

УДК 621.306

Ю.Н. Макаров, А.Е. Панич, А.А. Строчев

**ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Рассмотрено построение и применение понятия объектно-ориентированной архитектуры для синтеза систем неразрушающего контроля большой общности на примере ультразвуковой системы нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем ракетных комплексов (РК).

Архитектура систем; структура; неразрушающий контроль.

Yu.N. Makarov, A.E. Panich, A.A. Strocev

**OBJECTIVE- ORIENTED SYSTEM ARCHITECTURE OF THE
NONDESTRUCTIVE TESTING**

In the article the construction and the application of a concept of the objective- oriented architecture for the synthesis of the systems of the nondestructive testing of large generality based on the example of the ultrasonic system of new generation for the technically complex objects of ground-based space infrastructure and onboard technological space systems of missile complexes is examined.

System architecture; structure; the nondestructive testing.

Качество функционирования систем технического диагностирования (СТД) в существенной мере зависит от реализованных принципов их проектирования и, собственно, построения.

Принципы проектирования связаны со структурным и функциональным синтезом СТД, т.е. синтезом их структуры и алгоритмов функционирования. В частности, структурный синтез СТД, функционирующих в условиях действия конкурентов (противников), может быть осуществлён на основе применения теории игр, и, таким образом, теоретико-игровой подход будет определять теоретико-игровые принципы структурного синтеза СТД. Так, в [1] для объектов неразрушающего контроля качества космической техники [2] предложена методика теоретико-игрового обоснования структур систем функционального мониторинга на этапе проектирования сложных технических систем. Однако для применения построенной методики необходимым является задание множества возможных структур, из которого осуществляется теоретико-игровой обоснованный выбор, при этом вопрос формирования самого этого множества не рассматривается. Одним из подходов к формированию этого множества структур является применение относительно нового для теории систем управления понятия архитектуры, достаточно полно описанного в [3] в форме диалектики понятий «структура» и «архитектура». При этом для систем контроля и диагностики сложных технических систем повышенной опасности, как показано в [4], [5], архитектура должна быть объектно-ориентированной. Не случайно принцип объектной ориентированности систем диагностирования был сформулирован в отечественном космическом ракетном двигателестроении.

Следовательно, рассмотрение вопроса формирования объектно-ориентированной архитектуры систем неразрушающего контроля является актуальной задачей.

Рассмотрим на примере создания облика системы неразрушающего контроля – ультразвуковой системы контроля блоков и элементов наземной космической

инфраструктуры и бортовых космических систем. Актуальность этого направления обоснована, например, в [6].

С точки зрения системного анализа, система – это конечное множество функциональных элементов и отношения между ними, выделенное из среды с определенной целью в рамках определенного временного интервала. По сути, определение конкретной системы ограничивает рамки того или иного исследования. С этой точки зрения определим понятие ультразвуковой системы контроля блоков и элементов объектов ракетно-космической техники (РКТ) и их наземной инфраструктуры.

В отличие от систем технического диагностирования, определяемых по [7] как «совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в технической документации» (п. 15 Таблицы 1 ГОСТ 20911-89), будем рассматривать только техническую систему (совокупность средств технического диагностирования (контроля технического состояния)), т.е. «искусственно созданную систему, предназначенную для удовлетворения определенных потребностей и состоящую из технических компонентов» [8]. При этом «определённые потребности» определяются целью функционирования ультразвуковой системы контроля блоков и элементов объектов РКТ и их наземной инфраструктуры – осуществлять диагностирование (контроль) [7].

Как известно, в соответствии с теорией решения изобретательских задач положительный эффект при решении сложных проблем может быть достигнут на основе объединённого совместного применения нескольких подходов к её решению. Применяя понятие архитектуры и объектно-ориентированный принцип, сформулируем подход к построению облика ультразвуковых систем контроля блоков и элементов наземной космической инфраструктуры и бортовых космических систем на основе формирования её объектно-ориентированной архитектуры.

