временных рядов.

Анализ промышленных СУВР показал, что хотя рассматриваемые БД, в частности *Citadel*, обладают высокими показателями записи данных, они не могут применяться в качестве систем долговременного хранения и обработки данных.

Разработка СУБД хранения и обработки данных. Для обеспечения высокой производительности структуры систем сбора и хранения данных должны значительно различаться. После проведения анализа шаблонов проектирования возможны 2 решения:

1. Использование базы данных, обеспечивающей согласованность данных и устойчивость к разделению (CP), и хронологической базы данных (СУВР);
2. Использование АС-базы данных, СА-БД – реляционной базы данных, конфигурирующей испытание, и хронологической базы данных [9].

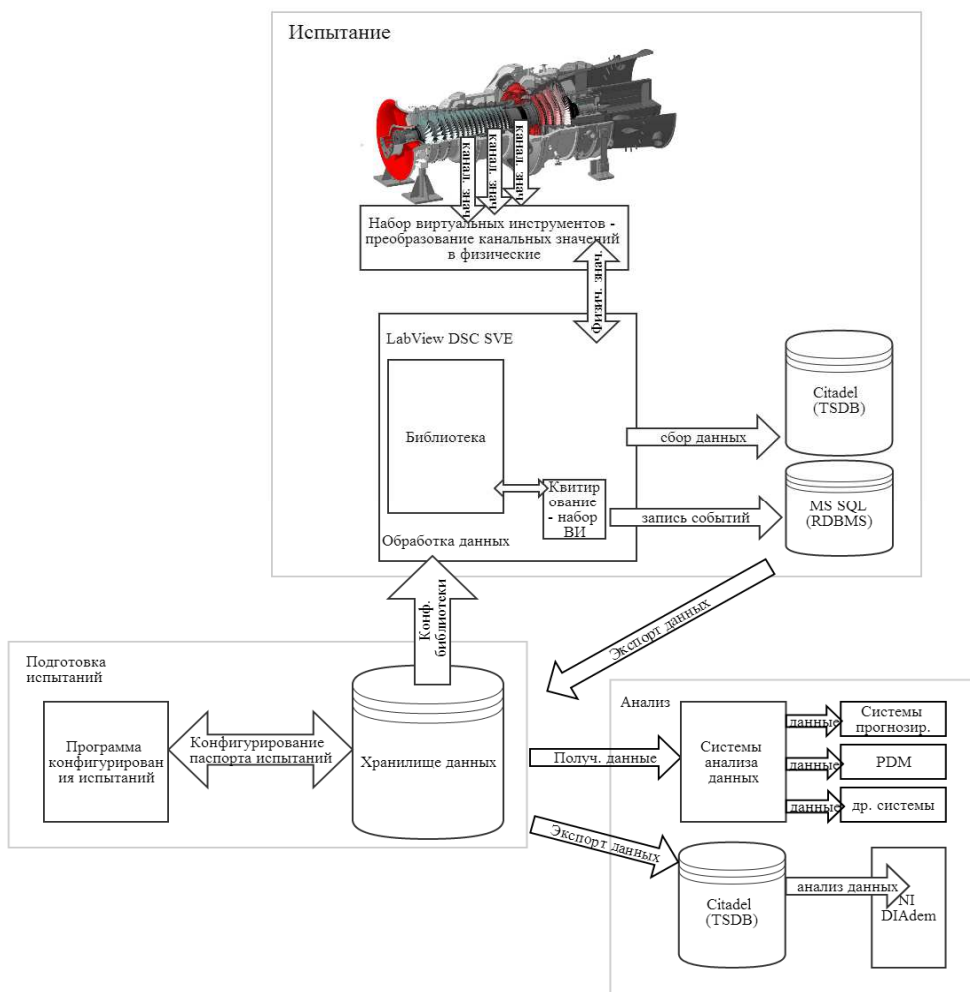


Рис. 3. Функциональная структура проведения испытания с использованием единого хранилища данных

Предпочтительным является использование CP-базы и СУВР, поскольку концепция хранилища данных подразумевает использование одной базы данных для построения целостной политики безопасности [10],

при наличии нескольких разнородных баз данных увеличивается время, необходимое для согласования данных нескольких СУБД, а также, потому что при использовании АС и СА-БД согласованность данных необходимо обеспечивать программными средствами.

Поскольку в хранилище данных должны содержаться как временные ряды, так и метаданные об испытаниях ГТУ, данные хранилища должны быть непротиворечивы, а хранилище должно обеспечивать согласованность и доступность данных для проведения аналитических работ и устойчивость к разделению для обеспечения высокой масштабируемой производительности.

Выделим дополнительные требования к архитектуре системы хранения данных:

- устранение взаимного влияния систем проведения и анализа испытаний;
- возможность применения блочных методов сжатия данных;
- возможность интеграции с системой поддержки ЖЦ изделия (*pdm*);
- возможность реализации горизонтального и вертикального масштабирования.

Исходя из принятой концепции и требований, спроектируем общую функциональную структуру проведения испытаний, хранения и обработки информации в виде временных рядов и событий жизненного цикла (рис. 3).

Предлагаемая функциональная структура состоит из двух частей. Основная часть – глобальный уровень, на нем находятся непосредственно база данных и системы конфигурирования и анализа. Они могут располагаться на одном или нескольких серверах, быть автономны и масштабируемы. Вторая часть – локальный уровень – система проведения испытаний, производящая сбор оперативных данных.