Под объектно-ориентированной архитектурой будем понимать следующее описание ультразвуковых систем контроля блоков и элементов наземной космической инфраструктуры и бортовых космических систем:

- ◆ система состоит из подсистемы ультразвуковых датчиков, подсистемы устройств управления датчиками, подсистемы связи и иерархической подсистемы устройств управления и обработки информации;
- ◆ состав подсистем и связей между ними определяется на основе анализа структуры и алгоритмов функционирования объекта контроля.

Полученное описание обладает всеми признаками архитектуры [3]. Во-первых, наличие в ультразвуковых системах контроля блоков и элементов наземной космической инфраструктуры и бортовых космических систем двух составляющих – аппаратной и программной части, которые функционируют совместно – требует их совместного рассмотрения. Во-вторых, система взаимосвязей между устройствами в процессе функционирования не остаётся постоянной, а изменяется:

- ◆ набор устройств, взаимодействующих в данный момент;
- ◆ характеристики и направления информационных потоков;
- ◆ роли взаимодействующих устройств как «источников» и «получателей» информации.

В каждый момент времени архитектура реализуется в форме некоторой структуры, которая может быть оптимизирована на основе применения существующих методов структурного и функционального синтеза.

Рассмотрим структурный синтез на основе формирования множеств возможных вариантов построения подсистем. Примерный вариант таких множеств приведён в табл. 1.

Таблица 1

Множества возможных вариантов построения подсистем

Описание множества	Элементы множеств
Подсистема ультразвуковых датчиков	1) традиционная (3 датчика); 2) пространственное распределение n датчиков [9]; 3) фазированная решётка; 4) пространственное распределение n фазированных решёток
Подсистема ультразвуковых датчиков (по степени стационарности)	1) с устанавливаемыми ультразвуковыми датчиками; 2) со стационарно закреплёнными на объектах контроля ультразвуковыми датчиками; 3) комбинированная: со стационарно закреплёнными и устанавливаемыми на объектах контроля ультразвуковыми датчиками
Подсистема устройств управления датчиками (по устройствам накопления информации)	1) отсутствие устройств накопления информации; 2) наличие устройств накопления информации заданного объёма
Подсистема устройств управления датчиками (по устройствам первичной обработки информации)	1) отсутствие устройств первичной обработки информации; 2) наличие устройств первичной обработки информации заданной вычислительной производительности
Подсистема связи	1) проводная; 2) беспроводная; 3) комбинированная
Подсистема устройств управления и обработки информации (по типу структуры управления)	1) с децентрализованной структурой управления; 2) с централизованной структурой управления; 3) с централизованной распределённой структурой управления; 4) с иерархической структурой управления
Подсистема устройств управления и обработки информации (по степени мобильности)	1) мобильная; 2) носимая; 3) стационарная; 4) встроенная (в составе объекта контроля)

Примерный вариант элементов алгоритмов функционирования приведен в табл. 2. При этом оптимизация функционирования также может быть осуществлена на основе применения теоретико-игрового подхода [10], [11].

Таблица 2

Множества возможных вариантов функционирования подсистем

Описание множества	Элементы множеств
Степень обработки информации ультразвуковых датчиков до передачи на подсистемы связи	1) без обработки; 2) сжатие информации с целью уменьшения объёма; 3) первичная обработка с выделением данных о дефектах; 4) первичная обработка с выделением данных о дефектах, их идентификации и подготовка к передаче данных только об определённых типах (видах) дефектов (в том числе с учётом их размеров и (или) степени их опасности)

Окончание табл. 2

Описание множества	Элементы множеств
По степени непрерывности функционирования	1) единичных контролей; 2) контрольно-мониторинговые; 3) функционально-мониторинговые
По этапам жизненного цикла объекта контроля	1) проектировочные (в широком смысле); 2) производственные; 3) эксплуатационные

Из табл. 1 и 2 следует, что объектно-ориентированная архитектура ультразвуковых систем контроля блоков и элементов наземной космической инфраструктуры и бортовых космических систем может быть реализована в форме множества конфигураций, мощность которого равна мощности декартового произведения рассмотренных множеств. Без применения аппарата управления конфигурацией невозможно получить рационального процесса, определяющего жизненный цикл разрабатываемых устройств.