Заключение. Разработанная архитектура в отличие от современных применяемых архитектур сбора данных в СКАДА-системах и системах оперативного сбора данных [11] позволяет осуществлять как высокоэффективный сбор хронологических данных, так обработку и хранение метаданных о проведении испытаний.

Выделение глобального уровня архитектуры позволяет создавать высокопроизводительные системы распределенного вычисления, применяя методики *map-reduce* [12] и другие техники, увеличивающие

производительность систем за счет разделения функций системы по вычислительным терминалам (серверам).

Использование в архитектуре системы оперативного сбора данных и отдельной базы данных конфигурирования и долговременного хранения данных минимизирует взаимное влияние систем сбора и анализа данных, позволяет применять различные методы сжатия данных без необходимости разработки промежуточной буферизации значений параметров. Разработанное решение полностью соответствует концепции единого хранилища данных для задач обработки и анализа данных. Изменение предложенной архитектуры приведет к потере одного или нескольких свойств, требующихся для регистрации информации в процессе испытания сложных технических изделий.

Библиографический список

1. Зеленков Ю.А., Чувиллин В.Ю., Журавлев В.Е. Комплексная автоматизация испытаний газотурбинных двигателей // Вестник Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. - 2011. - Т. 2, № 42. - С. 126–131.

2. Boyer S.A. Scada: Supervisory Control And Data Acquisition // The Instrumentation, Systems, and Automation Society. – New York, 2009. – Vol. 4. – P. 19–41.

3. Database C. Logging Data with National Instruments Citadel. – Austin, 2012. – P. 1–7.

4. National Instruments, available at: <http://russia.ni.com> (accessed 02 April 2014).

5. Inmon W.H. Corporate Information Factory. – New York: John Wiley & Sons, 2001. – Vol. 2. – P. 30–41.

6. Microsoft. SQL Server 2012-2014-Explore, available at: <http://www.microsoft.com/en-us/server-cloud/products/sql-server/#fbid=WcDQjQq-qxo>.

7. Citadel 5 Remote Database Access Using COM+ and ADO, available at: <http://www.ni.com/white-paper/3093/en>.

8. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка функциональной структуры программного комплекса испытаний газотурбинных установок для газоперекачки // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – С. 455–458.

9. Brewer E.A. Certain freedom // Proceeding of the 29th ACM SIGACT-SIGOPS: symposium on Principles of distributed computing – PODC'10. – New York: ACM Press, 2010. – С. 335–335.

10. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка системы управления архивными данными испытаний газотурбинных установок большой мощности // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – Т. 1. – С. 1–6.

11. Попов Д.А., Шмидт И.А. Оперативный сбор параметров при испытаниях различных типов ГТУ на базе оборудования National Instruments // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – Т. 2. – С. 192–196.

12. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters // Commun. ACM. – New York, 2008. – Т. 51, № 1. – Р. 1–13.

References

1. Zelenkov Iu.A., Chuvilin V.Iu., Zhuravlev V.E. Kompleksnaia avtomatizatsiia ispytanii gazoturbinykh dvigatelei [Complex automation of gas turbine engine tests]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo texnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 2, no. 42, pp. 126-131.

2. Boyer S.A. Scada: Supervisory Control And Data Acquisition. *The Instrumentation, Systems, and Automation Society*, New York, 2009, vol. 4, pp. 19-41.

3. Database C. Logging Data with National Instruments Citadel. Austin, 2012, pp. 1-7.

4. National Instruments, available at: <http://russia.ni.com> (accessed 02 April 2014).

5. Inmon W.H. Corporate Information Factory. New York: John Wiley & Sons, 2001, vol. 2, pp. 30-41.

6. Microsoft. SQL Server 2012-2014-Explore, available at: <http://www.microsoft.com/en-us/server-cloud/products/sql-server/#fbid=WcDQjQq-qxo>.

7. Citadel 5 Remote Database Access Using COM+ and ADO, available at: <http://www.ni.com/white-paper/3093/en>.

8. Popov D.A., Shmidt I.A. Razrabotka funktsional'noi struktury programmnogo kompleksa ispytanii gazoturbinykh ustanovok dlia gazoperekachki. [Development of functional structure gas turbine program

complex for gas pumping]. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii*. Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politexnicheskij universitet, 2012, pp. 455-458.

9. Brewer E. A certain freedom. *PODC'10. ACM symposium on Principles of distributed computing*. New York, 2010, pp. 335-336.

10. Popov D.A., Shmidt I.A. Razrabotka sistemy upravleniia arkhivnymi dannymi ispytanii gazoturbinykh ustanovok bol'shoi moshchnosti [Development of archival data management system of high power gas turbine testing]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2014, vol. 1, pp. 1-6.

11. Popov D.A., Shmidt I.A. Operativnyi sbor parametrov pri ispytaniakh razlichnykh tipov GTU na baze oborudovaniia National Instruments. [Operation logging of various types of gas turbine based on National Instruments hardware] *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2014, vol. 2, pp. 192-196.

12. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. *Commun. ACM*, 2008, vol. 51. no 1, pp. 1-13.

Сведения об авторе

Попов Дмитрий Александрович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: popov@msa.pstu.ru).

About the author

Popov Dmitry Aleksandrovich (Perm, Russian Federation) is a Post-graduate student at the Department of Automation Microprocessors Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: popov@msa.pstu.ru).

Принято 26.03.2014