Управление конфигурацией (УК) – управленческая технология, связанная с разработкой, выпуском и поддержкой жизненного цикла сложных изделий, производимых во многих вариантах, в том числе – по конкретным требованиям заказчика. За рубежом эта технология получила широкое распространение, о чем свидетельствуют многочисленные нормативные документы. Для отечественной промышленности технология УК является сравнительно новой, и ее применение связано с рядом специфических проблем.

Учёт процесса УК должен осуществляться на всех этапах жизненного цикла вплоть до учёта конструкторского аспекта.

Исходя из проведённого анализа, можно сформулировать следующие требования к системе неразрушающего контроля нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем РКТ:

1. Разрабатываемая система должна быть объектно-ориентированной к различным объектам РКТ, перечисленным выше.
2. Разрабатываемая система должна обеспечивать временное единство измерительной информации.
3. Разрабатываемая система должна иметь конкурентные преимущества по сравнению с существующими аналогами.
4. Разрабатываемая система должна удовлетворять требованиям по показателям качества, классифицированных, например, **Всероссийским научно-исследовательским институтом сертификации (ВНИИС, Москва) на основе действующих стандартов** и описанных для объектов РКТ в [12].

Рассмотрим выбор структуры систем неразрушающего контроля нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем РКТ с учётом архитектур, определяемых табл. 1 и 2.

Для обеспечения первого, второго и третьего требований необходимым является реализация подсистемы ультразвуковых датчиков в виде пространственного распределения n фазированных решёток.

При этом, кроме того, значительно сокращается время проведения контроля пространственно больших объектов (например, сварных соединений баков разгонных модулей), так как значительно сокращается время операции установки систем датчиков – фазированные решётки позволяют контролировать значительно большие по размерам участки объекта контроля при фиксированном положении,

а применение нескольких фазированных решёток ещё больше сокращает время контроля и дополнительно обеспечивает временное единство процесса контроля.

Возможности включения в систему фазированных решёток с различными параметрами позволяет оценивать дефекты на различных элементах РКТ не только по материалу изготовления, но и по конструктивному исполнению, обеспечивая удобство проведения процесса контроля в части операций, связанных с установкой датчиков. Для отдельных элементов РКТ такие датчики могут устанавливаться стационарно. Таким образом, подсистема ультразвуковых датчиков (по степени стационарности) должна строиться по комбинированной схеме.

В целом построение подсистемы ультразвуковых датчиков на основе пространственного распределения n фазированных решёток по комбинированной схеме (по степени стационарности) с подсистемой устройств управления и обработки информации выполненной по типу структуры управления в виде централизованной распределённой или иерархической структуры управления позволяет существенно снизить стоимость системы при заданных временных ограничениях на процесс контроля и увеличить надёжность.

Для обеспечения четвёртого требования могут быть определены требования к ультразвуковым фазированным решёткам.

Таким образом, применение понятия объектно-ориентированной архитектуры для синтеза систем неразрушающего контроля большой общности на примере ультразвуковой системы нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем ракетных комплексов позволяет сделать выводы и рекомендации:

1. Система неразрушающего контроля нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем РК должна быть реализована на основе агрегатного (модульного) подхода, что обеспечит гибкость применения таких систем для различных этапов жизненного цикла и различных элементов РКТ, реализуя современный принцип объектной ориентации мониторинговых систем технического диагностирования.

2. Архитектура система неразрушающего контроля нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем РК должна быть описана следующими компонентами:

- ◆ система состоит из подсистемы ультразвуковых датчиков, подсистемы устройств управления датчиками, подсистемы связи и иерархической подсистемы устройств управления и обработки информации;
- ◆ состав подсистем и связей между ними определяется на основе анализа структуры и алгоритмов функционирования объекта контроля.

3. Подсистема ультразвуковых датчиков систем неразрушающего контроля нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем РКТ должна быть реализована в виде пространственного распределения n фазированных решёток.

4. Система неразрушающего контроля нового поколения для технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры и бортовых технологических космических систем РК построенная на вышеуказанных принципах, может быть применена для широкого спектра объектов РКТ, частными случаями которых являются: топливные баки разгонных блоков, высоконагруженные элементы наземного оборудования стационарных стартовых комплексов, металлоконструкции подвижного наземного технологического оборудования и т.д.

5. Широкий спектр применения разрабатываемой системы по предлагаемой архитектуре позволяет сделать вывод о её несомненных конкурентных преимуществах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров Ю.Н., Строцев А.А. Выбор варианта системы функционального мониторинга с учётом влияния на неё стохастических и неопределённых факторов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 1 (114) – С. 171-180.
2. Макаров Ю.Н., Лухвич А.А., Шитша В.Г. и др. Актуальные проблемы неразрушающего контроля качества космической техники: монография. – СПб.: Альтеор, 2008. – 333 с.
3. Иванов В.А. Вычислительные машины, системы и сети: Учебник. – М.: МО РФ, 2007. – 252 с.
4. Дедученко Ф.М. Унифицированные средства контроля, диагностирования и защиты оборудования и технологических процессов ТЭК // Конверсия в машиностроении. – 1996. – № 5. – С. 28-34.
5. Дедученко Ф.М., Дмитриев Э.А., Ракоед А.Ф., Ямпольский Ю.С. Новые объектно-ориентированные средства контроля, диагностирования и аварийной защиты турбоагрегатов, вспомогательного оборудования и технологических процессов АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. – 1998. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 47-56.
6. Давыдов В.А., Макаров Ю.Н., Мальченко А.Н., Пайсон Д.Б. Новые концептуальные методологические подходы к проблемам формирования оптимального технического и технологического базиса программно-целевого планирования в создании и развитии ракетно-космической техники. – М.: ЗАО «ЭНЦИТЕХ», 2006. – 391 с.
7. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика Термины и определения.
8. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач. – М.: Форум, 2008. – 384 с.
9. Giurgioiu V. Embedded NDE with Piezoelectric Wafer Active Sensors in Aerospace Applications // Journal of Materials, January. – 2003.
10. Строцев А.А., Сеницын С.В., Жадько А.А. Методика теоретико-игровой оптимизации алгоритма контроля на основе модели смешанного расширения матричной игры с ограничениями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 11 (88). – С. 66-70.
11. Макаров Ю.Н., Строцев А.А. Методология исследования сложных организационно-технических систем, функционирующих в конкурентной среде при ограниченных ресурсах: Монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010. – 132 с.
12. Рожков В.Н. Контроль качества при производстве ЛА. – М.: Машиностроение, 2007. – 416 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Соколов.

Макаров Юрий Николаевич

Федеральное космическое агентство Российской Федерации.

E-mail: arm415@roscosmos.ru.

107996, ГСП-6, г. Москва, ул. Щепкина, 42.

Тел.: 84956319322.

Начальник сводного управления организации космической деятельности; к.т.н.

Панич Анатолий Евгеньевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».

E-mail: piezo@sfedu.ru.

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10.

Тел.: 88632434811; факс 88632434844.

Декан факультета высоких технологий; д.т.н., профессор.

Строцев Андрей Анатольевич

Ростовский военный институт РВ.

E-mail: ast1965@mail.ru.

344068, г. Ростов-на-Дону, ул. Нариманова 76, кв. 37.

Тел.: 88632926242.

Начальник кафедры систем автоматической подготовки и пуска ракет, д.т.н.; доцент.

Makarov Yury Nikolaevich

Federal Space Agency, Russian Federation.

E-mail: arm415@roscoms.ru.

42, Schepkina Street, Moscow, 107996, Russia.

Phone: +74956319322.

Head of the Consolidated Space Activity Organization Department; Cand. of Eng. Sc.

Panich Anatoliy Evgen'evich

Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University".

E-mail: piezo@sfedu.ru.

105/42 Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Phone: +78632434811; fax: +78632434844.

Dean of the Faculty of High Technologies; Dr. of Eng. Sc., Professor.

Strotsev Andrey Anatol'evich

Rostov Military Institute.

E-mail: ast1965@mail.ru.

76, Narimanov Street, Rostov-on-Don, 344068, Russia.

Phone: +78632926242

The Chief of Faculty of Systems of Automatic Preparation and Start-up of Rockets, Dr. of Eng. Sc.; Associate Professor.